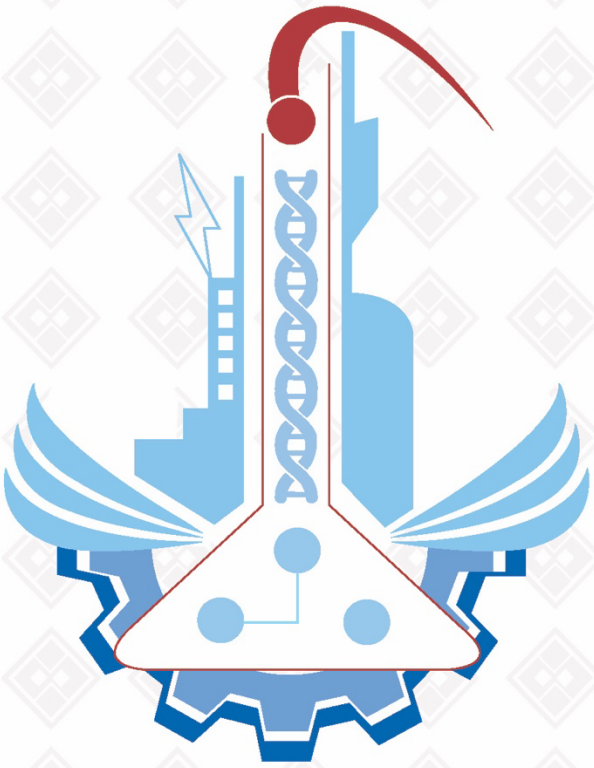
ISSN: 1308-9072

Cilt: 34 / Sayı: 2 / Yıl: 2022

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ



F ı r a t Ü n i v e r s i t e s i
Mühendislik Bilimleri Dergisi (MBD)
Cilt:34, Sayı:2, Yıl: 2022
ISSN: 1308 - 9072

İ l e t i ş i m

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
23119, ELAZIĞ

Tel: 0 424 212 27 07
Faks: 0 424 236 99 55
e-posta: fenbilim@firat.edu.tr

Bu dergi yılda 2 kez ve hakemli olarak yayımlanır.

Derginin Eski adı: *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*
Derginin Eski ISSN numarası: *1300-2708*

https://dergipark.org.tr/tr/pub/fumbd

Fırat Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi (MBD)

Sahibi

Prof Dr. Fahrettin GÖKTAŞ
Fırat Üniversitesi Rektörü

Genel Yayın Yönetmeni

Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Baş Editör

Doç. Dr. Fatih ÖZKAYNAK
Fırat Üniversitesi Enstitüsü Müdür Yrd.

Editör

Doç. Dr. Emrah YILMAZ
Fırat Üniversitesi Enstitüsü Müdür Yrd.

DANIŞMA KURULU

Umran S. İNAN	Stanford Ü. Elekt-Elktr. Müh.	**Cumali KINACI**	İ.T.Ü. Çevre Müh.
Serdar SALMAN	Marmara Ü. Metal. Müh.	**Ülkü YETİŞ**	O.D.T.Ü. Çevre Müh
Z. Hakan AKPOLAT	F.S.M.Ü. Elekt-Elktr. Müh.	**Eres SÖYLEMEZ**	O.D.T.Ü. Makine Müh.
Serkan DAĞ	O.D.T.Ü. Makine Müh.	**Ayşe DALOĞLU**	K.T.Ü. İnşaat Müh.
Erkan ŞAHİNKAYA	İ.M.Ü. Biyomühendislik	**Ali KARCI**	İnönü Ü. Bil. Müh.
Temel SAVAŞKAN	K.T.Ü. Makine Müh.	**Coskun BAYRAK**	Little Rock Ü Bilg. Bil.
İlker B. TOPÇU	Osmangazi Ü. İnş. Müh.	**Hükmü ORHAN**	Selçuk Ü. Jeoloji. Müh.
Yetkin TATAR	F.Ü. Bil. Müh.	**Mehmet CEBECİ**	F.Ü. Elekt-Elktr. Müh.
Mehmet ÖZKUL	Pamukkale Ü. Jeoloji. Müh.	**Ertan GOKALP**	K.T.Ü. Harita. Müh.
Hasan EFEOGLU	A.Ü. Elekt-Elktr. Müh.	**Erhan AKIN**	F.Ü. Bil. Müh.
Ercan AKSOY	F.Ü. Jeoloji Müh.	**Sezgin BAKIRDERE**	Y.T.Ü Kimya
Mehmet YILMAZ	F.Ü. İnşaat Müh.	**Yusuf CELAYİR**	F.Ü. İnşaat Müh.
Nurhan ARSLAN	F.Ü. Kimya Müh.	**Cafer BAL**	F.Ü. Mekatronik Müh.
Hanifi GULDEMIR	F.Ü.Tek. Elekt-Elktr. Müh.	**Nilgün GULEC**	O.D.T.Ü. Jeoloji Müh.

Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi (MBD)
34-2, 2022

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

1. **Karayollarındaki Asfalt Çatlaklarının Tespiti İçin Yeni Bir Konvolüsyonel Sinir Ağı Tabanlı Yöntem**
   A New Convolutional Neural Network Based Method for Detection of Asphalt Cracks on Highways
   Gürkan DOĞAN, Burhan ERGEN ……..... 485-494

2. **Yarı-otonom Drone Kullanılarak Nesnelerin İzlenmesi ve Plaka Tespitinin**
   Recognizing Objects and Tracking Vehicles Using Semi-autonomous Drone
   Serdar ÖZER, Furkan ÇOBANOĞLU, Abdullah GENÇ ……..……..……. 495-503

3. **Yeni Betonarme Binalar için Etkin Kesit Rijitlikleri ve Statik İtme Analizleri**
   Effective Section Stiffnesses and Static Pushover Analysis for New RC Buildings
   Ömer Faruk TAŞ, Erkut SAYIN, Mehmet Emin ÖNCÜ……..……... 505-516

4. **Yazılım Güvenlik Açıklarının Evrişimsel Sinir Ağları (CNN) ile Sınıflandırılması**
   Classification of Software Vulnerabilities with Convolutional Neural Networks (CNN)
   Edanur ÖZDEMİR, İbrahim TÜRKOĞLU…..……..……..……..…… 517-529

5. **LabVIEW'de Kombinatoryal Arı Algoritması Araç Setinin Geliştirilmesi**
   Development of Combinatorial Bees Algorithm Toolkit in LabVIEW
   Murat ŞAHİN ..……..……..…..…..…..…..…..…..…..…... 531-540

6. **Ön Eğitimli Evrişimsel Sinir Ağı Modellerinde Öznitelik Seçim Algoritmasını Kullanarak Cilt Lezyon Görüntülerinin Sınıflandırılması**
   Classification of Skin Lesion Images Using Feature Selection Algorithm in Pre-Trained Convolutional Neural Network Models
   Burak TAŞCI……..……..……..……..…… 541-552

7. **Veri Madenciliği ve Makine Öğrenimi ile Döviz Kuru Tahmini Uygulaması**
   Exchange Rate Forecasting Application with Data Mining and Machine Learning
   Ahmet Esin ERBUDAK, Oğuz ATA…..……..……... 553-563

8. **Şeftali Çekirdeği Kabuğunun Polyester Esaslı Kompozitin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi**
   The Effect of Peach Stone Shell on Mechanical Properties of Polyester Based Composite
   Sibel TOPUZ, Ramazan ORHAN……..…..……..……..……..……... 565-577

9. **Cu-Al-Zn Alaşımının Manyetik, Yapısal ve Termal Özellikleri Üzerine Mn ilavesinin Etkileri**
   Effects of Mn Addition on Magnetic, Structural and Thermal Properties of Cu-Al-Zn Alloy
   Emine ALDIRMAZ..……..…… 579-588

10. **Elektrolüminesans Görüntülerde Arızalı Fotovoltaik Panel Hücrelerin Evrişimli Sinir Ağı ile Otomatik Sınıflandırılması**
    Automatic Classification of Defective Photovoltaic Module Cells in Electroluminescence Images with Convolutional Neural Network
    Hakan AÇIKGÖZ, Deniz KORKMAZ ……..…… 589-600

11. **Sürdürülebilir İdari Kayıp Yönetiminde Abone Sayaç Yönetim Bileşenleri için Performans Göstergeleri**
Performance Indicators for Customer Meter Management Components in Sustainable Apparent Loss Management
Cansu BOZKURT, Mahmut FIRAT, Salih YILMAZ **601-607**

12. **1 MWp Kapasiteli Çatı Tipi Dağıtık Güneş Enerji Santralinin Tasarımı ve Simülasyon Uygulaması**
Design and Simulation Application of 1 MWp Capacity Rooftop Distributed Solar Power Plant
Onur TURAN..... **609-626**

13. **Java Temelli Rasgele Sayı Dizisi Test Ortamı Uygulaması**
Java Based Random Number Sequence Test Suite
Kenan İNCE..... **627-634**

14. **Yazılım Ürün Ölçütlerinin Uygulamalı İncelenmesi**
Applied Analysis of Software Product Metrics
Ayşe KAHVECİ YETİŞ, Resul DAŞ..... **635-645**

15. **Laminar Dönen Boru Akışında Isı Transferinin İncelenmesi**
Investigation of Heat Transfer in Laminar Rotating Pipe Flow
Emre Turgut, Aydın Durmuş **647-655**

16. **Bölgesel Güneş Enerji Potansiyeli ve Enerji Santrali Yatırımı Değerlemesi: Sincan Örneği**
Potentiality of Regional Solar Energy and Evaluation of Power Plant Investment: Case of Study Sincan
Harun VARLI, Mustafa TUNA , Mustafa TOMBUL..... **657-666**

17. **Eu katkılı NiO Nanoparçacıkların Sol-Jel Yöntemi ile Sentezlenmesi, Yapısal ve Morfolojik Karakterizasyonu**
Synthesis, Structural and Morphological Characterization of Eu-doped NiO Nanoparticles by Sol-Gel Method
Ezgi GÜRGENÇ **667-675**

18. **Çok Katmanlı Algılayıcı Algoritması, Korelasyon Tabanlı Özellik Seçme Yöntemi ve Eğri Uydurma Tekniği ile Türkiye' de Toplam Elektrik Tüketiminin Tahmin Edilmesi**
Estimation of Total Electricity Consumption of Turkey with Multilayer Perceptron Algorithm, Correlation Based Feature Selection Method and Curve Fitting Technique
Düzgün AKMAZ **677-686**

19. **Trivium Algoritması Kaynaklı Rastgele Permutasyon Üretimiyle Görüntü Şifreleme Uygulaması**
Image Encryption Application with Random Permutation Generation Based on Trivium Algorithm
Taha ETEM, Turgay KAYA..... **687-697**

20. **Derin Takviyeli Öğrenme Tabanlı Bilinmeyen Ortamda Çoklu Robot Navigasyonu**
Multi-Robot Navigation in Unknown Environment Based on Deep Reinforcement Learning
Niyazi Furkan BAR, Mehmet KARAKÖSE **699-707**

M.B.D.

21. **Covid-19'un Yayılım Tahminine Yönelik Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Tabanlı Karşılaştırmalı Bir Analiz: Türkiye İçin Örnek Bir Çalışma**
A Comparative Analysis for the Spread Prediction of Covid-19 Based on Machine Learning and Deep Learning: A Case Study for Turkey
Anıl UTKU, Ümit CAN **709-717**

22. **Nem Kontrollü Bir Kamarada Depolanan Baklanın (*Vicia faba* L.) Sorpsiyon İzotermlerinin Modellenmesi ve Termodinamik Özelliklerinin Belirlenmesi**
Modeling of Sorption Isotherms and Determination of Thermodynamic Properties of Broad Bean (Vicia faba L.) Stored in a Humidity-Controlled Chamber
Mukaddes KARATAŞ, Nurhan ARSLAN **719-731**

23. **Sahte Haber Tespiti için Derin Bağlamsal Kelime Gömülmeleri ve Sinirsel Ağların Performans Değerlendirmesi**
Performance Evaluation of Deep Contextual Word Embeddings and Neural Networks for Fake News Detection.
Cengiz HARK **733-742**

24. **St37 Çeliğinin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Destek Vektör Regresyonu Kullanılarak Tahmini**
Prediction of Surface Roughness in Turning of St37 Steel Using Support Vector Regression
Turan GÜRGENÇ, Osman ALTAY..... **743-750**

25. **Film Yorumları Kullanılarak Önerilen Yapay Zekâ Tabanlı Yöntemle Duygu Analizinin Gerçekleştirilmesi**
Performing Sentiment Analysis with the Proposed Artificial Intelligence-Based Method
Muhammed YILDIRIM **751-760**

26. **Ultrason RF Sinyallerinden Göğüs Kanserinin Derin Öğrenme Tabanlı Yaklaşımlarla Tespit Edilmesi**
Detection of Breast Cancer from Ultrasound RF Signals with Deep Learning-Based Approaches
Fatih DEMİR **761-768**

27. **Uzaktan Hasta Takibi İçin Mikroservis Mimarisi Kullanan Bir Uç Sistem Tasarımı**
An Edge System Design Using Microservice Architecture for Remote Patient Monitoring
Sinan TAŞLI, Güngör YILDIRIM **769-778**

28. **Tüm Arama Uzayı Taranarak Kaynak Dengeleme Probleminin Optimum Çözülmesi**
Optimum Solution of Resource Leveling Problem by Evaluating the Whole Search Domain
Önder Halis BETTEMİR, Tuğba ERZURUM **779-794**

29. **Yeni bir Evrişimsel Sinir Ağı Modeli Kullanarak Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinden Akciğer Kanseri Tespiti**
Lung Cancer Detection from Computed Tomography Images Using a Novel Convolutional Neural Network Model
Asiye Merve Nur ERDOĞAN, Tülin ÖZTÜRK, Muhammed TALO..... **795-802**

30. **Rezistif Süperiletken Arıza Akımı Sınırlayıcı MATLAB/Simulink Modeli ve Uygulaması**
Resistive Superconductor Fault Current Limiter MATLAB/Simulink Model and Application
Buğra YILMAZ, Muhsin GENÇOĞLU **803-815**

31. **Sıcak Presleme Yöntemi İle Üretilen Fe Esaslı Matriste Ni Esaslı Süper Alaşımların Katkı Oranlarının Etkisi**
The Effect of Additive Rates of Ni Based Super Alloys on Fe Based Matrix Produced by Hot Pressing Method
İlyas SOMUNKIRAN, Ertuğrul ÇELİK, Büşra TUNÇ, Çağdaş GÜNEŞ..... **817-827**

32. **Görüntülerden Derin Öğrenmeye Dayalı Otomatik Metin Çıkarma: Bir Görüntü Yakalama Sistemi**
Automatic Text Extraction Based on Deep Learning from Images: An Image Capture System
Zeynep KARACA, Bihter DAŞ **829-837**

33. **Fırat Üniversitesi Yerleşkesi Ulaşım Ağının Yaya Öncelikli Planlama ve Tasarım Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi**
Evaluation of Transportation Network in terms of Pedestrian Priority Planning and Design Criteria on University Campuses: The Case of Fırat University)
Esra ÇETİNKAYA ÖZKAN..... **839-854**

34. **Faya Uzak Yer Hareketi Kayıtları Etkisindeki Yapıların Deprem Davranışları ile Yer Hareketi Şiddet Ölçütlerinin Etkinliklerinin Değerlendirilmesi**
Evaluation of Efficiency of Ground Motion Intensity Measures with The Earthquake Responses of Structures Subjected to Far Fault Ground Motion Records
Cengizhan DURUCAN, Ahmet Nadir ÇAKILCIOĞLU..... **855-866**

35. **Radyo Haberleşmesinde Evrişimli Sinir Ağı Kullanılarak Yapılan Modülasyon Sınıflandırması**
Modulation Classification Using A Conventional Neural Network in Radio Communications
Bircan ÇALIŞIR **867-877**

36. **Derin Öğrenme Yöntemiyle Alzheimer Hastalığının Tespiti**
Detection of Alzheimer's Disease with Deep Learning Method
Gözde Sena KARABAY, Mehmet ÇAVAŞ..... **879-887**

37. **Hafif Beton Üretimi İçin Gerekli Olan Hafif Agrega Miktarının Yapay Sinir Ağı ile Tahmin Edilmesi**
Prediction of the Amount of Lightweight Aggregate Required for Lightweight Concrete Production by Artificial Neural Network
Rabia Nur SAĞLAM, Merve AÇIKGENÇ ULAŞ, Kürşat Esat ALYAMAÇ..... **889-898**

38. **Veri Füzyonu: Veri Kaynakları, Mimariler, Zorluklar ve Çözüm Yaklaşımları**
Data Fusion: Data Sources, Architectures, Challenges and Solution Approaches
Berna ÇENGİZ, Resul DAŞ..... **899-922**

39. **Elazığ İli Hal Köyü'nde Hayvan Yemi Olarak Kullanılan Farklı Tür Ağaç Yapraklarının (Gazellerin) Yem Kalite Özelliklerinin Karşılaştırılması**
Comparison of Feed Quality Characteristics of Different Species of Tree Leaves Used as Animal Feed in Elazig Province Hal Village
Halil KARAN, Mehmet BAŞBAĞ..... **923-931**

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 485-494, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1014951

Karayollarındaki Asfalt Çatlaklarının Tespiti İçin Yeni Bir Konvolüsyonel Sinir Ağı Tabanlı Yöntem

Gürkan DOĞAN[1*], Burhan ERGEN[2]
[1] Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Munzur Üniversitesi, Tunceli, Türkiye
[2] Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[*1] gurkandogan@munzur.edu.tr, [2] bergen@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 27/10/2021; Kabul/Accepted:21/04/2022)

Öz: Karayolu yüzeyindeki asfalt çatlakları en yaygın kaplama hasarlarından biridir. Bu çatlaklar zamanında tespit edilip bakıma alınmazsa büyüyerek trafik güvenliğini ve yoğunluğunu arttıracak boyutlara ulaşmaktadır. Bu nedenle, asfalt çatlaklarının tespitinin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi çok önemlidir. Geleneksel manuel çatlak tespiti, son derece zaman alıcı, çok maliyetli ve çok çaba gerektirir. Bu nedenle, araştırmacılar odaklarını otomatik asfalt çatlaklarının tespitine yoğunlaştırdılar. Ancak, son yıllarda otomatik çatlak tespiti kapsamlı olarak araştırılmasına rağmen çatlakların farklı yoğunluğa sahip olması ve kaplama ortamının karmaşıklığı nedeniyle hala zor bir görevdir. Bu çalışmada, bu zorluğun üstesinden gelmek için konvolüsyon sinir ağı temelli bir yöntem önerildi. Önerilen yöntem, sınıflandırma ve segmentasyondaki başarısı ve hafifliği bilinen MobileNetv2 'nin temelde kullandığı konvolüsyon ve ters artıklı blok yapılarını baz alarak geliştirildi. Yapılan deneysel testler sonucunda, önerilen yöntemin performansı literatürdeki diğer yöntemlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da, otomatik asfalt çatlak tespitinin daha başarılı olması anlamına gelmektedir.

Anahtar kelimeler: Çatlak tespiti, asfalt çatlakları, piksel tabanlı segmentasyon, konvolüsyonel sinir ağları.

A New Convolutional Neural Network Based Method for Detection of Asphalt Cracks on Highways

Abstract: Asphalt cracks on the highway surface are one of the most common pavement damage. If these cracks are not detected and taken care of on time, they grow and reach dimensions that will increase traffic safety and density. Therefore, it is very important to carry out the detection of asphalt cracks quickly. Traditional manual crack detection is extremely time consuming, very costly and requires a lot of effort. Therefore, the researchers concentrated their focus on the detection of automatic asphalt cracks. However, although automatic crack detection has been extensively investigated in recent years, it is still a difficult task due to the fact that cracks have different densities and the complexity of the pavement environment. In this study, a convolutional neural network-based method is proposed to overcome this difficulty. The proposed method was developed based on the convolution and inverted residual block structures used by MobileNetv2, which is known for its success and lightweight in classification and segmentation. As a result of the experimental tests, it is seen that the performance of the proposed method is higher than the other methods in the literature. This means that automatic asphalt crack detection is more successful.

Key words: Crack detection, asphalt cracks, pixel-wise segmentation, convolutional neural networks.

1. Giriş

Asfalt kaplaması çatlağı, karayolu yüzeylerinde oluşan kusurların en önemlilerindendir. Bu tür çatlakların oluşması, karayolunun yaşlanmasını hızlandırırken yol yataklarının stabilitesini ve sağlamlığını da olumsuz olarak etkiler. Asfalt çatlakları, zamanında bakım ve rehabilitasyona alınmazsa karayolunun güvenliği olumsuz olarak etkilenebilir [1]. Ayrıca, çatlaklar bakıma alınmazsa trafik yoğunluğunun artmasına, kaplamanın eskimesine ve zamanla diğer yapılardan bağlarını ayırarak (debonding) yol bakım maliyetlerini artmasına yol açabilir. Bununla ilgili olarak, dünya çapında, kaplama inşası ve bakımı için her yıl 400 milyar $ harcanmaktadır [2]. Bu bağlamda, yaygın olarak kaplama çatlaklarının tespiti için geleneksel yöntemlerden olan görsel tabanlı manuel inceleme kullanılmaktadır [3]. Bu yöntemler, kaçınılmaz olarak hatalara, düşük verimliliğe, tespit süresinin uzun olmasına ve yüksek maliyete yol açmaktadır. Bu nedenle, araştırmacılar, son yıllarda büyük bir gelişme gösteren görüntü işleme yöntemlerini temel alan çalışmalar üzerine odaklanmaktadırlar. Kaplama çatlaklarının otomatik olarak tespitinde genellikle gri ölçekli eşik belirlemeli yaklaşımlar kullanılmıştır [4], [5]. Bu çalışmalarda, çatlak bölgesindeki piksellerin değeri ve arka plan piksellerin değeri arasındaki farka dayalı olarak, çatlak piksellerini sınıflandırmak için tüm görüntünün veya görüntü bloğunun bir eşiği hesaplanmaktadır. Bu sayede, çatlak taslağı

[*] Sorumlu yazar: gurkandogan@munzur.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0003-2497-8348, [2] 0000-0003-3244-2615

tespit edilmiştir. Ayenu-Prah ve ark. [6], kaldırım çatlağı tespiti için Sobel kenar dedektörü ile İki Boyutlu Deneysel Mod Ayrıştırmayı (BDMA) birleştirmiştir. İlk olarak, gürültüyü gidermek amacıyla BDMA 'yı kullanmışlar ve ardından kalan görüntüleri analiz etmek için Sobel kenar dedektörünü kullanırlar. Ancak, kenar belirleme çalışmalarda, çatlak görüntüsü zayıf bir kontrasta sahipse performans kötü olmaktadır. Diğer taraftan, geleneksel görüntü işleme tekniklerinin yanı sıra farklı aydınlatma ortamları ve farklı çatlak şekillerinde daha iyi bir performans gösteren makine öğrenmesini temel alan algoritmalar da kullanılmıştır. Hu ve ark. [7], öznitelik çıkarmak için doku analizi ve şekil tanımlayıcıları kullanırken çatlakları sınıflandırmak için de destek vektör makineleri kullanmıştır. Hoang ve ark. [8], asfalt kaplama çatlak tespiti ve sınıflandırma için bir model geliştirmiştir. Mokhtari ve ark. [9], kaplama çatlaklarını tespit etmek için karşılaştırmalı denetimli sınıflandırma teknolojisini kullanmıştır.

Son yıllarda, derin öğrenme teknikleri üstün performanslarıyla dikkat çekmektedir. Özellikle, bilgisayar görmesi alanında konvolüsyonal sinir ağlarının nesne algılama ve bölütlemedeki olağanüstü performansları araştırmacıların kaplama çatlaklarının otomatik tespitine odaklanmasını sağlamıştır. Bu amaçla yapılan çalışmalar genelde bölge tabanlı ve piksel tabanlı yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bölge tabanlı yöntemler, hesaplama yoğunluğu daha az olduğu için araştırmacıların ilgi odağında yer almaktadır. Cha ve ark. [10], önerdikleri yaklaşım ile 256x256 boyutundan daha büyük bir görüntü kayan pencere tekniği ile bölgelere ayrılır. Daha sonra, geliştirdikleri CNN modeli ile her bir bölgede çatlakların olup olmadığı tespit edilebilmektedir. Bölge bazlı yöntemler yalnızca bölgelerin boyutuna ve konumuna göre çatlakların varlığı hakkında bilgi verir. Eğer çatlakların bulunduğu bölgenin boyutu ve konumu doğru verilmezse çatlak tespit edilme başarısı düşer. Bu sorunun üstesinden gelmek için piksel bazlı çatlak tespitinin yapılması gerekir. Zhang ve ark. [11], her bir pikselin çatlağa ait olup olmadığını tespit etmek için derin CNN 'yi kullanmayı önermiştir. Ancak, farklı pikseller arasındaki uzamsal ilişkileri göz ardı ettiği için çatlak genişliğini fazla tahmin ettiler. Diğer bir çalışmada, Zhang ve ark. [12], görüntüdeki her bir pikselin etiketini tahmin etmek için CNN kullanmayı önermiştir. Bu yaklaşımda, öznitelikler manuel olarak çıkarılırken CNN modeli de sadece bir sınıflandırıcı görevini üstlenmektedir. Yang ve ark. [13], çatlak tespitini gerçekleştirmek için tam konvolüsyonal ağ (FCN) modelini kullanır. Bu yaklaşımda, kodlayıcı (encoder) ve kod çözücü (decoder) süreçleri sayesinde, çıktı ve girdinin aynı boyutta olması sağlanmıştır. Liu ve ark. [14], beton çatlak tespiti için ilk U-Net modeli kullanılmıştır. U-Net modeli daha küçük veri seti ile daha önceki FCN modellerinden daha yüksek doğruluk başarısı elde ettiği görülmüştür.

Diğer taraftan, gelecekte otonom araçların kara yollarında seyredeceği de düşünüldüğünde asfalt çatlakların otomatik, hızlı, verimli ve etkin maliyetli olarak tespiti çok önemli olmaktadır. Bu amaçla, bu çalışmada, düşük donanım gereksinimi ve yüksek performans başarısı sağlayan CNN modellerinden biri olan MobileNetV2 [15] temel alınmıştır. Literatürde MobileNetV2 'yi temel alan çalışmalarda asfalt çatlak tespiti pek bulunmasa dahi, [16] 'de kentsel manzaralarda bulunan nesnelerin tespitinde ve [17] 'de ray yüzeyi kusurlarının tespitinde kullanılmıştır.

Bu çalışmada, MobileNetV2 CNN modeli omurgasında kullanılan konvolüsyon blok yapısı ve ters (inverted) blok yapısı temel alınarak yeni bir asfalt çatlak tespit yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemin, MobileNetV2 yönteminden en belirgin farkı; kodlayıcı (encoder) olarak blok yapılarının kullanıldığı yığın (stack) yapısı ve kullanılan hiper parametrelerdedir. Ek olarak, önerilen yöntemde artıklı bağlantı (residual connection) kullanılmadığı için MobileNet CNN yöntemlerden ayrışmaktadır. Önerilen yaklaşım piksel bazlı çatlak tespiti yapmaktadır. Bu yönüyle ve daha az donanım gereksinimine ihtiyaç duyması ve yüksek doğruluk başarısı yönüyle diğer çalışmalardan pozitif olarak ayrışmaktadır. Önerilen yöntem, değerlendirmeli (benchmark) veri setlerinden biri olan Crack500 veri seti [18] kullanılarak eğitim ve test işlemlerine tabi tutulduğunda, deneysel sonuçlar diğer çalışmalara göre gayet iyi bir performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Bu yazının kalan bölümleri aşağıdaki gibi düzenlenmiştir; Bölüm 2 'de Crack500 veri seti, MobileNetV2 'in kullandığı blok yapıları, öğrenme oranı planlaması ve dice kaybı fonksiyonu ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Bölüm 3 'te önerilen yöntem, bölüm 4 'te deneysel testler değerlendirilip analiz edilmiştir. Son olarak, bölüm 5 'te genel sonuçlara yer verilmiştir.

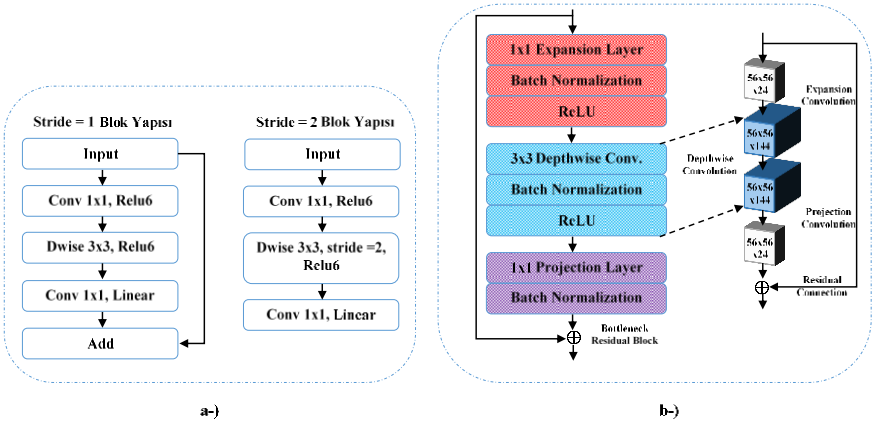
2. Materyal ve Metotlar

2.1. Veri seti

Yang ve ark. [18] tarafından kamuya açık olarak paylaşılan Crack500 veri seti, hücresel telefon kullanılarak Temple University ana kampüsünde 2000x1500 piksel boyutunda 500 tane asfalt çatlağı görüntüsü alınarak toplanılmıştır. Her bir asfalt çatlağı görüntüsüne karşılık piksel bazlı etiketlenen ikili maske görüntüsüne sahiptir. Görüntü sayısının sınırlı, her bir görüntünün büyük boyutlu ve kısıtlı hesaplama kaynaklarından dolayı, her bir

görüntü örtüşmeyen 16 görüntü bölgesine kırpılmıştır ve yalnızca 1.000 pikselden fazla çatlak içeren bölgeler kaydedilmiştir. Bu yüzden, Crack500 veri seti, 224x224 boyutunda ve toplamda 3368 görüntüden oluşmaktadır.

Bu çalışmada, eğitim verisi için 2,696 görüntü, doğrulama verisi için 348 görüntü ve test verisi için 324 adet görüntü kullanılmıştır. Ayrıca, sofistike görüntü arttırma tekniklerini bir arada bulunduran albumentation kütüphanesi kullanılmıştır. Crack500 veri setine, çevirme (flip), döndürme (rotate); rastgele kontrast (random contrast); rastgele gama (random gamma), rastgele parlaklık (random brightness); elastik dönüşüm (elastic transform), ızgara bozulması (grid distortion), optik bozulma (optical distortion) dönüşüm setleri uygulanmıştır.



Şekil 1. MobileNetV2 mimarisinin kullandığı konvolüsyonel blok (a) ve ters artıklı blok (b) yapıları [15], [19].

2.2. MobileNetV2 konvolüsyonel sinir ağı

MobileNetv1 [20] 'in bir üst sürümü olan ve MobileNetV1 'den daha iyi performans gösteren MobileNetv2 [15], adımlara (stride) göre farklılık gösteren iki tür darboğaz (bottleneck) katmanı olan yeni katman bloğunu uygulanmaktadır. MobileNetv2 'de sadece evrişimli katmandan oluşan darboğaz katmanı yerine, parametre sayısını daha da düşürmeyi amaçladıkları, derinlemesine bir evrişim katmanı kullanılmaktadır [15]. MobileNetv2 CNN modelinin konvolüsyonel blok yapısı ve ters artıklı (inverted residual) blok yapısı Şekil 1 'de verilmiştir. Ters artıklı bloklar, işlem sırasında bellekte depolanan tensör miktarını azaltarak bellek sorunlarını yönetmek için tasarlanmıştır. Öznitelik haritasının sayısındaki artış olan Doğrusal Darboğazlar (Linear Bottleneck), bir öznitelik haritasını sırasıyla 64 'ten 128, 256 ve 512 'ye çıkarır. Şekil 1-b 'de, 24 öznitelik haritasıyla başlayıp sırasıyla 144 haritaya çıkan ve ardından bir sonraki bloğa göndermeden önce öznitelik haritalarının sayısını 24 haritaya düşüren Doğrusal Darboğazlar sürecini göstermektedir.

Bu çalışmada, mobil sistemlerde performansı yüksek modellerden biri olan MobileNetV2 CNN modelinin blok yapıları temel alınmıştır. Bu sayede, asfalt çatlak tespitinin daha etkin maliyetle ve daha yüksek başarımla sağlanması amaçlanmıştır.

2.3. Optimizasyon yöntemi ve öğrenme oranı planı

Bu çalışmada, makine öğrenmesi ve derin öğrenme alanında trend olan Adam [21] optimizasyon tekniği ve Kosinüs Tavlama Öğrenme Oranı Planlaması [22] (Cosine Annealing Learning Rate Scheduling) kombinasyonu kullanılmıştır. Adam optimizasyon tekniği, derin sinir ağlarını eğitmek için tasarlanan uyarlanabilir bir öğrenme algoritmasıdır. Yani farklı parametreler için bireysel öğrenme oranları hesaplar. Bu teknik, birinci ve ikinci gradyan momentini kullanarak her parametre için öğrenme oranlarının hesaplanmasını kolaylaştırır. Hesaplama açısından verimli olan ADAM, daha az bellek gerektirir ve büyük veri kümelerinde daha iyi performans gösterir. Makine öğrenimi sürecinde öğrenme oranı değeri çok önemli bir faktördür. Öğrenme hızı çok küçük olduğunda öğrenme algoritması çok yavaş yakınsar, tam tersine değer çok büyükse ağ kaotik davranır ve yakınsamaz. Optimum bir öğrenme oranını belirlemenin etkili bir yolu, öğrenme oranını Kosinüs Tavlama LRS tekniği ile azaltmaktır. Bu teknikle kullanılarak eğitim ilerledikçe daha dengeli bir öğrenme oranı belirlenir. Kosinüs Tavlama LR tekniğinde, her bir batch'in öğrenme oranı aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır;

$$n_t = n^i_{min} + 1/2\left(n^i_{max} - n^i_{min}\right)\left(1 + \cos\left((T_{cur}/T_i)\pi\right)\right) \quad (1)$$

Denklem (1) 'de, n_{min}^{i} ve n_{max}^{i} öğrenme oranı aralığını belirtir. T_{cur}, son yeniden başlatmadan beri olan iterasyon (epoch) sayısıdır. *i,* yürütme indeksi iken *t,* her bir batch iterasyon sayısını belirtir.

Bu çalışmada, öğrenme oranı planlaması, Adam algoritmasına dayanan Kosinüs Tavlama tekniğiyle yapılmıştır. Bunun için, öğrenme oranı 0.1'e, alfa 0.1 'e, bozulma adımı (decay step) 300 'e ve eğitim 300 iterasyon boyunca sürdürülmüştür.

2.4. Dice kaybı fonksiyonu

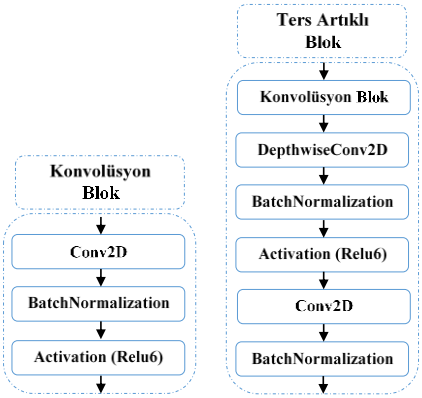
Dice Katsayısının (DC) istatistiksel ifadesi Dice [23] tarafından bireysel referans-görüntü (individual reference-image) nesne çiftilerinin eşleşmelerinin kalitesini ölçmek için kullanılmıştır. DC, ikili sınıflandırma görevlerinden türetilen bir dizi benzerlik ölçüsü fonksiyonudur [24]. $DC \in [0,1]$ olduğundan Dice Katsayısı değeri sıfırdan bire kadar değişmektedir. Görüntü segmentasyon görevlerinde ikili sınıflandırma için Dice Katsayısı aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır;

$$\mathrm{DC} = \frac{2\sum_i^N p_i g_i + \varepsilon}{\sum_i^N p_i^2 + \sum_i^N g_i^2 + \varepsilon} \tag{2}$$

Denklem (2) 'de p_i; tahmin edilen maskenin ikili segmentasyon miktarını, g_i; orginal maskenin (ground truth) ikili miktarı ve N; numune sayısını ifade etmektedir. ε 'da sıfır paydanın oluşmasını engelleyen minimum değerdir. Dice Kaybı'nın denklemi ise aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$DC_{loss} = 1 - \mathrm{DC} \tag{3}$$

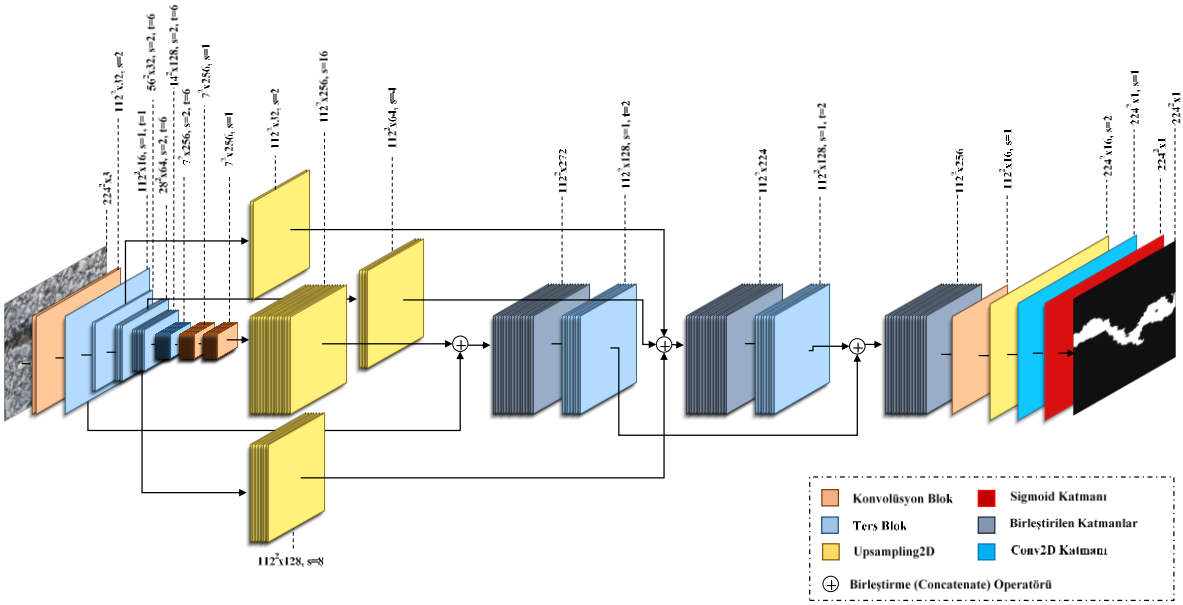
Bu çalışmada, [24]'de önerilen Dice Katsayısı seçilmiştir ve bunun iki nedeni vardır. İlk olarak, hesaplama açısından basittir. İkinci olarak, tıbbi görüntü işleme uygulamalarında kapsamlı ve etkin bir şekilde kullanılmıştır [25], [26].



Şekil 2. Önerilen yönteminde kullanılan konvolüsyonel blok ve ters blok yapılarının şematiği

3. Önerilen Yöntem

Bu çalışmada, asfalt catlak tespiti piksel bazında bir sınıflandırma görevi olarak ele alınmıştır ve önerilen mimari Şekil 3 'te gösterilmiştir. Mimarinin daha hafif ve performansı yüksek olmasını sağlamak için Şekil 2 'de gösterilen konvolüsyon ve ters blok yapıları kullanılmıştır. Ters blok yapısı, genişletme (expansion) katmanı, derinlemesine (depthwise) konvolüsyon ve sunum (projection) katmanı olmak üzere üç temel katmandan oluşmaktadır. Genişletme katmanı, 1x1 'lik konvolüsyon, batch normalizasyon ve aktivasyon alt katmanlarından meydana gelirken sunum katmanı da 1x1 'lik konvolüsyon ve batch normalizasyon alt katmanından oluşmaktadır. Derinlemesine konvolüsyon katmanı ise 3x3 derinlemesine konvolüsyon, batch normalizasyon ve aktivasyon katmanından oluşmaktadır. Ayrıca, genişletme ve sunum katmanlarındaki konvolüsyona, noktasal (pointwise) konvolüsyon olarak da adlandırılmaktadır.



Şekil 3. Asfalt çatlak tespiti için önerilen mimarinin şematik tasarımı

Standart konvolüsyon yapısı $h_i \,.\, w_i \,.\, d_i$ boyutunda olan bir L_i girdi (input) tensörünü alır ve $h_i \,.\, w_i \,.\, d_j$ boyutunda olan bir L_j çıktı (output) tensörü üretmek için konvolüsyon kerneli olan K 'yı ($K \in R^{k^2 x d_i x d_j}$) uygular. Standart konvolüsyon katmanlarının hesaplama maliyeti $h_i \,.\, w_i \,.\, d_i \,.\, d_j \,.\, k^2$ 'dir. Ters blok yapısı ise noktasal ve derinlemesine konvolüsyon yığın yapısından oluştuğu için hesaplama maliyeti $h_i \,.\, w_i \,.\, d_i \,.\, d_j \,.\, (k^2 + d_j)$ 'dir. Ters blok yapısı, derinlemesine ($k = 3x3$) ve noktasal ($k = 1x1$) konvolüsyonların toplamıdır. Bu da, standart konvolüsyon katmanlarına göre hesaplama maliyetini yaklaşık olarak k^2 kadar azaltmaktadır [15]. Bu maliyet denklemlerindeki h, w ve d sırasıyla bir tensörün yükseklik, genişlik ve derinlik boyutlarını belirtirken k ise kernel boyutunu belirtir. Ayrıca, önerilen mimarinin daha hafif olmasını sağlamak için bazı ters blok yapılarında genişletme faktörüne (t) düşük değer verilmiştir.

Diğer taraftan, önerilen mimaride atlama bağlantısı (skip connection) stratejisi kullanılarak ayrıntılı doku bilgisi, ham görüntülerden tahmin edilen çatlak öznitelik haritalarına kadar korunur. Daha sonra, aktivasyon fonksiyonu olarak Relu6 kullanılırken son katmanda aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid kullanılmıştır. Sigmoid fonksiyonu ile çatlak görüntüsü içeren ikili pikseller belirlenmiştir. Özellikle, medikal görüntü işleme alanında başarıyla kullanılan ve ağı optimize etmeye yarayan Dice Kaybı [24] tabanlı bir strateji kullanılmıştır. Önerilen mimarideki s, konvolüsyon ve ters blok yapılarındaki adımı sayısını (stride) gösterirken üst örnekleme (upsampling) yapısında boyutu (size) ifade etmektedir. Ek olarak, t 'de genişletme faktörünü (expansion factor) ifade etmektedir.

4. Deneysel Testler, Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, önerdiğimiz yaklaşım ile Crack500 veri seti kullanılarak eğitim ve test süreci gerçekleştirilmiştir. Eğitim, doğrulama ve test için sırasıyla 2696, 348 ve 324 yol yüzey çatlak görüntüsü kullanılmıştır. Eğitim sürecinde batch boyutu 32 olarak ayarlanırken iterasyon (epoch) da 300 olarak ayarlanmıştır. Öğrenme oranını optimum olarak ayarlayabilmek için Kosinüs Tavlama Öğrenme Oranı Planlaması ve Adam optimizayon tekniği kombinasyonu kullanılmıştır. Bu kombinasyon için öğrenme oranı, iteratif deneme ile 0.1 ve 0.01 aralığı olarak bulunmuştur. Önerilen yöntemin eğitim ve test işlemleri için Intel(R) Xeon(R) CPU 2.30GHz,

Tablo 1. İkili Sınıflandırma için Karmaşıklık Matrisi

		Tahmin Edilen Sınıflar	
		Negatif	**Pozitif**
Gerçek Sınıflar	**Negatif**	TN	FP
	Pozitif	FN	TP

24 GB RAM, Tesla P100-PCIE-16GB gibi özelliklere sahip bir iş istasyonu ve Python version 3.7.10, Tensorflow version 2.4.1, Keras version 2.4.3 gibi özelliklere sahip yazılım teknolojileri kullanılmıştır.

Karmaşıklık matrisi, bir sınıflandırma sistemi tarafından tahmin edilen ve gerçek sınıflandırmalar hakkında bilgi içeren bir tablodur. Makine öğrenimi alanında bir sınıflandırma sisteminin performansını tanımlamak için kullanılır. Tablo 1 'de iki sınıfa ait bir karmaşıklık matrisi verilmiştir. Burada kullanılan TP, doğru-pozitifleri; TN, doğru-negatifleri; FP, yanlış-pozitifleri; FN, yanlış-negatifleri belirtmektedir. TP, TN, FP ve FN değerleri ile bir sınıflandırma sisteminin performansını ölçen doğruluk (Acc.), hassasiyet (Prec.), anma (Rec.) ve f1-skoru (F1-scr.) vb. gibi metrikler hesaplanmaktadır. Asfalt çatlağı tespiti için önerilen yaklaşımın performans analizi ve değerlendirmesi için de doğruluk (Acc.), hassasiyet (Prec.), anma (Rec.), f1-skoru (F1-scr.), özgüllük (Spec.), dice katsayısı (DC), eğrinin altında kalan alan (auc) ve ortalama kesişen bölgelerin birleşik bölgelere oranı (IoU) metrikleri kullanılmıştır. Bu performans metriklerinin denklemleri aşağıda verilmiştir;

$$Acc = (TP + TN)/(TP + FN + TN + FP) \tag{4}$$

$$Prec = TP/(TP + FP) \tag{5}$$

$$Rec = TP/(TP + FN) \tag{6}$$

$$F1\text{-}Scr = 2\,TP/(2TP + FP + FN) \tag{7}$$

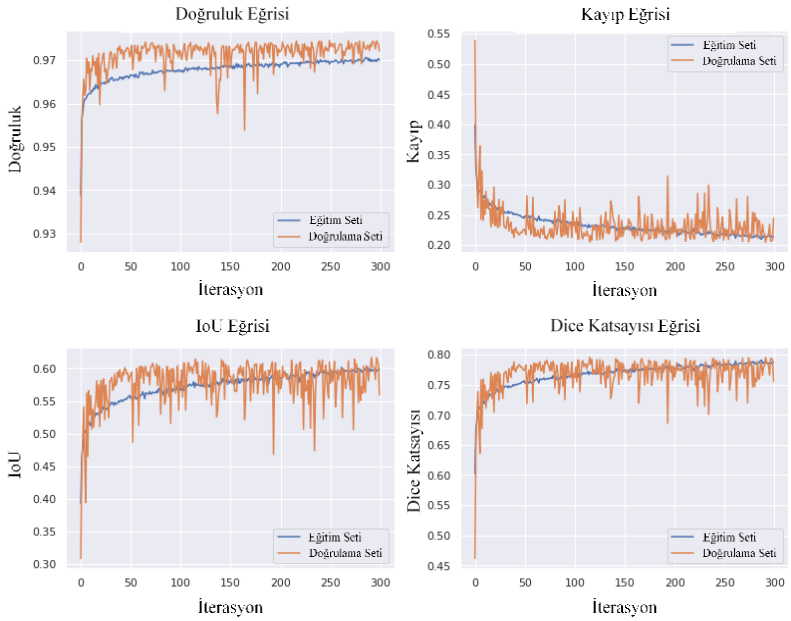
$$Spec = TN/(TN + FP) \tag{8}$$

$$DC = \frac{2.Prec.Rec}{Prec + Rec} \tag{8}$$

$$AUC(f) = \frac{\sum_{t_0 \in D^0} \sum_{t_1 \in D^1} 1[f(t_0) < f(t_1)]}{|D^0||D^1|} \tag{9}$$

$$IoU = (TP)/(TP + FP + FN) \tag{10}$$

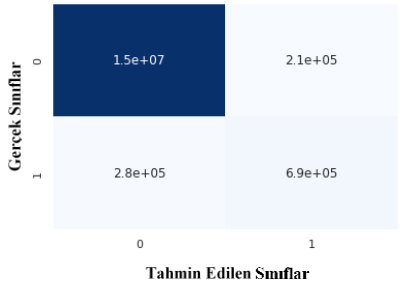
Denklem 9'da D^0, negatif örneklerin dizisini belirtirken D^1, pozitif örneklerin dizisini belirtir. $1[f(t_0) < f(t_1)]$ ifadesi; $f(t_0) < f(t_1)$ ifadesinin true olması durumunda 1, false olması durumunda 0 olmaktadır [27].



Şekil 4. Önerilen yöntemin doğruluk, kayıp, IoU ve dice katsayısı eğrileri

Diğer taraftan, önerilen mimarinin donanım birimi kullanım miktarını belirten parametre sayısı (the number of parameters) ve saniyedeki kayan nokta işlemi (floating point operations per second / FLOPs) gibi metriklerde kullanılmaktadır. Bu metriklerden parametre sayısı, bellek tüketimini belirtirken işlemci yükünü yani işlemci kullanım miktarını belirtir [28], [29].

Crack500 veri seti ile önerilen yaklaşım eğitildiğinde Şekil 4 'te gösterilen doğruluk, kayıp, IoU ve Dice Katsayısı grafikleri oluşmaktadır. Doğruluk Eğrisinde görüldüğü gibi eğitim ve doğrulama kümeleri yaklaşık olarak %97 'ye ulaşmıştır. Kayıp Eğrisinde ise eğitim ve doğrulama kümeleri yaklaşık olarak 0.21 'e düştüğü görülmektedir. IoU eğrisinde IoU metriği için eğitim kümesi yaklaşık olarak %60 'e doğrulama kümesi de %62 'e kadar yükselmiştir. Dice Katsayısı eğrisinde dice katsayısı metriği eğitim ve doğrulama kümeleri %79 'a ulaşmıştır.

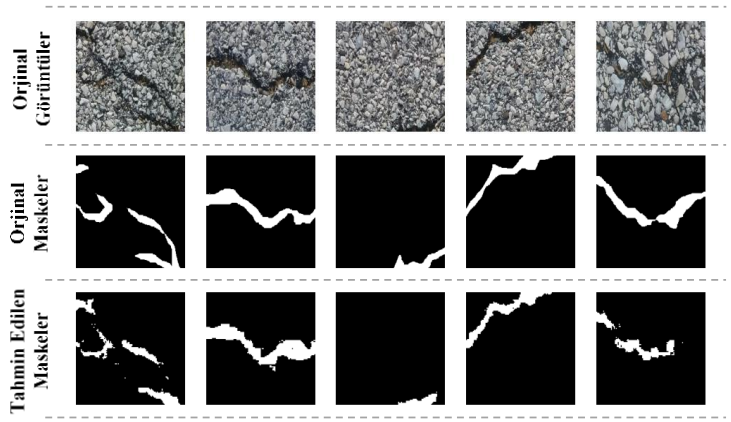


Şekil 5. Önerilen yöntem ile elde edilen karmaşıklık matrisi

Diğer taraftan, önerilen yaklaşımı değerlendirmek için Crack500 veri setinin test seti kullanılmıştır. Dolayısıyla, değerlendirme ve analiz süreçlerinde bu set için performans metriklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 5 'te önerilen yaklaşım ile veri seti kullanılarak elde edilen karmaşıklık matrisi verilmiştir. Burada, 1 (bir) beyaz pikselleri belirtirken 0 (sıfır) siyah pikselleri belirtmektedir. Bir diğer deyişle, sıfırlar asfalt kaplamasındaki çatlakları, birler ise arka planı belirtir. Önerdiğimiz yöntem bir piksel-bazlı tahmin yaptığı için bir görüntüdeki piksellerin her biri bir etiket (label) olarak düşünülmüştür. Her bir orijinal RGB piksele karşılık gelen ikili segmentasyon pikselleri tahmin edilmiştir. Dolayısıyla, karmaşıklık matrisinde TN, doğru-negatif olarak tahmin edilen piksellerin sayısı 15068666, FP, yanlış-pozitif olarak tahmin edilen piksellerin sayısı 211328, FN, yanlış-negatif olarak tahmin edilen piksellerin sayısı 284266 ve TP, doğru-pozitif olarak tahmin edilen piksellerin sayısı 692764 olmaktadır.

Tablo 2. Önerilen yöntemden elde edilen performans metriklerinin değerleri

Acc.	Prec.	Rec.	F-Scr.	Spec.	DC	AUC	IoU
0.969	0.766	0.709	0.736	0.986	0.736	0.981	0.583



Şekil 6. Önerilen yöntem kullanılarak tahmin edilen maskeler ile orijinal maskelerin kıyaslaması

Önerilen yaklaşım test veri seti ile tahmin işlemine tabi tutulduğunda bazı performans metriklerinin değerleri Tablo 2 'deki gibi olmaktadır. Bu performans metrikleri bir ağın diğer ağlara olan üstünlüğünü ve girdi (input) olarak verilen bir veri setinde ne kadar başarılı olduğunu belirtmesi bakımından önemlidir. Tablo 2 'de görüldüğü gibi bu performans metriklerinden doğruluk değeri 0.969, hassasiyet değeri 0.766, anma değeri 0.709, f1-skoru değeri 0.736, özgüllük değeri 0.986, dice katsayısı değeri 0.736, auc değeri 0.981 ve IoU değeri 0.583 olmuştur.

Önerilen yaklaşım Crack500 test veri seti ile test işlemine tabi tutulduğunda; girdi olarak 3 kanallı bir yol yüzeyi çatlağı görüntüsünden maske tahmin edilir. Bu işlem için veri setinden rastgele olarak seçilen 5 görüntünün kıyaslaması Şekil 6 'da sunulmuştur. Burada, orjinal görüntüler, RGB renklerinden oluşmaktadır ve önerilen ağ modeli bu görüntülerden maskeleri tahmin etmektedir. Bu şekildeki orjinal maskelerle tahmin edilen maskeler dikkatle incelendiğinde orjinal maskelerde olmayan bazı beyaz ve siyah piksellerin tahmin edilen maskelerde ortaya çıktığı gözlenmektedir. Bu da, orjinal ve tahmin edilen maskelerin farklılaştıran bir faktördür. Bu farklılaşma; IoU, DC vb. gibi önemli bazı performans metriklerinin değerinin azalmasına yol açmaktadır.

Tablo 3. Crack500 veri seti üzerinde farklı mimarilerin kullanılması ile test sonuçlarının kıyaslaması

Metotlar	Prec.	Rec.	DC	IoU
U-Net by Nguyen et al. [30]	0.695	0.674	0.689	0.526
CNN by Fan et al. [31]	0.712	0.695	0.705	0.545
MobileNetV2 by Sandler et al. [15]	0.784	0.724	0.728	0.573
Xception by Chollet [32]	0.792	**0.747**	0.755	0.574
Split-Attention Network [33]	0.736	0.716	0.729	0.574
U-Net by Lau et al. [34]	0.742	0.728	0.732	0.578
Önerilen Yöntem	**0.766**	0.709	**0.736**	**0.583**

Diğer taraftan, önerilen yaklaşımın literatürde yer alan diğer yöntemlerle karşılaştırması için Tablo 3 'te verilmiştir. Bu karşılaştırma tablosundaki tüm yöntemler Crack500 veri seti kullanılarak eğitim ve testleri gerçekleştirilmiştir. [30], [31] ve [33] 'deki yöntemlerin Crack500 veri seti ile yeniden uygulaması (re-implementation) Lau ve ark.[34] tarafından yapılmıştır. [15] ve [32] 'deki yöntemlerin Crack500 veri seti ile yeniden uygulaması Wang ve ark [35] tarafından yapılmıştır. Önerilen yöntem ile diğer yöntemler performans metriklerinin sonuçları ile kıyaslandığında anma (Rec.) metriği hariç diğer tüm metriklerde en yüksek değerler önerdiğimiz yaklaşımdan elde edilmiştir. Tahmin edilen bir maskenin orijinal maskeye (ground truth) benzerliğini ölçen metriklerden dice katsayısı ve IoU diğer yöntemlerden daha yüksek başarıya ulaşmıştır. Bu da, önerilen modelin diğer modellerden daha iyi bir performans gösterdiğini ifade etmesi açısından önemlidir.

Tablo 4. Literatürdeki farklı hafif (lightweight) mimarilerin performans kıyaslaması

Metotlar	Parametre Sayısı (Milyon)	FLOPs (Milyar)
MobileNetV1 by Howard et al. [20]	11.15	14.25
MobileNetV2 by Sandler et al. [15]	4.52	5.80
Önerilen Yöntem	**1.99**	**0.60**

Diğer taraftan, önerilen yöntemin literatürdeki diğer yöntemlerden donanım birimi kullanım miktarını belirten parametre sayısı ve FLOPs gibi metriklerin kıyaslamaları Tablo 4 'te görüldüğü verilmiştir. Bu tabloda, MobileNetV1 ve MobileNetV2 gibi yöntemler, hafif (lightweight) olduğunu iddia ettiklerinden dolayı bu kıyaslama için seçilmiştir. Bu kıyaslama tablosuna göre, önerilen yöntem en yakın rakibi olan MobileNetV2 yöntemine göre yaklaşık olarak 2 kat hafif ve 9 kat hesaplama karmaşıklığı daha azdır. Bu da, önerilen yöntemin diğer yöntemlere göre daha az donanım kullanması anlamına gelmektedir.

Sonuç olarak, önerilen yöntemin yığın yapısında ters blok yapısı kullanılarak parametre sayısı ve ters blok yapısında da artıklı bağlantı kullanılmayarak saniyedeki kayan nokta işlemi sayısı dikkate değer şekilde azaltılmıştır. Dolayısıyla, önerilen yöntem diğer yöntemlerden daha az donanım birimi kullanımına ihtiyaç duyarken karayollarındaki asfalt çatlaklarını da yüksek performansla tespit edebilmektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, asfalt çatlaklarını daha az maliyetle ve daha yüksek performansla tespit eden konvolüsyonal sinir ağı temelli bir yaklaşım önerilmiştir. Önerdiğimiz yöntem, konvolüsyon blokları ve ters blokları temel alan mimarisiyle piksel bazlı çatlak tespiti yapmaktadır. Bu yöntemde, asfalt çatlak görüntüsünün her bir pikseli bir etiket olarak düşünülmüştür. Önerilen yöntem ile Crack500 veri seti kullanılarak eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel testleri değerlendirmek için de hassasiyet, anma, dice katsayısı (DC), ortalama kesişen bölgelerin birleştirilen bölgelere oranı (IoU) gibi metrikler kullanıldı. Yapılan deneysel testler sonucunda; hassasiyet, anma, DC ve IoU değerleri sırasıyla yaklaşık olarak 0.77, 0.71, 0.74 ve 0.58 'dir. Bu sonuçlar, önerdiğimiz yöntemin literatürde yer alan diğer çalışmalardan daha yüksek bir başarı elde ettiğini göstermektedir. Ek olarak, önerilen yöntem konvolüsyon ve ters konvolüsyon yapıları üzerine inşa edildiği için hafif ağırlıklara sahiptir ve mobil sistemlerde kullanılabilir. Bu da, asfalt çatlağının tespitinde donanım maliyetlerinin azaltırken performansın artmasını sağlamıştır.

Kaynaklar

[1] B. Safaei and N. Safaei, "Studying the risks and factors contributing to motorcycle crashes , and prioritizing strategies to reduce fatalities , and improve community health," no. February, 2021, doi: 10.13140/RG.2.2.23936.35843/1.

[2] C. Torres-Machí, A. Chamorro, E. Pellicer, V. Yepes, and C. Videla, "Sustainable pavement management: Integrating economic, technical, and environmental aspects in decision making," *Transp. Res. Rec.*, vol. 2523, pp. 56–63, 2015, doi: 10.3141/2523-07.

[3] J. Eriksson, L. Girod, B. Hull, R. Newton, S. Madden, and H. Balakrishnan, "The Pothole Patrol: Using a Mobile Sensor Network for Road Surface Monitoring," in *Proceeding of the 6th international conference on Mobile systems, applications, and services - MobiSys '08*, 2008, vol. 70, no. 9, p. 29, doi: 10.1145/1378600.1378605.

[4] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, vol. 9, no. 1, pp. 62–66, Jan. 1979, doi: 10.1109/TSMC.1979.4310076.

[5] Z. Sun, G. Bebis, and R. Miller, "On-road vehicle detection using evolutionary gabor filter optimization," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 6, no. 2, pp. 125–137, 2005, doi: 10.1109/TITS.2005.848363.

[6] N. Attoh-Okine and A. Ayenu-Prah, "Evaluating pavement cracks with bidimensional empirical mode decomposition," *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, vol. 2008, 2008, doi: 10.1155/2008/861701.

[7] Y. Hu, C. X. Zhao, and H. N. Wang, "Automatic pavement crack detection using texture and shape descriptors," *IETE Tech. Rev. (Institution Electron. Telecommun. Eng. India)*, vol. 27, no. 5, pp. 398–405, 2010, doi: 10.4103/0256-4602.62225.

[8] N. D. Hoang and Q. L. Nguyen, "A novel method for asphalt pavement crack classification based on image processing and machine learning," *Eng. Comput.*, vol. 35, no. 2, pp. 487–498, 2019, doi: 10.1007/s00366-018-0611-9.

[9] S. Mokhtari, L. Wu, and H. B. Yun, "Comparison of supervised classifcation techniques for vision-based pavement crack detection," *Transp. Res. Rec.*, vol. 2595, pp. 119–127, 2016, doi: 10.3141/2595-13.

[10] Y. J. Cha, W. Choi, and O. Büyüköztürk, "Deep Learning-Based Crack Damage Detection Using Convolutional Neural Networks," *Comput. Civ. Infrastruct. Eng.*, vol. 32, no. 5, pp. 361–378, 2017, doi: 10.1111/mice.12263.

[11] L. Zhang, F. Yang, Y. Daniel Zhang, and Y. J. Zhu, "Road crack detection using deep convolutional neural network," in *2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Sep. 2016, pp. 3708–3712, doi: 10.1109/ICIP.2016.7533052.

[12] A. Zhang *et al.*, "Automated Pixel-Level Pavement Crack Detection on 3D Asphalt Surfaces Using a Deep-Learning Network," *Comput. Civ. Infrastruct. Eng.*, vol. 32, no. 10, pp. 805–819, 2017, doi: 10.1111/mice.12297.

[13] X. Yang, H. Li, Y. Yu, X. Luo, T. Huang, and X. Yang, "Automatic Pixel-Level Crack Detection and Measurement Using Fully Convolutional Network," *Comput. Civ. Infrastruct. Eng.*, vol. 33, no. 12, pp. 1090–1109, 2018, doi: 10.1111/mice.12412.

[14] Z. Liu, Y. Cao, Y. Wang, and W. Wang, "Computer vision-based concrete crack detection using U-net fully convolutional networks," *Autom. Constr.*, vol. 104, no. January, pp. 129–139, 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.04.005.

[15] M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov, and L. C. Chen, "MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks," *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 4510–4520, 2018, doi: 10.1109/CVPR.2018.00474.

[16] T. Emara, H. E. A. El Munim, and H. M. Abbas, "LiteSeg: A Novel Lightweight ConvNet for Semantic Segmentation," *2019 Digit. Image Comput. Tech. Appl. DICTA 2019*, 2019, doi: 10.1109/DICTA47822.2019.8945975.

[17] J. H. Feng, H. Yuan, Y. Q. Hu, J. Lin, S. W. Liu, and X. Luo, "Research on deep learning method for rail surface defect detection," *IET Electr. Syst. Transp.*, vol. 10, no. 4, pp. 436–442, 2020, doi: 10.1049/iet-est.2020.0041.

[18] F. Yang, L. Zhang, S. Yu, D. Prokhorov, X. Mei, and H. Ling, "Feature Pyramid and Hierarchical Boosting Network for Pavement Crack Detection," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 21, no. 4, pp. 1525–1535, 2020, doi: 10.1109/TITS.2019.2910595.

[19] P. Enkvetchakul and O. Surinta, "Effective Data Augmentation and Training Techniques for Improving Deep Learning in Plant Leaf Disease Recognition," *Appl. Sci. Eng. Prog.*, 2021, doi: 10.14416/j.asep.2021.01.003.

[20] A. G. Howard *et al.*, "MobileNets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications," *arXiv*, 2017.

[21] D. P. Kingma and J. L. Ba, "Adam: A method for stochastic optimization," *3rd Int. Conf. Learn. Represent. ICLR 2015 - Conf. Track Proc.*, pp. 1–15, 2015.

[22] I. Loshchilov and F. Hutter, "SGDR: Stochastic gradient descent with warm restarts," *5th Int. Conf. Learn. Represent. ICLR 2017 - Conf. Track Proc.*, pp. 1–16, 2017.

[23] L. R. Dice, "Measures of the Amount of Ecologic Association Between Species," *Ecology*, vol. 26, no. 3, pp. 297–302, Jul. 1945, doi: 10.2307/1932409.

[24] F. Milletari, N. Navab, and S. A. Ahmadi, "V-Net: Fully convolutional neural networks for volumetric medical image segmentation," *Proc. - 2016 4th Int. Conf. 3D Vision, 3DV 2016*, pp. 565–571, 2016, doi: 10.1109/3DV.2016.79.

[25] K. O. Babalola *et al.*, "An evaluation of four automatic methods of segmenting the subcortical structures in the brain," *Neuroimage*, vol. 47, no. 4, pp. 1435–1447, 2009, doi: 10.1016/j.neuroimage.2009.05.029.

[26] L. Wang, C. Wang, Z. Sun, and S. Chen, "An improved dice loss for pneumothorax segmentation by mining the information of negative areas," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 167939–167949, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3020475.

[27] T. Calders and S. Jaroszewicz, "Efficient AUC optimization for classification," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 4702 LNAI, pp. 42–53, 2007, doi: 10.1007/978-3-540-74976-9_8.

[28] J. Qiu *et al.*, "Going Deeper with Embedded FPGA Platform for Convolutional Neural Network," in *Proceedings of the 2016 ACM/SIGDA International Symposium on Field-Programmable Gate Arrays*, Feb. 2016, pp. 26–35, doi: 10.1145/2847263.2847265.

[29] A. Shawahna, S. M. Sait, and A. El-Maleh, "FPGA-Based accelerators of deep learning networks for learning and classification: A review," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 7823–7859, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2890150.

[30] N. T. H. Nguyen, T. H. Le, S. Perry, and T. T. Nguyen, "Pavement crack detection using convolutional neural network," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, pp. 251–256, 2018, doi: 10.1145/3287921.3287949.

[31] F. Yang, L. Zhang, S. Yu, D. Prokhorov, X. Mei, and H. Ling, "Feature Pyramid and Hierarchical Boosting Network for Pavement Crack Detection," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 21, no. 4, pp. 1525–1535, 2020, doi: 10.1109/TITS.2019.2910595.

[32] F. Chollet, "Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions," *Proc. - 30th IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition, CVPR 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1800–1807, 2017, doi: 10.1109/CVPR.2017.195.

[33] H. Zhang *et al.*, "ResNeSt: Split-Attention Networks," 2020, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2004.08955.

[34] S. L. H. Lau, E. K. P. Chong, X. Yang, and X. Wang, "Automated Pavement Crack Segmentation Using U-Net-Based Convolutional Neural Network," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 114892–114899, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3003638.

[35] W. Wang and C. Su, "Convolutional Neural Network-Based Pavement Crack Segmentation Using Pyramid Attention Network," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 206548–206558, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3037667.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 495-503, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1045531

Yarı-otonom Drone Kullanılarak Nesnelerin İzlenmesi ve Plaka Tespitinin Gerçekleştirilmesi

Serdar ÖZER[1], Furkan ÇOBANOĞLU[2], Abdullah GENÇ[3*]

[1,2,3] Mekatronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye
[1] serdarozer10611@gmail.com, [2] furkan.cobanoglu07@gmail.com, [*3] abdullahgenc@isparta.edu.tr

(Geliş/Received: 25/12/2021; Kabul/Accepted: 27/06/2022)

Öz: Araçlar günlük hayatımızın büyük bir bölümünde yer alır ve sayıları gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum, hareket halindeki araçların takibini ve plakalarının tespitini ihtiyaç haline getirmiştir. Bu işlemlerin otomatik yapılması, iş gücü ve ekonomik bakımından büyük kolaylık sağlayacaktır. Bu çalışmada, dört rotorlu bir DJI Tello Drone kamerasıyla elde edilen verileri görüntü işleme algoritmalarıyla hareketli bir hedefi izleyen ve araçların takibini gerçekleştiren bir sistem önerilmiştir. Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır: Birincisi, drone üzerinden gelen görüntülerin yazılıma aktarılması; ikincisi, yapılan analiz sonunda gelen görüntülerin veri tabanına kayıt edilmesi; üçüncü aşamada ise elde edilen veriler dâhilinde belirtilen belli bir nesnenin yarı-otonom takibinin yapılabilmesidir. Takip yüksekliği ve mesafesi manuel olarak ayarlanabilmektedir. Sistem gerçek zamanlı tespit ettiği bir aracın; kayıt tarihi, plaka metni, plaka resmi, araç resmi ve takip resmi gibi beş farklı veriyi kaydetmektedir. Çalışmada, plaka bilgisi veri tabanına kaydedilmeden önce plaka metni, plaka resmiyle karşılaştırarak çevreden kaynaklı (plakadaki yoğun ışık yansıması, karanlıktan aydınlığa geçiş yoğunluğu, plaka üzerindeki çıkartma veya kir vb.) olası hatalar kullanıcı tarafından manuel olarak giderilebilir ve daha sonra plaka bilgisi, veri tabanına kaydedilir. Önerilen sistem, film, hava fotoğrafçılığı ve savunma sanayisi dâhil birçok alanda kullanılabilir. Elde edilen sonuçlara göre plaka tanımada %79.54 nesne takip sisteminde ise %85 oranında başarı elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Drone, yarı-otonom, görüntü işleme, araç takibi, nesnelerin izlenmesi.

Recognizing Objects and Tracking Vehicles Using Semi-autonomous Drone

Abstract: Vehicles take place in a large part of our daily life and their number is increasing day by day. This situation has made the tracking of vehicles in motion and the detection of their license plates a necessity. Performing these processes automatically will provide a great convenience in terms of labor and economy. In this study, a system that recognizes a moving target and tracks vehicles using image processing algorithms using the data obtained with a quadrotor DJI Tello Drone camera is proposed. The work consists of three stages: The first one is transferring the images from the drone to the software and the second one is recording the images received at the end of the analysis to the database; In the third stage, semi-autonomous tracking of a specified object within the data obtained is possible. Tracking height and distance can be adjusted manually. The system detects a vehicle in real-time and records five different data such as registration date, license plate text, license plate image, vehicle image, and tracking image. In the study, possible environmental (intense light reflection on the plate, the intensity of transition from dark to light, sticker or dirt on the plate, etc.) errors can be eliminated by comparing the plate text with the plate image before the plate information is recorded in the database. In case of an error, the license plate information is saved in the database after the user corrects it manually. The proposed system can be used in many fields, including film, aerial photography, and the defense industry. According to the results obtained, 79.54% success is achieved in license plate recognition and 85% success in the object tracking systems.

Key words: Drone, semi-autonomous, image processing, tracking vehicles, recognizing objects.

1. Giriş

Plaka tanıma sistemleri, günümüzde trafik denetimi, köprü veya otoyol otomatik geçiş sistemleri ve otopark sistemleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Araç ve plaka tanıma sistemiyle ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. 2000-2010 yılları arasında yapılan araştırmalardaki nesne tanıma ortalama başarım oranı %89.35 iken daha sonraki yıllarda gelişen teknoloji sayesinde bu başarım oranı kademeli olarak artmıştır [1]. Kameralarla donatılmış drone'lar; tarım, hava fotoğrafçılığı, film çekimleri, kargo hizmetleri gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Sonraki yıllarda ise makine öğrenme algoritmaları sayesinde daha geniş bir yelpazeye hitap etmektedir. Özellikle gerçek zamanlı nesne tespiti, yüz tespiti, nesneleri sayma, plaka tespiti gibi birçok alanda bu yöntem kullanılmaya başlanmıştır [2-4].

[*] Sorumlu yazar: abdullahgenc@isparta.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1]0000-0003-0300-6179, [2]0000-0002-5687-8950, [3]0000-0002-7699-2822

Literatür incelendiğinde benzer yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen birçok çalışma bulunmaktadır. Çevik çalışmasında, bir kamera yardımıyla plaka tanıma işlemi yapmıştır. Önce önerilen sistem tarafından plaka bölgesi bulunur ve yakalanan plakadaki karakterler ayrıştırılarak Blob Coloring yöntemiyle analiz yapılır. 259 araç görüntüsü kullanılmış ve plaka yerinin tespitinde 255 araçta başarı sağlanmıştır. Plaka bölgesi doğruluk tespiti ise yaklaşık %98.4'tür [1]. Başka bir çalışmada, dört rotorlu insansız hava aracının (İHA) görüntü tabanlı nesne takibi yapılmıştır. Python yazılım dili ve OpenCv modülü kullanılmış olup 4 rotorlu insansız hava aracına wi-fi ile bağlanarak görme tabanlı nesne takibi yapılmıştır. Autoflight programı yardımıyla drone hareket ederken konum bilgileri anlık olarak arayüz üzerinde takip edilebilmektedir [2]. Kaplan çalışmasında, haarcascade sınıflandırıcı kullanılarak görüntü işleme teknikleriyle sayesinde görüntü içerisinde insan yüzünün tespiti ve görüntüdeki yerinin belirlenmesi yapılmıştır ve Python dilinde OpenCv modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir [3]. Dilmen vd. çalışmalarında, drone kullanılarak iniş, kalkış ve nesne takibi vb. fonksiyonları gerçekleştiren bir sistem önermiştir. Oto pilot modülü, Python yazılım dili ve Robot Operating System (ROS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu modülde iki farklı bölüm bulunmaktadır. Bunlardan ilki nesne takibi gerçekleştirmek, diğeri ise GPS verileriyle bir uçuş gerçekleştirmektir [4].

Ayrıca diğer bir çalışmada, plaka tanıma için yeni bir sistem önerilmiştir. Bu sistemdeki algoritma üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar plaka bölgesi, karakterlerin ayrıştırılması ve karakterlerin tanınmasıdır. Plaka çerçevesi için kenar algılama ve bulma algoritmaları kullanılmıştır. Karakter bölüştürme kısmında ise Smearing algoritmaları ve bazı morfolojik algoritmalar tercih edilir. Bu algoritmaların sonucunda ise %98 başarı elde edilmiştir [5]. Oral vd. araç plakası tanıma üzerine yaptıkları çalışmada, farklı olarak yapay sinir ağlarını (YSA) kullanılmıştır. Karakter ayrıştırma kısmında, yatay ve düşey Smearing algoritması kullanılmıştır. Ayrıştırılan karakter için ise 22 harf ve 10 rakam için iki farklı YPA eğitilmiş ve karakter tanıma işlemi yapılmıştır. Plaka tanıma başarısı %86 seviyelerinde kalırken, karakter ayrıştırma başarısı %99.7 ve karakter tanıma başarısı ise %96.7 seviyelerine olduğu gözlemlenmiştir [6]. Günaydın tarafından yapılan bir araştırmada ise gerçek zamanlı plaka tanıma sistemi, Java Platform tabanında gerçekleştirmiştir. Kısıtların dikey köşe üzerinden karakter olmayan kısımların filtrelenmesiyle bulunur. Karakter tanınması için optik karakter tanıma modülü (OCR) ve çok katmanlı algılayıcı (MLP) modülleri ile çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, plaka yer tespiti konusunda %92 başarı seviyesi elde edilirken karakter tanınmasında ise %88 başarıya ulaşılmıştır [7]. Diğer bir çalışmada, kamera görüntüsü üzerinden plaka karakterlerini otomatik olarak tanıyabilen bir sistem geliştirilmiştir. Plakanın ve plakadaki karakterlerin konumunu tespit etmek yerine doğrudan karakter tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu tanıma işlemi 0.4 saniyede yapılır ve başarım oranı ise %98 olarak görülmüştür [8]. Son olarak Hanbay vd. yaptıkları çalışmada, nesne tespit ve takip metotları incelemişlerdir. Nesne takibi yapan çalışmaların genel olarak dört farklı aşama içerdiği görülmüştür. Bu aşamalar ön işlemler, nesne tespiti, nesne sınıflandırma ve nesne takibi olarak sıralanabilir. Bu adımlar içerisinde nesne tespiti önemli bir yere sahiptir. Nesne tespiti, genellikle video çerçeveleri arasındaki fark, optik akış ve arka plan modeli çıkartmak gibi aşamalar altında incelenebilir [9].

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, nesne izleme, plaka ve araç tespiti üzerine yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu hareketli olmayan bir kamerayla yapılmıştır. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada 360° hareketli bir drone (DJI Tello drone) kullanılarak görüntü işleme teknikleriyle hem plaka tanıma hem de nesne izleme sistemi önerilmiştir. Literatürde nesne takibinde drone kullanılan çok fazla çalışma bulunurken iken bu çalışmada özgün olarak, plaka analizi ve araç takibi amacıyla drone kullanılmıştır. Plaka bilgisi veri tabanına kaydedilmeden önce plaka metni plaka resmiyle kullanıcı tarafından karşılaştırılarak sistemin hata oranı azaltılabilmektedir. Bazı nedenlerden dolayı (plakada oluşan ışık yansıması, karanlıktan aydınlığa geçiş yoğunluğu, karakterlerin resimde ışık kırılmasına uğraması, plakanın üzerinde bulunan çıkartma, boya ve plakanın kirli olması vb.) plaka resmi sağlıklı elde edilemediği için bu manuel olarak düzeltmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu istenmeyen durumlar, karakter analizinin doğruluğunu ve karakter analizi işlem süresini etkilemektedir. Bu makale şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2'de KNN (K-en yakın komşu) algoritması ile karakter analizi ve plaka bölgesini tanımlama işlem basamakları ve yarı-otonom kontrol işlemi bulunmaktadır. Bölüm 3'te yarı-otonom nesne izleme içerirken Bölüm 4'te ise elde edilen bulgular içermektedir. Bölüm 4'de ise sonuç bölümü verilmiştir.

2. Araç ve Plaka Tanıma Sistemi

Bu çalışmada kullanılan yöntem üç aşamadan oluşur. Bunlardan ilki, drone üzerinden gelen görüntülerin yazılıma aktarılması; ikincisi, yapılan analiz sonunda gelen görüntülerin veri tabanına kayıt edilmesi; sonuncusu ise elde edilen veriler dâhilinde belirtilen belli bir nesnenin yarı-otonom takibinin yapılabilmesidir. Otonom sürüş kontrolü ve görüntü işlemi uygulaması için programlanabilir bir işlemciye sahip DJI Tello Ryze model bir

drone Şekil 1'de verilmiştir. Sadece wifi ile direk bağlantının yapılabilmesi ve programlama işlemi için SDK kütüphanesine sahip olması gibi özelliklerden dolayı bu cihaz seçilmiştir [10].



Şekil 1. Kullanılan drone ve kamerası

Öncelikle sistemde iki farklı arayüz mevcut birincisi ana kullanıcılar (admin) için diğeri ise misafir kullanıcılar içindir. Bu kullanıcıların birbirinden farkları ise erişebildikleri verilerdir. Gelen gerçek zamanlı görüntüler üzerinden kullanıcı, istediği bir anda "ekran yakalama" diye adlandırılan anlık ekran görüntüsü alır. Bu görüntülere Python içerisinde bulunan OpenCv modülüyle bir obje tespiti yapılır. Bu işlemde ise OpenCv ile kullanılabilen hazır haarcascade paketlerinden biri olan plaka tespiti yapan xml uzantılı paketi kullanılmıştır. Burada, Haar-like olarak da isimlendirilen Haarcascade, görüntü üzerinde nesne bulmak için uygulanan bir yöntemdir. Böylece görüntü üzerinde sadece plaka bulunan kısım elde edilir. Bu plaka bulunan kısım kırpılarak sadece plaka resmi verisine dönüştürülür. Kırpılmış bu görüntü üzerinde plakanın metni, KNN (K-en yakın komşu) algoritmasıyla karakter analizi yapılmaktadır. Bu plaka içerisinde bulunan metninin karakter analizinden önce resmin bir takım filtreleme işlemlerine sokulması gerekiyor.

2.1. KNN algoritmasıyla karakter analizi

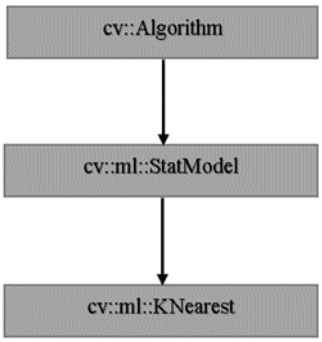
KNN algoritması, ilk olarak 1951'de Evelyn Fix ve Joseph Hodges tarafından geliştirilen parametrik olmayan bir sınıflandırma yöntemidir. Her iki durumda da girdi, bir veri setindeki en yakın k eğitim örneğinden oluşur ve sınıflandırma veya regresyon için kullanılabilir [11]. Renkli görüntüyü gri görüntüye dönüştürmek için, R (Kırmızı), G (Yeşil), B (Mavi) değerlerini NTSC (National Television Standards Committee) formatına dönüştürdükten sonra renkler kullanılarak satır verilerini sıfıra çekip resmin gri değerine dönüştürülme işlemi Denklem 1'e göre yapılmaktadır.

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.59 & 0.11 \\ 0.61 & -0.207 & -0.32 \\ 0.21 & -0.52 & 0.31 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

Burada, Q ile I simgeleri renk farklarının işaretleridir. Y değeri ise Q değeri ve I değeri sıfır değerine dönüştürülüp hesaplanır. YIQ renk modelinde, Y parlaklık olup I ve Q ise renktir (I=red/green, Q=blue/yellow).

Görüntüdeki gürültüyü azaltmak ve nesne belirlemek için eşik belirleme yöntemi kullanılarak görüntü siyah beyaz renge çevrilmiştir. Daha sonra görüntü kontrol ünitesine (kullanıcı bilgisayarı) aktarılmıştır. Gri görüntü değerleri birçok etkene göre değişiklik göstermektedir. Bu değişken seviyesini ölçebilmek için bölgesel eşik algoritması adı verilen yöntem kullanılır. Bu algoritma ile renk sınır değerleri bulunur. Daha sonra gri olan görüntü siyah beyaz formata çevrilir. Otsu metoduyla gri görüntüler 0 ile 256 arasında değerler alabilmektedir. Bu değerler arasında en küçük değerleri verenler seçilir. Bu değerler daha sonra eşik değerleri için bu iki renk (siyah ve beyaz) sınıfının sınıf içi varyans değeri hesaplanır.

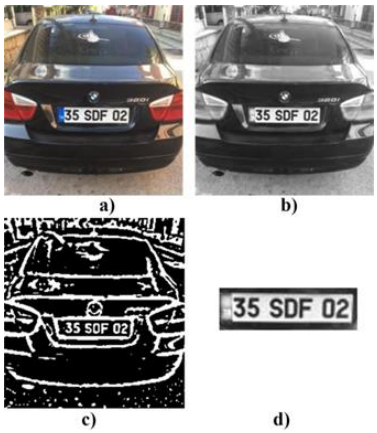
KNN algoritmasının OpenCv içerisinde sınıflandırılması Şekil 2'de verilmiştir. Elde edilen plaka görüntüsündeki karakterlerin analizi için OpenCv içerisinde bulunan "StatModel" modele dâhil olan "KNearest" algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmayı eğitilmek için rakam ve harflerden oluşan görüntüler yüklenmiştir. Eğitildikten sonra istenilen resim üzerinde analiz yapılabilmektedir.



Şekil 2. KNN algoritmasının OpenCv içerisinde sınıflandırılması

2.2. Plaka bölgesini tanımlama işlem basamakları

Orijinal renkli görüntü, gri görüntü, plakanın eşik görünümü ve tespit edilen plaka resmi Şekil 3'te verilmiştir. Öncelikle gerçek zamanlı görüntü *OpenCv* kullanılarak Şekil 3b'deki gri görüntü elde edilmiştir. Plaka bölgesinin daha iyi tespit edilebilmesi için gri görüntü, Şekil 3c'deki eşik görüntüsüne kenar algılama yöntemi ile dönüştürülür. Bu sayede Haarcascade yöntemiyle olası plaka bölgeleri daha net tespit edilir. Bulunan plaka bölgeleri üzerinde yapılan filtreleme işleminden sonra en yüksek doğruluğa sahip plaka bölgesi ROI (Region of Interest) yöntemiyle kırpılarak Şekil 3d'deki gibi işlenmeye hazır hale gelir. Renkli plaka resmi kullanılmamasının sebebi, işlem sayısının çok fazla olmasıdır. Burada bahsedilen ROI yöntemi, rasgele hareket eden nesneleri veya bölgeleri izlemek için en yüksek kalitede görüntü sağlamaya odaklanmak için kullanılır. Haarcascade yöntemiyle elde dört parametre (x, y, w, h) kullanılarak, ROI yöntemi için gerekli iki parametre $(y: y + h, x: x + w)$ elde edilmiş olur. Burada x ve y koordinatları gösterirken w ve h ise seçilen bölgenin en ve boyunu gösterir.



Şekil 3. a) Orijinal renkli görüntü b) gri görüntü c) plakanın eşik görüntü d) tespit edilen plaka

Karakter belirlemeden önce kenar belirleme işlemi yapılmasında yarar vardır. Bu işlem, bir görüntünün sınırlarını ve nesnelerin sınırlarında bulunan pikselleri tespit etmek için kullanılır. Görüntüdeki yoğunluğun ani değişim gösterdiği yerleri arayan kenarları tespit etmek için aşağıdaki kıstaslardan biri kullanılır:

- Yoğunluğun birinci türevinin diğer eşiklerden büyük olduğu yerler
- Yoğunluğun türevinin sıfır olduğu yerler

Kenar belirleme işlemi, plaka metninin bulunduğu bölge ve plakada tespit edilen karakterler Şekil 4'te verilmiştir. Belirlenen kenarlar kırmızı bir çerçeve içerisine alınarak karakter tanımanın yapılacağı bölge işlenir ve tespit edilen karakterler ifade edilir. Karakter analizinden sonra tespit edilen karakterler tek tek çerçeve içerisine alınır. Filtreleme işlemlerinden sonra KNN algoritması ile karakter tanımlama işlemi yapılır. Plakanın

ışık yoğunluğu, karanlıktan aydınlığa geçiş yoğunluğu, karakterlerin görüntüde ışık kırılmasına uğraması, plakanın üzerinde bulunan çıkartma ve boya gibi etkenler ve plakanın kirli olması karakter analizinin doğruluğunu ve karakter analizi işlem süresini değiştirmektedir. Şekil 4c'de yukarda belirttiğimiz olumsuz etkenlerden hiçbirisini içermeyen bir plakaya yapılan karakter analizi gösterilmektedir.



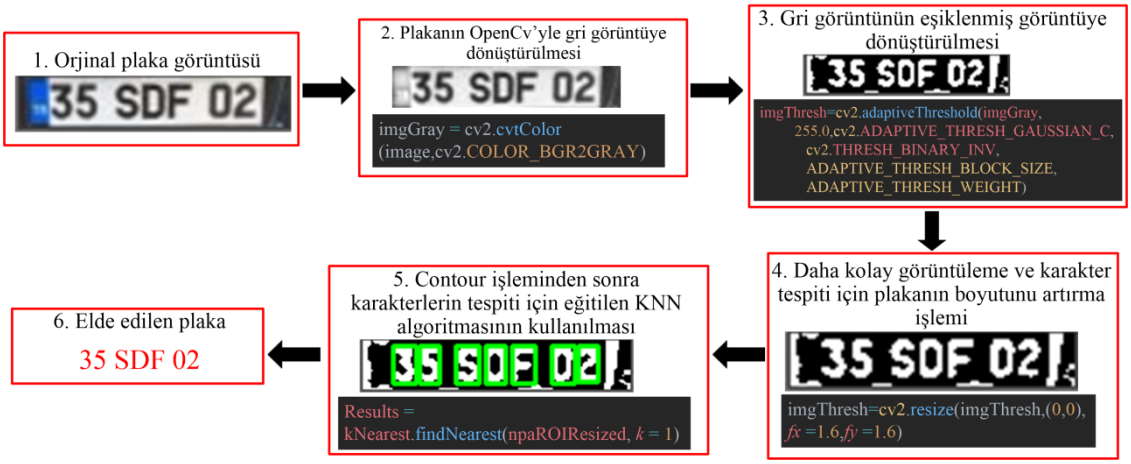
Şekil 4. a) Kenar belirleme işlemi, b) plaka metninin bulunduğu bölge
c) plakada tespit edilen karakterler

Karakter tanıma işleminden sonra elde edilen sonuçların çıktısı Şekil 5'te verilmiştir. Bu arayüzün üzerinde, analiz sonucunda görüntü verilerinin üzerinde tespit edilen metin yazdırılır. Daha fazla veri elde etmek için plakanın yanı sıra araç resmi de veri tabanına kaydedilir. Araç resmi ise daha önce belirtildiği gibi kullanıcı tarafından ekran yakalama işlemiyle kayıt edilir. Bu iki veri (plaka ve araç) farklı işlemler için kullanıcı isteğine göre geçici veya kalıcı olarak tutulur. Geçici tutma işlemi "yakalanan plakalar" ve "yakalanan araçlar" adlı klasörlerde gerçekleştirilirken kalıcı tutma işlemi ise "kayıtlı plakalar" ve "kayıtlı araçlar" adlı klasörlerde gerçekleştirilmiştir.



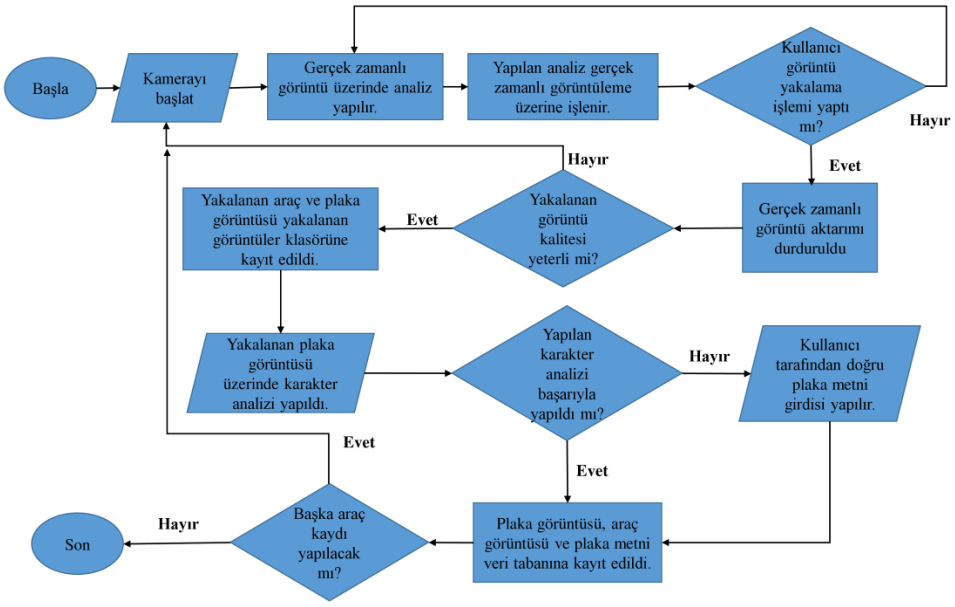
Şekil 5. a) Plaka tespiti ve plaka karakter analizi b) plaka verisinin veri tabanı kayıt işlemi

Misafir kullanıcı kalıcı tutulan bir veriyi silebilmesi için ana kullanıcı olması gerekmektedir. Sistemde tespit edilen araç ve plaka görüntüsü manuel olarak yakalanır ve yerel bir klasör içine kayıt edilir. Daha sonra görüntünün çözünürlüğü istenen değerlerde ise kullanıcı tarafından veri tabanına kayıt edilir. Araç resmi ve plaka görüntüsü, yakalanan ve kayıt edilen olmak üzere iki farklı klasörlerde tutulur. Bu sayede görüntü verilerinin fazla olması nedeniyle sistem bir veri bankası görevi de görür. Veri fazlalığının verilerin filtrelenmesinde zorluk oluşturmaması için görüntüler, analiz edilen plaka metni ile beraber kayıt edilir. Plaka analizinin işlem basamakları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Plaka analizinin işlem basamakları

Gerçek zamanlı görüntü üzerine plaka tespitinde ilk olarak uygulanan Haarcascade algoritması plaka bölgesini tespit etmektedir. Plaka bölgesinin tespitinden sonra plaka bölgesinin resmi OpenCv kütüphanesinin içerisinde bulunan ROI fonksiyonu ile kırpılmaktadır. Bu kırpılan görüntü karakter tespit etmek üzere analiz edilir ve bu analiz Şekil 6'da verilmiştir. Bu aşamaya kadar olan işlemlerin kayıt akış şeması Şekil 7'de verilmiştir. Ayrıca, araç ve drone'un hareket halinde olmasından dolayı plaka görüntüsü istenilen açıdan yakalanamayabilir ve bu durum karakter analizini ve kullanıcı tarafından okunmasını güçleştirir. Bu nedenle yakalanan görüntünün okunabilir olup olmadığı kullanıcı tarafından belirlenir.



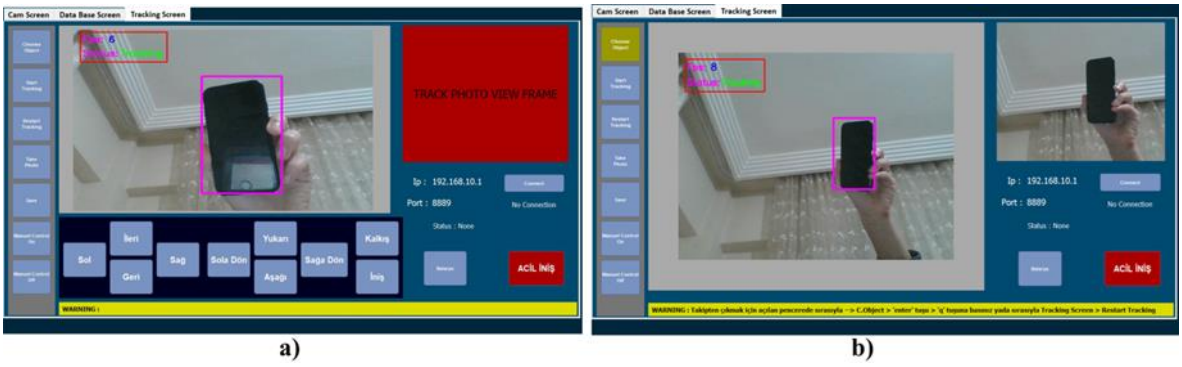
Şekil 7. Kayıt akış şeması

3. Yarı-otonom Nesne izleme

Drone'un uçuşu esnasında hem kontrolü hem de istenilen bir nesnenin izlenmesi bilgisayar üzerindeki arayüz sayesinde yapılır. Bu işlemler hem manuel hem de otonom olarak Şekil 8'de verildiği gibi yapılabilir. Uçuş başlangıçta manuel olarak başlar. Daha sonra OpenCv kütüphanesinin içerisinde bulunan selectROI fonksiyonuyla gerçek zamanlı alınan görüntü üzerinde izlenilecek nesne kullanıcı tarafından seçilir. CSRT (Channel and Spatial Reliability Tracking) yönteminin içerisinde bulunan init fonksiyonunu, gerçek zamanlı

görüntü verileri ve seçilen bölge olmak üzere iki parametreyi kullanır ve gerçek zamanlı nesneyi sürekli takip eder. Anlık takip yapabilmek için seçilen dikdörtgen alanın konum bilgileri sürekli drone üzerindeki işlemciye gönderilir. Bu CSRT yöntemi, seçili bölgenin büyütülmesi ve yerelleştirilmesi, dikdörtgen olmayan bölgelerin veya nesnelerin daha iyi izlenmesine olanak sağlar. Nesnenin uzaklaşması durumunda seçilen bu dikdörtgen bölge küçülür ve daha iyi takip yapmak için drone nesneye doğru hareket eder. Arayüz üzerindeki "start tracking" butonuyla seçilen nesne otonom olarak takip edilir.

Otonom takip esnasında bir sorunla karşılaşılır ise manuel kontrol paneline geçilebilir. Gerçek zamanlı takip edilen nesnenin yerine başka bir nesne takibi yapmak için Şekil 8a'da "restart tracking" komutu mevcuttur. Kullanıcı istediğinde anlık görüntü kayıt edebilir. Beklenmedik bir sorunla karşılaşılır ise drone acil iniş seçeneği ile kendini durdurup yere bırakacaktır. Ayrıca arayüzdeki batarya göstergesi ile mevcut batarya doluluk oranı kullanıcı ile paylaşılır ve bataryadaki enerji bitmeden kullanıcı manuel olarak cihazı geri çağırabilir. Kırmızı dikdörtgen içerisinde fps (Frame Per Second) değeri ve nesnenin takip durumu verilmiştir. Fps değeri, kameranın özelliklerine göre 5-24 arasında değişmektedir. Ekranda "tracking" ve "lost" olmak üzere iki farklı takip durumu okunabilir.



Şekil 8. Seçilen nesnenin a) manuel ve b) otonom olarak izlenmesi

Önerilen sistem, hem plaka tespiti ve karakter analizi hem de yarı-otonom nesne izleme için 100 araç üzerinde test edilmiştir ve aynı drone kullanılarak görüntüler elde edilmiştir. Deneyler açık otoparkta bulunan farklı renkte ve modeldeki araçlar üzerinden testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testler yaklaşık 2 metre yüksekliğinde ve araçtan 4-5 m uzaklığında gündüz açık havada yapılmıştır. Sistemin doğruluk oranları Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre, plaka bölgesini tespitinde başarım oranı % 90 olup, plakadaki karakterlerin tespitinde ise başarım oranı % 87.7'dir. Karakterlerin doğruluğu tespitinde bu oran, % 79.54'e düşmektedir. Bu değerler kabul edilebilir seviyededir. Elde edilen sonuçlara göre başarısız sonuçlar, plakadaki yoğun ışık yansıması, plakanın üzerinde bulunan çamur ve boya gibi çeşitli maddeler ve kamera çözünürlüğünden kaynaklanmış olabilir. Elde edilen bu başarım oranlarını artırmak için algoritma büyük bir eğitim veri setiyle eğitilmelidir. Ayrıca, test işlemleri genellikle kapalı ortamda yapılmıştır. Bunun sebebi ise kullanılan kameranın ışık hassasiyetinin yüksek olmasıdır. Daha yüksek kamera kalitesine sahip bir drone ile ışık hassasiyeti sorunu kolaylıkla çözülebilir. 4K çekim özelliğine sahip FPV (First Person Video) kamera kullanmak yeterlidir.

Literatürdeki benzer çalışmaların performanslarının karşılaştırılması Tablo 2'de verilmiştir. Buna göre plaka tespiti için yapay sinir ağları (YPA) ve çeşitli algoritmalar kullanılmıştır. Evrişimsel sinir ağlarında başarım oranı, YPA'na göre daha yüksektir. Nesne takibinde ise YSA, YOLO algoritması ve CSRT tracking algoritması kullanılabilir.

Tablo 1. Sistemin doğruluk oranları

İşlemler	Test sayısı	Başarılı sonuç	Başarım oranı
Plaka bölgesini tespiti	100	90	% 90
Plakadaki karakterlerin tespiti	90	79	% 87.7
Plakadaki karakterlerin doğruluğunun tespiti	88	70	% 79.54
Otonom nesne izleme	100	85	% 85

Tablo 2. Literatür karşılaştırması

Referans	Uygulama alanı	Kullanılan yöntem	Başarım oranı
[1]	Plaka tespiti	Blob cloring	%95
[5]	Plaka tespiti	Edge detection and smearing algoritması	%92
[6]	Plaka tespiti	Yapay sinir ağları (YPA)	%86
[7]	Plaka Tespiti	Çok katmanlı algılayıcılar (MLP)	%88
[8]	Plaka tespiti	Evrişimsel sinir ağları	%98
[12]	Nesne takibi	Yapay sinir ağları (YPA)	%88
[13]	Nesne takibi	YOLO algoritması	%76
Bu çalışma	Plaka tespiti ve nesne takibi	KNN algoritması ve CSRT tracking algoritması	%90-%85

4. Sonuç

Günlük hayatımızın ayrılmaz bir parçası olan araçların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum araçların takibinin ve plakalarının tespitini gerekli kılmaktadır. Bu takibin ise otomatik yapılması iş gücü ve ekonomik açılardan büyük kolaylık sağlayacaktır. Ayrıca sadece araçlar değil birçok nesnenin takibinin yapılması her alanda gerekli bir ihtiyaçtır. Bu çalışmada dört rotorlu bir DJI Tello Drone kamerası ile elde edilen görsel verileri görüntü işleme algoritmalarıyla hareketli bir hedefin tespit ve takip sistemi önerilmiştir. Drone'un çalışma sistemi yarı-otonom olarak gerçekleştirecek şekilde hazırlanmıştır. Otonom drone, gerçek zamanlı tespit ettiği aracın; kayıt tarihi, plaka metni, plaka resmi, araç resmi ve takip resmi olmak üzere beş veri kaydetmektedir. Drone'nun takip yüksekliği ve takip mesafesi istenilirse manuel olarak ayarlanabilmektedir ve veri tabanına kayıt edilen her veri, yedeklenebilir ve kullanıcıya mail olarak gönderilebilir. Çalışmada Python programlama dili kullanılmıştır. Sonuçları incelendiğinde plaka tanımada %79.54 nesne takip sisteminde ise %85 oranında başarı elde edilmiştir. Veri tabanında elde edilen bilgiler ile okunan plakalar karşılaştırıldığın da ise sistemin düşük hata oranıyla çalıştığı tespit edilmiştir. Nesne izlemede veri kaybı ve gecikmeler yaşanmaması için takip edilen nesne ile drone arasındaki mesafenin mümkün oldukça yakın olmasına dikkat edilmelidir. Plaka görüntüsü yapılamayan aracın otonom sistemle plakasının elde edilmesi mümkündür. Plaka analizi ve araç takibinin yanı sıra dur ihtarına uymayan şüphelilerin de otonom takibi yapılabilmektedir. Sabit kamerayla tek açıdan yapılan kayıtlar için daha fazla sayıda kameraya ihtiyaç olduğu açıktır ve bu görüntülerin elde edilmesi ve izlenmesi maliyeti artırır. Sabit kameranın avantajı ise enerjinin sürekli sağlanabilmesidir.

Teşekkür

Bu araştırma, "Yarı otonom drone ile araç takibi ve nesne izleme" başlıklı 2209-A proje olarak TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

[1] Çevik K.K. Yapay zekâ yöntemleri ile araç plaka tanıma sistemi. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2010.
[2] Ceylan A. Dört rotorlu hava aracı ile görme tabanlı nesne takibi, Yüksek lisans tezi, Fırat üniversitesi, Elazığ, 2018.
[3] Kaplan A, Gerçek ve yarı zamanlı yüz tespit etme, Yüksek lisans tezi, Fırat üniversitesi, Elazığ, 2018.
[4] Dilmen H, Santur Y, Baysal H, Talu F. M. Multi rotor robotlar için oto pilot yer kontrol birimi, ELECO 2014 Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu; 27 - 29 Kasım 2014; Bursa. 764-766.
[5] Özbay S. Automatic vehicle identification by plate recognition. Master school thesis, Gaziantep University, Gaziantep, 2006.
[6] Çelik U, Oral M. Motorlu araç plaka görüntülerinden karakter ayrıştırma ve tanıma, IJCI Proceedings of International Conference on Signal Processing; Eylül 2003; 453-456.
[7] Günaydın G. Ö. A constraint based real-time license plate recognition system, Master school thesis, Middle East Technical University, Ankara, 2007.
[8] Bayram F. Derin öğrenme tabanlı otomatik plaka tanıma, Politeknik dergisi, 2020, Cilt:23, Sayı:4, 955-959.

[9] Hanbay K. Üzen H. Nesne tespit ve plaka öğrenme metotları, Türk Doğa ve Fen Dergisi, Cilt:6, Sayı:2, 40-47.
[10] Djı, Tello sdk 2.0 User Guide. Kasım 2018, URL https://dl-cdn.ryzerobotics.com/downloads/Tello/Tello%20SDK%202.0%20User%20Guide.pdf, 2021.
[11] N. S. Altman. An introduction to kernel and nearest neighbor nonparametric regression, Thesis, Cornell University, New York, 1991.
[12] Altundoğan T. G Karaköse M. Derin yapay sinir ağları kullanan dinamik bulanık bilişsel haritalarla çoklu görüde nesne takibi, Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 2021, Cilt:33, Sayı:2, 456-469.
[13] Li-Yu-Lo. Chi Hao Yiu. Yu Tang. An-shik Yang. Boyang Li. Chih-Yung Wen. Dynamic Object Tracking on Automonous UAV System for Surveillance Applications, Sensors21, Cilt:21 Sayı:23, 3-20.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 505-516, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1074221

Yeni Betonarme Binalar için Etkin Kesit Rijitlikleri ve Statik İtme Analizleri

Ömer Faruk TAŞ[1] , Erkut SAYIN[1*], Mehmet Emin ÖNCÜ[2]
[1] İnşaat Mühendisliği, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elazığ, Türkiye
[2] İnşaat Mühendisliği, Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Diyarbakır, Türkiye
[1] oftas@firat.edu.tr, [*1]esayin@firat.edu.tr, [2] oncume@dicle.edu.tr

(Geliş/Received: 24/02/2022; Kabul/Accepted: 02/08/2022)

Özet: Depremler, insan hayatına dolaylı veya doğrudan etki eden doğal afetlerdir. Son yıllarda meydana gelen depremlerin olumsuz etkilerinden dolayı betonarme yapıların performansa dayalı tasarımı giderek önem kazanmıştır. Güncel deprem yönetmeliklerinde, kuvvet esasına dayanan yöntemler yerine, şekil değiştirmeye göre tasarım kullanılmaya başlanmıştır. Betonarme yapıların doğru tasarlanabilmesi için betonarme elemanların doğru anlaşılması gerekir. Eleman davranışları ise kesit davranışlarının tespit edilmesine bağlıdır. Çalışma kapsamında kolon kesitlerin davranışı, malzemelerin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınarak moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilmiştir. Betonarme kolonların farklı eksenel yük seviyeleri için moment eğrilik ilişkileri, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) beton modeli dikkate alınarak elde edilmiştir. Değişen parametrelerin kolon davranışı üzerindeki etkisi etkin kesit rijitliği açısından değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, 3, 5, 7 ve 10 katlı betonarme konut tipi yapılar incelenmiştir. Şekil değiştirme esasına dayanan yöntemlerden biri olan doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemi, TBDY 2018 esasları dikkate alınarak uygulanmıştır. Kolon ve kirişlerin doğrusal olmayan malzeme davranışları, kesit tasarımları ve plastik mafsal özelliklerinin hesabı XTRACT programıyla yapılmıştır. XTRACT programından elde edilen bu bilgiler, SAP2000 programında tanımlanmıştır. Bina modelleri ve analizleri SAP2000 sonlu elemanlar programıyla yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu tasarlanan betonarme kolon kesitlerde, kat adedi değişimiyle kolon elemanların etkin kesit rijitliklerindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca kat adedi değişiminin statik itme analizi sonucu oluşan taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Statik itme analizleri ile taban kesme kuvvetlerinin binaların ağırlıklarına oranı (V_t/W), binaların kat adedinin artmasıyla azaldığı görülmüştür. Binanın toplam yüksekliği (kat adedi) arttıkça, performans noktasına karşı gelen tepe yer değiştirme değerlerinde artış görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Betonarme Yapılar, Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi, SAP2000

Effective Section Stiffnesses and Static Pushover Analysis for New RC Buildings

Abstract: Earthquakes are natural disasters that directly or indirectly affect human life. Performance-based design of reinforced concrete structures has become increasingly important due to the negative effects of earthquakes in recent years. In current earthquake regulations, instead of force-based methods, deformation-based design has started to be used. Reinforced concrete elements must be understood correctly in order to design reinforced concrete structures correctly. The element behaviors depend on the determination of the section behaviors. Within the scope of the study, the behavior of the column sections was obtained from the moment-curvature relations considering the non-linear behavior of the materials. Moment curvature relations of reinforced concrete columns for different axial load levels were obtained by considering the Turkish Building Earthquake Code (TBEC 2018) concrete model. The effect of changing parameters on column behavior was evaluated in terms of effective section stiffness. In this study, reinforced concrete type buildings with 3, 5, 7 and 10 floors were examined. Nonlinear static pushover analysis method, which is one of the methods based on shape change, was applied by taking into account the principles of the Turkey Building Earthquake Regulation (TBEC 2018). Nonlinear material behavior of columns and beams, section designs and calculation of plastic hinge properties were made with XTRACT program. This information obtained from XTRACT program was defined in the SAP2000 program. Building models and analyzes were made with the SAP2000 structure and analysis program. As a result of the analysis, the change in the effective section stiffness of the structural system elements with the increase in the number of floors in reinforced concrete buildings was examined. In addition, the relationship between the base shear force and top displacement resulting from the static pushover analysis of the number of floors change was investigated. Static pushover analysis showed that the ratio of the base shear forces to the weights of the buildings (V_t/W) decreased as the number of floors of the building increased. As the total height of the building, that is, the number of floors, increased, the top displacement values corresponding to the performance point increased.

Keywords: Reinforced Concrete Structures, Nonlinear Static Pushover Analysis, SAP2000

[*] Sorumlu yazar: esayin@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0002-1431-5316, [2] 0000-0003-0266-759X, [3] 0000-0001-6434-293X

1. Giriş

Türkiye jeolojik olarak genç ve yeryüzünün en aktif deprem kuşaklarından birinde bulunmasından dolayı sıklıkla depremler meydana gelmektedir. Oluşan bu depremlerde can ve mal kayıpları yaşanabilmektedir. Yaşanan bu kayıplar sebebiyle, risk altındaki bölgelerde bulunan mevcut yapıların ve yeniden inşa edilecek yapıların, olası depremlerde nasıl davranış göstereceği önemlidir. Bu durum, yapıların deprem performanslarının incelenmesini gerektirmiştir [1]. Yapıların performansa dayalı tasarımı ilk defa 1996 yılında yayınlanan Betonarme Binaların Sismik Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi (ATC 40) [2] ve 2000 yılında yürürlüğe giren Binaların Sismik İyileştirilmesi için Önstandart ve Açıklamalar (FEMA 356) [3] gibi standartlarda yer almıştır. Türkiye'de ise ilk olarak yapıların performansa dayalı tasarımı, mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi şeklinde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007)'de yer almıştır [4]. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)'nin yürürlüğe girmesiyle DBYBHY 2007'den farklı olarak yeni yapılacak binaların deprem performanslarının belirlenmesi kavramına ilk defa yer verilmiştir [5]. Yeni yapılacak binaların deprem performansının belirlenmesiyle mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi arasındaki en ayırt edilebilir farklardan biri etkin kesit rijitlik çarpanlarının hesaplanması ile ilgilidir. Mevcut binaların taşıyıcı elemanlarının etkin kesit rijitlik çarpanları TBDY 2018'de dördüncü bölümde belirtilmiştir. Yeni yapılacak binaların tasarımında ise taşıyıcı elemanların her bir kesiti için ayrı ayrı moment eğrilik analizlerinin yapılması gerektiği belirtilmiştir. Literatür incelendiğinde mevcut binaların deprem performanslarının tespiti ile ilgili birçok çalışma yapılmış olup bunların büyük çoğunluğu DBYBHY 2007 yönetmeliği esas alınarak yapılmıştır [6-15].

Güncel yönetmeliğin yayınlanması ile binaların deprem performanslarının bu yönetmeliğe göre değerlendirilmesi hakkında çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. İbiş ve Ulutaş [16], TBDY 2018'i esas alarak yapılan ve yapım aşamasında olan betonarme binanın doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinden tek modlu statik itme yöntemi ile yapıların performans düzeyini belirlemişlerdir. Kap vd. [17], Düzce ve Marmara depremlerinden etkilenmiş olan bir okul binasının, TBDY 2018 yönetmeliğine göre performans analizini yapmışlardır. Çapa [18], TBDY 2018'de verilen iki farklı değerlendirme yöntemine göre (doğrusal ve doğrusal olmayan) farklı kat adetlerine sahip betonarme binaların deprem performanslarını incelemiştir. Kürkçü [19], çalışmasında güncel yönetmeliği dikkate alarak çok katlı betonarme bir binanın deprem performansını zaman tanım alanında hesap yöntemi ile incelemiştir. Akçora [20], yaptığı çalışmada betonarme çerçeve ve çekirdek perdelerden oluşan yüksek bir yapının 3 boyutlu sonlu elemanlar modelini SAP2000 ve ETABS programları ile oluşturmuştur. Oluşturduğu modeli zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemini uygulayarak farklı ivme kayıtları altında analizini yapmıştır. Analizler sonucu plastik şekil değiştirmeler ve dönme değerlerinin TBDY 2018'de verilen sınırları sağladığını tespit etmiştir. Kurt ve Tonyalı [21], TBDY 2018'e göre yapılan dört katlı ve üç açıklıklı bir betonarme çerçeve sisteminin performansa dayalı tasarımı üzerinde çalışmışlardır. DD-2 seviyesindeki deprem için modelini oluşturdukları betonarme çerçeve sisteminin lineer olmayan statik itme analizini yapmış ve yönetmelikte hedeflenen performans kriterlerine sahip olup olmadığını belirlemişlerdir. Taş [22], TBDY 2018 yönetmeliğini dikkate alarak kat adetleri farklı betonarme binaların taşıyıcı elemanlarının etkin kesit rijitlik değerlerini hesaplamıştır. Ayrıca incelenen binalara doğrusal olmayan tek modlu statik itme metodu uygulamış ve bu binaların performans düzeylerini belirlemiştir. İncelenen tüm binalarda kolon ve kirişler belirgin hasar bölgesinde kalmış ve kontrollü hasar düzeyini sağlamıştır. Çavdar [23], İstanbul'da bulunan mevcut altı katlı betonarme perde + çerçeveli bir yapının güncel yönetmeliğe göre performans analizini yapmıştır. Sucuoğlu [24], çalışmasında sismik tehlike haritaları, binalar için genel tasarım kuralları, kuvvete dayalı tasarımın temel yönleri ve deformasyona dayalı değerlendirme konularını incelemiştir. İnel ve Meral [25], düşük ve orta katlı binaları temsil etmesi için 2, 4 ve 7 katlı toplam 144 adet binayı modellemişlerdir. Dolgu duvar katkısı, yumuşak kat ve kapalı çıkma düzensizliklerini incelemişlerdir. Her bir yapı statik itme analizine tabi tutulmuş ve yapılara ait kapasite eğrileri hesaplanmıştır. Elde ettikleri deplasman taleplerini içeren yapısal parametreler ile bina periyotlarının değişimini incelemişlerdir. Urbanski vd. [26], çalışmasında çerçeve bina üzerinde statik itme analizi uygulamış ve elde ettiği sonuçları değerlendirmiştir. Ferraioli [27], betonarme çerçeve yapılar üzerinde doğrusal olmayan statik itme ve doğrusal olmayan artımlı dinamik analizleri kullanarak bu yapıların performans analizini yapmıştır. Bu amaçla, Avrupa ve İtalya sismik kodlarına göre yüksek süneklik sınıfı için tasarlanmış üç, beş, yedi ve dokuz katlı düzgün betonarme çerçeveleri incelemiş ve elde ettiği sonuçları tartışmıştır. Shekhar vd. [28], üç boyutlu altı katlı, iki boyutlu iki katlı betonarme yapıların itme analizlerini yaparak, taşıyıcı elemanların hangi performans düzeyini sağladığını tespit etmeye çalışmıştır.

Bu çalışmada, TBDY 2018 yönetmeliği esas alınarak 3, 5, 7 ve 10 katlı yeni yapılacak betonarme konut tipindeki binalara doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden olan tek modlu statik itme (pushover) analiz yöntemi uygulanmıştır. Taşıyıcı elemanlara ait beton ve çelik malzemelerin tanımlanması ve etkin kesit rijitliklerinin

belirlenmesinde XTRACT programından faydalanılmıştır. Binalar üç boyutlu olarak SAP2000 programıyla modellenerek statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Her binaya ait taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi değerleri hesaplanarak itme eğrileri elde edilmiştir. Kolon kesitlerde, kat adedi değişimiyle kolon elemanların etkin kesit rijitliklerindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca kat adedi değişiminin tek modlu statik itme analizleriyle elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Deprem yönetmeliklerinde "doğrusal ve doğrusal olmayan" hesap yöntemleri, yapıların tasarım ve değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Kuvvete dayalı yaklaşım, doğrusal hesap yöntemlerinde ele alınırken şekil değiştirmeye dayalı yaklaşım, doğrusal olmayan hesap yöntemlerinde kullanılmaktadır. Şekil değiştirmeye göre tasarımın doğru incelenebilmesi ise taşıyıcı sistemin özelliklerinin iyi anlaşılmasıyla mümkündür. Taşıyıcı sistemde bulunan eleman davranışları da kesit davranışlarını incelemeyi gerektirir. Bu çalışmada kesit davranışlarının belirlenmesinde moment-eğrilik ilişkilerinden faydalanılmıştır. Moment-eğrilik ilişkisi ise, oluşturulacak beton modeli, çelik modeli, donatı düzeni, farklı eksenel yükler ve açılar altında yapılan analizler sonucu elde edilmiştir. Deprem etkisi altındaki betonarme yapıların, deprem performanslarını etkileyen faktörlerden birisi de çatlamış kesite ait etkin kesit rijitliklerinin (EI_e) dikkate alınmasıdır. Bu rijitliklerin doğru hesaplanması, kesitlerin doğrusal olmayan bir yöntemle çözülmesini kolaylaştıran faktörlerden biridir.

Bu çalışma kapsamında, kat adetleri farklı yeni betonarme binaların kolonlarının çatlamış kesitlerine ait etkin kesit rijitlikleri (EI_e), moment-eğrilik ilişkisinden elde edilen yığılı plastik davranış kabulüne göre belirlenmiştir. XTRACT [29], betonarme kesitlerin lineer olmayan malzeme davranışlarını dikkate alan ve yığılı plastik mafsal analizi yapabilen bir programdır. Bu program, düzenli dikdörtgen kesitler, dairesel, simetrik dörtgen kesitler ve asimetrik kesitleri de çözebilir. Bu çalışmada XTRACT programı ile betonarme kolon ve kiriş elemanlarının moment-eğrilik analizleri elde edilmiştir. Moment-eğrilik analizlerinden elde edilen grafikler aynı program yardımıyla idealize edilmiştir.

Kolonlar ve kirişler, SAP2000 [30] sonlu elemanlar programında doğrusal olmayan çerçeve elemanlar olarak modellenmiştir. Bu çalışmada, yığılı plastik mafsal modeli kullanılmıştır. Kolon ve kirişlerin her iki ucuna da yığılı plastik mafsal yöntemine göre mafsallar atanmıştır. Plastik mafsal özellikleri kullanıcı tarafından tanımlanmıştır. Kullanıcı tanımlı mafsal özelliklerinin tanımı, her bir eleman için moment-eğrilik analizini gerektirir. Bu çalışmada, her kesit için akma yüzeylerini belirlemek amacıyla yine XTRACT programı kullanılarak 0, 45 ve 90 derecelik yükleme açılarının etkisi altında kolonlar için 3 farklı eksenel yük-moment (PM) etkileşim diyagramı gerçekleştirilmiştir.

3. Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri

Doğrusal olmayan davranış modelleri, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY 2018)'de, yığılı ve yayılı plastik davranış modeli ile belirtilmiştir [5].

4. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

Doğrusal olmayan hesap yöntemleri güncel yönetmeliğimizde statik itme yöntemleri (tek ve çok modlu hesap yöntemleri) ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi olarak tanımlanmıştır [5].

4.1. Statik İtme Yöntemleri

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerini esas alan statik itme yöntemi, kuvvetlerin etkisi altındaki binaların deprem davranışının tespit edilmesinde kullanılır. Pratik bir metot olan statik itme yönteminin altyapısı sağlam bilimsel temellere dayanır. Yapılara yatay kuvvetlerin uygulanması ve bu kuvvetlerin belirli bir sınır değere kadar arttırılması esasına dayanır. Bu sınır değer, önceden tespit edilen bir yatay yer değiştirme de olabilir stabilitenin bozulmaya başladığı bir sınır değer de olabilir [31-34].

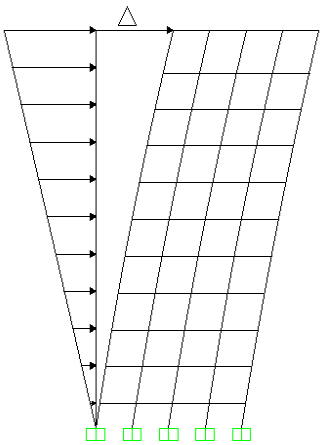
Binalara uygulanacak doğrusal olmayan statik itme analizlerinde yatay yükler, farklı yük desenleri kullanılarak uygulanabilir. Bu yük desenleri, yapı davranışlarına bağlı olup ATC-40'da uygulama yöntemleri belirtilmiştir. Binaya uygulanacak yatay yükün tamamının en üst kat seviyesinden etki ettirilmesi, eşdeğer deprem yükü yönteminden elde edilen deprem yüklerinin her kat seviyesinden uygulanması, hâkim modun hüküm sürdüğü binalarda deprem yüklerinin kat seviyesinden uygulanması itme şekillerindendir [2].

TBDY 2018'de doğrusal olmayan statik itme yöntemi, tek modlu veya çok modlu itme yöntemleri olarak iki farklı şekilde belirtilmiştir. Deprem hesaplarında çok modlu itme yöntemi de uygulanabilir. Ancak bu yöntemin uygulanabilmesi için Bina Yükseklik Sınıfının (BYS ≥ 2) olması gerekir [5].

Bu yöntemlerin her adımında yapıya ait itme eğrisi (pushover curve) elde edilir. Bu eğri, doğrusal olmayan yöntemle hesaplanan taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi ilişkisini gösterir. Bu çalışmada doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden tek modlu statik itme (pushover) analiz yöntemi esas alınmıştır.

TBDY-2018 doğrusal olmayan yöntemlerden olan tek modlu statik itme yönteminin (Şekil 1) uygulanabilmesi için bazı şartlar öne sürmüştür. Bu şartları aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür:

1) Tek Modlu İtme Yönteminde (BYS ≥ 5) olmalıdır.
2) Burulma düzensizliği katsayısı ηbi <1.4 şartını sağlamalıdır.
3) Mevcut deprem doğrultusunda hâkim titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlesinin toplam bina kütlesine oranı en az 0.70 olması zorunludur [5].



Şekil 1. Tek modlu itme yöntemi

Yükseklikleri bakımından sınıflandırılan binalar birçok Bina Yükseklik Sınıfına (BYS) ayrılmıştır. Bu yükseklik sınıfları belirlenirken deprem tasarım sınıfı (DTS) Tablo 1 ve bina yüksekliği (H_N) ile birlikte Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) Tablo 2'den tespit edilir [5].

Tablo 1. Deprem tasarım sınıfları (DTS) [5]

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (SDS)	Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Tablo 2. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanmış bina yükseklik aralıkları [5]

Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 7.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

TBDY 2018'e göre doğrusal olmayan tek modlu statik itme analizinden önce düşey yükler hesaplanmalı ve yapıya aşamalı olarak uygulanmalıdır. Bu kontrol, itme analizinin başlangıç koşullarıdır. Bu analizin ilk adımı olan düşey yükler Denklem 1'de verilmiştir.

$$G + nQ + 0.3E_d^{(Z)} \quad (1)$$

Bu denklemde G toplam ölü yükü, n hareketli yük katılım faktörünü, Q binanın katlarındaki toplam hareketli yükleri, $Ed^{(Z)}$ düşey deprem etkisini tanımlamaktadır. Düşey deprem etkisi $Ed^{(Z)}$ Denklem 2'den elde edilir.

$$E_d^{(Z)} = \frac{2}{3} S_{DS} G \quad (2)$$

Burada S_{DS}, binanın kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısını temsil eder. S_{DS} değeri, binanın yer hareketi seviyesi, binanın koordinatı ve zemin sınıfına göre Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından alınmaktadır. TBDY 2018'e göre konut binaları için n = 0.3 alınmalıdır. $Ed^{(Z)}$'nin değeri Denklem 1'de yerinde yazılırsa Denklem 3 elde edilir.

$$G(1+0.2 \times S_{DS}) + nQ \quad (3)$$

4.1.1 Hedef Deplasman Seviyesinin Belirlenmesi

Doğrusal olmayan statik itme analizi yönteminde, binalar x ve y yönlerinde hedef deplasman seviyesine kadar itilerek taşıyıcı elemanların hasar seviyesi belirlenebilir. Böylece, binaların kapasite eğrisi ve talep spektrumu çizilerek hedef deplasman seviyesi tespit edilir. Kapasite eğrisi ve talep spektrumunu aynı koordinat ekseninde göstermek mümkün değildir. Bu nedenle tasarım depremi spektrum eğrisine dönüştürülerek modal yer değiştirme talebi belirlenir ve performans noktaları tespit edilir. Tasarım depremi spektrum eğrisine dönüştürülerek modal yer değiştirme talebi ve performans noktaları belirlenmektedir. Bu deplasman talebine göre binanın taşıyıcı sistemi tekrar itilerek plastik mafsallar bulunur.

4.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden olan zaman tanım alanında analiz yönteminde, deprem yer hareketinin etkisinde bulunan taşıyıcı sistemlerin hareket denklemlerini belirten denklemlerin zaman artımlarıyla adım adım olacak şekilde doğrudan integrasyonunu ifade eder Bu yöntemin yüksek binalar için (BYS=1 olan binalarda) kullanılması zorunludur [5].

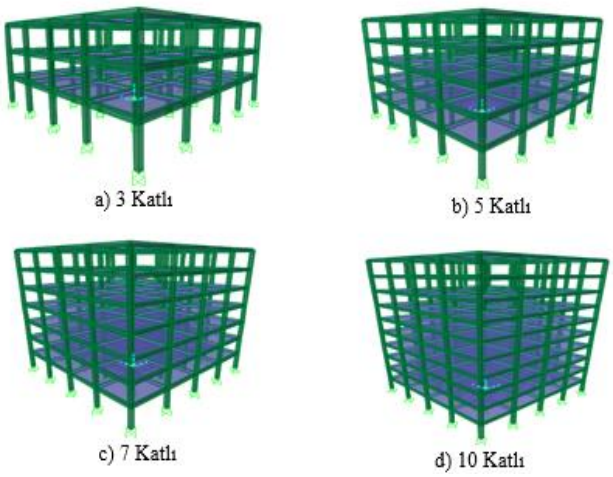
5. Sayısal Çalışma

Bu çalışma kapsamında 3, 5, 7 ve 10 katlı yeni tasarlanacak betonarme konut tipi binalar incelenmiştir. Bu binaların tasarımı TBDY 2018 esaslarına ve TS500'e göre yapılmıştır [5, 35]. Yüklemelerde ise TS 498 [36], dikkate alınmış ve kat hizalarında rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Taşıyıcı sistem, süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem olarak tasarlanmıştır. Binaların deprem hesaplarında doğrusal olmayan tek modlu statik itme yöntemi kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanları çubuk eleman olarak programa atanmıştır. Kolon elemanların zemine ankastre bağlı olduğu kabulü yapılmıştır. Binaların 3 boyutlu sonlu eleman modellerinin oluşturulmasında SAP2000 programı kullanılmıştır. Binaların kalıp planları, beton ve donatı özellikleri aynı olup karakteristik özellikleri Tablo 3'de verilmiştir. Tüm kesitler için donatı çeliği olarak B420C çeliği, beton sınıfı olarak ise C30 dikkate alınmıştır.

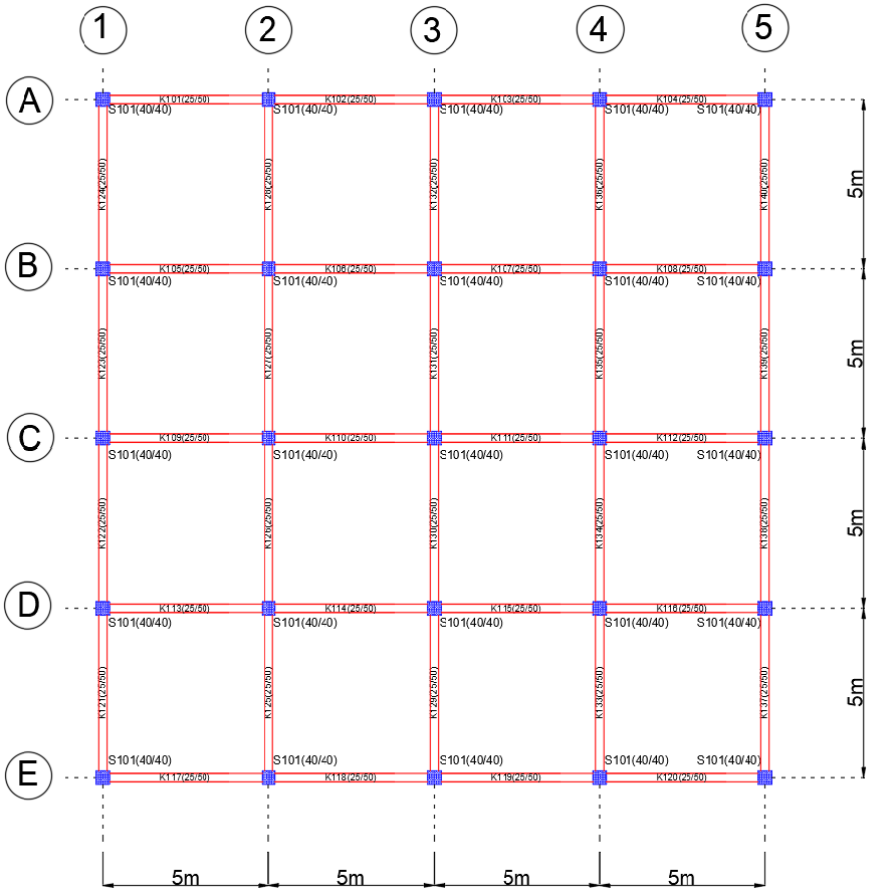
Tablo 3. Binaların karakteristik özellikleri

Binaların boyutları:	20 m (x doğ.) / 20 m (y doğ.)
Aks sayısı	x ve y doğrultusunda 5 adet
Binaların eksen açıklıkları	x ve y doğrultusunda 5 m
Binaların kat adedi ve yüksekliği	(3,5,7 ve 10) / 3 m
Döşeme kalınlıkları	0.12 m

SAP2000 programında hazırlanan binaların 3 boyutlu sonlu eleman modelleri Şekil 2'de, tipik kat planı ise Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Betonarme binaların 3 boyutlu sonlu eleman modelleri



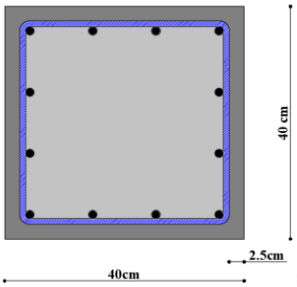
Şekil 3. Binaların tipik kat planı

5.2. Plastik Mafsal Özelliklerinin Tespit Edilmesi

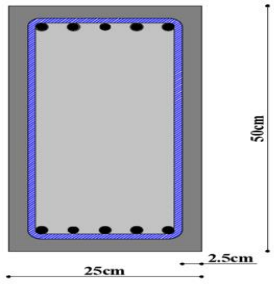
Plastik mafsal özelliklerinin bilinmesi, taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelebilecek hasarların belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada doğrusal olmayan malzeme özelliklerini tanımlamak ve plastik mafsal özelliklerini elde edebilmek için XTRACT programı kullanılmıştır. İlk olarak bu program ile beton ve çelik malzemelerin özellikleri tanımlanmıştır. Taşıyıcı elemanların plastik mafsal özellikleri belirlenip kolon ve kiriş elemanların plastik mafsal kesitleri oluşturulmuştur. Kolon ve kiriş kesitlerin pas payı, etriye bilgisi (çapı, sayısı, donatı düzeni) düzenlenmiştir. Betonarme kiriş elemanlarda eksenel kuvvet ihmal edildiğinden dolayı plastik mafsal olarak M3 plastik mafsalı kullanılmıştır. Betonarme kolon elemanlarda ise eğilme momentinin yanında eksenel kuvvetinde etkisi görüldüğünden P-M2-M3 plastik mafsalı kullanılmıştır. Kolon elemanlarda 0, 45 ve 90 derece açı altında olmak üzere 3 farklı akma yüzeyi tanımlanması yapılmıştır. Plastik mafsallar oluşturulduktan sonra bu kesitler, SAP2000'de oluşturulan binaların 3 boyutlu sonlu elemanlar modelindeki ilgili kesitlere atanmıştır. Böylece kolon ve kirişlerin her iki ucuna plastik mafsallar atanmıştır [37].

5.3. Malzeme ve Kesit Özellikleri

Tüm bina modellerinde 40x40 cm kolon kesiti seçilmiştir. Kolon kesitlerde 12Ø14 boyuna donatı kullanılmıştır. Kolonlarda enine donatı olarak, Ø10/100 kullanılmıştır (Şekil 4). Kiriş kesitleri ise tüm bina modellerinde aynı olup 25x50 cm seçilmiş ve bu kesitlerde 10Ø12 boyuna donatı kullanılmıştır. Kirişlerde enine donatı olarak ise Ø10/100 seçilmiştir (Şekil 5).

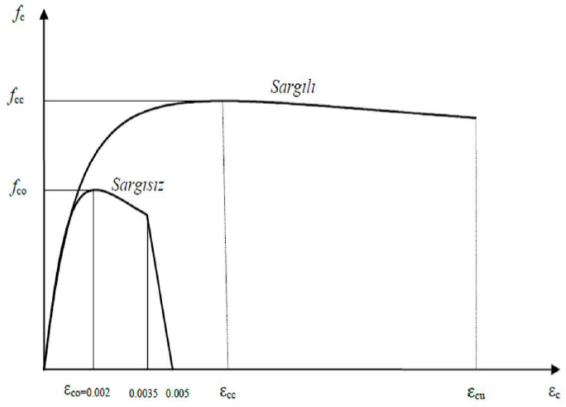


Şekil 4. Kolon kesiti

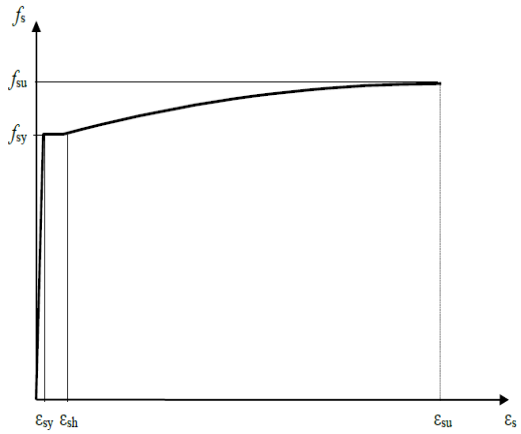


Şekil 5. Kiriş kesiti

Çelik ve betonun elastisite modülleri sırasıyla 200.000 MPa ve 32.000 MPa olarak alınmıştır. Moment-eğrilik analizleri için, TBDY 2018'in önermiş olduğu sargılı ve sargısız beton modeli, çelik için ise pekleşmeli donatı çeliği modeli uygulanmıştır. Sargılı ve sargısız beton modelleri ve pekleşmeli donatı çeliği modeli sırasıyla Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.



Şekil 6. TBDY-2018 tarafından önerilen ve sargılı ve sargısız betonlar için üretilen model [5]



Şekil 7. TBDY-2018 tarafından önerilen pekleşmeli donatı çeliği modeli [5]

5.4. Etkin Kesit Rijitliklerin Hesabı ve Sisteme Atanması

Güncel yönetmeliğimize göre yığılı plastik davranış modeli için yeni yapılacak binalarda taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlikleri Denklem 4'e göre tespit edilmektedir [5].

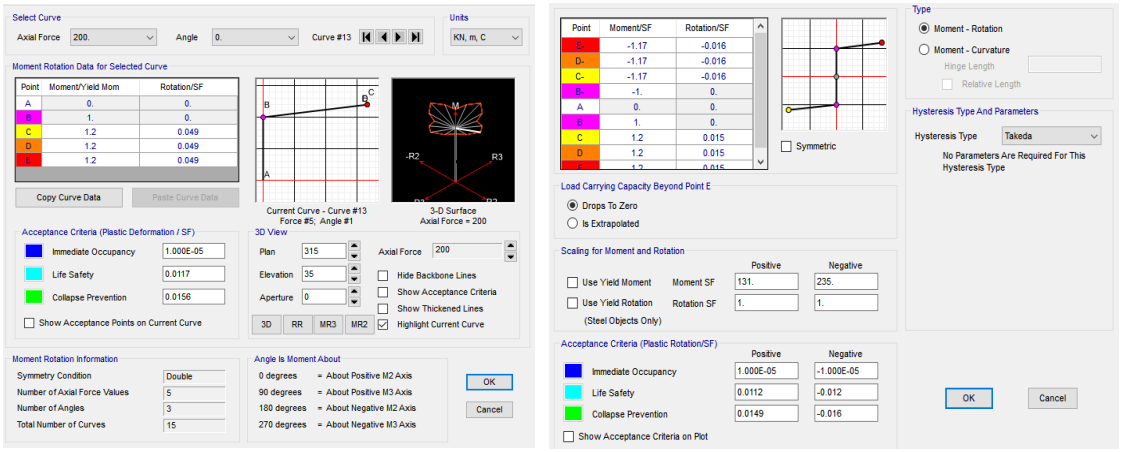
$$(EI)_e = \frac{M_y}{\theta_y}\frac{L_s}{3} \tag{4}$$

Yukarıdaki denklemde M_y etkin akma momentlerinin ortalamasını, L_s kesme açıklığını (kesitteki moment/kesme kuvveti oranı) ifade etmektedir. θ_y ise akma dönmesini gösterir. XTRACT programıyla kolon ve kiriş elemanların etkin akma momentleri (M_y), moment eğrilik analizleri ile elde edilen grafikler ve bu grafiklerin bilineer durumları elde edilmiştir. Akma dönmeleri (θ_y) ise Denklem 5'e göre hesaplanmıştır.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta\left(1 + 1.5\frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \tag{5}$$

Burada ϕ_y plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğriliğidir. Bu değer XTRACT programından elde edilen moment-eğrilik analizleri sonucu bulunmuştur. Güncel yönetmelik kiriş ve kolonlarda η =1 alınmasını istemiştir. h ise kesit yüksekliğidir. Donatı sıyrılması dönmesini ifade eden d_b ise mesnede (düğüm noktasına veya temele) kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapını, f_{ce} betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımını, f_{ye} ise donatının ortalama akma dayanımını göstermektedir [5].

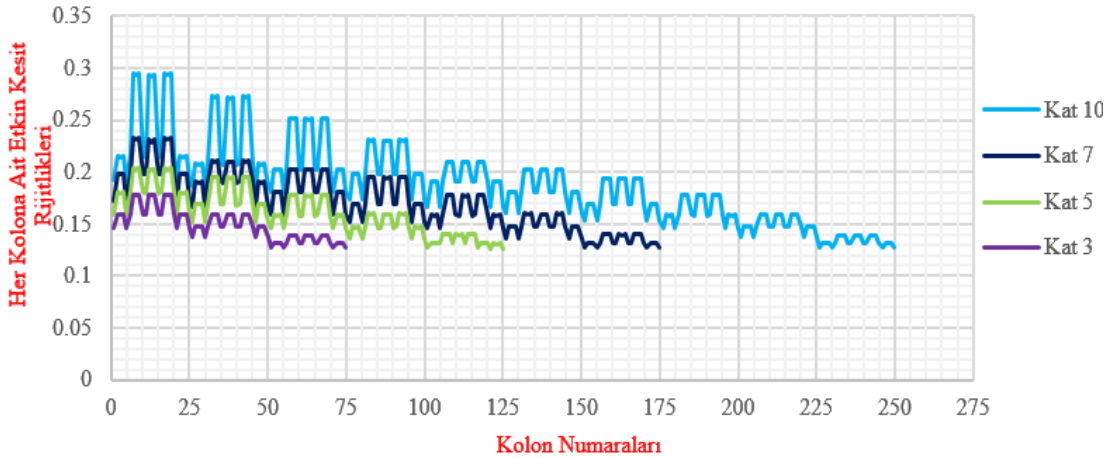
Taşıyıcı elemanların plastik mafsal özellikleri ve etkin kesit rijitlikleri SAP2000 programına tanımlanmıştır. SAP2000'e girilen bu değerler için XTRACT programından elde edilen kesit analizleri ve ilgili yönetmelik dikkate alınmıştır. Kolon ve kiriş elemanların plastik mafsal özelliklerinin SAP2000 programına tanımlanması işlemi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Taşıyıcı elemanların plastik mafsal özelliklerinin SAP2000'e tanımlanması

Böylece güncel yönetmelik esaslarına göre yeni bina olarak tasarlanmış kat adetleri farklı betonarme binaların kolonlarının çatlamış kesitlerine ait etkin kesit rijitlikleri (EI_e) elde edilmiştir (Şekil 9).

Şekil 9'da her bir bina için kolon elemanların etkin kesit rijitlik değerlerinde meydana gelen düşüşler, orta, iç ve dış kolona gelen yük dağılımından dolayıdır. Orta kolonlar diğer kolonlara (dış ve iç) göre daha fazla yük aldığından en yüksek etkin kesit rijitlikleri bu kolonlarda elde edilmiştir. Dış kolonlar en az yük dağılımına sahip olduğundan en düşük etkin kesit rijitlikleri bu kolonlarda bulunmuştur. Binaların alt katlarından üst katlara doğru çıkıldığında eleman bazında etkin kesit rijitlik değerlerinin düştüğü ve en üst katlarda kesit rijitliklerinin en az olduğu tespit edilmiştir. Farklı kat adetlerine sahip binaların aynı kat seviyeleri dikkate alındığında (örneğin 4 farklı bina için her binanın 1. kat seviyesi referans alınırsa) kat adedinin artmasıyla referans katta bulunan kolonlarda daha büyük etkin kesit rijitlikleri elde edilmiştir.

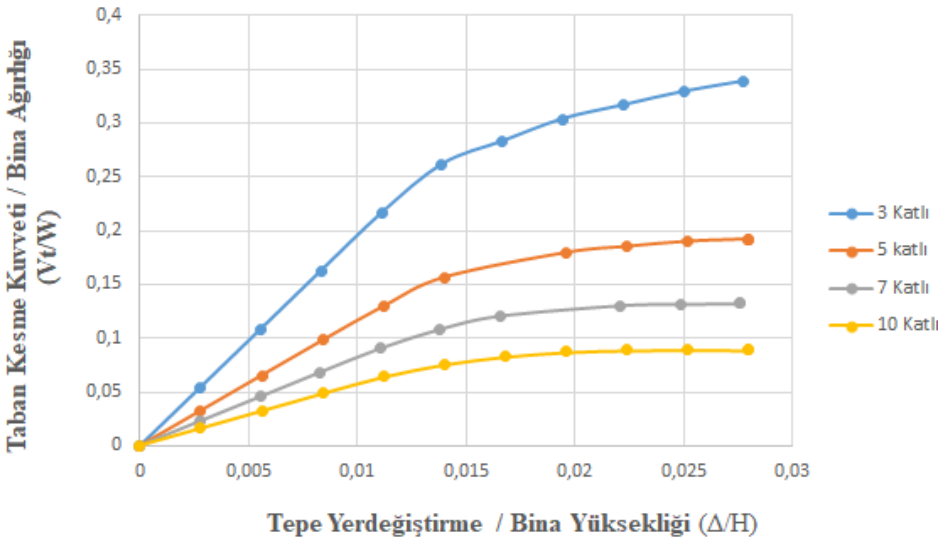


Şekil 9. Tüm binaların kolon etkin kesit rijitlikleri

6. Binalara Statik İtme Analizinin Uygulanması ve Plastik Mafsalların Elde Edilmesi

Çalışma kapsamında kullanılan SAP2000 programında, plastik mafsal özelliklerinin tanımlanabileceği bir dizi uygulama alanı yer almaktadır. Genellikle bu programın varsayılan plastik mafsal özellikleri kullanılır. Bu, analizlerin hızlı bir şekilde yapılmasını sağlar. Ancak bu durumda kontrol mekanizması tamamen programa aittir.

Bu çalışmada plastik mafsal özellikleri XTRACT ile elde edilmiştir. Kolon ve kirişlerin her iki ucuna da plastik mafsallar atanmıştır. Plastik mafsal uzunluğu olarak adlandırılan plastik deformasyon bölgesinin uzunluğu (L_p)'ye göre belirlenmiştir. Analizleri yapılan binalar, tek modlu statik itme analizinin yapılabilmesi koşullarını sağlamaktadır. Dikkate alınan deprem doğrultusunda hâkim mod hesaba katılmıştır. Binalar düşey yükler ve yatay yüklerin etkisi altında olacak şekilde tepe yer değiştirmesine ulaşıncaya kadar itilmiştir. Statik itme hesap yöntemi kullanılarak dört farklı bina için elde edilen taban kesme kuvvetlerinin bina ağırlıklarına oranları (V_t/W) ile tepe yer değiştirmelerinin bina yüksekliklerine oranları (Δ/H) her dört bina için karşılaştırılmalı olarak Şekil 10'da verilmiştir. (Şekil 10).



Şekil 10. Statik itme eğrilerinin karşılaştırılması (x ve y yönü için)

Kalıp planının simetrik olması (x ve y yönünde), taşıyıcı elemanların boyutlarının ve yönlerinin aynı olması sebebiyle, binaların her iki yönündeki itme eğrileri aynı çıkmıştır. İtme eğrileri incelendiğinde, taban kesme kuvvetinin artmasıyla tepe yer değiştirme değeri, binaların kapasite değerine ulaşıncaya kadar arttığı tespit edilmiştir. Statik itme analizleri sonucunda, incelenen tüm binalarda öncelikle alt katlarda kiriş uçlarında plastik mafsallar oluşmaya başlamış ve daha sonra üst katlara doğru yayılmıştır ve ardından zemin kat kolonları akmaya başlamıştır.

7. Sonuç

Bu çalışmada TBDY 2018'e göre yeni bina olarak tasarlanan ve 3, 5, 7 ve 10 katlı betonarme konut tipinde dört bina tasarlanmıştır. Binalar tasarlanırken doğrusal olmayan yığılı plastik davranış modeli dikkate alınmıştır. Yığılı plastik davranış özelliklerinin verilmesi ve kesit analizlerinin yapılabilmesi amacıyla XTRACT programından faydalanılmıştır. Binalara doğrusal olmayan değerlendirme yöntemlerinden olan tek modlu statik itme analizi SAP2000 programı yardımıyla uygulanmıştır. Kat adedinin artmasıyla taşıyıcı elemanlarda meydana gelen etkin kesit rijitlik değerlerinin değişimi incelenmiştir. Yeni bina tasarıma sahip binaların etkin kesit rijitliklerinde orta kolonlarda en yüksek etkin kesit rijitlik değerleri elde edilirken dış kolonlarda bu değerler en düşük çıkmıştır. Bu farklılıklar kolonlara gelen yük dağılımındandır. İncelenen binalarda alt katlardan üst katlara doğru etkin kesit rijitliklerinin azaldığı ve en üst katlarda bu rijitliklerinin en az olduğu görülmüştür. Ayrıca binaların kat adetlerinin artmasıyla kat adedi düşük olan diğer binalardaki aynı kat seviyelerine göre daha yüksek etkin kesit rijitlik değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca statik itme analizleri sonucu oluşan plastik mafsallar ile taşıyıcı sistem elemanlarının yatay yüke karşı rijitliğinin azaldığı görülmüştür. Böylece itme eğrileri yataylaşmıştır. Yatay yüklerin kat seviyelerinde arttırılmasıyla taşıyıcı sistemde meydana gelen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme değerleri elde edilerek doğrusal olmayan statik itme eğrileri tasarlanan her bir bina için çizilmiştir. İtme eğrileri incelendiğinde taban kesme kuvvetinin artmasıyla tepe yer değiştirme değerinin binaların kapasite değerine varıncaya kadar arttığı tespit edilmiştir. Statik itme analizleri sonucunda, incelenen tüm binalarda öncelikle alt katlarda kiriş uçlarında plastik mafsallar oluşmaya başlamış ve daha sonra üst katlara doğru yayılmıştır ve ardından

zemin kat kolonları akmaya başlamıştır. Statik itme analizlerinden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin binaların ağırlıklarına oranının (V_t/W) , beklendiği gibi binanın kat adedi arttıkça azaldığı görülmüştür. Binanın toplam yüksekliği yani kat adedi arttıkça, performans noktasına karşı gelen tepe yer değiştirme değerlerinde ise artış görülmüştür. Statik itme hesap yöntemi kullanılarak dört farklı bina için elde edilen taban kesme kuvvetlerinin bina ağırlıklarına oranları (V_t/W) ile tepe yer değiştirmelerinin bina yüksekliklerine oranlarının (Δ/H) birbirlerine oranlanması ile elde edilen değerin ($\frac{(V_t/W)}{(\Delta/H)}$) kat adedinin veya kat yüksekliğinin artmasıyla azaldığı görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje birimi (FÜBAP) tarafından desteklenmiştir (Proje No: MF.21.07). Yazarlar bu projeye desteklerinden dolayı FÜBAP'a teşekkür ederler.

Kaynaklar

[1] Yalın M. Mevcut bir okul binasının deprem performansının 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
[2] ATC 40. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, California, ABD. 1996.
[3] FEMA 356. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington DC. 2000.
[4] DBYBHY 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
[5] TBDY 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
[6] Öncü M.E. Betonarme binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi, Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
[7] Özdemir M., Işık E., Ülker E. Farklı Kat Adetlerine Sahip Betonarme Binaların Performans Değerlendirilmesi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 2016; 5 (2): 183-190.
[8] Turkay A., Guler K. Bir okul binasının tasarımı ve deprem performansının değerlendirilmesi. International Journal of Innovative Engineering Applications 2017; 1 (2): 27-37.
[9] Işık E., Öztürk G. Betonarme binalarda kat yüksekliğinin yapı performansına etkisi. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi 2017; 7 (1) : 299-305.
[10] Dilmaç H. Ulutaş H., Tekeli H., Demir F. The investigation of seismic performance of existing RC buildings with and without infill walls. Computers and Concrete 2018; 22 (5): 439-447.
[11] Dilmaç H., Ulutaş H., Tekeli H., Demir F. An evaluation on seismic performance of existing reinforced concrete buildings in Turkey. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2018; 9(Ek Sayı 1): 224-237.
[12] Gündoğay A., Tekeli H., Ulutaş H. Mevcut atölye binalarının deprem güvenliğinin incelenmesi. DÜMF Mühendislik Dergisi 2019; 10 (2): 755-768.
[13] Demir T., Sayın, E. Betonarme Yapılarda Farklı Kat Sayıları için Dolgu Duvarların Deprem Davranışına Etkisi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi 2019; 10 (3): 1049-1060.
[14] Ulutaş H., Dilmaç H., Tekeli H., Demir F. Mevcut okul türü binaların deprem güvenliğinin pratik bir şeklide belirlenmesi için bir yaklaşım: ATI. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2019; 23 (2): 329-337.
[15] Dilmaç H. Preliminary Assessment approach to predict seismic vulnerability of existing low and mid-rise RC buildings. Bulletin of Earthquake Engineering 2020; 75 (2): 211-227.
[16] İbiş T., Ulutaş, H. Yeni yapılacak betonarme bir binanın TBDY 2018'e göre deprem performansının belirlenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2021; 10(3), 1104-1124.
[17] Kap T., Özgan E., Uzunoğlu M. M. Betonarme bir okul binasının 2018 deprem yönetmeliğine göre incelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 2019; 7 (1): 1140-1150.
[18]Çapa Y. U. Kat adetleri farklı betonarme binaların deprem performanslarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 1-113. 2020.
[19] Kürkçü F. 20 Katlı betonarme bir yapının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarımı ve deprem performansının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-237. 2020.
[20] Akçora A. A. Betonarme yüksek binaların 2018 yılı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre incelenmesi: 30 katlı bina örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 1-161. 2020.
[21] Kurt Z. Tonyalı Z. Performance Analysis of a Reinforced Concrete Frame System According to TBEC-2018. Sciennovation, 1(2), 6-22.
[22] Taş Ö.F. Farklı yüksekliklerdeki betonarme binaların TBDY-2018'e göre deprem performanslarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2021.
[24] Sucuoğlu H. New Improvements in the 2018 Turkish Seismic Code, In International Workshop on Advanced Materials and Innovative Systems in Structural Engineering: Seismic Practices (p. 13).
[25] Meral E., İnel M. Evaluation of structural parameters properties of low and mid-rise reinforced concrete buildings, 2016.
[26] Urbanski A., Spacone, E., Belgasmia, M., Sarf, J., Zimmermann, T. Static Pushover Analysis. Z_Soil. PC.

[27] Ferraioli, M. Behaviour Factor of Ductile Code-Designed Reinforced Concrete Frames, Advances in Civil Engineering, 2021.
[28] Shekhar N. K., Parulekar Y. M., Nagender, T., Chattopadhyay, J. Assessment of hysteretic damping in reinforced concrete structures using local hinge characteristics, Bulletin of Earthquake Engineering 2021; 19(1): 135-160.
[29] XTRACT v.3.0.8 Cross-sectional X structural analysis of components, Imbsen Software Systems, 9912 Business Park Drive, Suite 130 Sacramento, CA 95827.
[30] SAP2000 V.22.0.0, Computers and Structures, Inc., http://www.csiberkeley.com, 1995 University Avenue Berkeley, California 94704 USA,. 1978-2010
[31] Çağlar N., Demir A., Öztürk H ve Akkaya, A., A simple formulation for effective flexural stiffness of circular reinforced concrete columns, Engineering Applications of Artificial Intelligence 2015; 38: 79-87.
[32] Lawson RS, Vance V, Krawinkler H. "Nonlinear static push-over analysis - why, when and how?", Proceedings of. 5th US Conference on Earthquake Engineering 1994; 1: 283-292.
[33] Krawinkler H. Seneviratna GDPK. "Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation", Engineering Structures 1998; 20, 4-6: 452-464.
[34] Chopra AK. Goel RK. A modal pushover analysis procedure to estimating seismic demands for buildings: Theory and preliminary evaluation. PERR Report 2001/03, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 2001.
[35] TS-500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü Ankara, 2000.
[36] TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
[37] Celep, Z., Betonarme sistemlerde doğrusal olmayan davranış: Plastik mafsal kabulü ve çözümleme, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 2007.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 517-529, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1076870

Yazılım Güvenlik Açıklarının Evrişimsel Sinir Ağları (CNN) ile Sınıflandırılması

Edanur ÖZDEMİR[1*], İbrahim TÜRKOĞLU[2]
[1] Yazılım Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[2] Yazılım Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[*1] edanurozdemir23@gmail.com, [2] iturkoglu@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 21/02/2022; Kabul/Accepted: 25/08/2022)

Öz: Kötü niyetli saldırılara karşı yazılım sisteminin doğru şekilde çalışmaya devam etmesini sağlayacak teknik uygulamalar yazılım güvenliği kapsamındadır. Yazılımda bulunan ve saldırıya uğrama riskine sebep olacak zayıflıklar ve kusurlar yazılım güvenlik açığı olarak tanımlanır. Yazılım güvenlik açıkları, bir yazılımın gizliliğini, bütünlüğünü, kullanılabilirliğini, erişilebilirliğini tehlikeye atarak ciddi zararlara sebep olabilir. Yazılım güvenlik açıkları erken aşamada tespit edilip, etkin şekilde yönetilirse sistemin saldırıya uğrama ve hasar görme riski azaltılabilir. Yazılım güvenlik açıklarını otomatik yönetmek için son yıllarda yapay zekâ tabanlı yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, güvenlik açıklarının kategorilerinin belirlenerek yönetilmesine fayda sağlamak için derin öğrenmeye dayalı otomatik sınıflandırma yöntemi önerilmiştir. Geliştirilen yöntem, derin sinir ağ modellerinden biri olan evrişimli sinir ağı (ESA) modeli üzerine inşa edilmiştir. Önerilen yöntemin başarımını test etmek için ABD Ulusal Güvenlik Açığı Veri tabanı (NVD) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ESA modelinin yazılım güvenlik açıklarının otomatik sınıflandırılmasında etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yazılım güvenliği, yazılım güvenlik açıkları, yapay zekâ, derin öğrenme.

Classification of Software Vulnerabilities with Convolutional Neural Networks (CNN)

Abstract: The technical applications that will ensure that the software system continues to work correctly against malicious attacks is called software security. Weaknesses and flaws in the software system that cause the risk of being hacked are defined as software vulnerability. Software vulnerabilities can cause serious damage by compromising the confidentiality, integrity, usability and accessibility of a software. If software vulnerabilities are detected at an early stage and managed effectively, the risk of system attack and damage can be reduced. Artificial intelligence-based methods have been used in recent years to automatically manage software security vulnerabilities. In this study, a deep learning-based automatic classification method has been proposed to help identify and manage the categories of security vulnerabilities. The developed method is built on the convolutional neural network (CNN) model, which is one of the deep neural network models. The National Vulnerability Database (NVD) was used to measure the performance of the proposed model. It has been observed that the CNN model used in the study was effective in automatically classifying software safety vulnerabilities.

Key words: Software security, software vulnerabilities, artificial intelligence, deep learning.

1. Giriş

Son zamanlarda internetin yaygınlaşması ve bilişim teknolojilerinin çoğalmasıyla çeşitli endüstrilerin dijital ortamdaki faaliyetleri artmaktadır. Bu durum yazılıma olan bağımlılığı artırmakta ve yazılım sistemlerinin sürdürülmesini gerekli kılmaktadır. Teknolojik gelişmelerin sunmuş olduğu bu geniş kullanım alanı, sistemlerin karmaşıklığını arttırarak saldırganların açık hedefi haline getirmektedir. Buna bağlı olarak güvenlik sorunları giderek daha belirgin hale gelmektedir. Bir yazılımın saldırı veya tehdit altındayken işlevlerini doğru bir şekilde yerine getirmesini sağlayacak şekilde korunmasına yazılım güvenliği denir [1]. Yazılım güvenliği bir yazılımın çalışması için işlevsel olmayan bir gereklilik olarak tanımlanır [2]. Yazılım güvenliğinde amaç, güvenlik saldırılarına karşı yazılımın hatasız ve daha güçlü çalışmasını sağlamaktır. Yazılım güvenlik açıkları, bir yazılımın tasarım ve uygulama aşamalarında meydana gelmektedir [3-4]. Yazılım güvenliği, yazılım projelerinin başarıya ulaşması ve ekonomik değere dönüşmesini doğrudan etkileyen en önemli kalite ölçütlerinden biridir. Yazılımda bulunan her bir güvenlik açığı; gizlilik, erişilebilirlik, kullanılabilirlik ve bütünlük gibi güvenlik nitelikleri üzerinde farklı etkilere sahiptir. Yazılımın güvenliğini sağlamak için yapılan çalışmalar, geliştirmenin sonraki aşamalarında yazılıma entegre edilirse, yazılım geliştirmenin çeşitli aşamalarında güvenlik açıklarının riskini arttırabilir. Artan güvenlik açıkları riski, zaman, maliyet, kalite ve itibar açısından daha yüksek potansiyel riskler oluşturabilir [5]. Bu sebeple önemli ve riskli işlemlerin yapılabildiği yazılım sistemlerinin korunması ve güvenli

[*] Sorumlu yazar: edanurozdemir23@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0002-0311-9838, [2] 0000-0003-4938-4167

yazılım geliştirmek en az teknolojinin sağladığı avantajlar kadar dikkate alınması gereken bir konudur. Güvenli yazılım geliştirebilmenin en önemli noktalarından biri yazılım geliştirme yaşam döngüsünün ilk aşamasından itibaren güvenliğin dahil edilerek geliştirilmesidir [6,7]. Yazılım kalitesini arttırmak için yapılan tüm test, ölçüm ve analizler de yazılımın güvenilirliğini arttırmaktadır [6]. Yazılım güvenlik açıklarının türleri, özellikleri, yerleri belirlenerek analiz edilmesi; yazılım geliştiricilerinin, güvenlik uzmanlarının ve araştırmacıların çalışmalarında daha güvenli sistemler geliştirmeleri için fayda sağlamaktadır [8]. Bu nedenle yazılım güvenlik açıkları, güvenlik uzmanları tarafından detaylı bir şekilde sınıflandırılıp, önem derecesi belirlenerek raporlanmaktadır.

Yapay zekâya dayalı yöntemler kullanılarak yazılım güvenlik açıklarının otomatik sınıflandırılması, önem derecesinin tahmini, kaynak kodda bulunan anlamsal ve sözdizimsel güvenlik açıklarının tespit edilmesi gibi çalışmalar giderek artmaktadır [8]. Son yıllarda yazılım güvenliğinin yönetimini sağlayabilmek için kullanılan yapay zekâ yöntemlerinin performansı arttırdığı görülmektedir. Aota ve ark. [9] tarafından yapılan çalışmada, NVD veri tabanı kullanılarak güvenlik açığı açıklamaları sınıflandırılmıştır. Boruta algoritması ile Destek Vektör Makinesi, Lojistik Regresyon, Karar Ağacı ve Rastgele Orman sınıflandırma algoritmaları ayrı ayrı uygulanmıştır. En iyi performans, %96.92 doğruluk değerinde Boruta ve Rastgele Orman algoritmasından elde edilmiştir. Ancak sınıflandırma için veri tabanının daha dengeli ve geliştirilmesi gerektiği önerilmiştir. Han ve ark. [10] yaptıkları çalışmada, bir güvenlik açığının önem derecesini (CVSS puanı) tahmin etmek için derin öğrenme yöntemi kullanmışlardır. NVD veri tabanından alınan güvenlik açığı bilgilerinden oluşan veriler kritik, yüksek, orta, düşük olarak 4 kategoriye ayrılmıştır. Word2vec ve tek katmanlı Evrişimli Sinir Ağı kullanarak geliştirilen modelde sonuç olarak %81.6 f1-ölçütü elde edilmiştir. Rehman ve Mustafa [11] yaptıkları çalışmada yazılım geliştirme yaşam döngüsünün tasarım aşamasında meydana gelen güvenlik açığı türlerini sınıflandırmışlardır. NVD veritabanından elde ettikleri 427 güvenlik açığı açıklaması üzerinde metin ön işleme adımlarını gerçekleştirdikten sonra sınıflandırmak için Destek Vektör Makinesi kullanmışlardır. Sınıflandırmanın doğruluğu 6 güvenlik açığı kategorisi için tatmin edici bulunmuştur. Mısırlı tarafından yapılan çalışmada [12], yazılım güvenilirliğini tahmin edebilmek için Hibrid Bayes ağlarını kullanılmıştır. Yazılım projelerinin sürüm sonrası hatalarını tahmin etmede başarılı sonuç elde edildiği belirtilmiştir. Wu ve ark. [13] yaptıkları çalışmada, derin öğrenme ile yazılım güvenlik açığı tespiti yapabilmek için Linux işletim sisteminden alınan işlev çağrıları üzerinde CNN, LSTM ve CNN-LSTM olmak üzere 3 model kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar derin öğrenme modellerinin çok katmanlı algılayıcı gibi klasik modellere göre tahmin doğruluğunun daha yüksek olduğunu göstermiştir. Clemente ve ark. [14], yazılım güvenliğini ölçmek için Rastgele Orman, Naif Bayes, Destek Vektör Makinesi ve Karar ağaçları algoritmaları ile Derin Sinir Ağı modelini karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda Derin Sinir Ağı'nın daha yüksek doğruluk sonucu verdiği gösterilmiştir. Kaya ve ark. [15] tarafından yapılan çalışmada yazılım güvenlik açıklarını sınıflandırmak için veri dengeleme teknikleri ile Rastgele Orman, Destek Vektör Makinesi, RUSBoosted trees, LDA, SD, AdaBoost, W-kNN sınıflandırma algoritmaları kullanılmıştır. PHPMyAdmin, Drupal ve Moodle projeleriyle ilgili üç genel veri kümesi üzerinde uygulanmıştır. Deneysel sonuçlar, Rastgele Orman algoritmasının küçük veri kümeleri için, RusboostTree algoritmasının büyük veri kümeleri için daha iyi performans sağladığını göstermiştir. Russel ve ark. [16] tarafından C/C++ kaynak kodlarındaki güvenlik açıklarının Evrişimsel Sinir Ağı (ESA) ve Tekrarlı Sinir Ağları derin öğrenme yöntemlerini kullanılarak otomatik algılanması çalışması yapılmıştır. Çalışma sonucuna göre ESA modeli daha iyi performans göstermiştir. Huang ve ark. [17] tarafından yapılan çalışmada yazılım güvenlik açıklarını sınıflandırabilmek için yeni bir derin öğrenmeye dayalı TFI-DNN modeli önerilmiştir. NVD veri tabanı kullanılarak güvenlik açığı açıklamaları üzerinde uygulanan TFI-DNN; TFI-KNN, TFI-SVM, TFI-NB modelleri ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Davari ve ark. [18] tarafından yapılan çalışmada Bohrbug ve Mandelbug sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Bohrbug, test aşamasında kolayca tekrarlanabilir girdilere dayalı programdaki bir hatadır. Mandelbug, giriş verilerinin sistem durumları ile etkileşimi, işlemlerin zamanlaması, işlem sırası, sistemlerin iç yapısı gibi karmaşık koşullar altında tetiklenebilen bir yazılım hatasıdır. Mozilla Foundation Security Advisory'den toplanan ve metinlerden oluşan 580 veri seti üzerinde belirli güvenlik açığı kategorileri seçilmiştir. C4.5 Karar Ağacı, Rastgele Orman, Lojistik Regresyon ve Naif Bayes makine öğrenme yöntemleri uygulanarak sınıflandırmanın etkinliği değerlendirilmiştir. Sonuç olarak C4.5 Karar Ağacı'nın %69 F-ölçütü ile görünmeyen güvenlik açıkları kategorisini tanımlayabildiği belirtilmiştir. Şahin ve ark. [19] yaptıkları çalışmada derin öğrenme ile SYMbiyotik genetik algoritma kullanan yazılım güvenlik açığı tahmini üzerine çalışmışlardır. Derin özellik öğrenimi için Derin Sinir Ağı kullanılmıştır. Drupal, Moodle ve PHPMyAdmin projelerinden elde edilen veri kümeleri üzerinde model değerlendirilmiştir. Sonuç olarak GRUSYMbiyotik GA-II modelinin güvenlik açığı tahminini geliştirdiği sonucuna varmışlardır. Chernis ve Verma [20], C kaynak kodundaki büyük bir hata yüzdesini yakalamanın nasıl mümkün olduğunun gösterimi üzerine çalışılmıştır. Github'da bulunan savunmasız koda sahip C diliyle yazılmış açık kaynak kodlu 100 proje kullanılmıştır. Sınıflandırmak için Naive Bayes, K-En Yakın Komşu, K-Ortalama, Sinir Ağı, Destek

Vektör Makinesi, Karar Ağacı ve Rastgele Orman dahil olmak üzere birkaç algoritma kullanılmış ve sonuçları yorumlanmıştır.

Bu çalışmada güvenlik açıklarını tespit etme ve yönetimini sağlamak için araştırmacıların, güvenlik uzmanlarının, geliştiricilerin çalışmalarına fayda sağlaması amacıyla yazılım güvenlik açıklarının otomatik sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Bunun için, 75.870 veri setinden oluşan ABD Ulusal Güvenlik Açığı Veri tabanı'ndan (NVD) elde edilen yazılım güvenlik açığı verileri kullanılmıştır [21]. Çalışmada, öncelikle güvenlik açığı verilerinden elde edilen güvenlik açığı açıklamaları ön işlem ve metin işleme yöntemleri kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Sonrasında, büyük veri işlemede başarısı ile ön plana çıkan derin öğrenme yöntemi evrişimli sinir ağı kullanılarak yazılım güvenlik açıklarının, yazılım güvenlik açığı türlerine göre kategorisi tanımlanmıştır. Sonuç olarak önerilen modelin başarım performansı elde edilmiştir.

2. Yazılım Güvenlik Açıkları

Yazılım sistemlerinin çeşitli teknolojiler, kütüphaneler kullanılarak geliştirilmesi büyük ve karmaşık yapıların oluşmasına sebep olmuştur. Bu karmaşıklık yazılım sistemlerinde farklı türde güvenlik açıklarının oluşmasına sebep olmaktadır. Güvenlik açıklarının sebep olduğu risk düzeyi ve önlemek için gereken çözümler, farklı türdeki güvenlik açıkları için farklıdır. Bir sistem için tehlike oluşturan güvenlik açıkları, birden fazla sebepten kaynaklanabilir. Güvenlik açıkları genel olarak; yazılım, donanım, ağ, sunucu, veri tabanı, işletim sistemi, fiziksel ortam, geliştirme ekibi ve yönetim gibi ilgili oldukları alanlara göre sınıflandırılabilir.

Tablo 1'de OWASP 2021 yılı top 10 listesine göre [22] en yaygın güvenlik açıkları belirlenmiştir. OWASP (Açık Web Uygulama Güvenliği Projesi), dünya çapında web uygulama güvenliğini artırmak amacıyla güvenlik uzmanları, araştırmacılar ve geliştiriciler için ücretsiz olarak araçlar, kaynaklar sunan bir topluluktur.

Tablo 1. OWASP 2021 İlk 10'da Bulunan Güvenlik Açıkları Kategorileri

OWASP 2021 İlk 10'da Bulunan Güvenlik Açıkları Kategorileri
A01:2021-Bozuk Erişim Kontrolü (Broken Access Control)
A02:2021-Kriptografik hatalar (Crytographic Failures)
A03:2021-Enjeksiyon (Injection)
A04:2021-Güvensiz Tasarım (Insecure Design)
A05:2021-Güvenlik Hatalı Yapılandırması (Security Misconfiguration)
A06:2021-Kırılgan ve Güncel Olmayan Bileşenler (Vulnerable and Outdated Components)
A07:2021-Tanımlama ve Kimlik Doğrulama Hataları (Identification and Authentication Failures)
A08:2021-Yazılım ve Veri Bütünlüğü Arızaları (Software and Data Integrity Failures)
A09:2021-Güvenlik Günlüğü ve İzleme Arızaları (Security Logging and Monitoring Failures)
A010:2021-Sunucu Tarafı İstek Sahteciliği (Server-Side Request Forgery)

OWASP tarafından kategorilere göre SQL enjeksiyonu A03 kategorisinde, siteler arası komut çalıştırma (XSS) A03 kategorisinde, siteler arası istek sahteciliği (CSRF) A01 kategorisinde, kod enjeksiyonu (Code Injection) A03 kategorisinde, dizin geçişi (directory traversal) A01 kategorisinde, kimlik doğrulama atlama (Authentication Bypass) A01 kategorisinde bulunmaktadır [22]. Bu çalışmada ABD Ulusal Güvenlik Açığı Veri Tabanı'ndan (NVD) [21] elde edilen ve yaygın olan güvenlik açığı türleri araştırılmıştır.

2.1 SQL Enjeksiyonu

Yapılandırılmış Sorgu Dili (SQL), veritabanı yönetimini sağlamak için kullanılan bir alt dildir. SQL sorguları üzerinden veritabanı olan sistemlerdeki açıklardan yararlanarak gerçekleştirilen siber saldırı türüne SQL Enjeksiyonu (SQL Injection) denir. SQL Enjeksiyonu, OWASP 2021 top 10 listesinde en yaygın güvenlik açıkları arasında yer almaktadır [22]. SQL Enjeksiyonu saldırısı ile saldırgan; bir sistemin veri tabanında bulunan verileri okuyabilir, değişebilir, yetkisini yükseltebilir, veritabanını silebilir [23]. Bu sayede kimlik sahtekârlığı, verilerin ifşa edilmesi, işlemlerin geçersiz kılınması ve verileri yok ederek kullanılamaz hale getirilmesi gibi olaylar yaşanabilir [23].

2.2. Siteler Arası Komut Dosyası Çalıştırma

Siteler Arası Betik Çalıştırma (XSS) saldırıları ile web uygulamalarına kötü niyetli komut dosyaları enjekte edilmektedir. XSS saldırıları, genellikle istemci tarafından kötü amaçlı komut dosyasını kullanıcıya göndermek için web uygulamasını kullandığında meydana gelir [24]. Kötü amaçlı komut dosyası ile saldırgan, web uygulamasını kullanan kullanıcının tüm tanımlama bilgilerine, oturum bilgilerine, çerezlere ve diğer hassas bilgilere erişebilir [24]. OWASP 2021 en yaygın güvenlik açıkları listesinde yer almaktadır [22].

2.3. Hizmet Reddi

Bir sunucuya veya uygulamaya belirli kapasitesinin üstünde istek göndererek kullanıcılar için kullanılamaz hale getirilmesine Hizmet Reddi (DDoS) saldırısı denir. DDoS saldırıları sadece kapasite üstü isteklerle sınırlı değildir. Aynı zamanda sistemde bulunan ağ paketlerinden, programlamasından, mantıksal yapısından kaynaklanan güvenlik açıklarını manipüle ederek sistemin kullanıcıları tarafından erişimini engelleyebilir [25]. Birçok türde gerçekleştirilen DDoS saldırıları; yazılım hataları, donanım arızaları, çevresel koşullar, kaynak yetersizliği gibi nedenlerden kaynaklanabilir [26]. Bir sistemin elektrik kaynağının kasıtlı olarak engellenmesi fiziksel DDoS saldırısına örnek verilebilir. DDoS saldırıları hizmet kalitesini ciddi ölçüde düşürebilir.

2.4. Siteler Arası İstek Sahteciliği

Siteler arası istek sahteciliği (CSRF), bir web uygulamasında oturum açmış kullanıcının oturum bilgilerini ve diğer kimlik doğrulama bilgilerini kullanarak, savunmasız bir web uygulamasına sahte HTTP isteği göndermeye zorlayan bir saldırıdır [27]. Web uygulamasına giden isteklerin nasıl ve hangi kaynaktan gönderildiği kontrol edilmeyen sistemlerde meydana gelir. Saldırganlar, sosyal mühendislik teknikleriyle de CSRF saldırısı gerçekleştirilebilir [28]. Başarılı bir CSRF saldırısı sonucunda kullanıcının bilgilerini değiştirme, banka hesabından para transferi, uygulamaya yönetici ekleme gibi işlemler gerçekleştirilebilir. OWASP 2021 en yaygın güvenlik açıkları listesinde yer almaktadır [22].

2.5. Arabellek Taşması

Bir sistemin veri boyutu, ayrılmış olan arabellek kapasitesini aştığında arabellek taşması meydana gelir. Arabellek taşması (Overflow), 1980'lerden beri en popüler güvenlik açıklarından biri olmuştur. Arabellek taşması sonucunda; kullanılabilirlik eksikliği, rastgele kod yürütme, hizmet reddi, yönetici izni gibi tehlikeler meydana gelebilir. Bu tehlikeler sonucunda diğer güvenlik hizmetleri de savunmasız hale getirilebilir [29].

2.6. Kod Enjeksiyonu

Kod enjeksiyonu (Code Injection), saldırgan tarafından bir ağ üzerinden hedef sunucuda kötü amaçlı kod çalıştırmasıyla meydana gelir. Saldırgan hedef sistemi yeterince ele geçirdikten sonra sunucuda bulunan dosyalar, veritabanları gibi tüm bilgilere erişebilir ve sistemin kontrolünün kaybolmasına sebep olabilir [30]. Web uygulamalarında yaygın olarak bilinir ve tespit etmek zordur. OWASP 2021 en yaygın güvenlik açıkları listesinde yer almaktadır [22].

2.7. Dizin Geçişi

Dizin geçişi veya yol geçiş saldırısı (Directory Traversal), saldırganın web kök klasörünün dışında kısıtlı dosya ve dizinlere erişerek web sunucusunun kök dizini dışında komutlar yürütmeyi amaçlayan bir HTTP saldırısıdır. Saldırgan, web sitesi kullanıcısını taklit ederek komutlar çalıştırabilir. Kök dizinden çıkarak dosyalara erişebilir, bilgi edinebilir. OWASP 2021 en yaygın güvenlik açıkları listesinde yer almaktadır [22].

2.8. Kimlik Doğrulama Atlama

Kimlik doğrulama atlama (Authentication Bypass) güvenlik açığı, saldırganların sistemde bulunan kimlik doğrulama zafiyetinden yararlanarak, kimlik doğrulama aşamasını atlayıp kötü amaçlı birçok işlem

gerçekleştirmesine sebep olmaktadır. Saldırgan, yetkili bir kullanıcının ayrıcalıklarıyla sisteme erişimi elde edebilir. OWASP 2021 en yaygın güvenlik açıkları listesinde yer almaktadır [22].

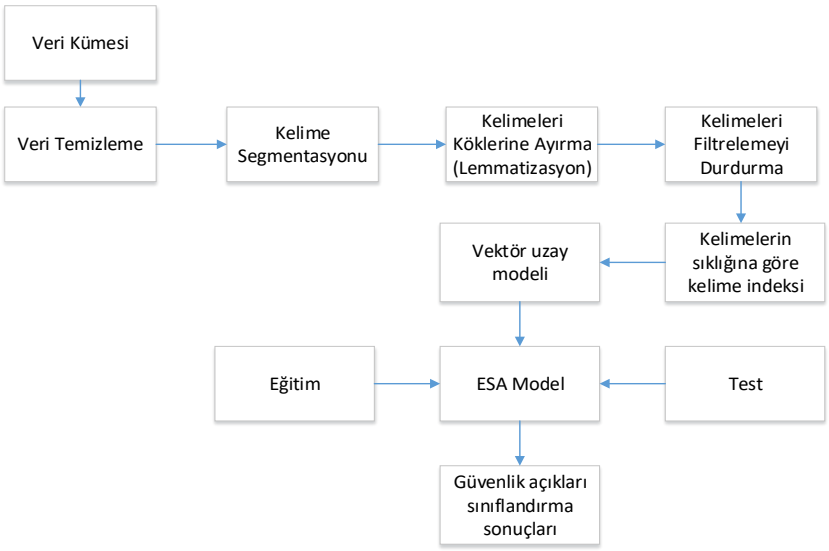
3. Yazılım Güvenlik Açıklarının Sınıflandırılması

Yazılım güvenliği, iç ve dış saldırıları içerir. Saldırganlar genellikle bir yazılım sistemini kendi iç zayıflığından, yani yazılım açıklarından yararlanarak bozmaktadırlar [31]. Güvenlik uzmanları; sistem açıklarının bulgu adı, kategorisi, önem derecesi, etki alanı, etkilenen sistemler, erişim noktası gibi detaylı özelliklerini analiz ederek rapor etmektedir. Analiz edilen özellikler ile yazılım durumu tespit edilerek güvenlik açıkları yönetilmektedir. Yazılım güvenlik açıklarının daha etkin yönetilmesi için güvenlik açığı kategorilerinin otomatik bir şekilde belirlenmesi, güvenlik uzmanlarının ve araştırmacıların iş yükünü azaltarak yapılan işlemlerin daha hızlı ve verimli hale gelmesini sağlayabilir. Ayrıca yazılım sistemlerinin güvenlik sorunlarının çözülmesinde fayda sağlayarak, saldırıya uğrama ve hasar görme riskini de azaltılabilir. Bu nedenle yazılım güvenlik açıklarını yapay zekâ yöntemleri kullanarak sınıflandırma çalışmaları, güvenlik araştırmacıları tarafından daha fazla yapılmaktadır [17]. Yapay zekâ, makinelerin insan beynini taklit etmesini sağlayan bir tekniktir. Yapay zekânın alt alanı olan makine öğrenmesi, veriler üzerinden öğrenme işlemi gerçekleştirerek deneyim kazanan ve bu deneyimlere göre hareket eden sistemlerdir. Derin öğrenme ise çok daha karmaşık problemler için yapay sinir ağlarını kullanan makine öğrenmesinin alt kümesidir.



Şekil 1. Yapay zekâ, makine öğrenmesi, yapay sinir ağı, derin öğrenme arasındaki ilişki

Güvenlik açığı açıklamasına göre güvenlik açıklarını sınıflandırmak bir tür metin sınıflandırmasıdır. Metin sınıflandırması alanında son zamanlarda makine öğrenmesi yöntemleri giderek artmaktadır. Bu nedenle, güvenlik açıklarının otomatik olarak sınıflandırılması sorunu, makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak da çözülebilir. Makine öğrenimi sınıflandırma algoritmaları, birçok alanda başarılı sonuçlar elde etmesine rağmen, çok sayıda güvenlik açığı verisi ve kısa açıklama nedeniyle oluşturulan kelime vektör alanını yüksek boyutlu hesaplayarak seyrek özellikler elde eder. Aynı zamanda, güvenlik açığı sınıflandırma çalışmalarında belirli güvenlik açığı bilgilerini göz ardı ederler ve sınıflandırma doğruluğu yüksek değildir. Bu sebeple bu çalışmada doğal dil alanında ve birçok alanda kullanılarak önemli etkisi görülen derin öğrenme yöntemi kullanılmıştır. Bu bölümde, yazılımın güvenilirlik düzeyinin temel göstergeleri haline gelen yazılım açığı verileri ile derin sinir ağı kullanılarak otomatik sınıflandırma modeli oluşturulmuştur.

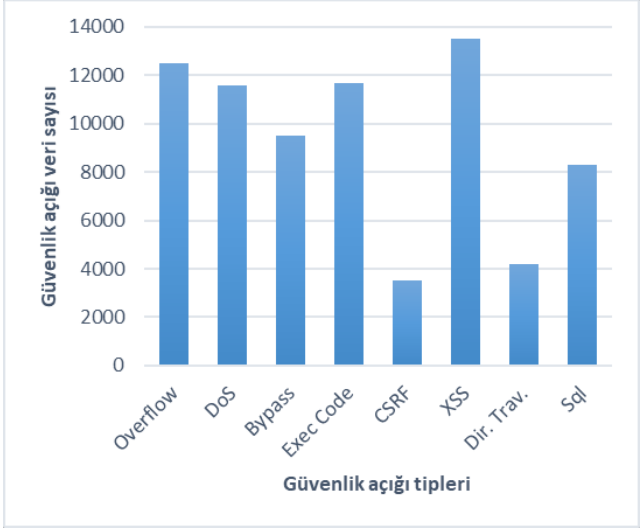


Şekil 2. Yazılım güvenlik açıklarını sınıflandırma sürecinin akış şeması

Şekil 2'de akış şeması verilen model, Windows 10 işletim sistemi ile çalışan Intel (R) Core (TM) i7-3537U işlemci, 2.50 GHz ve 8.00 GB RAM özelliklerine sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Model, Anaconda3 Spyder ortamında Python 3.8 ile TensorFlow, Keras kütüphaneleri kullanılarak programlanmıştır. Ulusal Güvenlik Açığı Veri Tabanı'ndan (NVD) [21] alınan güvenlik açığı verilerinin güvenlik açığı açıklamaları ve güvenlik açığı tipi Excel dosyasından çıkarılarak metin ön işleme sürecinden geçirilmiştir. Ön işlem sürecinden geçirilen veriler, derin öğrenmeye dayalı evrişimli sinir ağı modeli ile Ulusal Güvenlik Açığı verileri üzerinde eğitilmiş ve test edilmiştir. Gerçekleştirilen işlemler ve kullanılan algoritmalar bu bölümde detaylı sunulmuştur.

3.1. Veri Kümesi

Çalışmada oluşturulan modeli doğrulamak için kullanılan veri seti, 1999 yılından beri uluslararası kabul görmüş en popüler ve en büyük veri tabanlarından biri olan Ulusal Güvenlik Açığı Veri Tabanı'ndan (NVD) elde edilmiştir [21]. NVD, Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) Bilgisayar Güvenliği Bölümü'nün bir ürünüdür [21]. NVD'de bulunan her bir güvenlik açığı kaydı, güvenlik açığının teknik açıklaması olan kimlik numarası, önem derecesi, yayınlanan tarih, kaynak, güvenlik açığı türü, güvenlik açığı açıklaması gibi birçok bilgi içermektedir. Bu çalışmada, kullanılan güvenlik açığı kayıtları 8 kategoriden oluşmaktadır ve veri setinin toplam sayısı 75.870'dir. Her kategoride bulunan güvenlik açıkları kayıtlarının sayısı değişkendir. Veri setinde bulunan her kategorideki güvenlik açığı kayıtlarının dağılımı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Modelde kullanılan güvenlik açığı tiplerinin dağılımı

Model için güvenlik açığı metin açıklaması ve güvenlik açığı kategori verileri kullanılmıştır. Veri seti, Python'da yazılmış program kodları kullanılarak eğitim için %80 ve test için %20 oranında kullanılmıştır. Veri örnekleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Modelde kullanılan veri seti örnekleri

CVE_ID	Vulnerability Type	Description
CVE-2019-1010302	DoS	Tildeslash Monit Version 5.25.2 and earlier is affected by: Buffer Over-read. The impact is: Disclosure of memory contents in an HTTP response, and Denial of Service…
CVE-2018-6878	XSS	Cross Site Scripting (XSS) exists in the review section in PHP Scripts Mall Hot Scripts Clone Script Classified 3.1 via the title or description field.
CVE-2019-1010163	Exec Code	Socusoft Co Photo 2 Video Converter 8.0.0 is affected by: Buffer Overflow - Local shell-code execution and Denial of Service…
CVE-2019-16119	Sql	SQL injection in the photo-gallery (10Web Photo Gallery) plugin before 1.5.35 for WordPress exists via the admin/controllers/Albumsgalleries.php album_id parameter.

3.2. Ön İşlem

Ön işlem, modelin başarısını etkileyen önemli süreçlerden biridir. Ön işlem sürecinde verinin analiz edilebilir yapıya dönüştürülmesi için veriyi temizleme, eksik veriyi tamamlama, veriyi düzeltme, veri boyutunu küçültme, veriyi normalleştirme, veriyi sayısallaştırma gibi işlemler yapılır.

Model de ön işlem sürecinin ilk aşamasında veri temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Veri temizleme (Data clean): Bu aşamada güvenlik açığı açıklamasında bulunan güvenlik açığı kategorilerine ait anahtar kelimeler kaldırılmıştır. Örnek olarak; "SQL Injection", "cross site scripting", "code execution", "bypass", "buffer overflow", "CSRF", "XSS", "DoS", "Directory Traversal", "denial of service", "vulnerability" gibi kelimeler güvenlik açığı açıklaması verilerinden kaldırılmıştır.

Kelime bölütleme (Word segmentation): Ön işlem sürecindeki en önemli aşamalardan biridir. Kelime bölütleme, bir metni kelimelere bölme işlemidir. Bu aşama da, metinlerdeki kelimelerin hepsi öncelikle küçük

harfe dönüştürülmüştür. Güvenlik açığı açıklaması verilerinde bulunan noktalama işaretleri, boşluk gibi ifadeler kaldırılarak tek kelime haline getirilmiştir. Daha sonra verilerin morfolojik analizi yapılarak kök forma dönüştürülmesi için kelimeleri köklerine ayırma (lemmatizasyon) işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kelimeleri köklerine ayırma (Lemmatization): Bir kelimenin farklı çekimli biçimlerini tek bir öğe olarak analiz edilebilmeleri için bir araya getirme işlemidir. Kök oluşturmaya benzer ancak kelimelere bağlam getirir. Böylece benzer anlama sahip kelimeleri bir kelimeye bağlar. Bu işlemden sonra kelime filtrelemeyi durdurma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kelime filtrelemeyi durdurma (Stop word): Metinde sıkça görünen ve metin bilgilerinin içeriğine veya sınıflandırılmasına çok az katkıda bulunan veya hiç katkı sağlamayan sözcüklerin temizlenmesini sağlar. Bu modelde, WordNetLemmatizer kütüphanesi kullanılmıştır. Ön işlem aşamasından sonra temizlenen güvenlik açığı açıklama verilerinden örnek veriler Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Ön işlem aşamasında temizlenen verilerden sonra elde edilen veri örnekleri

Güvenlik Açığı Türü	Güvenlik Açığı Açıklama Verileri
Bypass	*cybozu garoon allows remote authenticated attacker access restriction alter content application address without modify privilege via application address*
Exec Code	*apache netbeans incubating netbeans proy autoconfiguration pac interpretation remote command rce using nashorn script engine environment javascript eecution proy autoconfiguration leak privileged object used circumvent eecution limit different script engine used eecution limit place vector allow*

Gerçekleştirilen işlemlerden sonra Keras kütüphanesine ait Tokenizer sınıfı ve Gömme katmanı (Embedding layer) kullanılarak kelimelerin indekslerine göre vektör uzay modeli oluşturulmuştur.

Tokenizer: Bu yöntemde öncelikle fit_on_texts() metodu ile cümleler kelimelere ayrılarak kelime yoğunluğuna göre dizin oluşturulmuştur. Her kelimenin benzersiz bir değer alması için kelime->indeks şeklinde bir veri kümesi oluşturulmuştur. Daha sonra texts_to_sequences() metodu ile her benzersiz kelime belirtecine karşılık gelen tamsayı değeri oluşturulup, dizi haline getirilmiştir. Veri setinde bulunan her metin aynı uzunluğa sahip değildir. Oluşturulan tüm dizilerin aynı uzunluğa sahip olması için pad_sequences metodu kullanılarak belirlenen maksimum kelime uzunluğuna göre her dizinin başına 0 doldurulmuştur.

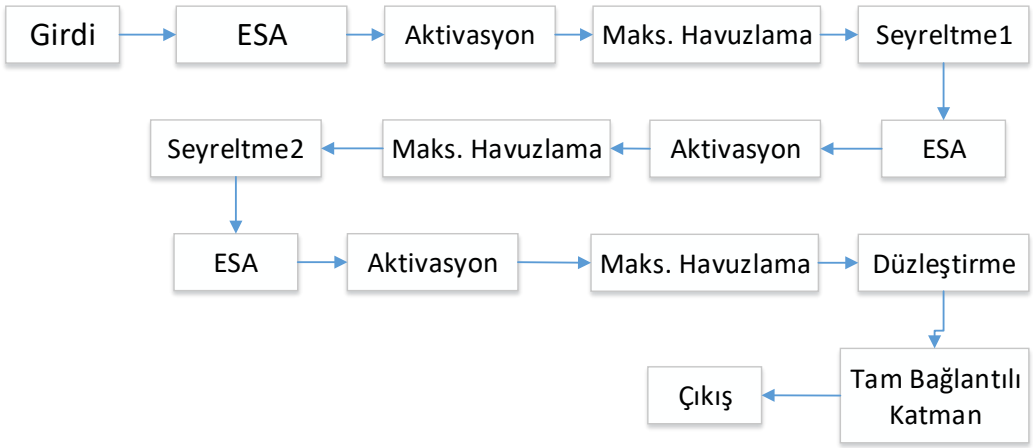
Gömme Katmanı (Embedding Layer): Gömme katmanı, her kelimeyi tanımlanmış boyutta ve sabit uzunlukta gerçek değerlere sahip vektöre dönüştürülmesini sağlar. Çalışmada gerçekleştirilen modelde pad_sequences() metodu ile tam sayılardan oluşan dizilerde bulunan her kelimeyi sabit uzunlukta vektöre dönüştürmek için gömme katmanı kullanılmıştır. Böylece kelimelerin boyutu küçültülmüştür.

3.3 Evrişimli Sinir Ağı-ESA (CNN) ile Sınıflandırma

Çok katmanlı algılayıcıların bir türü olan evrişimli sinir ağları bir görüntü verisini alabilen, görüntüdeki çeşitli piksellere özellikler tanımlayan ve birini diğerinden ayırt edebilen bir derin öğrenme algoritmasıdır. Görüntü verilerini öğrenmek için tasarlanmıştır [32]. Görüntü ve ses işleme, doğal dil işleme, biyomedikal gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Evrişimli sinir ağlarının mimarisi genellikle giriş katmanı, evrişim katmanı, havuzlama katmanı, tam bağlantılı katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. ESA'nın evrişim katmanında, yakındaki piksellerden anlamsal olarak benzer özellikleri öğrenmek için filtreleme işlemi gerçekleştirir. ESA modellerinde birden fazla evrişim katmanı bulunabilir. Havuzlama katmanı, evrişim katmanında belirlenen özelliklerin uzamsal boyutunu küçültmekten sorumludur. Boyutsallık azaltmada amaç, verileri işlemek için gereken hesaplama gücünü azaltmaktır. Ayrıca bu katmanda baskın özellikler çıkarılarak modelin etkin bir şekilde eğitilmesi süreci sürdürülür. Tam bağlantılı katman, öğrenilen özellikleri, etiket uzayına eşleyerek aktivasyon fonskiyonu aracılığıyla sınıflandırma işlemini gerçekleştirir. ESA'nın görüntü verisindeki filtreleme işleminde yakındaki piksellerden özellikleri öğrenebilmesi, doğal dil işleme görevlerini de kolaylaştırabilir. Örneğin, metin

sınıflandırma işleminde, bir cümleye uygulanan ESA filtreleri, cümle içerisindeki kelimeleri, vektörlerin bulunduğu bağlamsal özellik uzayındaki yerel bağlamsal özellik vektörlerine yansıtabilir [32].

Çalışmada oluşturulan modelde de evrişimli sinir ağı (ESA) kullanılmıştır. Güvenlik açığı açıklamasının vektörleştirme işleminden sonra, doğal dille tanımlanan güvenlik açığı metin verileri, makine tarafından tanınabilen ve istatistiksel öğrenme yoluyla ifade edilebilen veri yapısına dönüştürülmüştür. ESA modelini oluşturmak için derin öğrenme kütüphanesi TensorFlow kullanılmıştır. Çalışmada oluşturulan ESA modelinin yapısı Şekil 4'te gösterilmiştir.

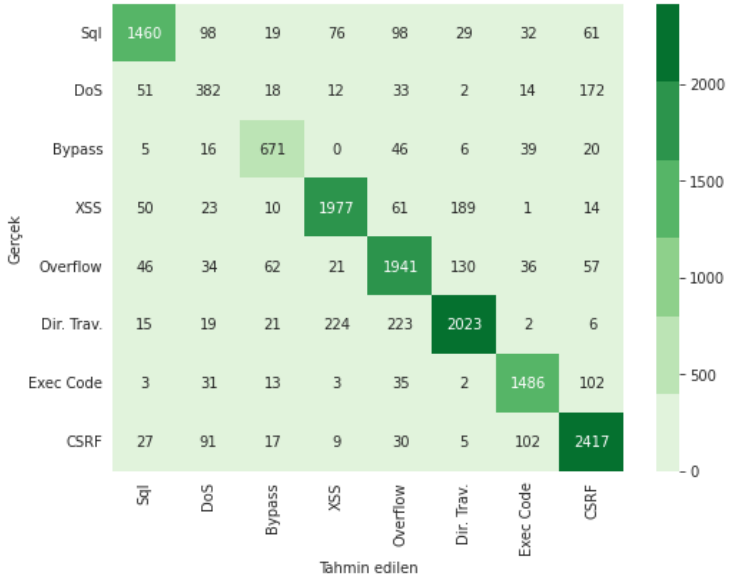


Şekil 4. Modelde kullanılan evrişimli sinir ağı

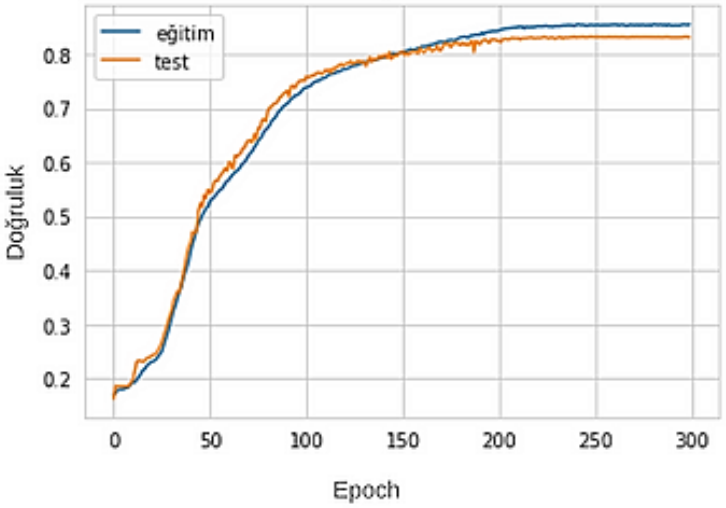
ESA modelini eğitmek için eğitim seti kullanılmıştır. Test için ayrılan veriler model performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Oluşturulan modelde 3 tane evrişim katmanı kullanılmıştır. Veri seti metinlerden oluştuğu için Keras kütüphanesine ait Conv1D katmanı kullanılmıştır. Evrişim işlemi için sırasıyla 128, 64, 32 çıktı filtresi kullanılmıştır. Evrişim işleminde özellik haritası üzerinde açıklayıcı özelliklerin çıkarılması için her bir evrişim katmanında konvolüsyon filtresinin değeri (kernel_size) 4x4 olarak ayarlanmıştır. İşlem yükü daha az olduğundan aktivasyon fonksiyonu olarak ReLU kullanılmıştır. Daha sonra modelin hesapsal boyutunu azaltmak için havuzlama katmanı (MaxPooling1D) kullanılmıştır. Havuzlama katmanı, özellik haritası üzerinde belirlenen filtre boyutunda pencereler seçip o alandaki en büyük değeri almamızı sağlar. Aralarda ise modelin aşırı öğrenmesini engellemek amacıyla Seyreltme (Dropout) katmanı kullanılmıştır. Seyreltme katmanı ile belirlenen değerde girdi rastgele seçilerek sıfıra eşitlenir böylece modelin veriyi ezberlemesinin önüne geçilir. Son olarak sinir ağını beslemesi için Düzleştirme (Flatten) işlemi uygulanmıştır. Tam bağlantılı katmanda 128 düğüm ve ReLU aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemi için 8 farklı sınıf bulunmaktadır. Çoklu sınıflandırma gerçekleştirdiğimiz için çıkış katmanında 8 düğüm ve aktivasyon fonksiyonu olarak softmax kullanılmıştır.

4. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada oluşturduğumuz ESA modelinin performansını değerlendirmek için çok sınıflı karışıklık matrisi kullanılmıştır. Güvenlik açığı veri setini sınıflandırmak için kullanılan modelin karışıklık matrisi Şekil 5'te ve doğruluk değerine ait grafiği Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. Modelin Karışıklık Matrisi



Şekil 6. Modelin Doğruluk Grafiği

Bu çalışmada, metin sınıflandırma alanında yüksek başarı gösteren Evrişimli sinir ağı önerilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi modelin eğitimi belli bir eğitim tur (epoch) değerine kadar doğrusal bir şekilde artmaktadır. Evrişimli sinir ağı'nın güvenlik açığı sınıflandırmasındaki performansında %84 doğruluk değeri sonucuna ulaşılmıştır. Deneysel sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir. Elde edilen sonuçları literatürde bulunan çalışmalarla karşılaştırmak doğru bir sonuç vermeyecektir. Çünkü kullandığımız veri setinde bulunan güvenlik açığı türleri ve sayıları bu alanda yapılan çalışmalardaki veri seti ile aynı değildir. Ayrıca oluşturduğumuz model yapısı ise literatürde bulunmamaktadır.

Tablo 4. ESA modelin deneysel sonuçları

Model	Kesinlik (Precision)	Geri Çağırma (Recall)	F1-Skor (F1-score)	Test Veri Sayısı
Sql	0.88	0.78	0.94	1873
Bypass	0.81	0.84	0.82	803
DoS	0.55	0.56	0.55	684
XSS	0.85	0.85	0.85	2325
Overflow	0.79	0.83	0.81	2327
Directory Traversal	0.85	0.80	0.82	2533
Execution Code	0.87	0.89	0.88	1675
CSRF	0.85	0.90	0.87	2698
Doğruluk (Accuracy)			0.84	14918
Makro Ortalama (Macro Average)	0.81	0.80	0.80	14918
Ağırlıklı Ortalama (Weighted Average)	0.83	0.84	0.84	14918

Modelde kullandığımız güvenlik açığı veri sayısında kategoriler arasında dengesiz bir dağılım bulunmaktadır. Bu sebeple modeli doğrulamak için ayrılan test veri sayısı ise her güvenlik açığı türü için farklıdır. Tablo 4'te görüldüğü gibi her güvenlik açığı kategorisinin kesinlik, geri çağırma, f1-skor değerleri değişmektedir.

Sonuç olarak; 75.870 veri setinde ESA modelinin güvenlik açığı otomatik sınıflandırma performansı ile %84 doğruluk değeri elde edilmiştir.

5. Sonuçlar

Güvenlik açıkları, farklı türdeki yazılım ve donanım sistemlerinde farklı düzeylerde bulunur. Bu sebeple güvenlik açıklarından tamamen kaçınmak zordur. Yazılım güvenliğini sağlamak için her bir güvenlik açığı için farklı çözüm yöntemleri gerçekleştirilmektedir. Bir güvenlik açığı türünü önleyebilmek için türlerinin, özelliklerinin, yerlerinin analiz edilmesi araştırmacılara ve geliştiricilere yardımcı olmaktadır. Yazılımın güvenlik açıklarının detaylı bir şekilde analiz edilmesi, firmaların güvenlik açıklarından kaçınmalarını sağlayabilir. Güvenlik açıklarını otomatik bir şekilde analiz etmek için son yıllarda yapay zekâ tabanlı çeşitli metodolojiler vardır.

Bu çalışmada güvenlik açığı türlerinin otomatik tespit edilmesi için çoklu metin sınıflandırma tekniği kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, yazılımların güvenlik performansını iyileştirmek için güvenlik açıklarını derin sinir ağları ile ait oldukları sınıflara göre otomatik olarak daha iyi analiz etmek ve yönetmektir. Oluşturulan otomatik sınıflandırma modelinde evrişimli sinir ağı kullanılmıştır. NVD [21] veritabanından alınan toplam 75.870 ve 8 kategoriden oluşan güvenlik açıkları bilgilerinin bulunduğu veriler, güvenlik açığı açıklamaları kullanarak ait oldukları kategorilere göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunun %84 doğruluk değerinde performansa sahip olduğu görülmüştür. Çalışmada evrişimli sinir ağı (ESA) kullanılarak oluşturulan modelde, güvenlik açıklarını türlerine göre sınıflandırmada olan etkinliği gösterilmiştir.

Gelecek çalışmada veri setinde bulunan sınıf dengesizliğinin giderilmesi ve farklı metin sınıflandırma teknikleri ve farklı derin öğrenme algoritmaları ile çalışmak hedeflenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma TEKF.21.14 nolu Proje ile Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi Birimi tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1] Bulut GF. Predicting Software Vulnerabilities Using Topic Modeling With Issues, MSc, İstanbul Technical University, İstanbul, 2019.
[2] Dangler YJ. Categorization of Security Design Patterns, MSc, East Tennessee State University, Sam Wilson Hall, 2013.
[3] Hosseinzadeh S, Rauti S, Lauren S, Makela M.J, Holvitie J, Hyrynsalmi S, Leppanen, V. Diversification and obfuscation techniques for software security: A systematic literature review, Information and Software Technology 2018; 104(1): 72-93.
[4] Baran O. Yazılım Güvenliği Sistemlerinin İncelenmesi Ve Bir Yazılım Koruma Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2011.
[5] Sarıman G. Yazılım Güvenliği Test Ve Değerlendirme Aracı Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2015.
[6] Kaçtıoğlu S., Keskinkılıç M., Kahveci F. Yazılım Kalitesi Faktörü Olarak Yazılım Güvenliğinin Öğrenci Bilgi Sisteminde Rıps Testi İle Değerlendirilmesi. Atatürk üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 2019; 33(4): 1261-1278.
[7] Assal H., Chiasson S. Security in the Software Development Lifecycle. Symposium on Usable Privacy and Security (SOUPS), August 12–14, 2018; Baltimore, MD, USA. 281-294.
[8] Hanif, H., Md Nasir, M. H. N., Ab Razak, M. F., Firdaus, A., & Anuar, N. B. The rise of software vulnerability: Taxonomy of software vulnerabilities detection and machine learning approaches. Journal of Network and Computer Applications, 2021; 179(9).
[9] Aota, M., Kanehara, H., Kubo, M., Murata, N., Sun, B., & Takahashi, T. Automation of Vulnerability Classification from its Description using Machine Learning. 2020 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), November 10, 2020; Tokyo, Japan.
[10] Han, Z., Li, X., Xing, Z., Liu, H., & Feng, Z. Learning to Predict Severity of Software Vulnerability Using Only Vulnerability Description. 2017 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME), September 17-22 2017; Shanghai, China. 125-136.
[11] Rehman, S., Mustafa, K. Software Design Level Vulnerability Classification Model. International Journal of Computer Science and Security (IJCSS), 2012; 6(4): 238-255.
[12] Mısırlı A. Modelling Software Reliability Using Hybrid Bayesian Networks, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 2012.
[13] Wu F, Wang J, Liu J, Wang W. Vulnerability Detection with Deep Learning. 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications, 2017; Nanjing, China. 1298-1302.
[14] Clemente JC, Jaafar F, Malik Y. Is Predicting Software Security Bugs using Deep Learning Better than the Traditional Machine Learning Algorithms?, IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security, 2018; Lisbon.; 95-102.
[15] Kaya A, Keceli AS, Catal C, Tekinerdogan B. The impact of feature types, classifiers, and data balancing techniques on software vulnerability prediction models. Journal of Software: Evolution and Process, 2019; 31(1): 1-25.
[16] Russell R, Kim L, Hamilton L, Lazovich T, Harer J, Ozdemir O, McConley M. Automated Vulnerability Detection in Source Code Using Deep Representation Learning, IEEE International Conference on Machine Learning and Applications, 2018; Canada; 757-762.
[17] Huang G, Li Y, Wang Q, Ren J, Cheng Y, Zhao XA. Automatic Classification Method For Software Vulnerability Based On Deep Neural Network, IEEE Access 2019; 1(1): 1-9.
[18] Davari, M., Zulkernine, M., & Jaafar, F. An Automatic Software Vulnerability Classification Framework. 2017 International Conference on Software Security and Assurance (ICSSA), July 24-25 2017; Altoona, PA, USA; 44-49.
[19] Şahin, C. B., Dinler, Ö. B., & Abualigah, L. Prediction of software vulnerability based deep symbiotic genetic algorithms: Phenotyping of dominant-features. Applied Intelligence, 2021; 51(11):8271-8287.

[20] Chernis, B., & Verma, R. Machine Learning Methods for Software Vulnerability Detection. Proceedings of the Fourth ACM International Workshop on Security and Privacy Analytics, March 21, 2018; Tempe, AZ, USA. 31-39.
[21] NVD, https://www.cvedetails.com/vulnerabilities-by-types.php, Erişim: 11-1-2021.
[22] OWASP Top Ten, https://owasp.org/www-project-top-ten/, Erişim: 20-07-2022.
[23] https://owasp.org/www-community/attacks/SQL_Injection, Erişim Tarihi: 7.07.2021.
[24] https://owasp.org/www-community/attacks/xss/, Erişim Tarihi: 7.07.2021.
[25] https://owasp.org/www-community/attacks/Denial_of_Service, Erişim Tarihi: 7.07.2021.
[26] Wood AD, Stankovic JA. Denial of service in sensor networks. Computer 2002; 35(10), 54–62.
[27] https://owasp.org/www-community/attacks/csrf, Erişim Tarihi: 7.07.2021.
[28] Yadav P, Parekh CD. A report on CSRF security challenges & prevention techniques. 2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems, March 17-18, 2017; Coimbatore, India. 1-4.
[29] https://owasp.org/www-community/attacks/Buffer_overflow_attack, Erişim Tarihi: 7.07.2021.
[30] Oriyano SP, Shimonski R. Web Application Attacks. Client-Side Attacks and Defense, 2018; 195–221.
[31] Wang A, Wang H, Guo M, Xia M. Security metrics for software systems. Proceedings of the 47th Annual Southeast Regional Conference, 2009; Marietta, ABD. 1-6.
[32] Lin, G., Wen, S., Han, Q.-L., Zhang, J., & Xiang, Y. Software Vulnerability Detection Using Deep Neural Networks: A Survey. Proceedings of the IEEE, 2020; 108(10): 1825-1848.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 531-540, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1077522

LabVIEW'de Kombinatoryal Arı Algoritması Araç Setinin Geliştirilmesi

Murat ŞAHİN*
Kontrol Sistemleri Geliştirme Müdürlüğü, Roketsan A.Ş., Ankara, Türkiye
* msahin@roketsan.com.tr

(Geliş/Received: 22/02/2022; Kabul/Accepted: 16/05/2022)

Öz: Bu çalışmada kombinatoryal problemler için LabVIEW'de geliştirilen Arı Algoritması (AA) Optimizasyon Araç Seti sunulmaktadır. LabVIEW, ölçüm ve kontrol uygulamalarında kullanılan, oldukça verimli bir geliştirme ortamıdır. Bu çalışma ise LabVIEW'un kombinatoryal optimizasyon bölümüne katkıda bulunmak amacıyla hazırlanmıştır. Bal arılarının polen bulma stratejisinden esinlenerek geliştirilen AA'nın tüm bölümleri, LabVIEW'de adım adım kodlanmıştır. Araç seti ile gezgin satıcı problemi üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda 100 şehirlik problemlerde binde 3 ve daha küçük değerlerde, 150-200 şehirlik problemlerde ise %1.41'den daha küçük değerlerde sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca farklı optimizasyon algoritmaları ile gerçekleştirilen karşılaştırmalarda da daha iyi sonuçlar alındığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Arı algoritması, LabVIEW, kombinatoryal optimizasyon, gezgin satıcı problemi.

Development of Combinatorial Bees Algorithm Toolkit in LabVIEW

Abstract: In this study, the Bees Algorithm (BA) Optimization Toolkit developed in LabVIEW for combinatorial problems is presented. LabVIEW is a highly productive development environment used in measurement and control applications. This study has been prepared to contribute to the combinatorial optimization part of LabVIEW. All parts of BA, inspired by the pollen searching strategy of honey bees, were coded step-by-step in LabVIEW. Experimental studies were carried out on the traveling salesman problem with the toolkit. As a result of the experiments, results were obtained at 3 per thousand and less in 100 city problems, and less than 1.41% in 150-200 city problems. In addition, it was observed that better results were obtained in comparisons with different optimization algorithms.

Key words: Bees algorithm, LabVIEW, combinatorial optimization, travelling salesman problem.

1. Giriş

Optimizasyon, verilen koşullar altında en iyi sonucu elde etme işlemidir ve özellikle mühendislik uygulamalarının önemli bir aşamasıdır. Mühendisler, herhangi bir mühendislik sisteminin tasarımında, yapımında, bakımında vb. farklı aşamalarda birçok teknolojik ve yönetsel kararlar almak zorundadır. Tüm bu kararların nihai amacı ya gerekli çabayı en aza indirgemek ya da kazancı en üst düzeye çıkarmaktır. Bu çaba veya hedeflenen kazanç, belirli karar değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebiliyor ise, optimizasyon bu fonksiyonun maksimum veya minimum değerini veren koşulları bulma süreci olarak da tanımlanabilir [1]. Optimizasyon problemleri farklı yapılara sahip olabilmekle beraber, temelde sürekli ve kesikli olmak üzere ikiye ayrılır. Kombinatoryal problemler (KP) kesikli bir yapıya sahiptir ve popüler optimizasyon alanlarından biridir. Popüler olmasının sebeplerinden biri, orta ölçekli problemler için bile problemin çözümünün zor olmasıdır. Ayrıca, eğlence, turizm, lojistik, üretim gibi farklı alanlara uygulanabilmektedir. KPler arasında öne çıkanlar gezgin satıcı problemi (GSP) ve araç yönlendirme problemidir (AYP) [2]. GSP'de, satıcı bir rotadaki rastgele bir şehirden başlar ve diğer tüm şehirleri sadece bir kez ziyaret ederek ilk şehre geri döner. Amaç bu yolculuğu minimum maliyetle tamamlamaktır [3]. GSP'lerdeki olası çözümlerin sayısı doğrudan şehir sayısına bağlıdır ve (n-1)! ile ifade edilir [4]. Çok sayıdaki çözüm olasılığı, problemlerin optimizasyonu için araştırmacıları meta-sezgisel algoritmalara yöneltmiştir. Bu algoritmalar, topluluklardaki biyolojik süreçler, grup davranışı ve canlıların popülasyonda hayatta kalması vb. durumlardan esinlenerek geliştirilmiştir [5].

Popüler meta-sezgisel algoritmalardan birisi de Pham ve arkadaşları tarafından geliştirilen Arı Algoritmasıdır (AA) [6]. AA, gerçek bal arılarının polen arama davranışını taklit eder. Sadelik ve esneklik gibi avantajlarından dolayı mekanik tasarımdan enerji optimizasyonuna kadar birçok alanda kullanılmaktadır. KPler kapsamında ise, makine çizelgeleme problemleri [7], baskı devre montaj optimizasyonu [8], araç rotalama problemleri [9], tedarik zinciri optimizasyonu [10] ve GSP [11] gibi farklı alanlarda kullanılmıştır.

* Sorumlu yazar: msahin@roketsan.com.tr Yazarın ORCID Numarası: 0000-0002-3659-3528

AA'nın, C [12] ve Python [13] gibi programlama dillerinde kodlandığı ve kullanıldığı bilinmektedir. Endüstride popüler diğer bir program ise National Instrument firması tarafından geliştirilen LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) programıdır. Grafiksel programlama yöntemini kullanan güçlü bir araçtır [14]. Günümüzde özellikle kontrol, robotik ve otomasyon gibi alanlarda gerçek zamanlı uygulamalar kapsamında tercih edilmektedir. Bu alanlarda gerçekleştirilen optimizasyon çalışmaları kapsamında bünyesinde bulunan "Optimizasyon Araç Seti" kullanılmaktadır. Bu araç seti içerisinde, birinci ve ikinci dereceden problemlerin çözümü için hazırlanmış bloklar bulunmaktadır. Ayrıca sürekli fonksiyonların minimum değerlerini bulmak için bazı bloklar da mevcuttur [15]. Kompleks optimizasyon için ise, ENIT (LabVIEW'e araç seti geliştiren bir topluluk.) tarafından geliştirilen AMA (Advanced Metaheuristics Algorithms - Gelişmiş Meta-sezgisel Algoritmalar) araç seti bulunmaktadır. Bu araç seti bünyesinde; Parçacık Sürü Optimizasyonu, Karınca Kolonisi Algoritması, Yerçekimi Arama Algoritması, Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon ve Bozkurt Algoritması blokları bulunmaktadır [16]. Bunların haricinde araştırmacılar tarafından, optimizasyon çalışmaları kapsamında; Parçacık Sürü Optimizasyonu [17], Yarasa Algoritması [18], Karınca-Aslan Optimizasyonu [19] ve Bozkurt Algoritması [20] yöntemlerinin LabVIEW'de kodlandığı ve kullanıldığı görülmektedir. Literatür taraması yapıldığında, AA'nın LabVIEW'de kodlanmadığı görülmüş ve bu çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir. Ayrıca, diğer optimizasyon çalışmaları ve araç setleri sürekli problemler üzerine geliştirilmiştir. Bu çalışmada kombinatoryal bir problem olan GSP ele alınmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde Kombinatoryal AA (KAA) hakkında bilgiler yer almaktadır. Üçüncü bölümde KAA araç seti ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde araç seti ile gerçekleştirilen optimizasyon çalışmalarının sonuçları yer almaktadır. Araç seti NI LabVIEW 2019 (32-bit) versiyonunda hazırlanmıştır.

2. Kombinatoryal Arı Algoritması

KAA, diğer popülasyon tabanlı meta-sezgisel algoritmalarda olduğu gibi, optimizasyon problemini yinelemeli olarak çözer. Lokal ve global arama bölümleri vardır. Lokal arama bölümünde elit sitelerde daha fazla mahalle araması yapılırken diğer sitelerde daha az arama yapılır. Algoritma, kâşif arı sayısı (n), lokal arama sitesi sayısı (m), elit site sayısı (e), elit sitedeki toplayıcı arı sayısı (nep), diğer lokal sitedeki (nsp) toplayıcı arı sayısı, arama komşuluğunun büyüklüğü (ngh) ve yineleme sayısı (I) gibi bazı parametrelerin belirlenmesi ile başlar [21].

Kombinatoryal problemlerde arama bölümleri ve komşuluk tanımları sürekli problemlerden farklıdır. GSP'ler için, rota üzerindeki şehirlerin yerleri belirli kurallara göre konumları değiştirilerek daha az maliyetle yeni rotalar bulunmaya çalışılır. Arı algoritması için yapılan güncel çalışmalardan birinde Ismail ve arkadaşları [11], lokal arama bölümünde üç farklı operatör kullanmıştır: takas, ekleme ve tersine çevirme. Takas operatöründe, rastgele seçilen iki şehrin sırası değiştirilir. Ekleme operatöründe, rastgele seçilen bir şehir, rastgele seçilen farklı bir sıraya eklenir. Tersine çevirme operatöründe ise, rastgele seçilen iki şehir arasındaki sıra tersine çevrilir [11]. Bu operatörler, elit sitelerde daha fazla sayıda ve diğer lokal sitelerde daha az sayıda olmak üzere her döngüde rastgele kullanılır. Bu çalışmada, bu 3 operatöre ek olarak algoritmaya "değişken çoklu-ekleme" operatörü eklenmiştir [22]. Rastgele belirlenen bir bölgeden, birden çok ve değişken sayıda şehirler alınır. Bu şehirler komşulukta belirlenen ikinci bir konuma yerleştirilir. Bu sayede, bir adımda birden fazla şehrin yeri topluca değiştirilerek farklı bir deneme daha yapılmış olur. KAA'nın genel akış diyagramı ve elit site arama akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.

3. Algoritmanın LabVIEW'de Geliştirilmesi

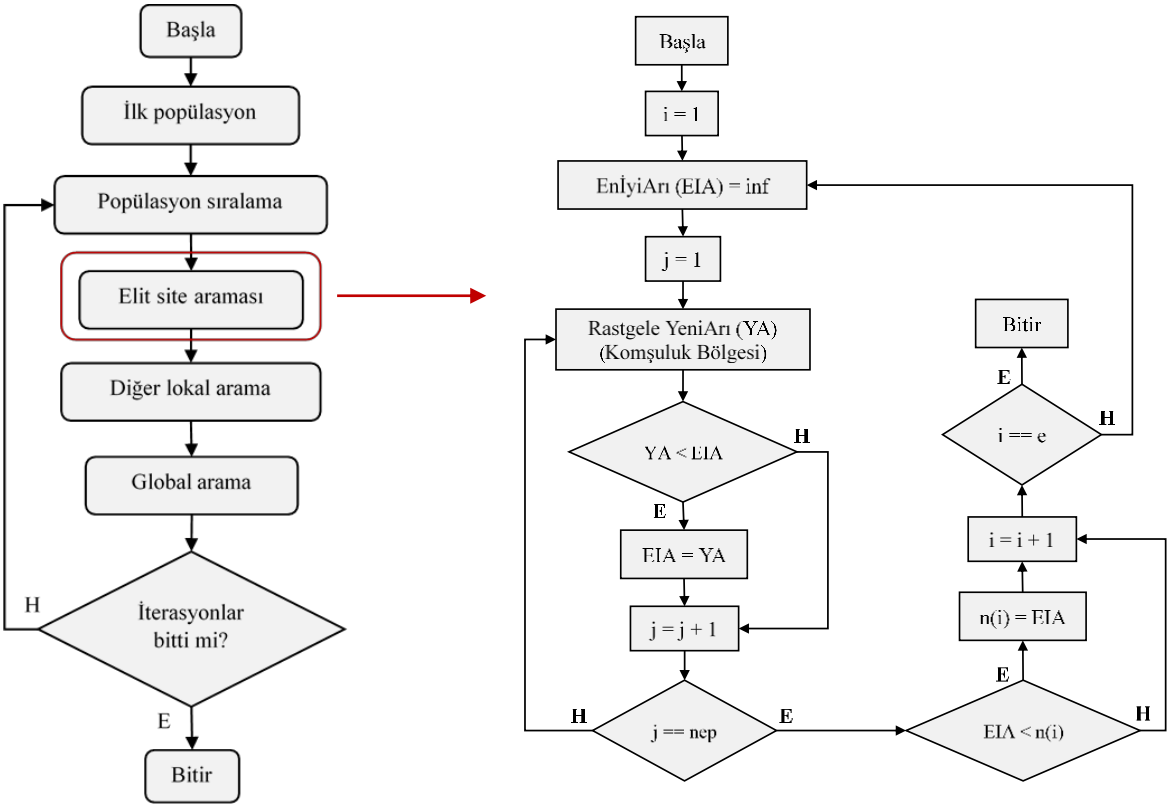
İlk olarak şehirler arası mesafelerden oluşan bir matris oluşturulmuştur. Algoritmada, her şehrin başka bir şehre olan uzaklığı bu matris kullanılarak hesaplanır. İki şehir arasındaki mesafe denklemi (1)'de verilmiştir [3].

$$d\big(T(i),T(i+1)\big)=\sqrt{(x_i-x_{i+1})^2+(y_i-y_{i+1})^2} \tag{1}$$

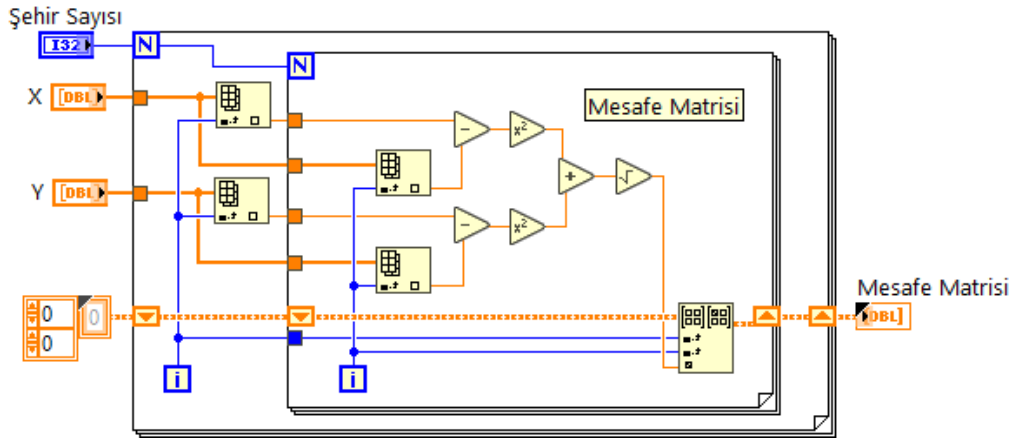
x ve y şehrin koordinatlarını gösterir. Denklem (2)'de ise toplam tur mesafesi gösterilmiştir [3].

$$\sum_{i=1}^{n-1} d\big(T(i),T(i+1)\big)+d\big(T(n),T(1)\big) \tag{2}$$

Mesafe matrisi Şekil 2'de gösterilmiştir. İçteki **for** döngüsünde (1) denklemi, dıştaki **for** döngüsünde ise (2) denklemi gerçekleştirilmektedir.



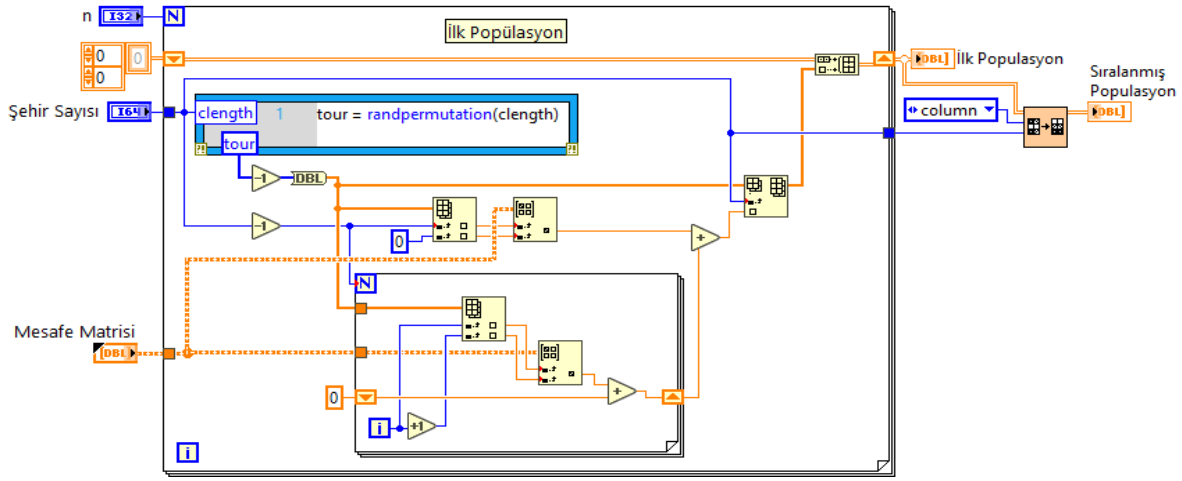
Şekil 1. KAA'nın genel akış diyagramı ve elit site arama



Şekil 2. Mesafe matrisi

3.1. İlk popülasyon

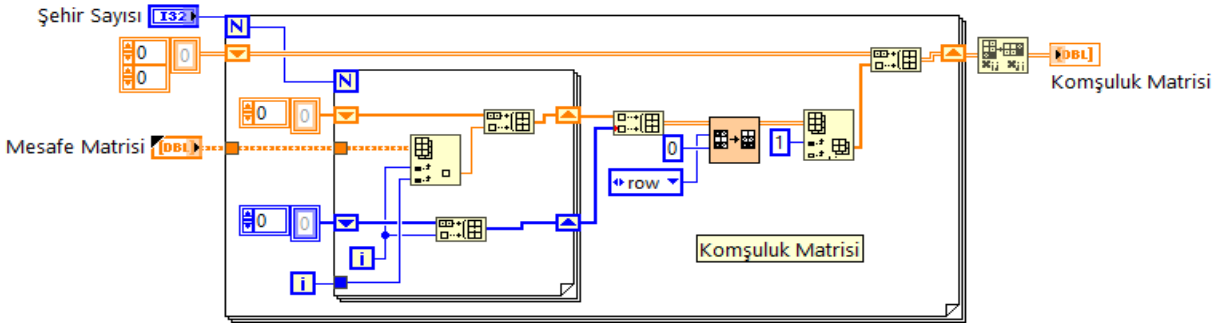
KAA'da ilk popülasyon, diğer birçok meta-sezgisel algoritmada olduğu gibi rastgele oluşturulur. Şekil 3'te popülasyon oluşumu gösterilmiştir. İlk olarak problemdeki şehirler rastgele sıralanır ve bir diziye aktarılır. Bu işlem formül bloğu içerisinde **randpermutation** komutu ile yapılır. Sonrasında **for** döngüsü içerisinde bu dizilimin maliyeti hesaplanır ve bu işlemler popülasyon sayısı **n** kadar tekrarlanır. Rota ve maliyeti aynı dizide tutulur. Dizinin son değeri maliyettir. Sonraki adımda ise popülasyonun üyeleri en düşük maliyetliden en yükseğe doğru olacak şekilde sıralanır. Bu işlem için **Sort 2D Array** bloğu kullanılır.



Şekil 3. İlk popülasyon

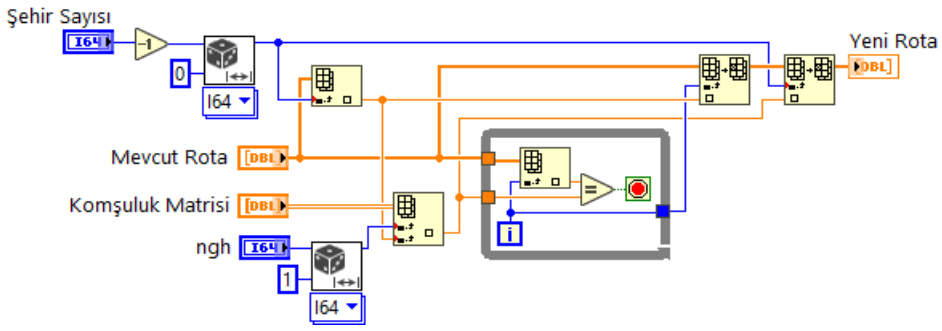
3.2. Lokal arama

Lokal aramada rota üzerindeki şehirlerin yerleri, önceki bölümde anlatılan operatörler ile değiştirilerek daha az maliyetle yeni rotalar bulunmaya çalışılır. İlk adımda, komşuların belirlenmesi için, her bir şehire yönelik komşuluk matrisi (Şekil 4) oluşturulmuştur. Her bir şehir için, diğer şehirlere olan uzaklıklarına göre yakından-uzağa mesafe sıralaması yapılır. Dıştaki **for** döngüsünde şehirler sıra ile alınır ve içteki **for** döngüsü ile diğer tüm şehirlere olan uzaklıkları bir dizide toplanır. Bu dizi sonrasında küçükten büyüğe sıralanarak yakın komşuluklar belirlenir. Bu işlem tüm şehirler için yapılır.



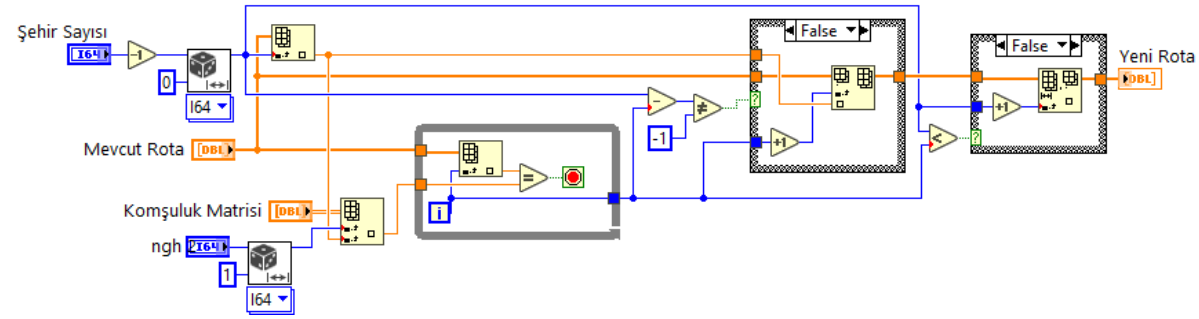
Şekil 4. Komşuluk matrisi

Takas operatöründe ilk şehir rastgele seçilir, diğer şehir ise komşular (**ngh**) arasından rastgele belirlenir. Burada ikinci seçimde aynı şehri seçmemek için **while** döngüsü kullanılır. Değiştirme işlemi **Replace Array** bloğu ile gerçekleştirilir. Takas operatörünün kodu Şekil 5'te gösterilmiştir.



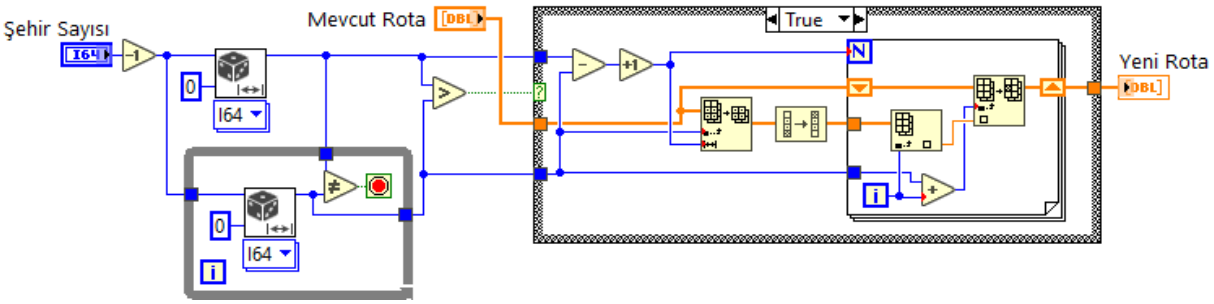
Şekil 5. Takas operatörü

Ekleme operatöründe, rastgele seçilen bir şehir, komşuluk içerisinde rastgele seçilen farklı bir sıraya eklenir. Aynı konumun seçilmemesi için burda da **while** döngüsü kullanılmıştır. "Ekleme" yapıldıktan sonra seçilen şehir hâlen ilk konumda durmaktadır, sonraki adımda rotadan silinir **(Delete From Array** bloğu ile.). Ekleme operatörü Şekil 6'da gösterilmiştir.



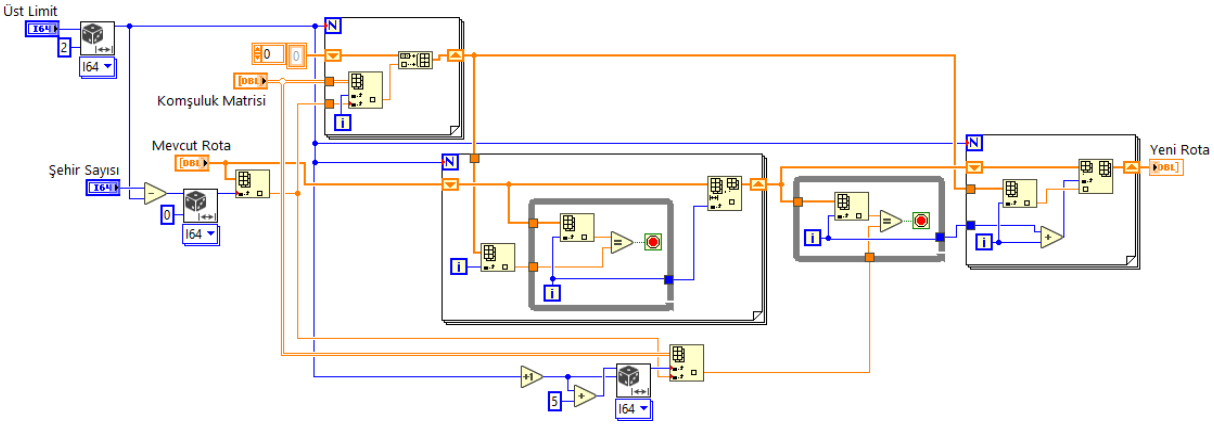
Şekil 6. Ekleme operatörü

Tersine çevirme operatöründe, rastgele seçilen iki şehir arasındaki sıra tersine çevrilir. Takasda olduğu gibi burada da iki farklı şehir belirlenir. Belirlenen konumlar arasındaki şehirlerin sıralaması dizi işlemleri ile tersine çevrilmektedir (Şekil 7). İlk olarak **Array Subset** bloğu ile ilgili bölge alınır ve bir for döngüsü içerisinde sıralaması tersine çevrilerek yeniden aynı rota içerisine kayıt edilir.



Şekil 7. Tersine çevirme operatörü

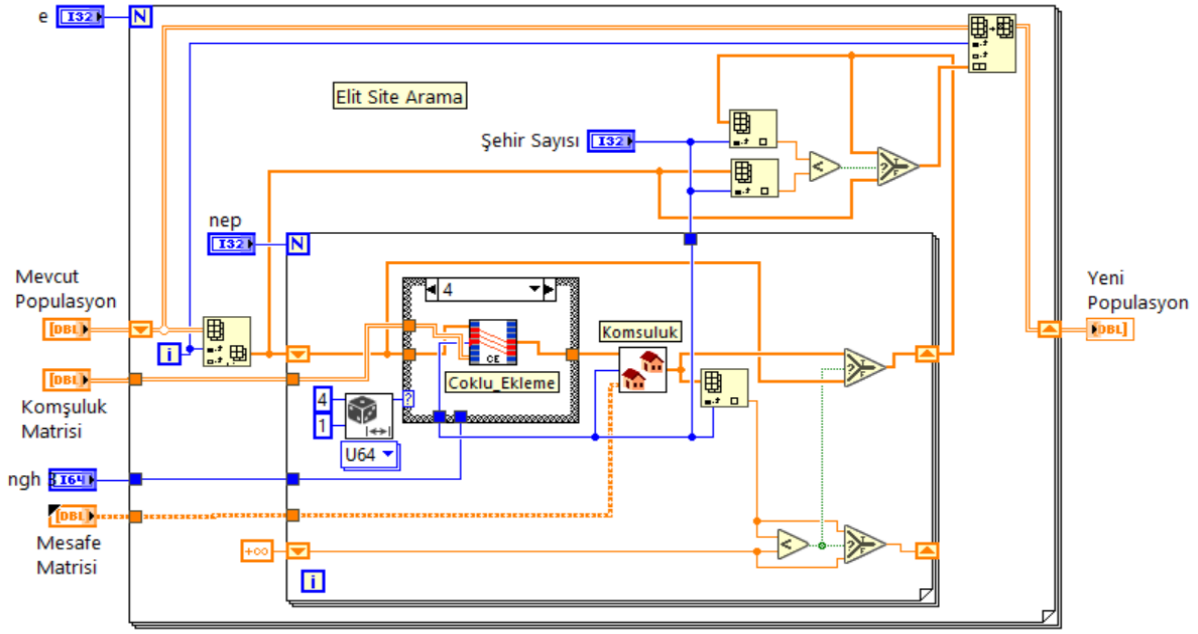
Çoklu ekleme operatöründe, ilk olarak seçilecek şehir sayısı ve şehirlerin alınacağı konum belirlenir. Bu konumdan belirlenen sayı kadar şehir seçilir. Daha sonra, rotada eklenecek olan ikinci konum belirlenir. Çoklu ekleme operatörü Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Çoklu ekleme operatörü

Bu operatörler, elit sitelerde daha fazla sayıda ve diğer lokal arama bölümünde daha az sayıda olmak üzere her döngüde rastgele kullanılır. Elit site araması Şekil 9'da gösterilmiştir. İçteki **for** döngüsünde, elit sitede her bir

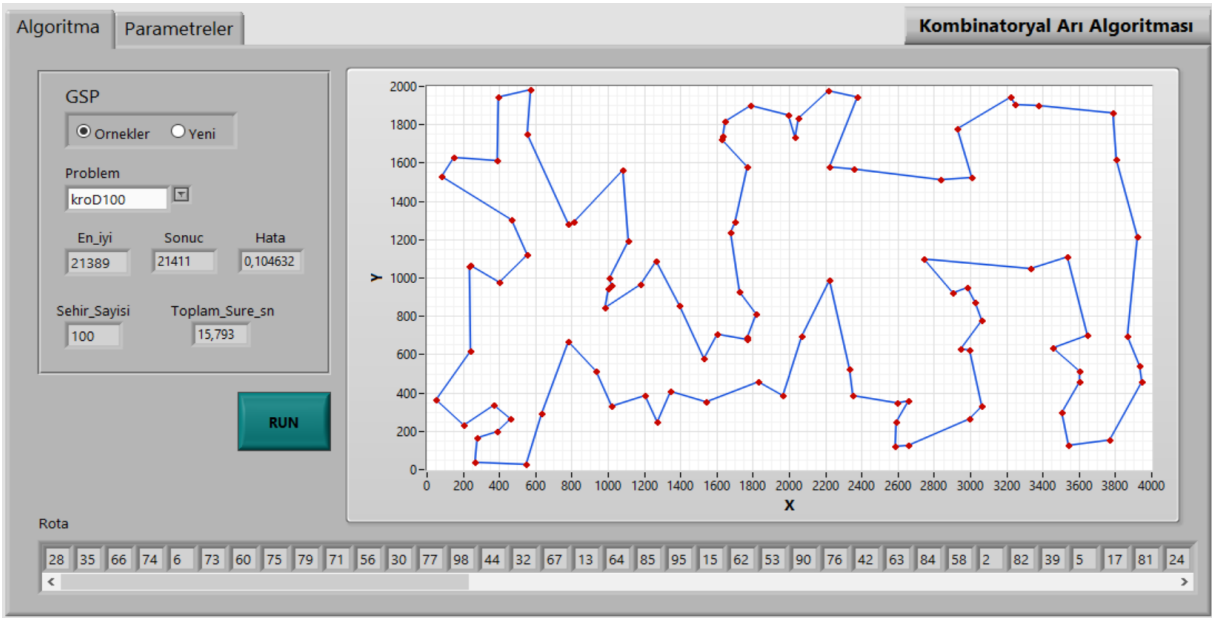
rota için "nep" sayısı kadar arama yapılmakta ve bunlardan en iyisi seçilmektedir (**Select** bloğu ile.). Dıştaki **for** döngüsünde ise bulunan bu değerler popülasyondaki mevcut değer ile karşılaştırılmakta ve daha iyi ise mevcut değerin yerine kayıt edilmektedir. Şekil 9'da gösterilen arama bölümü elit olmayan diğer lokal sitelerde de aynen kullanılmaktadır. Sadece e yerine "m" ve nep yerine "nsp" sayıları gelmektedir. Global arama bölümü de ilk popülasyon oluşturma bölümü ile aynıdır, oluşturulan yeni rastgele rotalar lokal arama dışında kalan bölgelere eklenir.



Şekil 9. Elit site araması

4. Deneysel Çalışmalar

Programın kullanıcı arayüzü Şekil 10'da verilmiştir. Bu bölümde bazı örnek GSP'ler mevcuttur. Ayrıca "Yeni" ifadesi tıklanarak X-Y koordinatlarını içeren farklı bir örnek seçilebilir.



Şekil 10. Kullanıcı arayüzü

Deneysel çalışmalar Intel Core i5-8265U CPU 1.60 GHz, 8 GB RAM ve Windows 10 Pro'ya (64 bit işletim sistemi) sahip bir Lenovo Thinkpad bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan tüm problemlerin verileri MP-TESTDATA'dan alınmıştır [23].

Algoritma parametreleri belirlenirken önceki çalışmalar referans alınmıştır [24,25]. Popülasyon sayılarının 20 ile 100 arasında değiştiği görülmektedir. Popülasyon sayısının fazla olması işlem yükünün artmasına neden olduğu görülmektedir. Bu nedenle popülasyon sayısı (n) 40 olarak belirlenmiştir. Lokal site sayısı (m) popülasyonun yarısı (20) olarak belirlenmiştir. Elit siteler (e) için ise "m"nin %25'i (5) belirlenmiştir. Algoritmada kullanılan tüm parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Algoritma parametreleri

Parametre	**Değer**
Tekrar Sayısı	10
İterasyon Sayısı (I)	1000
Popülasyon Sayısı (n)	40
Elit Sitedeki Arı Sayısı (nep)	300
Diğer Lokal Sitelerdeki Arı Sayısı (nsp)	100
Elit Site Sayısı (e)	5
Lokal Site Sayısı (m)	20

Algoritmayı test etmek için MP-TESTDATA'dan 10 farklı GSP seçilmiştir. Deneysel sonuçlar Tablo 2'de gösterilmiştir. Tablonun ilk sütunu GSP'nin adını ve bilinen en iyi değerini göstermektedir. Sonraki beş sütun bu çalışmanın sonuçlarını göstermektedir. İlk iki sütun, 10 yinelemedeki en iyi değeri (Min) ve 10 değerin ortalamasını (Ort) gösterir. %min ifadesi, minimum değerin bilinen en iyi değerden sapmasını verir. %ort ise, 10 çalıştırma sonucunda bulunan elde edilen ortalama değerin bilinen en iyi değerden sapma oranını gösterir. Son sütun ise her iterasyonda en iyi değerin bulunduğu süreyi gösterir. %min ve %ort denklemleri (3) ve (4)'te tanımlanmıştır [12].

$$\%ort = \frac{(Ort - En\ İyi)}{(En\ İyi)} * 100\% \tag{3}$$

$$\%min = \frac{(Min - En\ İyi)}{(En\ İyi)} * 100\% \tag{4}$$

Tablo 2. Deneysel sonuçlar

GSP (En İyi)	**Min**	**Ort**	**%min**	**%ort**	**Ort. Süre (s)**
Berlin52 (7542)	7544	7544	0.03	0.03	10.24
St70 (675)	677	679.4	0.3	0.65	17.64
Pr76 (108159)	108159	108350	0	0.18	17.59
KroA100 (21282)	21285	21289.2	0.01	0.03	16.74
KroB100 (22141)	22139	22233.3	0	0.42	21.48
Ch150 (6528)	6620	6666	1.41	2.11	19.04
KroA150 (26524)	26761	26971.1	0.89	1.68	21.42
KroB150 (26130)	26320	26473	0.73	1.31	21.83
KroA200 (29368)	29644	30038.8	0.94	2.28	24.88
Lin318 (42029)	44554	44989.4	6.01	7.04	37.71

Tablo 2'den de görüleceği gibi, KAA ile 52-100 arası şehre sahip GSPler için bilinen en iyi değerler veya binde/on binde sapma ile yakın değerler bulunmuştur. Bu problemlerde ortalama değerlerdeki sapmalar da %1'in altında olmuştur. 150 - 200 şehirlik problemler için ise bilinen en iyi değerlerden %0,73 - 1,41 arasında sapmalarla

sonuçlar elde edilmiştir. Bu problemler için 10 testin ortalamasındaki sapmalar ise %1.31-2.28 arasındadır. KAA araç setinin GSPler kapsamında başarıyla çözüm üretebildiği görülmektedir. Bazı problemler için bulunan en iyi rotalar Ek'te gösterilmiştir. KAA araç setinin etkinliğini değerlendirebilmek için ayrıca literatürde bulunan farklı çalışmalar ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu kapsamda Hibrit Balina Optimizasyonu [26], Genetik Algoritma [27] ve En Yakın Komşu Algoritması [27] seçilmiştir. Karşılaştırma sonuçları Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Diğer algoritmalar ile karşılaştırma sonuçları

GSP (En İyi)	KAA		HBO [26]		GA [27]		EYK [27]	
	Min	Ort	Min	Ort	Min	Ort	Min	Ort
Berlin52 (7542)	**7544**	**7544**	7868	7971	**7544**	7836.7	7713	7887.2
St70 (675)	**677**	**679.4**	766	789.6	**677**	694.3	691	711.6
Pr76 (108159)	**108159**	**108350**	132654	134651	**108159**	109675	108880	113480
KroA100 (21282)	**21285**	**21289.2**	24390	25306.2	21307	21754.9	21395	21551.2
KroB100 (22141)	**22139**	**22233.3**	-	-	22338	22615.3	22347	22678
Ch150 (6528)	**6620**	**6666**	-	-	6627	6800.4	6622.8	6667.7
KroA150 (26524)	**26761**	**26971.1**	31798	31948.7	27080	27897.5	27354	27936.2
KroA200 (29368)	**29644**	**30038.8**	-	-	30009	30899.6	29907	30286.1
Lin318 (42029)	44554	44989.4	-	-	46186	47514	**43743**	**44236.5**

Tablo 3.'ten görüleceği üzere, KAA araç seti ile elde edilen sonuçlar diğer çalışmaların sonuçlarına göre daha başarılı olmuştur. Özellikle ortalama değerlerde, diğer algoritmalardan çok daha düşük maliyetli rotalar hesaplanmıştır. Bu araç setinin tekrarlanabilirlik açısından güçlü olduğunu göstermektedir. Diğer algoritmalardan sadece EYK 318 şehirlik problemde daha iyi rotalar hesaplayabilmiştir.

5. Sonuç

Bu makalede, kombinatoryal problemlerin optimizasyonu için LabVIEW'de geliştirilen Arı Algoritması Araç Seti anlatılmıştır. Çalışmalar adım adım anlatılarak okuyucunun kendi uygulamalarını geliştirmesine fırsat verilmektedir. Lokal arama bölümünde 4 farklı arama operatörü gösterilmiştir. Farklı uygulamalar için bu bölüme yeni operatörler kolayca eklenebilir. Makalede örnek olarak GSP üzerine çalışılmış olmasına rağmen, lokal arama bölümü farklı kombinatoryal problemler için de kullanılabilir. Yeni problemler ve operatörler tanımlanırken LabVIEW'in çalışma prensibi göz önünde bulundurulmalıdır. Programlama dillerinde yukarıdan aşağıya sıralı bir akış söz konusuyken, LabVIEW kodları paralel bir şekilde çalıştırır. Dolayısıyla sıralı işlem yapılması gerektiğinde "Sequence" (sıra) blokları tercih edilmelidir. Araç seti ile yapılan deneylerin sonucunda, 100 şehre kadar olan problemlerde %1'den daha düşük sapma değerleri ile ve 150-200 şehirlik problemler için de %1-2 aralığında sapma değerleri ile sonuçlar elde edilmiştir. Literatürde bulunan bazı çalışmalar ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçların alındığı da görülmüştür. Buna rağmen ileriki çalışmalarda, 300 üzeri şehre sahip problemler için araç setinde iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilebilir ve ayrıca farklı kombinatoryal problemler üzerinde de denenebilir.

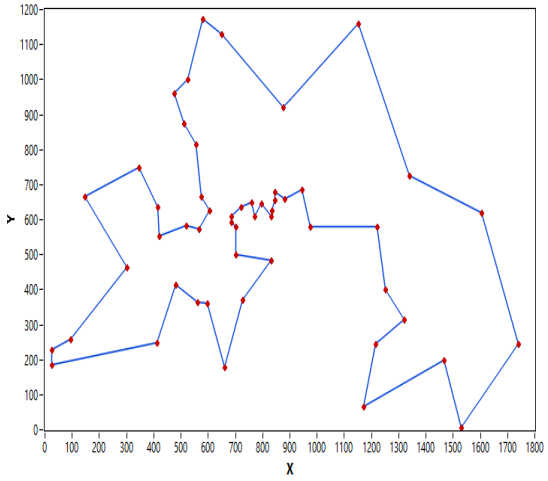
Teşekkür

Yazar, bu çalışmaya vermiş olduğu maddi destekten dolayı, Roketsan A. Ş.'ye teşekkürlerini sunar.

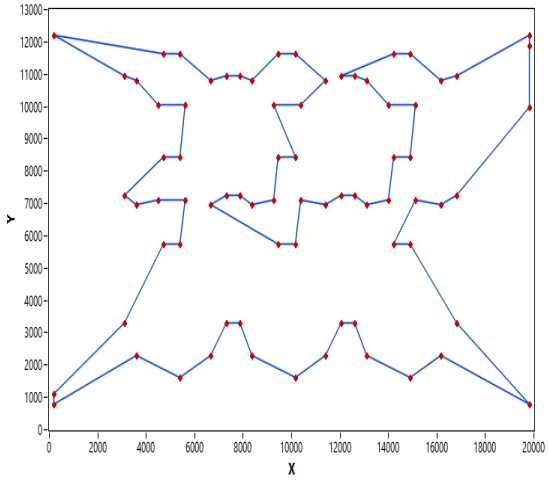
Kaynaklar

[1] Rao S S, Engineering Optimization Theory and Practice. John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 2009.
[2] Osaba E, Yang X, Ser JD. Traveling salesman problem: a perspective review of recent research and new results with bio-inspired metaheuristics. Nature-Inspired Computation and Swarm Intelligence Algorithms, Theory and Applications 2020, 135-164.
[3] Karaboga D, Gorkemli B. Solving Traveling Salesman Problem by Using Combinatorial Artificial Bee Colony Algorithms. International Journal on Artificial Intelligence Tools 2019, 28(1). 1950004 (28 pages).
[4] Chen SM, Chien CY. Parallelized genetic ant colony systems for solving the traveling salesman problem. Expert Systems with Applications 2011, 38: 3873–3883.
[5] Hamzadayi A, Baykasoglu A, Akpinar S. Solving combinatorial optimization problems with single seekers society algorithm. Knowledge-Based Systems 2020, 201–202.
[6] Pham DT, Castellani M. The Bees Algorithm: Modelling Foraging Behaviour to Solve Continuous Optimization Problems. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C, Journal of Mechanical Engineering Science 2009, 223(12): 2919-2938.
[7] Packianather MS, Yuce B, Mastrocinque E, Fruggiero F, Pham DT, Lambiase A. Novel Genetic Bees Algorithm applied to single machine scheduling problem. World Automation Congress (WAC) 2014, 1-6.
[8] Ang MC, Pham DT, Ng KW. Application of the Bees Algorithm with TRIZ-inspired operators for PCB assembly planning. Proceedings of 5 th Virtual International Conference on Intelligent Production Machines and Systems 2009, 454-459.
[9] Alzaqebah M, Jawarneh S, Sarim HM, Abdullah S. Bees Algorithm for Vehicle Routing Problems with Time Windows. International Journal of Machine Learning and Computing 2018, 8(3): 236-240.
[10] Yuce B, Mastrocinque E, Lambiase A, Packianather MS, Pham DT. A multi-objective supply chain optimisation using enhanced Bees Algorithm with adaptive neighbourhood search and site abandonment strategy. Swarm and Evolutionary Computation Volume 2014, 18: 71-82.
[11] Ismail AH, Hartono N, Zeybek S, Pham DT. Using the Bees Algorithm to solve combinatorial optimisation problems for TSPLIB. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 2020, 847: 012027.
[12] Koc E. Bees algorithm: theory, improvements and applications. Ph.D. thesis, Faculty of Engineering, Cardiff University, UK, 2010.
[13] Zeybek S, Ismail AH, Hartono N, Caterino M, Jiang K. An Improved Vantage Point Bees Algorithm to Solve Combinatorial Optimization Problems from TSPLIB. In Macromolecular Symposia 2021, 396(1): 2000299.
[14] Colak I, Bulbul HI, Sagiroglu S, Sahin M. Modeling a permanent magnet synchronous generator used in wind turbine and the realization of voltage control on the model with artificial neural networks. IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) 2012, 1-6.
[15] AMA Toolkit for LabVIEW - https://www.ni.com/en-gb/support/downloads/tools-network/download.ama-toolkit-for-labview.html#. 25.04.2022
[16] LabVIEW Optimization Vıs - https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview-2021/page/gmath/optimization_vis.html#. 25.04.2022.
[17] Aria M. Educational simulator for teaching of particle swarm optimization in labview. TELEKONTRAN 2013, 1(1): 1-15.
[18] Thakur KS, Kumar V, Rana KPS, Mishra P, Kumar J, Nair SS. Development of bat algorithm toolkit in labview. International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA) 2015, Greater Noida, India, pp. 5-10.
[19] Gupta S, Kumar V, Rana KPS, Mishra P, Kumar J. Development of ant lion optimizer toolkit in labview. 1st International Conference on Innovation and Challenges in Cyber Security (ICICCS) 2016, Greater Noida, India, 2016, pp. 251-256.
[20] Gupta S, Rana KPS, Kumar V, Mishra P, Kumar J, Nair SS. Development of a grey wolf optimizer toolkit in labview. 1st International conference on futuristic trend in computational analysis and knowledge management (ABLAZE) 2015, Greater Noida, India, 2015, pp. 107-113.
[21] Baronti L, Castellani M, Pham DT. An analysis of the search mechanisms of the bees algorithm. Swarm and Evolutionary Computation 2020, 59: 100746.
[22] Şahin M. Improvement of the Bees Algorithm for Solving the Traveling Salesman Problems. Bilişim Teknolojileri Dergisi 2022, 15(1), 65-74.
[23] MP-TESTDATA. The TSPLIB Symmetric Traveling Salesman Problem Instances. Retrieved from http://elib.zib.de/pub/mp-testdata/tsp/tsplib/tsp/index.html . 10.01.2022.
[24] Castellani M, Otri S, Pham DT. Printed circuit board assembly time minimisation using a novel Bees Algorithm. Computers & Industrial Engineering 2019, 133: 186–194.
[25] Lambiase A, Iannone R, Miranda S, Lambiase A. Pham DT. Bees algorithm for effective supply chains configuration. International Journal of Engineering Business Management 2016, Volume 8: 1–9.
[26] Demiral MF. Analysis of a Hybrid Whale Optimization Algorithm for Traveling Salesman Problem. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2021, 12(Ek (Suppl.) 1), 469-476.
[27] Şahin Y. Sezgisel ve Metasezgisel Yöntemlerin Gezgin Satıcı Problemi Çözüm Performanslarının Kıyaslanması. Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2019, 19(4), 911-932.

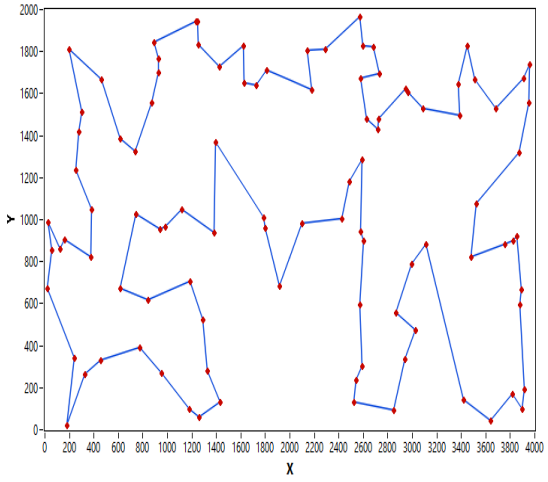
Ek – Bazı GSP'ler için hesaplanan rotalar



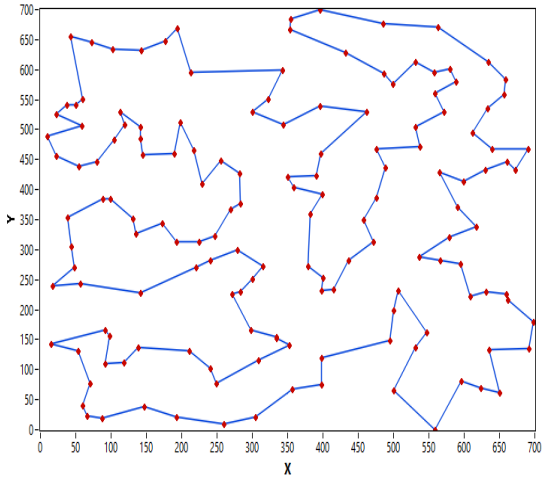
Berlin52



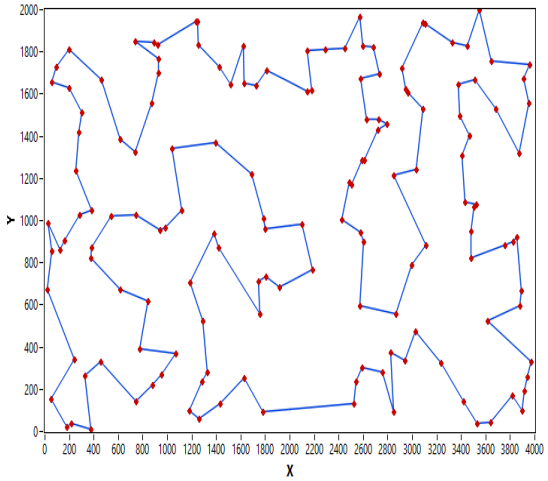
Pr76



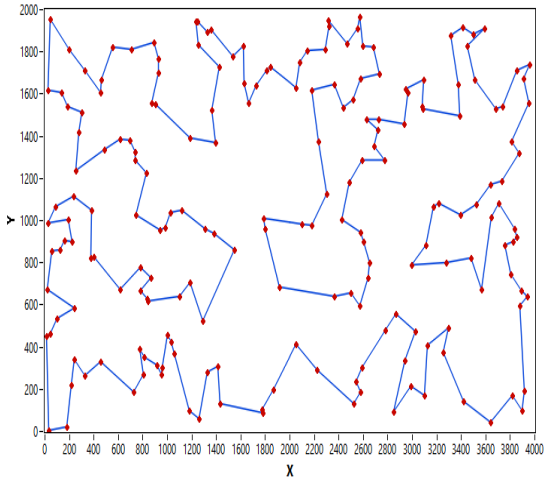
KroA100



Ch150



KroA150



KroA200

Şekil 11. Berlin52, Pr76, KroA100, Ch150, Kroa150, KroA200

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 541-552, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1077322

Ön Eğitimli Evrişimsel Sinir Ağı Modellerinde Öznitelik Seçim Algoritmasını Kullanarak Cilt Lezyon Görüntülerinin Sınıflandırılması

Burak TAŞCI[1*]

[1]Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler MYO. Elektrik ve Enerji Bölümü, Hibrid ve Elektrikli Taşıtlar Teknolojisi Programı, Elazığ, Türkiye
[*1]btasci@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 22/02/2022; Kabul/Accepted: 30/05/2022)

Öz: Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirtildiği gibi, cilt kanseri oluşumu son yıllarda artmaktadır. Her yıl dünya çapında 2 ila 3 milyon arasında melanom dışı cilt kanseri ve en az 132.000 kötü huylu cilt kanseri ortaya çıkmaktadır. Deri lezyonlarının uygun otomatik teşhisi ve melanom tanıma, melanomların erken tespitini büyük ölçüde iyileştirebilir. Cilt kanserinde erken teşhis hastaların doğru tanı ve tedaviye sahip olmasını sağlar. Bu çalışmada, cilt lezyonu görüntülerden deri kanserinin kötü huylu olup olmadığını teşhis etmek için kübik tip Destek Vektör Makinesi (DVM) sınıflandırıcısı ve ön eğitimli Evrişimsel Sinir Ağı (ESA) tabanlı AlexNet ve ResNET50 derin mimarileri kullanılarak derin öznitelikler çıkartıldı ve ardından birleştirildi. Daha sonra, ReliefF algoritması ile bu derin özniteliklerden etkili ve ayırt edici öznitelikler seçildi. Birleştirilen derin özniteliklerine farklı sınıflandırıcı algoritmaları uygulandı. Kübik tip DVM en iyi sonucu verdiği için kullanılmıştır. Önerilen yöntemde sınıflandırma doğruluğu Kaggle veri seti için %92.41, HAM10000 veri seti için %85.17'dir. Deneysel çalışmalarda, önerilen modelin doğruluk skoru diğer çalışmalardan daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Öznitelik Seçimi, Sınıflandırma, Evrişimsel Sinir Ağları, Destek Vektör Makinesi.

Classification of Skin Lesion Images Using Feature Selection Algorithm in Pre-Trained Convolutional Neural Network Models

Abstract: As stated by the World Health Organization, the occurrence of skin cancer has been increasing in recent years. Between 2 and 3 million non-melanoma skin cancers and at least 132.000 malignant skin cancers occur worldwide each year. Appropriate automatic diagnosis of skin lesions and melanoma recognition can greatly improve the early detection of melanomas. Early diagnosis in skin cancer ensures that patients have the correct diagnosis and treatment. In this study, deep features were extracted from skin lesion images to diagnose whether skin cancer is malignant or not, using cubic-type Support Vector Machine (SVM) classifier and pre-trained Convolutional Neural Network (CNN) based AlexNet and ResNet50 deep architectures, and then combined. Then, effective and distinctive features were selected from these deep features with the ReliefF algorithm. Different classifier algorithms were applied to the combined deep features. Cubic type SVM is used as it gives the best results. In the proposed method, the classification accuracy is 92.41% for the Kaggle dataset and 85.17% for the HAM10000 dataset. In experimental studies, it has been observed that the accuracy score of the proposed model is more successful than other studies.

Key words: Feature Selection, Classification, Convolutional Neural Networks, Support Vector Machine,

1. Giriş

Cilt kanserinin oluşturacağı riskler konusunda tıbbi farkındalığın artmasına ve erken fark edilebilme yöntemlerinin artışına rağmen, dünya çapında cilt kanseri görülme oranı son yıllarda çok artmıştır[1]. Malign melanom ve melanom dışı deri kanserleri, beyaz ırkta görülen en sık malignitelerdir [2]. Türkiye Sağlık Bakanlığı kanser bölümünden alınan 2011 epidemiyoloji istatistiklerine göre Türkiye'de cilt kanseri insidansı 100.000 kişi başına 18,91'dir ve en sık teşhis edilen üçüncü kanser türüdür [3]. Dermatolojik kanser türlerini tespit etmek için kullanılan yöntemlerden biri dermoskopidir. Dermoskopi cilt bölgesinin büyütülmüş ve aydınlatılmış bir görüntüsünü elde etmek için kullanılan bir girişimsel olmayan cilt görüntüleme tekniğidir. Hem cildi büyüten hem de yüzey yansımasını ortadan kaldıran yeni bir görsel inceleme tekniği olan dermoskopi [4, 5], tanı performansını iyileştirmenin ve melanom ölümlerini azaltmanın temel yollarından biridir [5]. Melanomun dermoskopi görüntülerinden otomatik olarak tanınması, çeşitli zorluklardan dolayı zor bir iştir. İlk olarak, cilt lezyonları ve normal cilt bölgesi arasındaki düşük kontrast, doğru lezyon alanlarını ayırmayı zorlaştırır. İkincisi, melanom ve melanom olmayan lezyonlar yüksek derecede görsel benzerliğe sahip olabilir, bu da melanom lezyonunu melanom

*Sorumlu yazar: btasci@firat.edu.tr ORCID: 0000-0002-4490-0946

olmayandan ayırt etmede zorlukla sonuçlanır. Üçüncüsü, hastalar arasında cilt rengi, doğal kıllar veya damarlar gibi cilt koşullarının varyasyonu, renk ve doku vb. açısından farklı melanom görünümü üretir. Bu zorluklardan dolayı teşhis doğruluğu, dermatologlar arasında büyük ölçüde değişebilir. Bu nedenle, melanomun sınıflandırılması, bilgisayar destekli tanı görevlerinden biridir. Cilt kanseri görüntülerinin sınıflandırılmasında ön eğitimli derin öğrenme modelleri sıklıkla kullanılmıştır. Yapay zeka yöntemlerinden olan derin öğrenme, insan gözünden daha hızlı ve doğru bir şekilde sonuç vermektedir. Evrişimli Sinir Ağları (ESA), sınıflandırma ve görüntü, sinyal işleme alanlarında kullanılmaktadır. ESA'larda, yüksek başarılı sonuçlar alındığından dolayı sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca ESA modellerinin girişine öznitelik vektörü değil görüntü verilmektedir.

Literatürde cilt kanseri görüntüleri gibi biyomedikal görüntülerin sınıflandırılmasında derin öğrenme modellerinin sıkça kullanıldığı görülmektedir.

Benyahia ve arkadaşları [6], ISIC 2019 ve PH2 veri setlerinde cilt lezyonlarının sınıflandırılmasını değerlendirmek için özellik çıkarıcı olarak 17 önceden eğitilmiş evrişimli sinir ağları ve 24 makine öğrenimi sınıflandırıcısını kullanmışlar. PH2 veri setinde %99 doğruluk elde etmişler. Dhivyaa ve arkadaşları [7] , cilt lezyonu sınıflandırması için karar ağaçları ve rastgele orman algoritmalarını kullanmışlar. Yaklaşımlarını HAM10000 ve ISIC 2017'de test etmişler. Mazoure ve arkadaşları[8], Evrişimli sinir ağlarına dayalı cilt kanseri sınıflandırmasını gerçekleştiren bir web sunucusu olan DUNEScan'ı geliştirmişler. Çalışmalarında Grad-CAM ve UMAP algoritmalarını kullanmışlar. DUNEScan web sunucuna https://www.dunescan.org ile erişilebilmektedir. Akram ve arkadaşları [9], melanom lezyonlarını sınıflandırmak için bir yöntem önermiştir. Deri lezyonları örnekleri üzerinde ön işleme gerçekleştirildikten sonra, temsili öznitelik kümesini hesaplamak için ölçekte değişmeyen öznitelik dönüşümü ve yönlendirilmiş gradyanların histogramı uygulamışlar. Daha sonra k -en yakın komşu(K-EYK) ve Destek Vektör Makinesi (DVM) olmak üzere iki sınıflandırıcı, melanom görüntülerini sınıflandırmak için hesaplanan öznitelikler üzerinde eğitilmiştir. Çalışma PH2, ISIC MSK, ISIC UDA ve ISBI-2017 dört referans dermoskopik veri setinde doğrulanmıştır. Önerilen tasarım ile %98.8, %99.2, %97.1 ve %95 doğruluk değerleri elde edilmiştir. Yap ve arkadaşları [10], otomatik cilt lezyonu teşhisi performansını iyileştirmek için çoklu görüntüleme yöntemlerini birleştiren bir yöntem sunmuştur. Yöntemi diğer çalışmalarla karşılaştırmak için ikili sınıflandırmanın yanı sıra beş sınıflı veri seti üzerinde denenmiştir. İki sınıf için 0.729 beş sınıf için 0.598 başarım elde etmiştir. Volkan Göreke [11], ISIC 2017 veri setini kullanarak deri lezyonlarının tespiti yapmıştır. Çalışmada VGG16 ön eğitimli derin sinir ağını kullanmıştır. VGG16'dan el ettiği öznitelikler yardımıyla sınıflandırma yapmıştır. Çalışmada %96 sınıflandırma doğruluk ve %100 AUC başarımı elde etmiştir. Ergün ve Kılıç [12], çalışmalarında HAM10000 veri setini kullanarak kötü huylu cilt kanserinin tespiti için bir çalışma yapmıştır. AlexNet, DenseNet-121, ResNet-18, ResNet-34, SqueezeNet ve VGGNet-16 derin öğrenme mimarileri kullanılmıştır. Resnet-34 mimarisi en başarılı sonucu vermiştir. ResNet-34'de ortalama %87.5 doğruluk oranı, %94 AUC skoru, %84.5 F-skoru, %87.6 kesinlik değeri elde edilmiştir. Şahin ve Alpaslan [13], SegNet mimarisini kullanarak deride bulunan lezyonları bölütleyebileceği bir sistem geliştirmiştir. Çalışmada ISBI2016 veri kümesi kullanılmıştır. Önerdikleri yöntem sayesinde doğruluk, özgüllük ve hassasiyet değerleri sırasıyla %93.46, %93.22 ve %87.88 elde edilmiştir. Oktay Yıldız [14], cilt kanserinin tespiti için C4Net, AlexNet, GoogLeNet, ResNet ve VGGNet ön- eğitimli ağ modellerinden elde ettiği sonuçları karşılaştırmıştır. En yüksek doğruluğu %96.94 ile C4Net ağ modelinde elde etmiştir. Ayrıca hassasiyet, özgünlük ve kesinlik için sırasıyla 0.976, 0.963 ve 0.965 sonuçlarına ulaşmıştır. Kadiroğlu ve arkadaşları [15], AlexNet ve VGG16 gibi ön eğitimli derin konvolüsyonel sinir ağları yardımıyla cilt kanserini tespit etmeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Yaptıkları çalışmada, AlexNet fc6, AlexNet fc7, VGG16 fc6 ve VGG16 fc7 için %92, %94, %94, %94 doğruluk değerleri elde edilmiştir. Yıldız ve Kılıç [16], kötü huylu cilt kanserini tespit etmek için görüntü işleme tekniklerini kullanarak renk ve doku gibi öznitelikleri çıkarmışlardır. Daha sonra çıkardıkları öznitelikleri farklı makine öğrenmesi sınıflandırıcıları yardımıyla eğitip test etmişlerdir. DVM sınıflandırıcısı ile %97 doğruluk elde edilmiştir. Yıldırım ve Çınar [17], cilt kanserinin iyi huylu veya kötü huylu olup olmadığını belirlemek için Densenet201, Alexnet, Googlenet ve Resnet50 için ayrı ayrı sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek doğruluk oranı % 83.49 ile Resnet50 ile elde edilmiştir. Çalışmada önerilen hibrit modelde doğruluk oranı %84.11'dir.

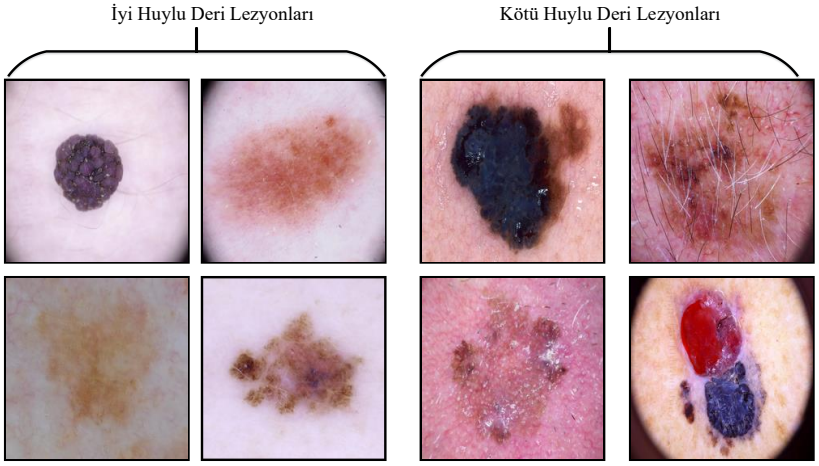
Bu çalışmada ön eğitimli ResNet50 ve Alexnet ön eğitimli ağ modellerinin birlikte kullanılması önerilmektedir. ResNet50 ve Alexnet modelleri öznitelik çıkarma işlemi için kullanılmıştır. ReliefF algoritması ile öznitelik seçimi yapılmıştır. ReliefF algoritması yardımıyla elde edilen daha az sayıdaki öznitelikler yardımıyla

kübik tip DVM'de sınıflandırma işlemi yapılmıştır. DVM diğer sınıflandırıcılara göre daha yüksek performans gösterdiği için seçilmiştir.

Bu makale kısaca şöyle düzenlenmiştir: 2. bölümde, veri setleri hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 3'te çalışmada kullanılan ön-eğitimli ağlar, ReliefF öznitelik seçim algoritması ve DVM sınıflandırıcı hakkında bilgi sunulmuştur. Bölüm 4'te önerilen yöntem verilmiştir. Deneysel çalışma ve sonuçlar bölüm 5'te sunulmuştur. Sonraki bölümde tartışmaya yer verilmiştir. En son bölümde ise sonuçlar verilmiştir.

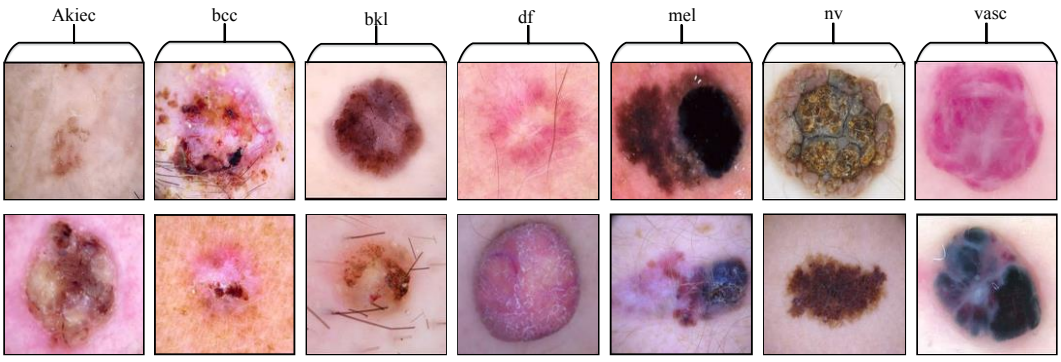
2. Veri Seti

Bu çalışmada kaggle sitesinden alınan veri seti [18] ve HAM10000 [19] herhangi bir önişlem uygulanmadan kullanılmıştır. Kaggle veri setinde toplam 3297 görüntü bulunmaktadır. Kaggle veri seti iki sınıftan oluşmaktadır. Görüntüler dermatologlar tarafından incelendikten sonra etiketlenmiştir.1800 adet cilt lezyonu görüntüsü iyi huylu tümör olarak etiketlenmiştir. Geriye kalan 1497 adet cilt lezyonu görüntüsü kötü huylu tümör olarak etiketlenmiştir. JPG formatındaki görüntüler 224×224 yükseklik ve genişliktedir. Kaggle veri setindeki iyi huylu ve kötü huylu tümörlere ait örnek şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Kaggle veri setindeki iyi ve kötü huylu lezyon örnekleri

HAM10000 veri setinde 100015 görüntü bulunmaktadır. Veri seti yedi sınıftan oluşmaktadır. Güneş Keratozları ve Bowen hastalığı (akiec) sınıfında 327 görüntü, Bazal hücreli karsinom (bcc) sınıfında 514 görüntü, Kötü huylu keratoz bkl sınıfında 1099 görüntü, Dermatofibrom (df) sınıfında 115 görüntü, Melanom (mel) sınıfında 1113 görüntü, Melanositik nevüsler (nv) sınıfında 6705 görüntü ve vasküler deri lezyonları (vasc) sınıfında 142 görüntü bulunmaktadır. HAM10000 veri setindeki sınıflara ait örnekler şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. HAM10000 veri setinin sınıflarındaki görüntülerin örnekleri

3. Yöntemler

3.1. AlexNet

AlexNet, Krizhevsky ve ark. tarafından 2010 yılında geliştirilmiştir[20]. Bu model 1,2 milyon adet yüksek-çözünürlüklü resim ve 1000 adet sınıfa sahip olan ImageNet [21] veri setinin eğitilmesi amacıyla oluşturulmuştur. Bu mimari 25 katmandan oluşmaktadır. AlexNet ağında, konvolüsyon, havuzlama, dropout, tam bağlı katman, RELU, normalizasyon, softmax, giriş ve sınıflandırma katmanlarından oluşmaktadır. Alexnet'in giriş katmanında verilecek görüntü 227×227×3 boyutlarındadır. Son katmanda ise sınıflandırma sayısının değeri verilir.

3.2. ResNet50

ResNet50 mimarisi mikro mimari modülüne sahiptir. Bu özelliği ResNet50'yi diğer ağ mimarilerinden ayırmaktadır. Bazı katmanlar arasındaki değişim göz ardı edilerek alt katmana geçiş işlemi yapılması tercih edilebilir. Resnet mimarisinde bu duruma izin verilerek başarım oranı daha üst seviyelere çıkarılmıştır. Resnet50 mimarisinde 177 katmandan oluşan bir ağ yer almaktadır. Ağın derinliği 50'dir. Ayrıca giriş katmanı 224×224×3 boyutundadır [22].

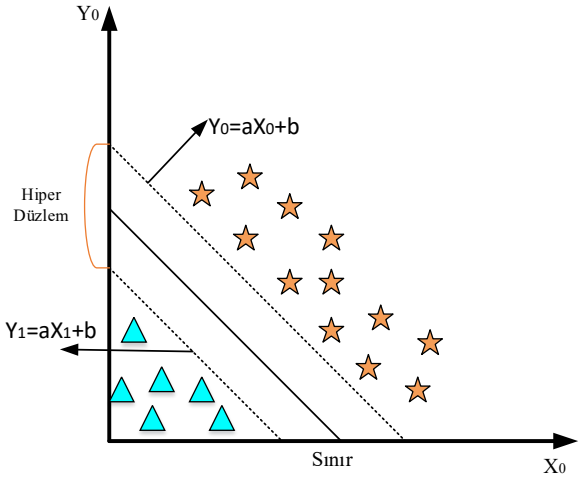
3.3. ReliefF

Öznitelik seçimi ile bir sınıfa ait olan derin öğrenme modellerinden elde edilen özniteliklerin alt kümesinin oluşturulmasıdır. Elde edilen alt küme sayesinde daha küçük boyutlu bir öznitelik vektörü oluşturmasına rağmen oluşturulan öznitelikler temel öznitelik vektörüne eşdeğer ve daha işlevseldir.

ReliefF, birçok öznitelik seçim uygulamasında başarılı sonuçlar veren en önemli öznitelik seçimi algoritmalardan biridir. ReliefF algoritmasında sıralama ve ağırlık matrisleri oluşur. Oluşan sıralama matrisinin ilk elemanı sınıflandırmada en fazla ağırlığa sahip öznitelik sütununun indisidir. Oluşan ağırlık matrisinde ise ilgili öznitelik sütununun ağırlık değeri bulunur. Bu değerlere bağlı olarak bir eşik değeri belirlenir. Eşik değerinin üzerinde bulunan değerler yeni matrise kaydedilir[23].

3.4. DVM Sınıflandırıcısı

DVM hem regresyon hem de sınıflandırma analizinde kullanılabilmektedir. Ancak genellikle sınıflandırma çalışmalarında tercih edilmektedir. Veri setinden öznitelikler çıkarılır. Çıkarılan öznitelikler DVM yardımıyla koordinat düzlemine yerleştirilir [24]. DVM'nin kullanım amacı öznitelikler arasından geçen bir hiper düzlemi bulmaktır. Şekil 3'te bu hiper düzlem üzerinde bulunan doğrular gösterilmektedir. Y0 ve Y1 denklemleri için a ve b değerleri hesaplanır. Sınır olarak gösterilen lineer doğru sınıflar arasında ayırıcı görevi görmektedir.

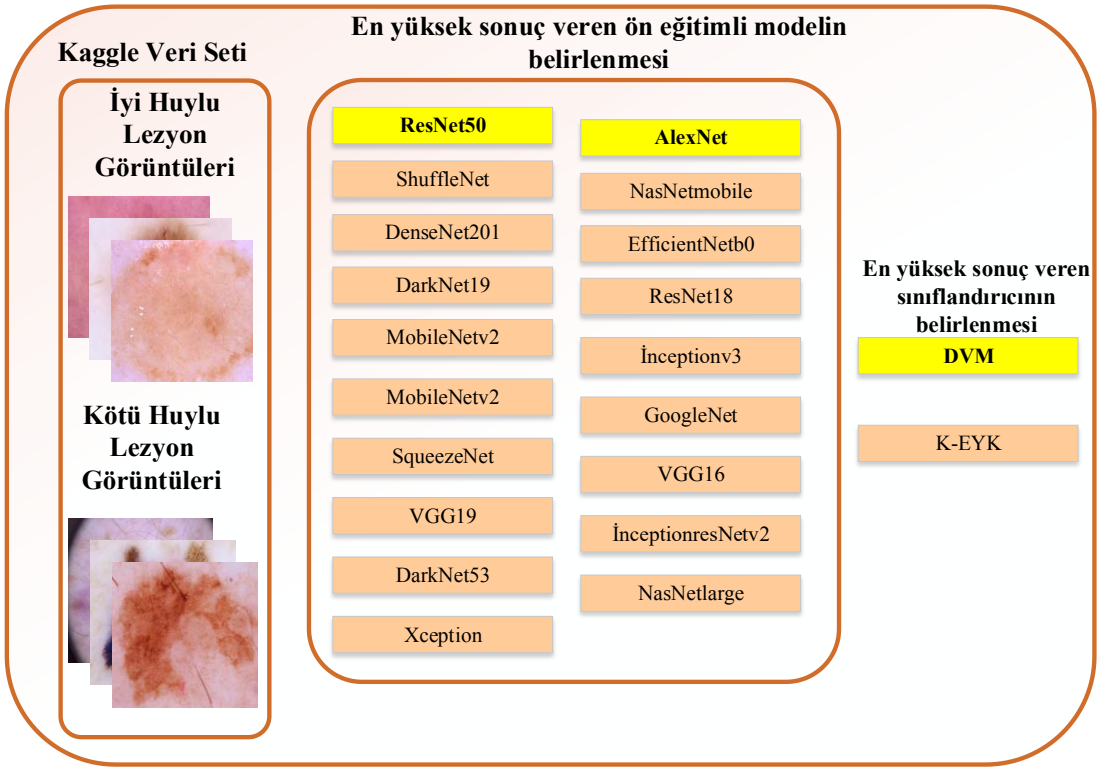


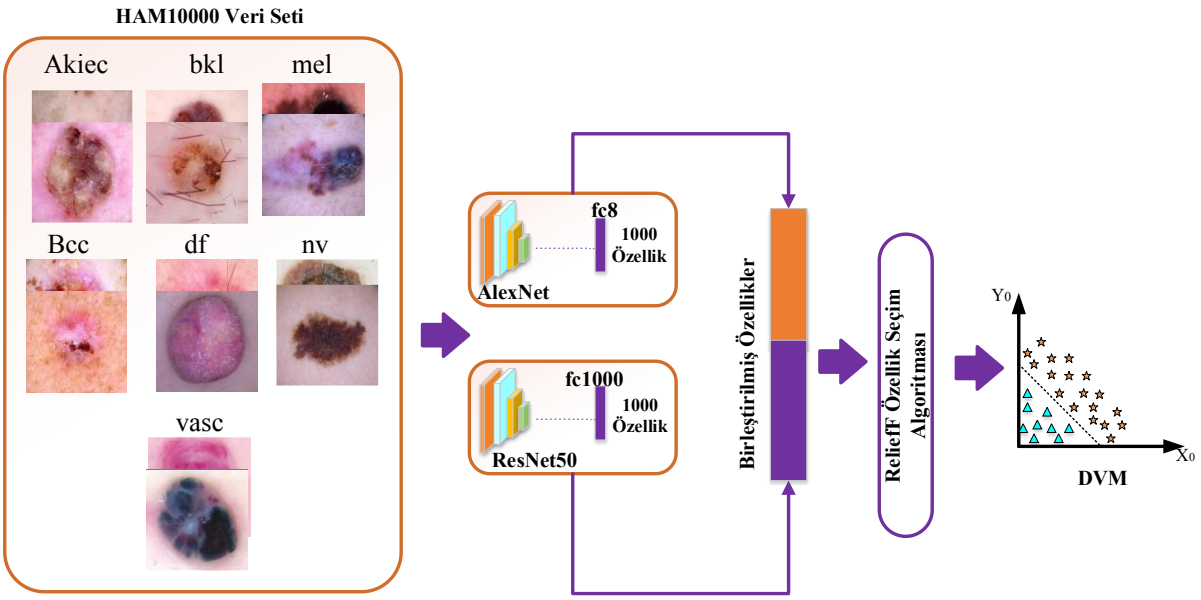
Şekil 3. Hiper düzlem ve destek vektörleri

4. Önerilen Yöntem

Bu çalışmada, cilt lezyonlarının sınıflandırılması için seçilmiş derin özniteliklere ve DVM sınıflandırıcısına dayalı bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistem 8 aşamadan oluşmaktadır:

1. Aşama: Veri Setlerindeki görüntüler ağ yapılarının giriş boyutlarına göre ayarlanmıştır.
2. Aşama: Kaggle veri setindeki görüntüler 19 ön eğitimli modelin girişine ayrı ayrı uygulanarak öznitelikleri alınmıştır.
3. Aşama: Alınan öznitelikler rastgele %80 eğitim - %20 test ve %70 eğitim - %30 test için rastgele ayrılarak DVM ve K-EYK [25] sınıflandırıcılardan sonuçlar alınmıştır.
4. Aşama: DVM, 19 ön eğitimli modelde en yüksek sonucu verdiği için seçilmiştir.
5. Aşama: 19 ön eğitimli modelden AlexNet ve Resnet50 ESA mimarileri DVM sınıflandırıcıda en yüksek sonucu verdiğinden dolayı öznitelik seçimi için kullanılmıştır.
6. Aşama AlexNet'in fc8 katmanından 1000 adet öznitelik, Resnet50'nin fc1000 katmanından 1000 adet özniteliğin alınarak birleştirilmiştir.
7. Aşama: Birleştirilen özniteliklerden 200 tanesi ReliefF öznitelik seçim algoritması yardımıyla seçilmiştir.
8. Aşama: Elde edilen 200 öznitelik DVM algoritmasında sınıflandırılmıştır. Önerilen yaklaşımın tasarımı Şekil 4'te sunulmuştur.





Şekil 4. Önerilen yaklaşımın tasarımı

5. Deneysel Çalışma ve Sonuçlar

5.1. Performans Ölçüm Metrikleri

Makine öğrenmesinde sınıflandırıcıların sınıflandırma başarısının ölçülmesi, sınıflandırıcının etiketlediği sınıf ile gerçek sınıf değeri arasındaki ilişkilerle gerçekleştirilir. Gerçek sınıf değeri pozitif olan bir veriyi pozitif olarak etiketlemeye DP (doğru pozitif), negatif olarak etiketlemeye yanlış negatif (YN), gerçek sınıf değeri negatif olan bir veriyi negatif olarak etiketlemeye doğru negatif DN), pozitif olarak etiketlemeye de YP (yanlış pozitif) denmektedir. Önerilen yaklaşım için karmaşıklık matrisindeki DP, DN, YP, YN sayıları kullanılarak performans ölçüm metrikleri hesaplanmıştır. Performans ölçütleri doğruluk, duyarlılık, özgüllük, kesinlik ve F-skor değerleri kullanılarak oluşturulmuştur. Performans ölçüm metrikleri aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmıştır.

$$Doğruluk = \frac{\text{DP+DN}}{\text{DP+DN+YP+YN}} \quad (1)$$

$$Duyarlılık = \frac{\text{DP}}{\text{DP+YN}} \quad (2)$$

$$Özgüllük = \frac{\text{DN}}{\text{DN+YP}} \quad (3)$$

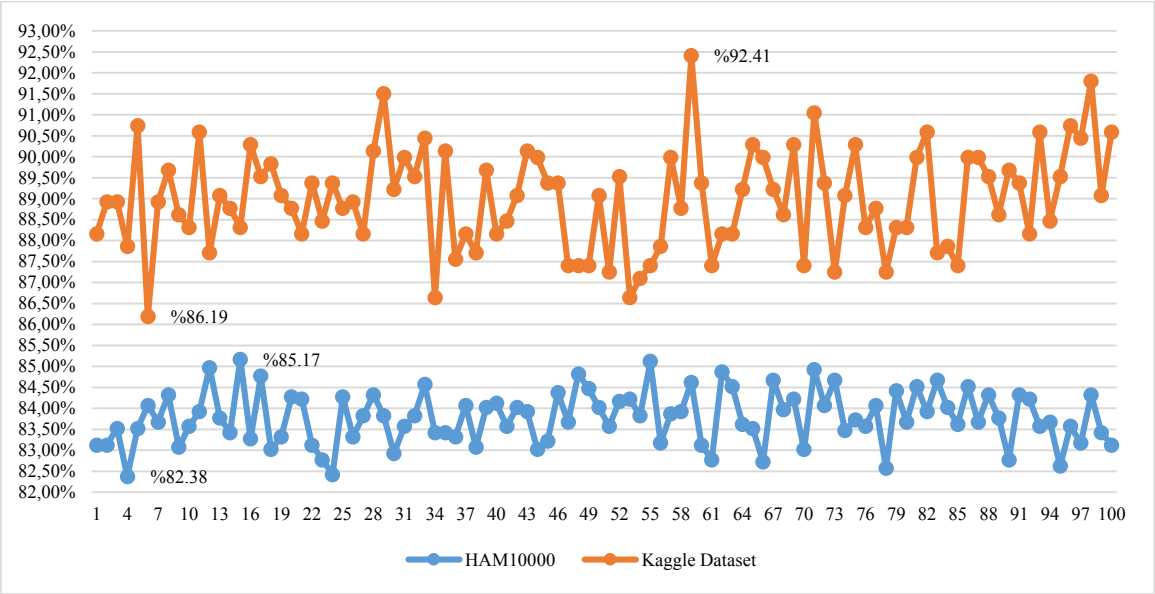
$$Kesinlik = \frac{\text{DP}}{\text{DP+YP}} \quad (4)$$

$$F - skor = 2 \times \frac{Kesinlik \times Duyarlılık}{Kesinlik + Duyarlılık} \quad (5)$$

5.2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmadaki deneysel sonuçları elde etmek için Matlab ortamı kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, I7 işlemci, 8GB Ram ve 4GB NVIDIA ekran kartı bulunan bilgisayar kullanılarak elde edilmiştir. Çalışma iki temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada Kaggle veri seti kullanılarak tüm ön eğitimli modellerden öznitelikler çıkarılmıştır. Daha sonra hem %80 eğitim- %20 test için hemde %70 eğitim- %30 test için DVM ve K-EYK sınıflandırıcılarda sonuçlar alınmıştır. Alınan sonuçların tablo 1'de verilmiştir. En yüksek iki sonuç %80 eğitim-%20 test durumunda AlexNet ve ResNet50'de DVM sınıflandırıcıda alınmıştır. Son aşamada en yüksek sonuç veren AlexNet'in fc8 katmanından 1000 adet öznitelik, Resnet50'nin fc1000 katmanından 1000 adet özniteliğin alınarak birleştirilmiştir. Çıkarılan öznitelikler birleştirildikten sonra ReliefF öznitelik seçimi uygulanmıştır.

Seçilmiş 200 öznitelik DVM sınıflandırıcıya verilmiştir. Sınıflandırma işlemi 100 defa yapılarak kontrol edilmiştir. Kaggle ve HAM10000 veri setlerinin 100 çalıştırılması sonucunda elde edilen grafik şekil 5'te verilmiştir. Kaggle veri setinin kullanılmasıyla en düşük %86.19, en yüksek %92.41 sonuçları elde edilmiştir. HAM10000 veri setinin kullanılmasıyla en düşük %82.38, en yüksek %85.17 sonuçları elde edilmiştir.

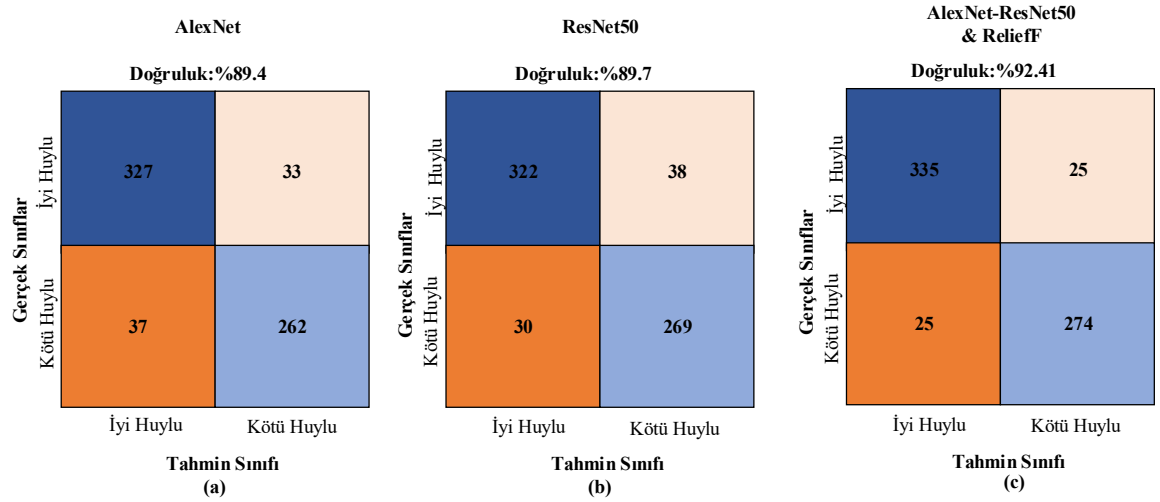


Şekil 5. Önerilen metotda Kaggle ve HAM10000 veri setlerinin kullanılmasıyla elde edilen 100 sonucun grafiği

Tablo 1. Ön eğitimli 19 ESA 'nın kaggle veri setinin sınıflandırma doğrulukları

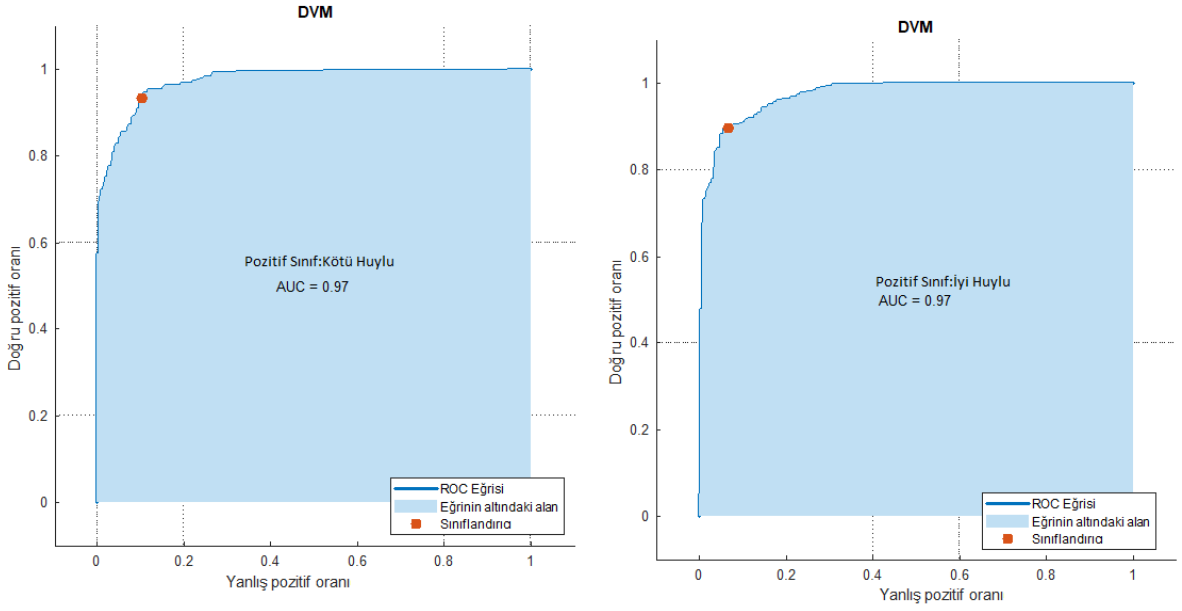
	%80-%20		%70-%30	
	SVM(%)	K-EYK (%)	SVM(%)	K-EYK (%)
ResNet50	**89.70**	86.90	88.80	81.70
AlexNet	**89.40**	84.93	87.10	79.20
ShuffleNet	89.40	85.82	84.90	77.10
DenseNet201	88.90	81.79	89.20	80.20
DarkNet19	88.60	80.63	86.20	76.80
MobileNetv2	88.60	80.54	87.90	82.60
ResNet101	88.30	79.47	88.70	84.20
SqueezeNet	88.30	78.68	86.70	83.20
VGG19	87.70	84.19	86.10	74.90
DarkNet53	87.40	79.53	87.40	76.90
Xception	86.90	79.95	86.00	79.10
NasNetmobile	86.60	78.81	84.30	81.70
EfficientNetb0	86.50	78.63	87.90	79.90
ResNet18	86.20	75.25	89.30	80.40
Inceptionv3	85.90	79.03	85.30	76.00
GoogleNet	85.60	74.47	85.10	81.70
VGG16	85.40	75.15	84.90	77.20
InceptionresNetv2	85.30	78.48	86.30	79.40
NasNetlarge	85.00	82.45	83.50	75.90

Sonuç olarak deri lezyon görüntü kümesinin sınıflandırılmasında önerilen yaklaşım ile kaggle veri setinde en yüksek %92.41, HAM10000 veri setinde 85.17 oranında bir genel başarı sağlanmıştır. Bu başarıların kaggle veri seti için karmaşıklık matrisleri Şekil 64'da gösterilmiştir. Şekil 6(a)'da cilt lezyon görüntüleri AlexNet modelinden elde edilen özniteliklerin DVM'de sınıflandırılması sonucu %89.4'lük doğruluğun elde edildiği karmaşıklık matrisi verilmiştir. Şekil 6(b)'de cilt lezyon görüntüleri ResNet50 modelinden elde edilen özniteliklerin DVM'de sınıflandırılması sonucu %89.7'lik doğruluğun elde edildiği karmaşıklık matrisi verilmiştir. Şekil 6(c)'de cilt lezyon görüntüleri AlexNet ve ResNet50 modellerinden elde edilen özniteliklerin ReliefF algoritmasında seçilmiş özniteliklerin DVM'de sınıflandırılması sonucu %92.41'lik doğruluğun elde edildiği karmaşıklık matrisi verilmiştir.



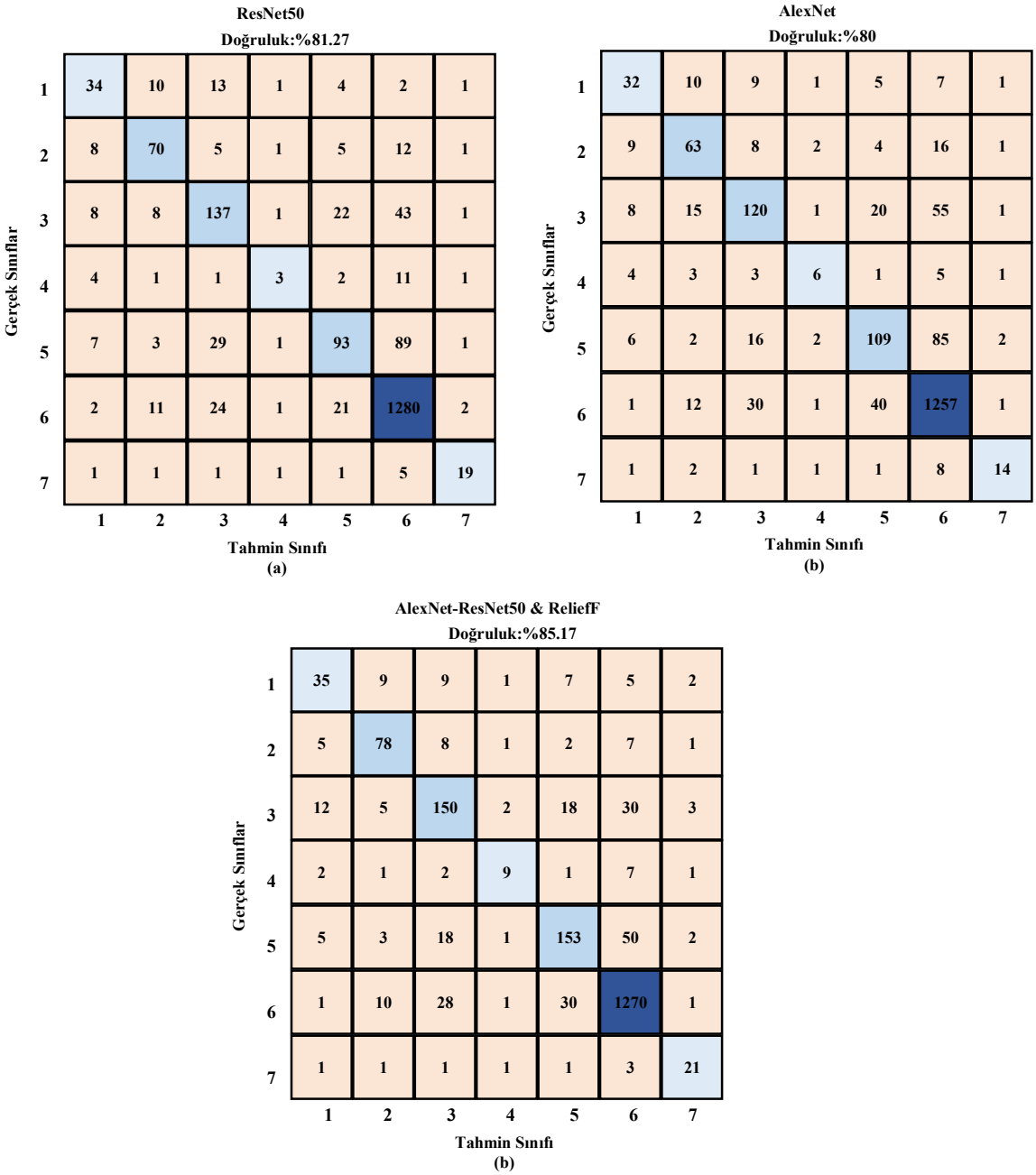
Şekil 6. Kaggle veri seti için karmaşıklık matrislerinin sonuçları

Şekil 7'de görüldüğü gibi önerilen yaklaşımın kaggle veri seti için AUC değeri 0.97 olarak elde edilmiştir.



Şekil 7. Kaggle veri seti için ROC eğrileri

HAM10000 veri seti için karmaşıklık matrisleri Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8(a)'da cilt lezyon görüntüleri AlexNet modelinden elde edilen özniteliklerin DVM'de sınıflandırılması sonucu %80'lik doğruluğun elde edildiği karmaşıklık matrisi verilmiştir. Şekil 8(b)'de cilt lezyon görüntüleri ResNet50 modelinden elde edilen özniteliklerin DVM'de sınıflandırılması sonucu %81.7'lik doğruluğun elde edildiği karmaşıklık matrisi verilmiştir. Şekil 8(c)'de cilt lezyon görüntüleri AlexNet ve ResNet50 modellerinden elde edilen özniteliklerin ReliefF algoritmasında seçilmiş özniteliklerin DVM'de sınıflandırılması sonucu %85.17'lik doğruluğun elde edildiği karmaşıklık matrisi verilmiştir.



Şekil 8. HAM10000 veri seti için karmaşıklık matrislerinin sonuçları(1. sınıf akiec, 2. sınıf bcc, 3. sınıf bkl, 4. sınıf df, 5. sınıf mel, 6. sınıf nv, 7. sınıf vasc)

Tablo 2'de duyarlılık, özgüllük, kesinlik ve F-skor sonuçları verilmiştir.

Tablo 2. Performans Sonuçları

			Doğruluk(%)	Duyarlılık(%)	Özgüllük(%)	Kesinlik(%)	F-Skor(%)
Kaggle Veri Seti	**AlexNet**	1. Sınıf	89.4	90,83	87,63	89,84	90,33
		2. Sınıf		87,63	90,83	88,81	88,22
	ResNet50	1. Sınıf	89.7	89,44	89,97	91,48	90,45
		2. Sınıf		89,97	89,44	87,62	88,78
	AlexNet-ResNet50 & Relieff	1. Sınıf	92.41	93,06	91,64	93,06	93,06
		2. Sınıf		91,64	93,06	91,64	91,64
HAM1000	**AlexNet**	1. Sınıf	80.0	49,23	98,50	52,46	50,79
		2. Sınıf		61,17	97,68	58,88	60,00
		3. Sınıf		54,55	96,24	64,17	58,97
		4. Sınıf		26,09	99,60	42,86	32,43
		5. Sınıf		49,10	96,01	60,56	54,23
		6. Sınıf		93,67	73,37	87,72	90,59
		7. Sınıf		50,00	99,65	66,67	57,14
	ResNet50	1. Sınıf	81.27	52,31	98,45	53,13	52,71
		2. Sınıf		68,63	98,21	67,31	67,96
		3. Sınıf		62,27	95,91	65,24	63,72
		4. Sınıf		13,04	99,70	33,33	18,75
		5. Sınıf		41,70	96,91	62,84	50,13
		6. Sınıf		95,45	75,53	88,77	91,99
		7. Sınıf		65,52	99,65	73,08	69,09
	AlexNet-ResNet50 & Relieff	1. Sınıf	85.17	51,47	98,66	57,38	54,26
		2. Sınıf		76,47	98,48	72,90	74,64
		3. Sınıf		68,18	96,32	69,44	68,81
		4. Sınıf		39,13	99,65	56,25	46,15
		5. Sınıf		65,95	96,69	72,17	68,92
		6. Sınıf		94,71	84,87	92,57	93,62
		7. Sınıf		72,41	99,50	67,74	70,00

6. Tartışma

Bu makalede, önerilen Kübik tip DVM sınıflandırıcısı ve seçilen ESA tabanlı derin öznitelikler literatürdeki mevcut sistemlerle karşılaştırılmış ve sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 3. Aynı veri kümesini kullanan çalışmaların sonuçları

Metot	Model	Eğitim-Test	Veri Seti	Doğruluk (%)
Farooq ve Arkadaşları [26]	Inception-V3 ve MobileNetV1	%25-%75	Kaggle	86
Fatih Demir [27]	MobileNetV2, L1Norm, RD ve DVM	%25-%75	Kaggle	88.35
Soylu ve Demir [28]	DarkNet-19, DarkNet-53, SqueezeNet, ShufleNet	%30-%70	Kaggle	89.89
Khasanah ve Arkadaşları[29]	Random Forest	%25-%75	Kaggle	85
Fırıldak ve Arkadaşları[30]	AlexNET, Çekişmeli Üretici Ağ (ÇÜA)	%30-%70	HAM10000 HAM10000 +	76.55 93.14
Önerilen Metot	AlexNet,ResNet50, ReliefF, DVM	%20-%80	Kaggle HAM10000	92.41 85.17

Farooq ve Arkadaşları[26], Pik Sinyal Gürültü Oranı (Peak Signal to Noise (PSNR)), Ortalama Karesel Hata (Mean Square Error (MSE)), Maksimum Mutlak Kare Sapma (Maximum Absolute Squared Deviation (MXERR)) ve Enerji Oranı/ Kare Normların Oranı (Energy Ratio/ Ratio of Squared Norms (L2RAT)) ön işlemlerini uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonraki durumları karşılaştırmak için kullanmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında Inception-V3 modelini ve MobileNetV1 modelini kullanmıştır. Inception-V3 %86'lık en yüksek doğruluk sonucuna ulaşmıştır. Fatih Demir [27], MobileNetV2 öğrenme modelini ve DVM algoritmasını içeren bir çalışma yapmıştır. Başarımı arttırmak için RD ve L1-Norm algoritmalarını kullanarak öznitelik seçimi yapmıştır. MobileNetV2, L1Norm, RD ve DVM ile %88.35 başarım elde etmiştir. Soylu ve Demir [28], darkNet-19, darkNet-53, squeezeNet, shufleNet mimarileri karşılaştırılmıştır. En yüksek performansı %89,89 ile DarkNet-19 mimarisinde elde etmiştir. Fırıldak ve arkadaşları [30], HAM10000 çalışmasında veri setini kullanmıştır. Alexnet ağındaki parametrelerin kısmi ve tam transfer yoluyla aktararak %76.55 doğruluk elde etmiştir. Çekişmeli Üretici Ağ (ÇÜA) yardımıyla veri sayısını 59000'e çıkararak %93.14 doğruluk sonucunu elde etmiştir.

7. Sonuç

Bu çalışmada önerilen yöntemin belirlenmesinde 3297 cilt lezyon görüntüsünden oluşan Kaggle sitesinde yer alan veri seti kullanıldı. Kaggle veri seti 19 ön eğitimli modele uygulandı. En yüksek sonucu veren AlexNet ve ResNet'in öznitelikleri birleştirildikten sonra özniteliklerden ayırt edici ve daha etkili öznitelikleri seçmek için ReliefF öznitelik seçme algoritması uygulanmıştır. Son olarak, DVM sınıflandırıcı parametreleri için Kübik tip kullanılmış ve en iyi performansa sahip hiperparametreler seçilmiştir. Deneysel sonuçlara göre, cilt lezyonlarının sınıflandırılması için önerilen model kullanılarak en iyi doğruluk puanı Kaggle veri seti için %92.41, HAM10000 veri seti için %85.17 elde edilmiştir. Bu çalışmanın en büyük sınırlaması, kullanılan yöntemin daha büyük veri setlerine uygulaması durumunda daha güçlü bir donanım gerektirmesidir. Gelecekteki çalışmalarda, daha fazla görüntünün ve sınıfın bulunduğu farklı veri setlerini kullanarak yüksek başarımlı ağ mimarileri ile çalışmaların yapılması planlanmaktadır.

Kaynaklar

[1] N. Sendur, Nonmelanoma skin cancer epidemiology and prevention, Turk. Klinikleri J. Int. Med. Sci, 1 (2005) 80-84.
[2] T. Tarver, Cancer facts & figures 2012. American cancer society (ACS) Atlanta, GA: American Cancer Society, 2012. 66 p., pdf. Available from, Taylor & Francis, 2012.
[3] E. Yurtseven, T. Ulus, S. Vehid, S. Köksal, M. Bosat, K. Akkoyun, Assessment of knowledge, behaviour and sun protection practices among health services vocational school students, International journal of environmental research and public health, 9 (2012) 2378-2385.
[4] H. Kittler, H. Pehamberger, K. Wolff, M. Binder, Diagnostic accuracy of dermoscopy, The lancet oncology, 3 (2002) 159-165.
[5] N. Codella, J. Cai, M. Abedini, R. Garnavi, A. Halpern, J.R. Smith, Deep learning, sparse coding, and SVM for melanoma recognition in dermoscopy images, International workshop on machine learning in medical imaging, Springer, 2015, pp. 118-126.
[6] S. Benyahia, B. Meftah, O. Lézoray, Multi-features extraction based on deep learning for skin lesion classification, Tissue and Cell, 74 (2022) 101701.
[7] C. Dhivyaa, K. Sangeetha, M. Balamurugan, S. Amaran, T. Vetriselvi, P. Johnpaul, Skin lesion classification using decision trees and random forest algorithms, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, (2020) 1-13.
[8] B. Mazoure, A. Mazoure, J. Bédard, V. Makarenkov, DUNEScan: a web server for uncertainty estimation in skin cancer detection with deep neural networks, Scientific Reports, 12 (2022) 1-10.
[9] T. Akram, H.M.J. Lodhi, S.R. Naqvi, S. Naeem, M. Alhaisoni, M. Ali, S.A. Haider, N.N. Qadri, A multilevel features selection framework for skin lesion classification, Human-centric Computing and Information Sciences, 10 (2020) 1-26.

[10] J. Yap, W. Yolland, P. Tschandl, Multimodal skin lesion classification using deep learning, Experimental dermatology, 27 (2018) 1261-1267.
[11] V. Göreke, Cilt Kanseri Lezyonlarının Sınıflandırılmasında Derin Öğrenme Sınıflandırıcıya Dayalı Bir Yöntem, Türk Doğa ve Fen Dergisi, 10 (2021) 30-36.
[12] E. ERGÜN, K. KILIÇ, Derin Öğrenme ile Artırılmış Görüntü Seti üzerinden Cilt Kanseri Tespiti, Black Sea Journal of Engineering and Science, 192-200.
[13] N. Şahin, N. Alpaslan, SegNet Mimarisi Kullanılarak Cilt Lezyon Bölütleme Performansının İyileştirilmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (2020) 40-45.
[14] O. YILDIZ, Derin öğrenme yöntemleriyle dermoskopi görüntülerinden melanom tespiti: Kapsamlı bir çalışma, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34 (2019) 2241-2260.
[15] Z. Kadiroğlu, B.N. Akılotu, A. Şengür, M. Kayaoğlu, Derin Öznitelikler ve Renk Kullanılarak Dermoskopik Görüntülerin Sınıflandırılması Classification of Dermoscopic Images Using Deep Features and Color.
[16] U.E. Yildiz, V. Kiliç, Detection of Melanoma with Multiple Machine Learning Classifiers in Dermoscopy Images, 2019 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO), IEEE, 2019, pp. 1-4.
[17] M. YILDIRIM, A. ÇINAR, Classification of Skin Cancer Images with Convolutional Neural Network Architectures, Turkish Journal of Science and Technology, 16 (2021) 187-195.
[18] Kaggle, "Skin Cancer: Malignant vs. Benign" https://www.kaggle.com/fanconic/skin-cancer-malignant-vs-benign, 2021.
[19] P. Tschandl, C. Rosendahl, H. Kittler, The HAM10000 dataset, a large collection of multi-source dermatoscopic images of common pigmented skin lesions, Scientific data, 5 (2018) 1-9.
[20] A. Krizhevsky, I. Sutskever, G.E. Hinton, Imagenet classification with deep convolutional neural networks, Advances in neural information processing systems, 25 (2012).
[21] J. Deng, W. Dong, R. Socher, L.-J. Li, K. Li, L. Fei-Fei, Imagenet: A large-scale hierarchical image database, 2009 IEEE conference on computer vision and pattern recognition, Ieee, 2009, pp. 248-255.
[22] K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun, Deep residual learning for image recognition, Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2016, pp. 770-778.
[23] M. Robnik-Šikonja, I. Kononenko, Theoretical and empirical analysis of ReliefF and RReliefF, Machine learning, 53 (2003) 23-69.
[24] W.S. Noble, What is a support vector machine?, Nature biotechnology, 24 (2006) 1565-1567.
[25] L.E. Peterson, K-nearest neighbor, Scholarpedia, 4 (2009) 1883.
[26] M.A. Farooq, A. Khatoon, V. Varkarakis, P. Corcoran, Advanced deep learning methodologies for skin cancer classification in prodromal stages, arXiv preprint arXiv:2003.06356, (2020).
[27] F. Demir, Derin Öğrenme Tabanlı Yaklaşımla Kötü Huylu Deri Kanserinin Dermatoskopik Görüntülerden Saptanması, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 33 (2021) 617-624.
[28] E. Soylu, R. Demir, Development and Comparison of Skin Cancer Diagnosis Models, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (2021) 1217-1221.
[29] N. Khasanah, R. Komarudin, N. Afni, Y.I. Maulana, A. Salim, Skin Cancer Classification Using Random Forest Algorithm, SISFOTENIKA, 11 (2021) 137-147.
[30] K. Fırıldak, M.F. Talu, G. Çelik, Transfer Öğrenme ve Çekişmeli Üretici Ağ Yaklaşımlarını Kullanarak Cilt Lezyonu Sınıflandırma Doğruluğunu İyileştirilmesi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 32 (2020) 491-498.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 553-563, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1078207

Veri Madenciliği ve Makine Öğrenimi ile Döviz Kuru Tahmini Uygulaması

Ahmet Esin ERBUDAK[1], Oğuz ATA[2*]
[1] Bilgisayar Mühendisliği, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Altınbaş Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
[2] Yazılım Mühendisliği, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Altınbaş Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
[1] ahmet.erbudak@hotmail.com [*2] oguzata@gmail.com

(Geliş/Received: 23/02/2022; Kabul/Accepted: 24/08/2022)

Öz: Makine öğrenimi 1990'lı yıllardan, veri madenciliği kullanılmaya başlandığı döneme dek yaygın olamamıştır. Bu çalışmada Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası sayısal veriler toplanan bilgilerin, veri madenciliği ile veri gruplarına göre bölümlere ayrılması sağlanmıştır. Makine öğrenimi ile ilgili kullanılan algoritmalar karar destek ağaçları, doğrusal regresyon, destek vektör makineleri, gauss regresyondur. Ocak 2020- Mayıs 2021 dönem süresindeki veriler kullanılarak oluşturulan döviz kuru modelleri oluşturulmuştur Sayısal halde toplanan veriler 1352 döviz kuru verisi için 4 ayrı makine öğrenimi yöntemi kullanılmış olup birinci yöntemde %99,84, ikinci yöntemde %99,18, üçüncü yöntemde %93,72, dördüncü yöntemde ise %86,83 doğru olarak sınıflandırılmıştır. Doğruluk oranı en yüksek orana göre strateji ve plan geliştirmektedir Veri madenciliği ve makine öğrenimi metotlarının tahmin programlarının yapımındaki değerlendirmeler ileriki dönemlerde yapılacak uygulamalar için faydalı olacaktır. Çıkarılan sonuçlar literatürde kullanılan metotların doğruluk oranları ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Veri madenciliği, makine öğrenimi, tahmin, doğruluk, karar ağaçları

Exchange Rate Forecasting Application with Data Mining and Machine Learning

Abstract: Machine learning did not become widespread until the 1990s when data mining began to be used. In this study, the numerical data collected from the Central Bank of the Republic of Turkey has been divided into sections according to data groups by data mining. The algorithms used for machine learning are decision support trees, linear regression, support vector machines, gaussian regression. Exchange rate models were created by using the data for the period of January 2020 -May 2021. Four different machine learning methods were used for 1352 exchange rate data, and they were classified as 99.84% accurate in the first method, 99% in the second method, 93.72% in the third method, and 86.83% in the fourth method. It develops strategies and plans according to the highest accuracy rate Evaluations in the construction of prediction programs of data mining and machine learning methods will be useful for future applications. The results were analyzed by comparing the accuracy rates of the methods used in the literature.

Key words: Data mining, machine learning, prediction , accuracy, decision trees

1. Giriş

Veri bilimi yapılandırılmış ve yapılandırılmamış verilerle bilginin kayıt altına alınması, saklanması, işlenmesi için bilimsel yöntemleri süreçleri, algoritmaları kullanarak bilgiye dönüşümü olarak tanımlayabiliriz. Veri madenciliği sistemlerinde kullanılan algoritma biçimine göre; verilerin içinde gömülü olan sınırlı bilgiler bulunmakta, başka ihtiyaçları karşılanmakta ve verilerin farklı yorumlamaları yapılmaktadır [1]. Veri madenciliği tanınmayan, saklı ve faydalı örüntülerin çok boyutlu veri tabanlarından otomatik şekilde elde edilmesini sağlayan veri tabanlarındaki bilginin araştırılması ve analiz sürecidir [2]. Veri madenciliği veri tabanı teknolojisi, istatistik, yapay zeka, makine öğrenimi, örüntü tanımlama ve veri görselleştirmesi gibi pek çok teknik alan arasında bağlantı sağlayan çok disiplin bir alandır [3]. Veri madenciliği, yapay zeka ve istatistik alanlarındaki gelişmelerden yararlanır. Her iki disiplin de örüntü tanıma ve sınıflandırma sorunları üzerinde çalışmaktadır. Her iki toplum da sinir ağlarının ve karar ağaçlarının anlaşılmasına ve uygulanmasına büyük katkılarda bulunmuştur [4]. Veri madenciliği kullanıldığı alanlara örnek vermek gerekirse; pazarlama, bankacı sektörü, uzay bilimleri, tıp , sosyal bilimler gibi alanlarda sıkça kullanılmaktadır. Veri madenciliği bu bağlamda ,yapay sinir ağları, karar ağaçları, regresyon analizi gibi tekniklerle içi içedir. [5]. Bu çalışma da insan-bilgisayar etkileşiminin en önemli yöntemlerinden olan 4 model makine öğrenimi hesaplamaları incelenmiştir.

Veri madenciliği sürecinde izlenen adımlar genellikle aşağıdaki şekildedir [6] :

1. Problemin tanımlanması
2. Verilerin hazırlanması,

[*] Sorumlu Yazar oguzata@gmail.com Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0002-1327-4866 , [2] 0000-0003-4511-7694

3.Modelin kurulması ve değerlendirilmesi,
4.Modelin kullanılması,
5.Modelin izlenmesi.

Bu çalışma da insan-bilgisayar etkileşiminin en önemli yöntemlerinden olan 4 model makine öğrenimi hesaplamaları incelenmiştir. Bu çalışmada cevap aranan temel sorular şu şekilde sıralanmıştır :

- Veri madenciliği teknikleri nelerdir ?
- Tahmin ve strateji oluşturmada hangi modeller uygulanmalıdır?
- Veri Madenciliğinin makine öğrenimin etkisi nedir? Makine öğrenimin gelişimi ve kullanılması gereken alanlar için hangi argümanlardan faydalanılmadır?

2.Benzer Çalışmalar

2007 yılında, veri madenciliği kullanılarak yaşam çözümlenmesi yöntemleri kredi kartı sahipleri bilgileri ile ele alınmış ve daha sonra aynı bilgileri içeren veri kümesi yaşam olasılıkları, regresyon modelleri ve hazard olasılıkları modelleri Nihal Ata, Erengül Özkök ve Uğur Karabey tarafından incelenmiştir. Çalışma sonucunda müşterilerin kredi kartı kullanımını bırakma durumunu medeni durum, yaş, ve gelir bilgileri ile ilişkili olduğu görülmüştür[7].

2009 yılında, finansal tablolardaki hileleri tespit etmek için veri madenciliği kullanılarak H. Ali Ata ve İbrahim H. Seyrek tarafından yapılan çalışmada İMKB'de işlem gören imalat sektöründe faaliyet gösteren 100 firma bilgileri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda finansal tablodaki hilelerin aktif karlılık ve kaldıraç oranı ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir[8].

Erhan Örüç (2016), tarafından uluslararası Fisher etkisini Türkiye üzerine bir uygulama ile çalışmıştır. Çalışmasının sonuç kısmında döviz piyasalarında tahmin için çeşitli modellerin kullanılabileceğini, bu modellerin döviz kuru tahminlerinde ilgililerine fikir sunabileceğini belirtmiştir [13].

Laurids Gert Nielsen (2018) tarafından döviz kuru için makine öğrenimi üzerine bir uygulama ile çalışma yapılmıştır. Yazar R-kare yöntemini kullanarak kısa ve uzun zamanlı tahmini değerler için çalışmada bulunmuştur. Rastgele orman algoritması, arttırılmış ağaç yöntemi ve uzun , kısa süreli hafıza yöntemi modellerine göre daha yakın sonuç tespit edilmiştir. Tahmin modellerindeki farkın nedeni verilerdeki çok fazla değeri yüksek miktarda model parametresiyle birleştirdiğimizde, verilerin kolayca fazla sığdırılacağını ve model karmaşıklığını önemli ölçüde azaltmak zorunda kalınacağını, bu da model yeteneklerinin tam olarak kullanılamayacağını belirtmiştir[19].

Hamis Miraji Ally Simba (2020) tarafından faiz ve döviz kuru ilişkisini içeren Türkiye üzerine yapılan bir değerlendirme çalışması yapılmıştır. Çalışmada Mundell-Fleming modeli kullanılmıştır. Bu modele göre, dışa açık ve esnek kur mekanizması benimseyen bir ekonomide yurtiçi faiz oranlarındaki bir yükselme ülkeye döviz girişini artırmakta ve bu durum döviz kurlarının düşmesine neden olmaktadır. Çalışmada önce faiz ve döviz kuru ilişkisine ilişkin literatüre yer verilmiş devamında değişkenler arasındaki ilişki Johansen eş bütünleşme ve Granger nedensellik analizi çerçevesinde incelenmiştir[20].

Veri madenciliği ve makine öğrenimin döviz kuru tahmini alanında yazılan çalışmalar genellikle "Döviz kuru öngörü sonucu", "Döviz kuru tahmininde yapay sinir ağları", "Makine öğrenimin finans uygulamalarına etkisi" , " Döviz kurunun istatistiksel öğrenimi" gibi konular ele alınmıştır. Bu bağlamda yapılan çalışmalarda makine öğreniminin veri madenciliği ile ilgili etkileşim süreçlerine, dövizde uygulanan faiz oranlarının kur nasıl etkilediğine, doğrusal mı, kübik mi yoksa kümeleme fonksiyon olup olmadığına odaklanılmıştır.

3. Amaç ve Hedef

Makine öğrenimi modelleri kullanılarak gerçek verilerin makine öğrenimi teknikleri ile etkileşime girdiğinde oluşacak durumlar açısından analiz etme, doğruya en yakın hesaplamalar amaçlanmıştır. Araştırma özellikle COVID-19 döneminde olan verilerden sağlanmıştır. Bunun nedeni olağan dışı durumlarda makine öğrenim modellerinin ekonominin durağanlık döneminde doğruluk payının ne kadar olacağı amaçlanmıştır. Geliştirilen modellerin ekonomi ve istatiksel çalışmalarda doğru stratejiler

belirlenebilmesi için sınıflandırma başarısı olarak %90 başarı oranın sağlanması hedeflenmiştir. Çalışmada yer alan makine öğrenimi modelleri ve fonksiyonlar ile hata payının gerçek veriler üzerindeki sapma oranının ne kadar olacağı hedeflenmiştir. Bu sapma oranına göre geleceğe yönelik tahmin hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışmanın önemli amaçlarından biri de kur dalgalanmalarının ülke ekonomisine verdiği zararın önüne geçmek ve en aza indirgenmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmanın cevap aradığı temel amaç gerçek veriler kullanılarak makine öğrenimi teknikleri aracılığıyla en yüksek doğruluk oranı yakalamaktır. Bu konuyu açıklama argümanı ise matematiksel varyasyonlar sonucu tahmin fonksiyonlarının dış etkenler dışında verilere göre değişkenlik gösterdiği ve bu sapmanın nedeninin piyasalarda gerçekleşen döviz alım satımının ortaya çıkardığı etkidir. Ülkemizde ve dünya gen elinde diğer çalışmalar incelendiğinde olağan dönemde yer alan veriler ile hesaplamalar yapılmıştır. Bu modeller hata payı en düşük olan tekniğin diğer teknik modeller ile karşılaştırılabilmesi amacıyla yapılmış olup, doğru sonuca ulaşılma hedeflenerek ülke ekonomisinin döviz kuru dalgalanmaları sonucu zarara uğramasını önleyebilmek amacıyla yapılmıştır.

4. Yöntem

Bu çalışmada program için kullanılan veriler Türkiye Cumhuriyeti merkez bankasından alınan değerler kullanılmıştır. Araştırma materyali olarak MATLAB R2020 programı kullanılmıştır. Toplanan verile4 model makine öğrenimi teknikleri kullanılarak eğitilmiştir. Kullanılan teknikler karar ağaçları, doğrusal regresyon, destek vektör ve gauss algoritmalarıdır. Çalışma içerisinde kullanılan 4 model sonuçları verilmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Verilerin eğitim aşaması döviz kuru gerçek değeri ve faiz oran ı olarak iki sütunlu ayarlanmıştır. Modellerde 4 adet bağımsız parametre olduğu için 4 adet girdi nöronu vardır. Kullanılan metrik fonksiyonlar kök ortalama kare hata, r-kare, ortalama kare hata ve ortalama mutlak hata'dır. Makine öğrenme modelinde, tahminleyicinin elde ettiği değerler ile doğru değerler arasındaki mesafenin bulunmasında çoğunlukla kullanılan ve hatanın büyüklüğüne ölçen kuadrik bir metriktir.

Karar ağacı indüksiyonu, sınıf etiketli eğitim verilerinden karar ağaç mekanizmasının öğrenilmesidir. Karar ağacı, her bir iç düğümün bir öznitelik üzerinde bir testi gösterdiği, her dal testinin bir sonucunu temsil ettiği ve bir sınıf yapısının tuttuğu akış şemasına benzeyen bir ağaç yapışı şeklindedir [3]. Karar ağacı modeli ağaç görünümünde tanımlayıcı ve tahmin edici bir yöntemdir. Karar ağacı algoritması, veri miktarı, algoritmanın etkinliği ve hali hazırda hafızaya göre seri ve paralel süreçlerle yapılabilir. Seri ağaç algoritması, bir eğitim veri kümesi kullanılarak oluşturulan ikili ağaç olarak mantıksal bir model türüdür. Araştırmalarda, bağımsız değişkenlerden yararlanarak bir hedef değişkenin değerini tahmin etmede kullanılır[13].

Doğrusal regresyon algoritmaları sayısal bir sonuç ile bir sayısal değişken arasındaki bağıntıyı analiz ederken, doğrusal regresyon en yaygın olarak tercih edilen analiz yöntemidir. Doğrusal regresyonda, genel olarak değişkenin birçok değişik değerine sahiptir ve genellikle değişkenlerin gözlemlenen değerleri arasındaki olası değerleri varsayılmaktadır. Algoritma sonucunun ortalama değer ve değişkenin değeri arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayılmaktadır[15].

Bir destek vektör makinesi, gruplandırma, geçmişe ya da uygunsuz değerlerin saptanması gibi farklı görevler için kullanılabilen üstün veya ebedi boyutlu bir uzay alanında tanımlanan düzlem oluşturur [13]. Doğru bir fark, rastgele bir grubun en hazır eğitim veri konumuna , en çok uzaklık sahibi olan tanımlanan düzlem tarafından sağlanır , bu nedenle genel olarak sınır ne kadar çoksa hata oranı o kadar az olur[16].

Gauss yöntemini kapsayan makine öğrenimi algoritması, eğitilmiş verilerde gizli bir alanın değerini tahmin etmek için noktalar arasında paralelliğin ölçüsü olarak (kernel fonksiyonu) kullanılmaktadır. Verilerin tahmini sadece o alan için tahmin edilmemektedir, aynı zamanda tek boyutlu Gauss dağılımıdır[17].

Regresyon, odak noktasının bir bağımlı parametre ile bir veya birden fazla bağım sız parametre arasındaki ilişki olduğunda, çeşitli değişkenleri modellemek ve analiz etmek için birçok teknik içerir. Regresyon analizi, bağımsız parametrelerden herhangi biri değiştiğinde, diğer bağımsız değişkenler sabit tutulduğunda bağımlı değişkenin değerinin nasıl değiştiğini kavramaya yardımcı olur. Regresyon analizi, bağımsız parametreler verildiğinde bağımlı değişkenin koşullu beklentisini tahmin eder yani, bağımsız parametreler belirlendiğinde bağımlı değişkenin yaklaşık değeridir[18].

KOKH(Kök ortalama kare hata) tahmin hata oranının klasik sapmasıdır. Hatalar, regresyon hattının veri noktalarından ne kadar uzakta olduğunun bir ölçüsüdür. KOKH(Kök ortalama kare hata) değerinin "0" olması modelin hatasız olduğunu gösterir [9].

KOKH =$\sqrt{1}$ $\sum n\ e2\ n\ t$=1 [9]

n=Küme verisinin boyutu , e = Gerçek değer- tahmini değer

R-kare, verilerin regresyon hattına ne kadar yakında olduğunu gösteren istatistiksel bir çözümdür. Benzer sürede belirleme katsayısı olarak da bilinir. R-kare , doğrusal bir model tarafından yorumlanan sonuç değişkeninin varyans yüzdesidir. R-kare her zaman 0 ile 1 değerleri arasındadır. "0" değeri model verilerinin hiçbirini açıklamadığını ifade eder. "1' değeri model verilerinin tamamının açıklandığını ifade eder [10].

AKT(Artıkların kareler toplamı)= Gerçek değer- Tahmini değer .Doğruya isabet edemeyen her nokta artıktır.

Her bir noktanın ortalamaya uzaklığının karesine, ortalamaya uzaklığın kareler toplamı (OUKT) denir.

OUKT = (Xİ –XJ) şeklinde gösterilir. Hataların toplamının, ortalamaların toplamına olan oranı ne kadar küçük ise R^2 o kadar yüksek olacaktır.

R^2 = 1- Artıkların kare toplamı / Ortalama uzaklığın kare toplamı

$R^2 = 1 - i \sum i (yi - \overline{yi})2 / \sum (yi - \hat{yi})2$ [11]

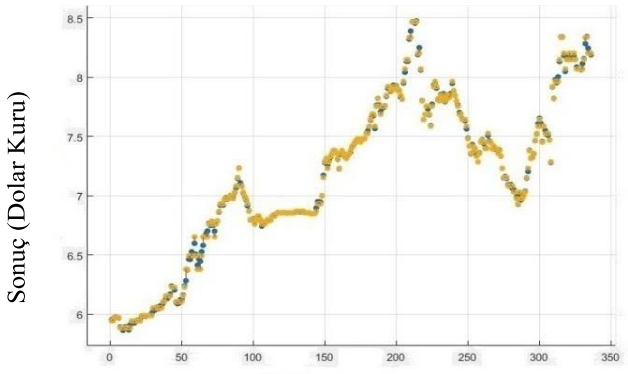
Ortalama kare hatası, regresyon kıvrımının bir dizi alana yakın olduğunu gösterir. Ortalama kare hatası, eğitim modelinin, tahmin edici verilerin verimini ölçer, her zaman artı değerdedir ortalama kare hatası değerinin sıfıra yakın olması tahmin edici veriler daha iyi verim sağlamaktadır. Ortalama kare hatası formülü;

$OKH = 1 / \sum n_{j=1} \; e^2 \; n_{j=1}$ [9]

Ortalama Mutlak Hata, iki dayanaklı değişken veri arasında ayrımın miktarıdır. OMH(Ortalama mutlak hata), her doğru ölçüyle, veriye en uygun hat arasındaki ortalama dikey uzaklıktır. OMH(Ortalama mutlak hata), bir sıra tahmindeki hataların ortalama boyutun oranlayan, tüm hataların ortalamada denk olarak yoğunluğunun doğrusal bir sonucudur. OMH(Ortalama mutlak hata) değeri "0" ile sonsuz sayıda farklılık gösterebilir. Düşük değerlere sahip tahmin ediciler daha iyi verime sahiptirler.

$OMH = 1 / \sum n_{j=1} |e|_j$

Bu çalışmadaki modellerde 341 döngü kullanılarak eğitilmiştir. Eğitim işlem sürecinden sonra gerçek dolar kuru verileri ile tahmin edilen değerler grafiklerde gösterilmiştir. Karar ağaçları makine öğrenimi, doğrusal regresyon makine öğrenimi, destek vektör makine öğrenimi, gauss regresyon makine öğrenimi yöntemleri grafik ve tablolardaki verilerle açıklanmıştır.



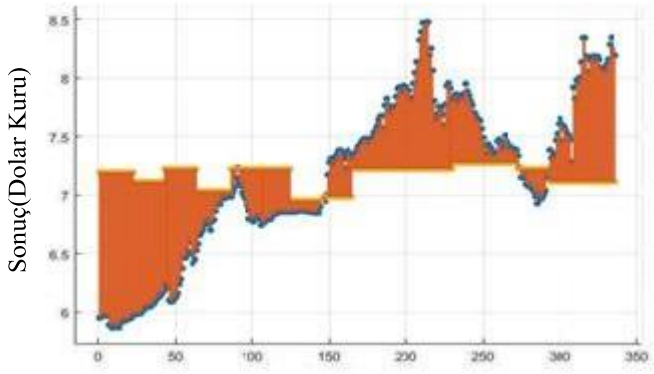
Şekil 1. Karar Ağaçları Makine Öğrenimi Grafiği.

Karar ağaçları makine öğreniminde şekil 1'deki grafikte yer alan mavi renkli noktalar gerçek verilerdir. Sarı ile gösterilen noktalar ise tahmin edilen değerdeki sayılardır. Kırmızı ile belirtilen çizgiler hata noktalarıdır. 30 Nisan 2021 tarihinde olan gerçek veri dolar kuru bazında 8,190'dur. Eğitilmiş ve tahmin edilen verinin değeri ise 8,203 olarak çok yakın bir değerde tahmin edilmiştir. Gerçek veri ile arasında 0,013 değerinde fark bulunmaktadır. Bu eğitim verisinde yer alan hata oranları ile ilgili veriler tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Karar Ağaçları Analizi.

Kök Ortalama Kare Hatası	R-Kare	Ortalama Kare Hatası	Ortalama Mutlak Hata
0,01522	1,00	0,00023164	0,0097679

Doğrusal regresyon makine öğreniminde grafikte yer alan mavi noktalar gerçek verilerdir. Sarı ile gösterilen noktalar tahmin edilen değerlerdir. Kırmızı ile belirtilen çizgiler gerçek veri ile tahmin edilen verinin hata noktalarıdır. 30 Nisan 2021 tarihinde olan dolar kuru 8,19'dur. Eğitimi yapılmış ve tahmin edilen veri 7,112'dir. Gerçek veri ile arasında 1,078 değer farkı bulunmaktadır.



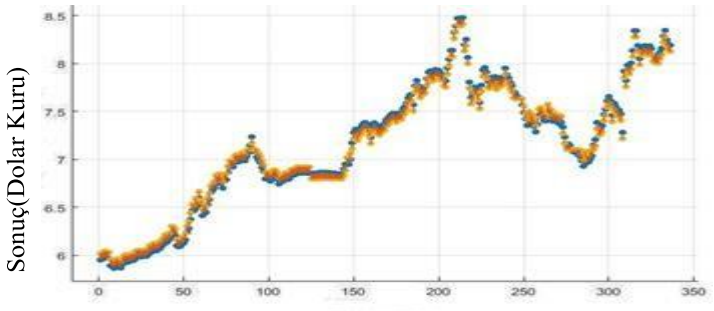
Şekil 2. Doğrusal Makine Öğrenim Grafiği.

Şekil 2'de yer alan grafikte doğrusal makine öğrenimi verilerinin eğitimi sonuçları ve hataları belirtilmiştir. Bu eğitim verisinde elde edilen veriler tablo 2 de yer almaktadır.

Tablo 2. Doğrusal Model Analizi.

Kök Ortalama Kare Hatası	R-Kare	Ortalama Kare Hata	Ortalama Mutlak Hata
0,66752	0,2	0,44558	0,5407

Destek vektör makine öğreniminde şekil 3'deki grafikte yer alan mavi noktalar gerçek verilerdir. Sarı ile gösterilen noktalar tahmin edilen değerlerdir. Kırmızı ile belirtilen çizgiler gerçek veri ile tahmin edilen verinin hata noktalarıdır. 30 Nisan 2021 tarihinde olan dolar kuru 8,19'dur. Eğitimi yapılmış ve tahmin edilen veri 8,123'dür. Gerçek veri ile arasında 0,67 değer farkı bulunmaktadır. Bu eğitim verisin de elde edilen veriler tablo 3'de yer almaktadır.



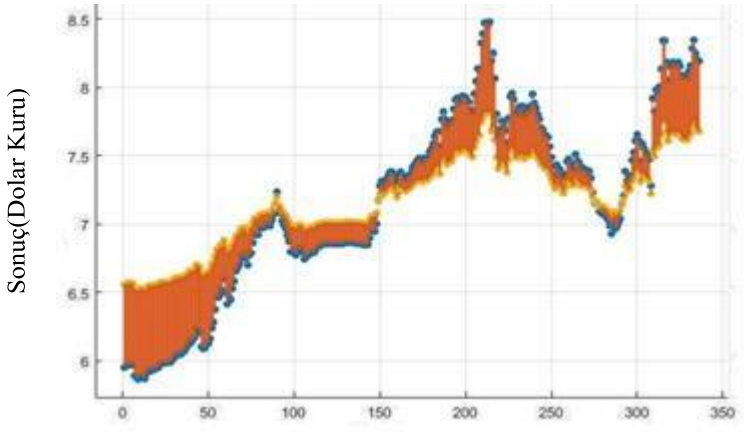
Şekil 3. Destek Vektör Makine Öğrenimi Grafiği

Şekil 3'de yer alan grafikte destek vektör makine öğrenimi verilerinin eğitimi sonuçları ve hataları belirtilmiştir. Bu eğitim verisinde elde edilen veriler tablo' 3 de verilmiştir.

Tablo 3. Destek Vektör Makine Analizi.

Kök Ortalama Kare Hatası	R-Kare	Ortalama Kare Hatası	Ortalama Mutlak Hata
0,64769	0,99	0,41951	0,6418

Gauss makine öğreniminde şekil 4'teki grafikte yer alan mavi noktalar gerçek verilerdir. Sarı ile gösterilen noktalar tahmin edilen değerlerdir. Kırmızı ile belirtilen çizgiler gerçek veri ile tahmin edilen verinin hata noktalarıdır. 30 Nisan 2021 tarihinde olan dolar kuru 8,19'dur. Eğitimi yapılmış ve tahmin edilen veri 7,676'dır. Gerçek veri ile arasında 0,514 değer farkı bulunmaktadır. Bu eğitim verisinde elde edilen veriler tablo 4 de yer almaktadır.



Şekil 4. Gauss Makine Öğrenimi Grafiği.

Şekil 4'deki grafikte destek vektör makine öğrenimi verilerinin eğitimi sonuçları ve hataları belirtilmiştir. Bu eğitim verisinde elde edilen veriler tablo 4' te yer almaktadır.

Tablo 4. Gauss Makine Öğrenimi Analizi.

Kök Ortalama Kare Hatası	R-Kare	Ortalama Kare Hatası	Ortalama Mutlak Hata
0,33726	0,75	0,1135	0,28072

Oluşturulan modellerde tahmin çalışması yaparken kullanılan yöntemlerde verilerin tahmini sonuçlarının ve hata oranlarının ölçümleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda çıkan değerlere göre kullanılan modellerde gerçek değerlerin ve tahmini değerlerin arasındaki sapma oranının ne kadar olacağının hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışmada yer alan dört regresyon algoritması kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Dört modelin karşılaştırma sonucu bulgular kısmında belirtilmiştir.

5. Veri Seti ve Bulgular

Oluşumu belirlenmiş ağ yapısı eğitilerek yapay zekâ uygulamalarında kullanılır. Sahip olunan veriler; eğitimi verisi ve test verisi şeklinde iki kısımdan oluşur. Yapılan çalışmada yıllık bazda veriler

kullanılmıştır. Yıllık veri seti oluşumunda dolar kuru olarak 341 ve dolar kurunu etkileyen döviz kuru faiz oranı 341 veri ile birlikte toplam 682 veri eğitim setinde kullanılmıştır. Çalışmamızda özellikle durağan dönem seçilmiştir. Zaman serilerinde durağan zaman ve durağan olmaya zaman serilerinin ayırımı önem taşımaktadır. Bu iki durum için farklı analiz yöntemleri kullanılmaktadır [12]. Çalışmamızdaki uygulama pandemi dönemi nedeni ile durağan dönem olarak nitelendirilmiş olup üzerinde durulan konu dönemlik dalgalanmaların sonucudur.

Tablo 5. Tahmin Modellerinin Karşılaştırılması.

Fonksiyon/Model	Karar Ağaçları Analizi	Doğrusal Adım Analizi	Destek Vektör Analizi	Gauss Analizi
KOKH	0,1522	0,66752	0,64769	0,33726
R-Kare	1,00	0,20	0,99	0,75
OKH	0,00023164	0,44558	0,41951	0,1135
OMH	0,0097679	0,5407	0,6418	0,28072

Çalışmamızda yer alan parite verileri ve tahmini değerlerin karşılaştırılmasında en uygun model karar ağaçları makine öğreniminde geri yayılım analizi modelidir. Gerçek veri değeri 8,190'dır. Tahmini değer ise 8,203'tür. Doğruluk oranı %99,84 ile en yakın model olduğu gözlemlenmiştir. En yakın ikinci model ise de destek vektör makine öğrenimidir. Tahmin edilen değer 8,123'tür. Gerçek değer ile arasında 0,514 oranında sapma değeri vardır. Doğruluk oranı %99,18'dir. Üçüncü model gauss makine öğrenimidir. Tahmin edilen değer 7,676'dır. Gerçek veri ile arasında 0,514 değer farkı bulunmaktadır. Bu eğitim verisinde elde edilen veriler tablo 6'da yer almaktadır. Doğruluk Oranı %93,72'dir. Dördüncü model ise doğrusal makine öğrenim algoritmasıdır. Tahmin edilen değer 7,112'dir. Gerçek veri ile arasında 1,078 değer farkı bulunmaktadır. Bu eğitim verisinde elde edilen veriler tablo 5'de yer almaktadır. Doğruluk oranı %86,83'tür. Doğruluk oranı bakımından en yüksek değere yaklaşan karar ağaçları tekniğidir.

Tablo 6. Fonksiyon Modellerinin Karşılaştırılması.

Fonksiyon/Değerler	Gerçek Değer	Tahmini Değer	Doğruluk Oranı
Karar Ağaçları Analizi	8,190	8,203	%99,84
Destek Vektör Analizi	8,190	8,123	%99,18
Gauss Analizi	8,190	7,676	%93,72
Doğrusal Adım Analizi	8,190	7,112	%86,83

6. Tartışma ve Sonuç

Nihal Ata, Erengül Özkök ve Uğur Karabey tarafından yapılan çalışmada çalışmada yaşam çözümlemesi yöntemleri veri madenciliği konusu çerçevesinde ele alındıktan sonra kredi kartı sahiplerine ait bir veri kümesi için yaşam olasılıkları, hazard olasılıkları ve regresyon modelleri incelenmiştir. Uygulamada öncelikle yaşam olasılıkları 5'er yıllık 3 dönem(5,10,15) için elde edilmiştir. Daha sonra, yaşam ve hazard olasılıklarına ait grafikler verilmiş ve müşteri kaybı açısından yorumlanmıştır. Müşterilerin kredi kartını kullanmayı bırakmasını etkileyen risk faktörleri ise regresyon modelleri ile belirlenmeye çalışılmıştır[7].

H. Ali Ata ve İbrahim H. Seyrek tarafından yapılan çalışmada İMKB'de işlem gören imalat sektöründe faaliyet gösteren firma bilgileri incelenmiştir. Karar ağacı modeli ile sınıflandırma işlemi olarak dolandırıcılığın yol açtığı zararları önlemek amacı ile mali tablolardaki sahtekarlığı tespit etmek içim çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçları tablo 7'de yer almaktadır[8].

Tablo 7. Test Analizleri Sonucu.

Hisse Senetleri	Nano Farad	Farad	T-Değeri	Değerler
LGDT	7,69	7,71	-0,135	0,893
D/E	0,5	0,22	0,074	0,941
TIER	3,62	0,89	5,149	0,000
TD/TA	0,29	0,71	-5,084	0,000
I/S	0,13	0,24	-2,713	0,009
I/TA	0,12	0,18	-3,050	0,003
GP/NS	0,27	0,11	4,990	0,000
NP/TA	0,09	-0,06	6,755	0,000
LTD/TA	0,3	0,31	-0,212	0,833
NP/NS	0,11	-0,14	4,149	0,000
LGTA	8,28	7,94	2,728	0,008
WC/TA	0,47	0,46	0,355	0,723
CA/CL	3,31	1,22	5,754	0,000
C/CL	1,18	0,14	4,435	0,000
OP/NS	0,14	-0,11	5,901	0,000
QA/CL	2,50	0,75	6,110	0,000
TRE	1,99	3,67	-0,576	0,567
TRA	1,26	0,96	1,496	0,140
TRAR	158,62	13,40	1,103	0,276
TRI	15,50	6,89	2,738	0,008
AR/S	0,14	894,15	-1,000	0,322
T/S	-0,03	-0,03	0,016	0,987
GP/TA	0,25	0,12	5,351	0,000
IE/OE	0,09	0,33	-3,601	0,001

Yukarıda bahsedilen seçilmiş değişkenleri kullanarak, karar ağaçlarına ve sinir ağlarına dayalı iki sınıflandırma modeli geliştirilmiştir. Her iki yöntemde de rastgele seçilen vakaların neredeyse yarısı (100 üzerinden 47) model eğitimi için kullanılmış ve kalan vakalar (100 üzerinden 53) model doğrulaması için kullanılmıştır. Eğitim aşamasında, ağaç vakaların %95,74'ünü doğru, %4,26'sını yanlış sınıflandırmaktadır. Model, test verileri üzerinde iyi bir performans göstermektedir. Oluşturulan karar ağacı 53 vakadan 36'sını doğru sınıflandırıyor, bu da %67,92 doğru sınıflandırma anlamına geliyor[8].

Erhan Örüç tarafından yapılan çalışmanın temel amacı Türkiye'de faiz oranları ile enflasyon arasındaki ilişkiyi ifade eden Fisher hipotezinin geçerliliğini test etmektir. Fisher'e göre ekonomideki nominal faiz oranları iki unsura bağlıdır. Birincisi reel faiz oranları; diğeri ise enflasyon oranlarıdır [21]. Tablo 8 'de çalışma ilgili veriler yer almaktadır.

Tablo 8. Dikey Fuller Testi[21].

Lag	Y	S	S&T	Y	S	S&T
0	-1.03761	-1.79562	-3.15232	-2.15321	-3.59906	-1.60654
1	-0.94326	-1.58536	-3.03065	-2.03906	-3.37638	-1.60251
2	-0.79766	-1.20507	-2.76804	-1.87692	-3.08595	-1.56948
3	-0.78275	-1.17734	-2.84521	-2.0351	-3.51012	-1.60732
4	-0.74305	-0.87331	-2.57099	-1.14137	-2.33253	-1.19283
5	-0.70659	-0.5674	-2.42824	-1.18717	-2.39225	-1.22088

6	-0.68904	-0.46258	-2.50112	-1.1854	-2.1463	-1.34669
7	-0.91923	-0.40348	-1.93309	-1.36946	-2.49084	-1.37273
8	-0.91654	-0.42594	-1.96364	-0.90472	-2.23945	-1.08094
9	-0.91302	-0.44446	-1.99689	-0.78375	-2.12306	-1.05505
10	-0.89950	-0.46633	-2.05698	-0.77283	-1.92789	-1.14532
11	-0.90577	-0.4835	-2.07559	-0.35296	-1.58469	-1.13603
12	-0.90166	-0.58429	-2.1629	-0.36801	-1.73969	-1.041

Yapılan analizler çerçevesinde faiz oranları ve enflasyon serilerinin birim kök içerdiği bulunmuş ve eş bütünleşme testi konucunda iki değişken arasında uzun dönemli ilişkinin var olduğu sonucuna varılmıştır.

Enflasyonun nominal faiz oranlarını teorik olarak beklenildiği gibi pozitif ve oldukça yüksek etkilediği bulunmuştur. Bir başka deyişle Fisher etkisi Türkiye için geçerlidir. Fakat tam Fisher etkisi gözlenmemiştir[21].

Laurids Gert Nielsen (2018) tarafından döviz kuru için makine öğrenimi üzerine bir uygulama ile çalışma yapılmıştır[19]. Farklı modeller için birçok teorik özelliği tartıştıktan sonra, şimdi modellerin FX verileri üzerindeki performansı değerlendirilmiştir. Dört döviz çifti EUR/USD, GBP/USD, EUR/CHF ve EUR/SWE için tahmin değerinin performansı değerlendirilmiştir. Tüm modeller dikkate alınmış ancak doğrulsa regresyon yöntemlerinden elde edilen sonuçlar sunulmayacaktır, çünkü her durumda önemsiz bir hatanın yenilenme olduğu bulunmuştur, bu da onların en küçük kareler yönteminden farklı olmayan tahminler yaptıkları anlamına gelmektedir[19]. Tablo 9 'da çalışma ile ilgili veriler yer almaktadır.

Tablo 9. R^2 Model Analizi.

	EUR/USD	**GBP/USD**	**EURCHF**	**EUR/SWE**
OLS	0.541	0.403	1.04	1.202
XGB	0.523	0.257	0.90	1.085
RF	0.542	0.289	1.09	1.576
MARS	0.503	0.113	0.97	1.243
LSTM	0.549	0.367	0.89	1.329

Piyasaların verimli olmaya yakın olduğuna inanırsak, herhangi bir yanlış fiyatlandırmanın hızla düzeltilmesini bekleyeceğimiz için, uzun bir ufuk öngörmenin kısa bir ufuktan daha zor olması şaşırtıcı bir sonuç olmadığı belirtilmiştir[19].

Hamis Miraji Ally Simba tarafından Türkiye'de 2002-2020 dönemi için faiz oranı ve döviz kuru arasındaki ilişkiyi tespit etmek amacıyla; hem sabit hem de durağan olmayan zaman serisi verilerini kontrol etmek için Dickey Fuller (ADF) testi, eş bütünleşmenin varlığını kontrol etmek için Johansen eş bütünleşme testine başvurulmuştur. devamında hata düzeltme için vektörel hata düzeltme (VECM) testi ve Nedenselliği kontrol etmek için de klasik Granger nedensellik testi kullanılmıştır[20].

Granger ve Newbold (1974) durağan olmayan zaman serileri ile yapılan analizlerde sahte regresyon problemi ortaya çıkabileceğini kanıtlamıştır. Bu nedenle zaman serileri ile yapılan analizlerde kullanılan serilerin durağanlığı test edilmeye başlanmıştır[20]. Tablo 10 'da çalışma ile ilgili veriler yer almaktadır.

Tablo 10. Dickey Fuller (ADF) Birim Kök Testi [20].

Değişkenler	Seviye I (0) Trend ve Kesişme		İlk fark (1) Trend ve Kesişme	
Faiz Oranı	T-istatistiği -3.367	Olasılık 0.059	T- İstatistiği -9.709	Olasılık 0.0000
Döviz Kuru	4.156	1.000	-8.205	0.0000

Görüldüğü gibi geleceği tahmin eden modellemelerin kullanımda, yapay sinir ağları başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yapı veriler arasındaki dikkat edilmesi zor bağlantıları gösterebilir. Yapılan bu çalışmada döviz kuru yapay zeka ağ yapısının tasarımı ile öngörülmüştür. Tahmin edilen modeller kendi içinde ve tahmin gücü diğer yüksek modeller ile karşılaştırılarak verim analizi yapılmıştır. Döviz kuru model tahmini sürecinde her veri noktasında geri yayılım algoritması ile oluşan hatanın asgari ölçüde olması sağlanmıştır. Problem aşamasına göre kurulmuş ağ yapısı iyi sonuçlar verir. Bu sebeple tahmin edilecek veriye göre uygun ağ yapıları ve modeller araştırılmalıdır. Döviz kurlarında tahmin çalışması yaparken kullanılan yöntemlerin sağlaması gereken varsayım serilerinin durağan olması esas alınmıştır. Literatürdeki çalışmalarda döviz kurlarının durağanlık analizi yapılırken genel olarak serilerin değerlerinin alınarak birim kök testlerinin uygulandığı klasik metodoloji bulunmaktadır. Bu yöntem döviz kuru değerlerinin tahminini kolaylaştırmaktadır. 2001 yılında serbest dalgalanan kur rejimine geçildikten sonar döviz kurlarından fiyatlara geçiş etkisinin azaldığı görülmüştür. T.C Merkez Bankası serbest dalgalanan kur düzenine geçtik sonra döviz kurlarında aşırı değişim haricinde müdahale etmeyeceğini ve döviz kurlarında ilişkin hedefi olmadığını belirtmiştir. Fakat son dönemlerde enflasyon oranının yükselmesi nedeni ile döviz kuru oranlarını düşürmek için T.C Merkez Bankası müdahalelerde bulunarak kur oranlarına etki etmiştir. Çalışmamızda özellikle durağan dönem seçilmiştir. Durağan ve durağan olmayan şeklindeki ayrım zaman serisi analizinde büyük önem taşımaktadır.

Bunun nedeni, zaman serisi analizleri için geliştirilmiş olan olasılık teorilerinin sadece durağan zaman serileri için geçerli olmasıdır.

Zaman serilerinde durağan olmama durumu genelde zamanla değişen ortalama ve zamanla değişen varyans olmak üzere iki şekilde ortaya çıkmaktadır [12]. Çalışmamızdaki uygulama pandemi dönemi nedeni ile durağan dönem olarak nitelendirilmiş olup üzerinde durulan konu dönemlik dalgalanmaların sonucudur.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara bakıldığında döviz kuru ve sapmaların görülmesinde yaşanan krizlerin tahmini değerlerin öngörülmesinde önemli bir gösterge olabileceği söylenebilir. Yapılan benzer çalışmalarda yer alan çalışmalar ile ilgili bilgilere çalışmamda yer verilmiştir. Bu bilgiler yazarların çalışmalarında uygulandıkları yöntemleri ve sonuçları ifade etmektedir. Bu çalışmanın önemi, döviz kuru ile ilgilenen kişilerin ve kurumların kur tahmin yöntemlerini seçerken karşılaştırma yapmasını sağlayarak, hangi kur tahmin yöntemin kendisine uygun olduğunu belirlemeye çalışmasıdır.

7. Referanslar

[1]. Y. Zhao, Y. Chen ve Y. Yao, «User-centered Interactive Data Mining,» International Conference on Cognitive Informatics, no. 6, pp. 2006, 457-466

[2]. U. Fayyad, G. P. Shapıra ve P. Smyth, «Veri Madenciliğinden Veritabanlarında Bilgi Keşfine,» AI Magazine, pp.03-15, 1996.

[3]. J. Han, K. Micheline ve P. Jian, Data Mining: Concepts and Techniques, Morgan Kaufmann, 2012.

[4]. M. B. a. G. Linoff, Introduction to Data Mining and Knowledge Discovery, Third Edition, USA: Two Crows Corporation, 2005.

[5]. H. Akpınar, «Veri Tabanlarında Bilgi Keşfi Ve Veri Madenciliği,» İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, pp. 1 22, 2000.

[6]. C. Shearer, The Crisp-DM Model: The New Blueprint for Data Mining", Seattle: Journal of data warehousing, 2000.

[7]. N. Ö. E. v. K. U. Ata, «Survival Data Mining : An Application To Credit Card Holders,» Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, cilt 26, no. 1, pp. 33-42, 2008.

[8]. A. v. S. İ. Ata, «The Use of Data Mining Techniques in,» Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,, cilt 14, no. 2, pp. 157-170, 2009.

[9]. «Veri Bilimcisi,» https://veribilimcisi.com/.

[10]. «Corporate Finance Institute,». https://corporatefinanceinstitute.com/.

[11]. P. J. Bickel ve K. A. Doksum, Mathematical Statistics, San Diego: Chapman and Hall/CRC, 2015.

[12]. K. İlarslan ve R. Aşıkoğlu, «Birleşme Ve Satın Almaların Finansla Oranlar Yoluyla İşletmelerin Finansal Performansı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi,» Haziran 2011. https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/26971/yokAcikBilim_406171.pdf?sequence=-1.

[13]. G. Gözgör, «Döviz Piyasalarında Etkinlik ve Beklentiler Kavramları Üzerine Bir İnceleme,» İktisadi Yenilik Dergisi, cilt 3, no. 2, 2016

[14]. N. Rahpeymai, Data Mining with Decision Trees in the Gene Logic, Skövde-İsveç: Masters Dissertation in bioinformatics, 2002.

[15]. G. Rodriguez, «Generalized Linear Models,» Princeton University, Princeton, 2007.

[16]. T. Hastie, R. Tibshirani ve J. Friedman, The Elements of Statistical Learning, New York: Springer, 2008.

[17]. L. Murray, «Introduction to Gaussian Processes,» Computer Science, University of Toronto, Toronto, 2008

[18]. J. S. Armstrong, «Illusions in Regression Analysis,» International Journal of Forecasting, pp. 1-10, 2019]

L.G. Nielsen, Machine Learning For Foreign, London: Department of Mathematics Imperial College London,2018

[20]. H. M. A. Simba, «Faiz ve Döviz Kuru İlişkisi : Türkiye Üzerine Bir Değerlendirme,» International Conference of

Strategic, Viyana, 2020
[21]. E.Örüç, “Fisher Etkisi : Türkiye üzerine bir uygulama”, Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,cilt 13, no.3,pp.297-311,2016.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 565-577, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1089106

Şeftali Çekirdeği Kabuğunun Polyester Esaslı Kompozitin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi

Sibel TOPUZ[1], Ramazan ORHAN[2*]
[1,2]Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Elazığ
[1]stopuz@firat.edu.tr, [*2]rorhan@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 18/03/2022; Kabul/Accepted: 16/05/2022)

Özet: Bu çalışmanın amacı, şeftali çekirdeği kabuğunun polyester esaslı kompozitin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmaktır. Polyester esaslı kompozit malzemeler, doymamış bir polyester reçineye ağırlıkça % 5, 10, 20 ve 40'lık farklı oranlara 149-297 µm boyutunda şeftali çekirdeği kabuğu tozu ilave edilerek elle döküm yöntemi ile hazırlanmıştır. Elde edilen saf polyester ve kompozit numunelerinin performanslarını değerlendirmek için çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve sertlik gibi farklı mekanik testlere tabi tutulmuştur. Mekanik testlerin sonuçlarına göre, polyester reçineye eklenen şeftali çekirdeği kabuğunun kompozit numunelerin gerilme ve eğilme mukavemeti değerlerini azalttığı, ancak sertlik değerini, ağırlıkça %40 hariç çok fazla olumsuz etkilemediği tespit edilmiştir. Karışımdaki şeftali çekirdeği kabuğunun oranı arttıkça, üretilen kompozit numunelerin esneklik modülü de azalmıştır. Şeftali çekirdeği kabuğu partiküllerinin polyester matris içindeki dağılımı ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Şeftali çekirdeği kabuğu, polyester kompozit, mekanik özellikler.

The Effect of Peach Stone Shell on Mechanical Properties of Polyester Based Composite

Abstract: The aim of this study is to investigate the effect of peach stone shell on the mechanical properties of polyester-based composites. Polyester based composite materials were prepared by the hand casting method by adding 149-297 µm peach stone shell powder to an unsaturated polyester resin at different ratios of 5, 10, 20, and 40 wt%. To evaluate the performances of the pure polyester and composite samples obtained, they were subjected to different mechanical tests such as tensile strength, flexural strength, and hardness. According to the results of the mechanical tests, it was determined that the peach stone shell added to the polyester resin reduced the tensile and flexural strength values of the composite samples, but did not adversely affect the hardness value except for 40 wt%. As the ratio of peach stone shells in the mixture increased, the modulus of elasticity of the produced composite samples also decreased. The distribution of peach stone shell particles in the polyester matrix was observed by scanning electron microscopy (SEM).

Key words: Peach stone shell, polyester composite, mechanical properties

1. Giriş

Kompozit malzemeler, önemli ölçüde farklı mekanik özelliklere sahip olan ve bitmiş yapı içinde ayrı ve farklı kalan iki veya daha fazla bileşen malzemeden (matris ve takviye) yapılır. Her bir malzemenin en iyi özelliklerinin bir kombinasyonunu sergilerler. Matris sürekli fazı, takviye ise dispers fazı oluşturur. Kompozit malzemeler metalik malzemelere kıyasla hafiflik, yüksek darbe dayanımı, korozyon dayanımı gibi üstün mekanik özelliklere sahiptirler. Bundan dolayı kompozit malzemeler; özellikle hava, deniz ve kara taşıtlarında metalik malzemelere alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kompozit yapılarda; hafiflik, mukavemet, yorulma dayanımı, aşınma direnci, elektrik-ısı iletkenliği ve düşük maliyet gibi kriterler takviye materyalinin seçiminde önemli rol oynamaktadır. Uygulama alanlarındaki gerekli fiziksel ve/veya kimyasal özelliklerin bir kısmını karşılamayan polimerler, çeşitli tip ve oranlarda lifler tarafından desteklendiğinde istenilen özellikleri sağlayabilen kompozit malzemeler oluşturulabilir [1]. Ayrıca, kompozit malzemelere destek olarak kullanılan cam, karbon ve aramid gibi takviye elemanlarının geri dönüşümlerinin güç olması, doğada parçalanma ömürlerinin uzun ve üretim maliyetlerinin yüksek olması bu malzemelerin yerine doğal lif ve kabukların kullanılmasını zorunlu kılmıştır [2]. Bu sorunların hafifletilmesi ve tarımsal atıkların daha verimli kullanılması için, genellikle selülozik bitkisel lifler sınıfında olan polimerlerin basit liflerini meyve ve yaprak gibi doğal liflerle destekleyerek doğal lif takviyeli kompozitlerin üretimi ve kullanımı yaygınlaşmıştır [3].

Teknoloji alanında hızla gelişmekte olan Dünyamızda, doğal kaynakların tüketiminin artmasına bağlı olarak atık malzemelerin kullanımı zorunlu bir hale gelmiştir. Atık malzemelerin endüstriye geri kazanım prosesi

[*]Sorumlu Yazar: rorhan@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1]0000-0002-5200-1393, [2]0000-0003-2287-4238

kapsamında, yeraltından çıkarılan malzemelere olan talep azalacak ve hammadde çıkarılması sırasında doğaya zararlı etmenler giderilmiş olacaktır [4]. Bu kapsamda, ekolojik dengenin korunması da sağlanacaktır. Şeftali (Prunus persica) ülkemizde ve Dünya'da yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan, gülgiller (Rosaceae) familyasından bir yaz meyvesidir. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'nden alınan 2019 verilerine göre şeftali ve nektarin üretiminde Türkiye dünya ülkeleri arasında 5. sırada yer almaktadır [5]. Türkiye'de şeftali, sert çekirdekli meyve türleri içinde kayısıdan sonra en fazla yetiştiriciliği yapılan meyve türüdür. Şeftali çekirdeği kabuğu, sanayi tesislerinde, ekmek fabrikalarında enerji üretiminde yakacak olarak, mobilya sektöründe, kumlama, yüzey temizleme işlemlerinde, kimya ve kozmetik sanayisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Teknoloji çağı olarak adlandırılan yaşadığımız yüzyıl içerisinde, yeni nesil tarımsal atık katkılı kompozit malzemelerin kullanımlarının artırılması için yapılan bilimsel çalışmalarla ilgili süreç devam etmektedir. Tarımsal atıklar kullanılarak üretilen yeni nesil kompozit malzemeler üretim prosesi denetimi, geri kazanımı ve düşük maliyet işlevselliği bakımından endüstrideki birçok alana yeni katma değerler kazandırmaktadır. Endüstrideki üretim alanlarında tarımsal atık katkılı kompozitler üretim sırasındaki işlenebilirlikleri ve üretim sonrasındaki fonksiyonları bakımından kapsamları oldukça geniştir [6]. Zeytin çekirdeği ve ticari polyester reçine ile yonga levha üretimini gerçekleştirdikleri çalışmada üretilen yonga levhanın nem içeriği, su emme, kalınlık şişmesi ve eğilme mukavemeti açısından standartları ile iyi bir uyum içinde olduğunu göstermiştir [7]. Erklig vd., cam elyaf ve bir epoksi reçinesi ile güçlendirilmiş kompozitlerde zeytin pirinasının (ZP) dahil edilmesini incelediler. Dolgu ilavesi ile çekme ve eğilme modülünde önemli ölçüde artışa neden olduğu, ancak ZP partiküllerinin %5'in (ideal değer) üzerinde eklenmesinin, matris ve partiküller arasındaki kimyasal uyumluluğu ve yük transferini bozduğu bulunmuştur [8]. Dolgu malzemesi olarak zeytinyağı ekstraksiyonunun katı atıklarından elde edilen zeytin fıstığı unu (ZFU) ve y-merkaptopropiltrimetoksisilan (MRPS) ile modifiye edilmiş zeytin fıstığı unu kullanılarak sıkıştırma-kalıplama yöntemi ile polyester esaslı kompozit üretilmiştir. Silanla muamele edilmiş ZFU kullanıldığında, sertleştirme etkisinde daha iyi bir artış ve su absorpsiyonunda bir azalma kaydedilmiştir [9]. Sewench ve Samah tarafından, kestane kabuğu dolgu maddesi ile epoksi kompozit üretiminde dolgu miktarının arttırılması bazı mekanik, termal ve dielektrik özellikleri geliştirdiği rapor edilmiştir [10]. Borazan ve ark. tarafından yapılan çalışmada, çam kozalağı toz dolgusu ile polyester kompozit üretiminde artan dolgu miktarının, eğilme mukavemetinde bir azalmaya ve elastik modülünde bir artışa yol açtığı belirtilmiştir [11]. Elle yatırma prosedürüne göre buğday samanı takviyeli polyester kompozitlerin eğilme özellikleri üzerine yapılan çalışmada buğday samanı ilavesiyle eğilme modülünün azaldığı belirlenmiştir [12].

Bu çalışmada, tarımsal atık olarak sınıflandırılan şeftali çekirdeği kabuğu tozu kullanılarak elle döküm yöntemi ile polyester esaslı kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen bu kompozit malzemenin ve saf polyester numunesinin performanslarını değerlendirmek için çekme mukavemeti, elastikiyet modülü, eğilme mukavemeti ve sertlik gibi farklı mekanik testlere tabi tutulmuştur. Dolgu malzemesi olarak kullanılan şeftali çekirdeği kabuğunun kompozit malzemedeki dağılımı ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyaller

Bu çalışmada, polyester reçinenin kürleme işleminde matris malzemesi olarak doymamış ortoftalik polyester reçine, sertleştirici ajan olarak metil etil keton peroksit (MEKP) ve hızlandırıcı olarak kobalt oktoat kullanılmıştır. Tüm bu kimyasallar TURKUAZ polyester firmasından temin edilmiştir. Dolgu malzemesi olarak da şeftali çekirdeği kabuğu tozu kullanılmıştır. Şeftali çekirdeği kabukları Ege bölgesinden temin edilmiş ve kırılmış haldeki kabuklar önce bıçaklı bir öğütücüde toz haline getirilmiş daha sonra ise -50+100 mesh (149-297 μm arası tane boyutu) eleklerden elenmiştir (Şekil 1). Deneysel çalışmalarda toz halindeki şeftali çekirdeği kabuğunun %5, %10, %20 ve %40 olmak üzere dört farklı ağırlık fraksiyonu kullanılmıştır. Şeftali çekirdeği kabuğunun FT-IR spektrumları ise Shimadzu IRSpirit marka FT-IR spektrofotometresi kullanılarak 500-4000 cm^{-1} dalga boyu aralığında değerlendirilmiştir. Ayrıca referans olarak saf polyester numunesi de hazırlanmış ve test edilmiştir.



Şekil 1. Kullanılan dolgu malzemesi

Tablo 1. Polyester reçine ve kompozit numunelerinin bileşimi

Dolgu içeriği [ağırlıkça%]	Polyester reçine [ağırlıkça%]	Kobalt oktoat [ağırlıkça%]	MEKP [ağırlıkça%]
0	98.5	0.5	1.0
5	93.5	0.5	1.0
10	88.5	0.5	1.0
20	78.5	0.5	1.0
40	58.5	0.5	1.0

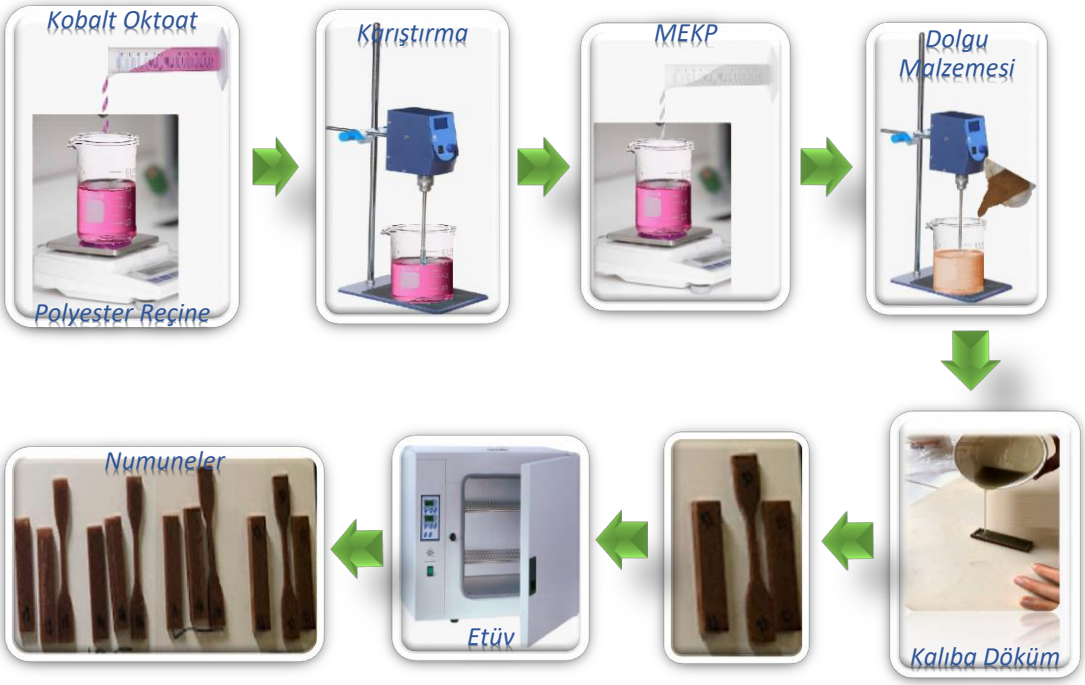
2.2. Kompozitlerin Hazırlanması

Tarımsal bir atık olan şeftali çekirdeği kabuğu tozu kullanılarak üretimi yapılan polyester esaslı kompozit malzeme için daha önceki çalışmamızda olduğu gibi hem maliyet acısından ucuz hem de üretim aşamasında kolay bir yöntem olan elle döküm yöntemi kullanılmıştır [13]. 100 g yapıştırıcı içerisindeki polyester reçinenin jelleşmesini sağlayan kobalt oktoat oranı ağırlıkça % 0.5 ve sertleşmeyi sağlayan MEKP oranı % 1.0'dir. Polyester reçine ve hazırlanan dolgular Tablo 1'de belirtilen oranlarda tartıldı. Gereken doymamış polyester reçine miktarı bir karıştırma kabında ölçüldü. Polyester reçineye hızlandırıcı ve sertleştirici ilave edildi ve mekanik karıştırıcı (IKA RW20 marka) kullanılarak 800 rpm hızında yaklaşık 1 dk daha sonra uygun miktarda dolgu maddesi ilave edilerek homojen bir karışım elde edilene kadar yaklaşık 1-2 dk karıştırıldı. Karışım kalıplara dökülmeden önce kalıp yüzeylerine kalıp ayırıcı (Polivaks SV-6) uygulandı daha sonra kalıbın 30 cm yukarısından yavaşça kalıba döküldü ve hava kabarcıklarının hapsolmasını azaltmak için son derece ince bir dökme akışı sağlandı. Bileşimin oda sıcaklığında (4-6 saat) herhangi bir bozulma olmaksızın kürlenmesine izin verildi. Levhalar kalıptan çıkarıldı. 80°C'de bir saat süreyle etüvde kürleme işlemi yapıldı. Kompozit malzeme üretimi için akış şeması Şekil 2'de ve tipik hazırlanan kompozit örnekler Şekil 3'te gösterilmiştir.

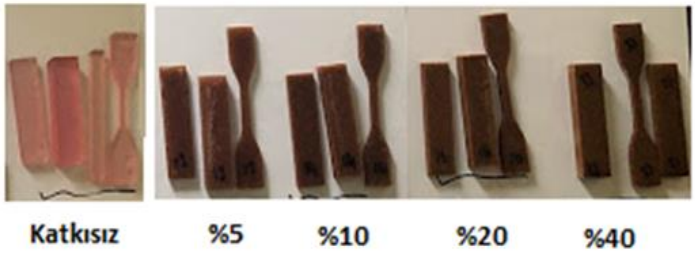
2.3. Mekanik Testler

Şeftali çekirdek kabuğu kullanılarak elde edilen kompozit numunelere yapılan testler aşağıda yer almaktadır.

- Çekme mukavemeti testi
- Üç nokta eğilme mukavemeti testi
- Sertlik testi



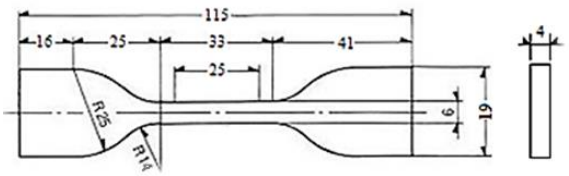
Şekil 2. Polyester kompozit üretim süreci için basitleştirilmiş akış şeması



Şekil 3. Şeftali çekirdeği kabuğu katkılı kompozit malzeme numunesi

2.3.1. Çekme Mukavemeti Testi

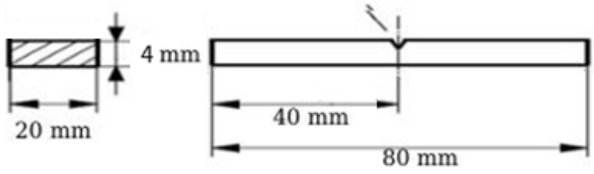
Kompozit ve polyester numunelerinin gerilme davranışını belirlemek için ASTM D 638M-91 [14] standartına göre numuneler hazırlandı. Hazırlanan numuneler Universal çekme test makinesi kullanılarak 1.0 mm/dk çapraz kafa hızında test edildi. Her bileşim için üç numune test edildi ve sonuçların ortalaması alındı. Bu sonuçların ortalamasına göre elastikiyet modülü ve çekme mukavemeti değerleri belirlenmiştir. Numunelerin şekli ve boyutları Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Çekme mukavemeti test numunesinin ölçüleri

2.3.2. Üç Nokta Eğilme Mukavemeti Testi

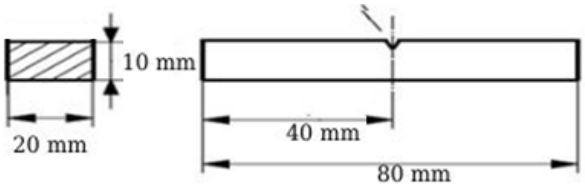
Eğilme özelliklerini belirlemek için ASTM D 790-03 [15] standartına uygun olarak hazırlanan kompozit ve polyester numunelerine üç nokta eğilme testleri uygulandı. Üç nokta eğilme testi için, dış silindirler 40 mm aralıklı ve numuneler ise 1.0 mm/dk'lık bir gerilme hızında test edilerek eğilme mukavemeti değerleri belirlenmiştir. Numunelerin şekli ve boyutları Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Üç nokta Eğilme mukavemeti test numunesinin ölçüleri

2.3.3. Sertlik Testi

Sertlik ölçümleri için ASTM D2240 [16] standardına uygun olarak hazırlanmış saf polyester ve kompozit numunelerin TIME TH-210 Dijital Shoremetre cihazı ile Shore-D sertlik değerleri ölçüldü. Hazırlanan numuneler cihaza yerleştirilmiş ve 5 farklı bölgeden sertlik ölçümü yapılmıştır. Hesaplamalarda elde edilen bu 5 değerin ortalaması kullanılmıştır. Numunelerin şekli ve boyutları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Sertlik test numunesinin ölçüleri

2.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

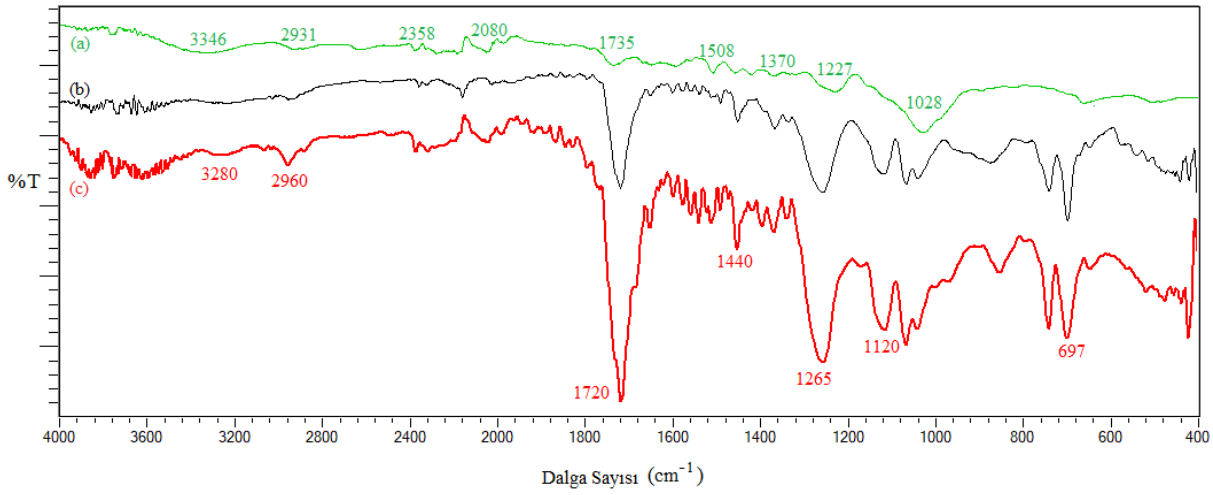
Saf polyester ve şeftali çekirdeği kabuğu kullanılarak elde edilen kompozit numunelerinin SEM mikrografları ikincil elektron modunda 20 kV hızlanma voltajında bir taramalı elektron mikroskobu (SEM, Zeiss EVO MA 10 Modeli) kullanılarak incelenmiştir. Numune arkını önlemek için, elektron mikroskobu gözlemlerini taramadan önce numuneler bir Denton Vacuum Desk V otomatik püskürtmeli kaplayıcıda ince bir altın tabakasıyla kaplanmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. FT-IR Spektrum Analizi

Şeftali çekirdeği kabuğu tozuna ait FT-IR spektrumları Şekil 7(a)'da verilmiştir. 3346 cm^{-1} civarındaki geniş ve yoğun bant, bağlı hidroksil gruplarının (OH) varlığına ve 2931 cm^{-1}'de görülen band metil ve metilen gruplarının yan zincirlerinde bulunan C-H gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir. 2080 ve 2358 cm^{-1} civarındaki bant C = C grubunun varlığını ifade etmektedir. 1735 cm^{-1}'deki bant genellikle ketonlar, aldehitler, laktonlar veya karboksil gruplarının C=O gerilme titreşimlerini göstermektedir. 1508 cm^{-1} 'deki pik, aromatik C-C bağına atfedilebilen C = C gerilmesinden kaynaklanmaktadır. 1370-1460 cm^{-1} 'deki absorpsiyon bantları, şeftali çekirdeği kabuğundaki biyokütlenin üç ana bileşeni olarak selüloz, hemiselüloz ve ligninin alkan gruplarının karakteristiği olan $-CH_3$, $-CH_2$ ve -CH'ın varlığını göstermektedir. 1227 cm^{-1} 'deki pik bileşiklerdeki C-O-C fonksiyonel gruplarına, 920-1160 cm^{-1} 'deki geniş bant ise asitler, alkoller, fenoller ve eterler ve/veya ester gruplarındaki C-O gerilimine atanmıştır [17-20].

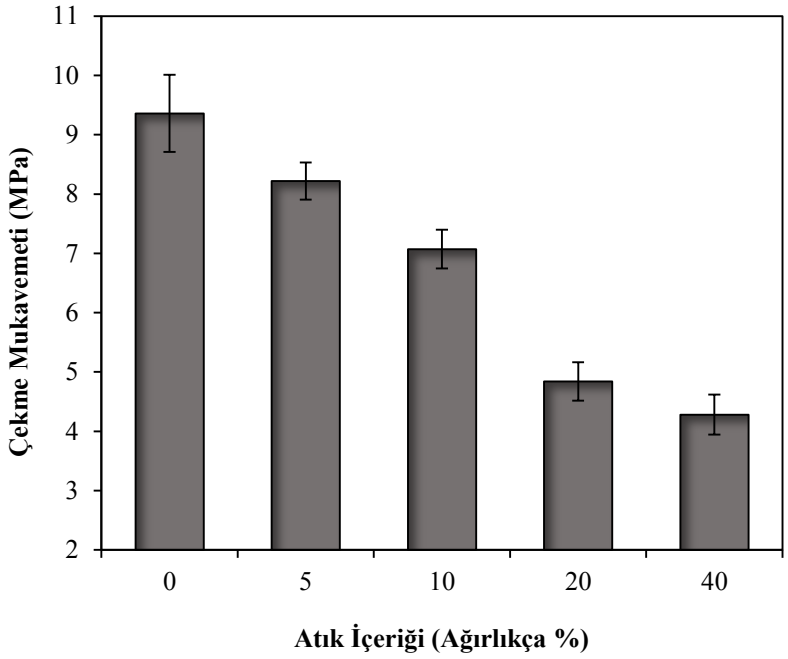
Şekil 7(b) ve (c)'de ise saf polyester ve kompozit malzemesine ait FTIR spektrumları görülmektedir. Polyester reçineye şeftali çekirdeği tozu karıştırıldığında geçirgenlik artmaktadır. 3280 cm^{-1}'deki bant, OH gruplarının gerilme titreşimleriyle ilgilidir. 2960 cm^{-1}'deki pik C-H fonksiyonel gruplarının gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir. 1720 cm^{-1}'de çift bağ C=O (ester) grubunun gerilme titreşimlerinden dolayı yoğun bir bant görülmektedir. 1400-1500 cm^{-1} aralığındaki bantlar aromatik C-H bağının varlığına atfedilmektedir. 1265 cm^{-1}'deki güçlü bant C-O-C (ester) bağına karşılık gelmektedir. 1120 cm^{-1} dalga sayısında C=C çift bağı ve 697 cm^{-1} dalga numarasında ise diğer aromatik C-H bağları görülmektedir [21,22]. Polyester kompozitin spektrumu, saf polyester ile karşılaştırıldığında gözle görülür bir farklılık göstermediği bu nedenle şeftali çekirdeği tozunun, polimerin kimyasal yapısını etkilemediği söylenebilir.



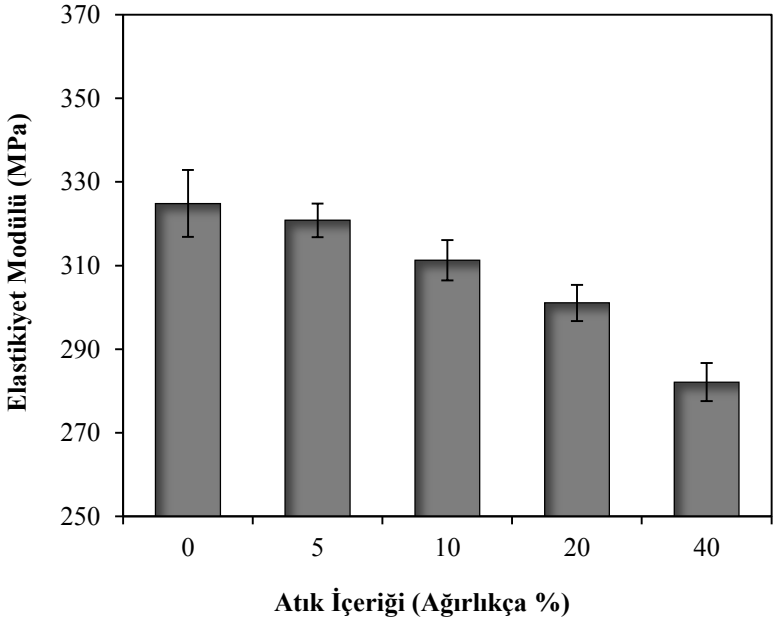
Şekil 7. (a) Şeftali çekirdeği kabuğu tozu, (b) Saf polyester ve (c) Polyester/ şeftali çekirdeği kabuğu kompozitin FTIR spektrumları

3.2. Çekme Mukavemeti Testi Sonuçları

Saf polyester ve farklı ağırlık yüzdesinde (%5-40) şeftali çekirdeği kabuğu kullanılarak üretilen polyester kompozit numunelerine uygulanan çekme mukavemeti deney sonuçları Şekil 8'de verilmiştir. Saf polyester ve kompozit numunelerin elastikiyet modülünün atık içeriği artışı ile değişimi de Şekil 9'da gösterildiği gibi elde edilmiştir. Şekil 8 ve Şekil 9'dan görüldüğü gibi saf polyestere ağırlıkça %5, 10, 20 ve 40 oranlarında şeftali çekirdeği kabuğu tozunun ilave edilmesi ile hem çekme mukavemeti hem de elastikiyet modülü değerlerinin azaldığı görülmektedir. Saf polyesterin çekme mukavemeti değeri 9.39 MPa ve elastikiyet modülü 324.67 MPa iken, ağırlıkça % 5 şeftali çekirdeği kabuğu katkılı kompozit numunesinin çekme mukavemeti değeri 7.86 MPa elastikiyet modülü değeri ise 320.66 MPa olarak bulunmuştur. Atık içeriği artışına bağlı olarak özellikle ağırlıkça % 20 ve % 40 için bu azalma devam etmiştir. Doymamış polyester reçinesine farklı oranlarda hurma çekirdeği parçacıkları ilave edilerek kompozit üretiminin yapıldığı bir çalışmada, numunelerin çekme mukavemetinde de benzer şekilde bir azalma gözlenmiştir [23]. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu kullanılarak üretilen kompozitlerin yapılan çekme mukavemeti deneylerinde, kompozitlerin gerilme dayanımı değerlerinin saf polyester numunesine göre daha düşük olduğu gözlenmiştir [24]. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri



Şekil 8. Saf polyester ve farklı şeftali çekirdeği kabuğunun ağırlık yüzdesi ile kompozit numunelerinin çekme mukavemeti değişimi



Şekil 9. Saf polyester ve farklı şeftali çekirdeği kabuğunun ağırlık yüzdesi ile kompozit numunelerinin elastikiyet modülü değişimi

genellikle dolgu maddesinin içeriği, partikül boyutu ve şekli, dolgu maddesi ile polimer matris arasındaki yapışma derecesi ve dolgu maddesinin matris içindeki dağılım derecesi gibi faktörlere bağlıdır. Ara yüzeydeki yapışma kuvvetinin zayıflığı ve boşlukların varlığı, dolgu malzemesi ile polyester matris ara yüzeyinde gerilme transferinin

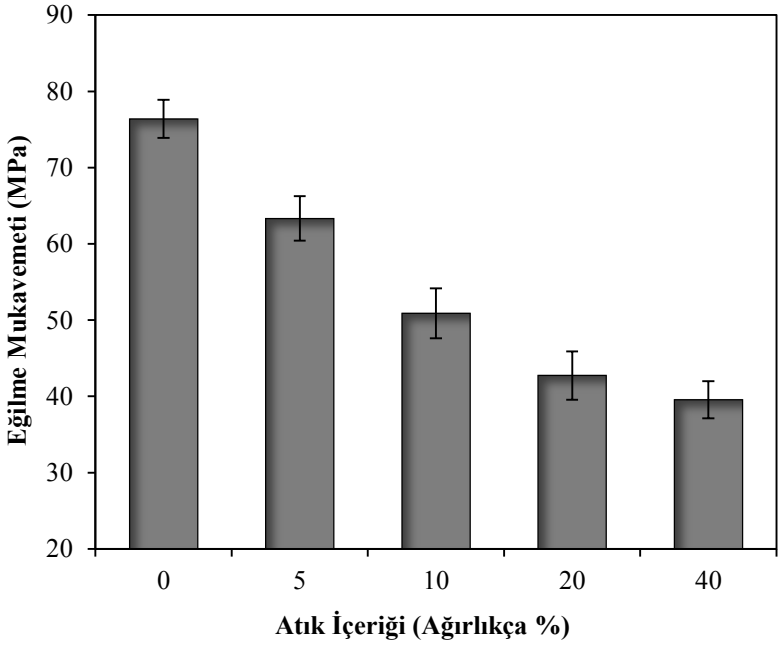
düşük olmasına dolayısı ile çekme mukavemeti ve elastikiyet modülü değerlerinin azalmasına neden olmaktadır [25]. Atık içeriğinin artışına bağlı olarak özellikle ağırlıkça %40'lık kompozit numunelerinde oluşan boşluklar SEM görüntülerinde teyit edilmiştir.

3.3. Üç Nokta Eğilme Mukavemeti Testi Sonuçları

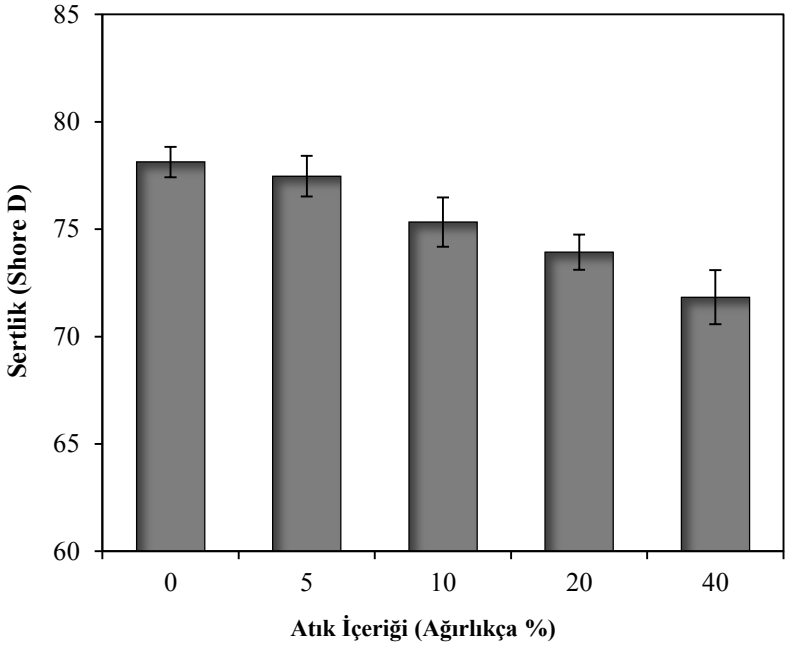
Saf polyester ve şeftali çekirdeği kabuğu kullanılarak üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme mukavemeti testlerinin sonuçları Şekil 10'da görülmektedir. Kompozit numunelerin eğilme mukavemeti değerlerinin, saf polyester numunesinin değerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Saf polyesterin eğilme mukavemeti değeri 76.17 MPa iken, atık içeriği artışına bağlı olarak yani ağırlıkça % 5-40'lık şeftali çekirdeği katkılı kompozit numuneleri için bu değer sırasıyla 63.78, 53.42, 43.43 ve 40.55 MPa olarak bulunmuştur. Artan organik yapıdaki şeftali çekirdeği kabuğu miktarı ile eğilme dayanımı azalmıştır. Bunun nedeni olarak muhtemelen hidrofilik yapıdaki şeftali çekirdeği kabuğunun hidrofobik polyester ile uyumsuz olması söylenebilir. Bu durum, zayıf ara yüzey yapışmasına neden olacaktır. Ayrıca, kompozit yapıdaki boşlukların varlığı da eğilme mukavemetinin azalmasına neden olmaktadır [26]. Ameh ve ark. doymamış polyester reçineye farklı oranlarda hurma çekirdeği parçacıkları ilave edilerek üretimini yaptıkları kompozit numunelerinin artan parçacık yüklemesi ile eğilme mukavemeti ile elastikiyet modülününün azaldığını rapor etmişlerdir [23].

3.4. Sertlik Testi

Saf polyester ve şeftali çekirdeği katkılı kompozit numunelerine ait Shore-D sertlik değerleri Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 11'den, şeftali çekirdeği kabuğunun polyestere eklenmesinin kompozit numunesinin sertliğini az da olsa düşürdüğü görülmüştür. Saf polyester için sertlik değeri 77.5 Shore-D iken, bu düşüş daha çok ağırlıkça %40 gibi yüksek oranlardaki şeftali çekirdeği kabuğu katkılı kompozit numunesinde görülmüştür ve sertlik değeri 72.0 Shore-D olarak elde edilmiştir. Bu durumun lignoselülozik yapıdaki şeftali çekirdeği kabuğunun, saf polyestere göre daha esnek bir yapıda olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Ağırlıkça % 5 ve % 10 gibi düşük dolgu malzemesi katkılı numunelerin sertlik değerlerinin (sırasıyla 77.0 ve 77.5 Shore D) saf polyesterin sertlik değerine yakın olduğu ve kompozit numunesinin sertlik değerini çok fazla olumsuz etkilemediği söylenebilir.



Şekil 10. Saf polyester ve şeftali çekirdeği kabuğunun ağırlık yüzdesi ile kompozit numunelerinin eğilme mukavemeti değişimi



Şekil 11. Saf polyester ve şeftali çekirdeği kabuğunun ağırlık yüzdesi ile kompozit numunelerinin sertlik değişimi

Borazan ve ark. kimyasal olarak ön işlem görmüş kestane atığı ve çam kozalağı dolgu içeriğinin polyester kompozitin özelliklerine etkisini inceledikleri çalışmada artan çam kozalağı oranı ile darbe dayanımı ve sertliğinin (Shore D) az da olsa azaldığını belirtmişlerdir [11].

Şeftali çekirdeği kabuğu takviyeli polyester kompozitin mekanik özellikleri, literatürde farklı dolgu malzemeleri kullanılarak sentezlenen kompozitler ile karşılaştırılmış ve Tablo 2'de özetlenmiştir.

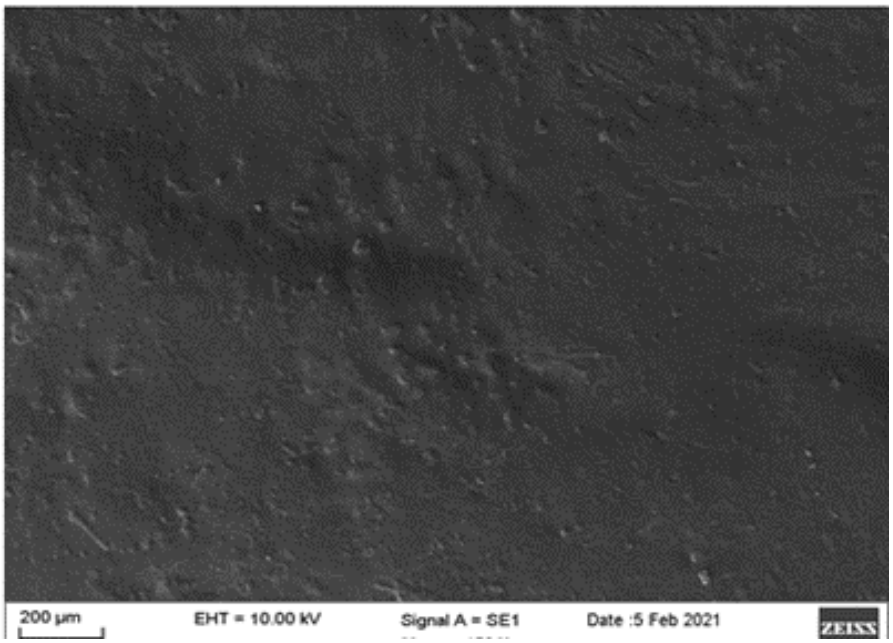
Tablo 2. Şeftali çekirdeği kabuğu takviyeli polyester kompozitin mekanik özelliklerinin diğer kompozitlerle karşılaştırılması

Dolgu malzemesi	**Uygulanan testler**	**Kaynaklar**
Şeftali hurması tozu	ÇM azaltmış Els.Mod. arttırmış İDM arttırmış	[27]
Ananas yaprağı lifi	ÇM arttırmış Els.Mod. arttırmış	[28]
Huntit minerali	ÇM arttırmış EM arttırmış Els.Mod. arttırmış	[29]
(Çam kozalağı+mermer+ATH)	EM azaltmış Els.Mod. arttırmış S arttırmış	[30]
Şeftali çekirdeği kabuğu	ÇM azaltmış Els.Mod. azaltmış EM azaltmış S azaltmış	Bu çalışma

ÇM: *Çekme Mukavemeti,* ***EM:*** *Eğilme Mukavemeti,* ***Els.Mod.:*** *Elastikiyet Modülü,* ***S:*** *Sertlik,* ***İDM:*** *İzod Darbe Mukavemeti,* ***ATH:*** *Yanıcı Olmayan Ticari Dolgu Malzemesi*

3.5. SEM Analizi Sonuçları

Kullanılan dolgu malzemesinin polyester ile olan etkileşimi ve polyester içerisindeki homojenizasyonu SEM analizi yapılarak incelenmiştir. Saf polyesterin SEM görüntüsü Şekil 12'de verilmiştir. Ağırlıkça %10, %20 ve %40 şeftali çekirdeği kabuğu katkılı kompozit numunelerine ait SEM görüntüleri ise Şekil 13'de verilmiştir. Tüm dolgu malzemeleri için ağırlıkça %5'lik kompozit numunesine ait SEM görüntüsü, mekanik testlerde de fazla değişikliğe sebep olmadığı için verilmemiştir. Tüm SEM görüntülerine bakıldığında, ağırlıkça % 20 ve özellikle ağırlıkça %40 katkılı kompozit numunelerinin homojenasyonunda azalma, kabarcık oluşumu ve partikül agregasyonuna sebep olduğu görülmektedir.

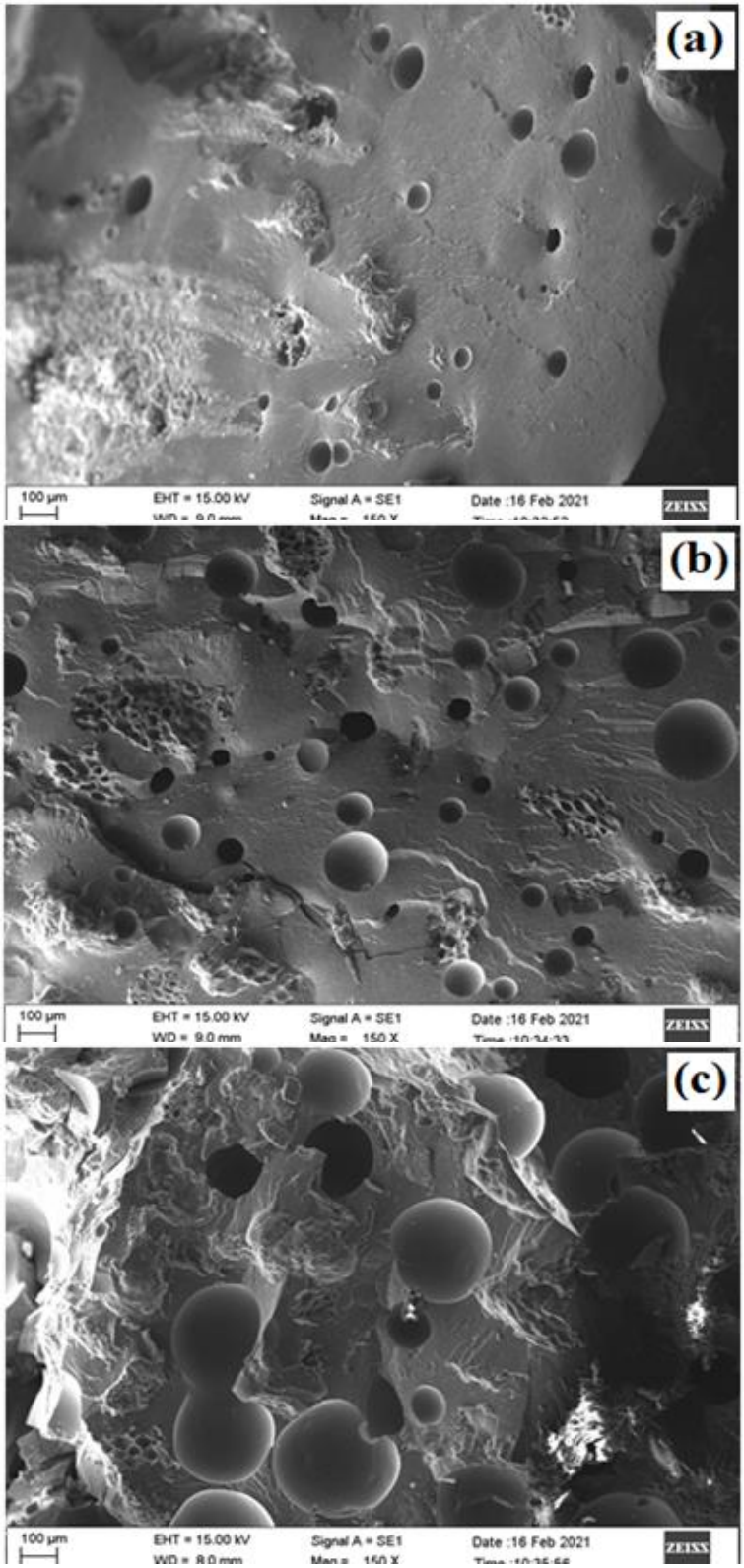


Şekil 12. Saf polyester numunesine ait SEM görüntüsü

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, şeftali çekirdeği kabuğu gibi tarımsal atıkların doğaya salınması yerine değerlendirilmesinden ortaya çıkan çevresel faydalar yanında atıkların ekonomik olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca şeftali çekirdeği kabuğu kullanılarak polyester esaslı kompozit malzeme üretiminde bu tarz dolgu malzemelerinin kompozitin mekanik özelliklerine olan etkisi belirlenmiştir.

Öncelikli olarak saf polyester numunesi üretilmiş daha sonra polyester reçinesine ağırlıkça % 5, 10, 20 ve 40 oranlarında şeftali çekirdeği kabuğu tozu eklenerek elle döküm yöntemi ile polyester esaslı kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen bu kompozit malzemenin ve saf polyester numunesinin performanslarını değerlendirmek için çekme mukavemeti, elastikiyet modülü, eğilme mukavemeti ve sertlik gibi farklı mekanik testlere tabi tutulmuştur. Çekme mukavemeti testlerinin sonucuna göre; şeftali çekirdeği kabuğu tozunun ilave edilmesi ile üretilen kompozit malzemenin hem çekme mukavemeti hem de elastikiyet modülü değerlerinin azaldığı görülmüştür. Benzer şekilde üç nokta eğilme mukavemeti testlerinin sonucuna göre de şeftali çekirdeği kabuğu katkılı kompozit



Şekil 13. Ağırlıkça a) %10, b) %20 ve c) %40 şeftali çekirdeği kabuğu katkılı kompozit numunesine ait SEM görüntüleri

numunelerinin eğilme mukavemeti değerleri, saf polyester numunesinin değerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sertlik (Shore-D) testlerinin sonucuna göre; şeftali çekirdeği kabuğu tozunun polyestere eklenmesinin kompozitin sertliğini azda olsa düşürdüğü görülmüştür.

Fiziksel ve mekanik özelliklere ek olarak, dolgu miktarı bir ürünün maliyetini etkilemektedir. Bu amaçla, partikül dolgulu kompozitlerdeki reçine içeriğini düşürerek maliyetler düşürülebilir. Reçine, diğer dolgu türlerine kıyasla nispeten pahalı bir üründür. Buda dolgu malzemesinin maliyetini düşürmek için üreticileri farklı yöntemler aramaya iten ana sebeptir. Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan şeftali çekirdeği kabuğu gibi tarımsal atıklar yüksek oranlarda kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini olumsuz etkilese de düşük miktarlarda maliyet düşürücü dolgu malzemesi olarak polyester esaslı kompozit üretiminde kullanılabileceği söylenebilir.

Kaynaklar

[1] Fowler PA, Hughes JM, Elias RM. Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces. J. Sci. Food Agric. 2006; 86 (12): 1781–1789.

[2] Lampinen J. Biocomposite research as a way to add value and sustainability to composites. Proceedings of the 4th Wood Fibre Polymer Composites International Symposium. 2009.

[3] Santos Ribeiro MC, Fiúza A, Ferreira A, Lurdes Dinis M, Meira Castro AC, Meixedo JP, Alvim MR. Recycling Approach towards Sustainability Advance of Composite Materials' Industry. Recycling. 2016; 1 (1): 178–193.

[4] Anonim, West Africa Regional Agriculture and Food Security, World Bank, www.usaid. gov/west-africa-regional/agriculture-and-food-security. 2016; Erişim Tarihi: 12.03.2019.

[5] FAO. 2019. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize

[6] Callister WD, Rethwisch DG. Materials Science and Engineering: an introduction," USA, 2007.

[7] Elsahli E, Elhrari W, Klash A, Shebani A. The use of olive stone waste for production of particleboard using commercial polyster sealer as a binding agent. In Proceedings of the 1st International Conference on Chemical, Petroleum and Gas Engineering, Alkhoms, Libya, 25–30 January, 2016.

[8] Erklig A, Bulut M, Shihan A. An experimental investigation on dynamic and mechanical characterization of olive pomace-filled glass/epoxy composite laminates. J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 2020; 42: 499-510.

[9] Gharbi A, Hassen RB., Boufi S. Composite materials from unsaturated polyester resin and olive nuts residue: The effect of silane treatment. Ind. Crop. Prod. 2014; 62: 491-498.

[10] Sewench NR, Samah MH. Characteristic of Hybrid Chestnut Shell Fillers/ Epoxy Composite. J. Eng. Tech. Manage. 2013; 31 (3): 368-380.

[11] Borazan AA, Gokdai D, Acikgoz C, Adiguzel DA. The Influence of Chemically Pre-treated Chestnut Waste and Pinecone Filler Content on the Properties of Polyester Composites. Environ. Ecol. Res. 2017; 5 (3): 235-243.

[12] Dong C, Davies IJ. Flexural Properties of Wheat Straw Reinforced Polyester Composites. Am. J. Mater. Sci. 2011; 1 (2): 71-75.

[13] Orhan R, Topuz S, Aydogmus E. Experimental and Theoretical Study on Mechanical Properties of Apricot Stone Shell Reinforced Polyester Composites. Asia Pasific 3rd International Conference on Contemporary Studies, Seoul, South Korea. 2020; 1-2 June, pp. 198-209.

[14] ASTM. ''Annual Book of ASTM Standards'', ASTM Standard D 638M-91a, Part 08–01; ASTM: Philadelphia, PA, 1992.

[15] ASTM D 790. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials West Conshohocken, United States, ASTM International.

[16] American Society for Testing and Materials. Designation D2240: standard test methods for rubber properties-Durometer hardness. In: Annual books of ASTM standards. Section 9. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1988.

[17] Yang H, Yan R, Chen H, Lee DH, Zheng C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. Fuel. 2007; 86(12-13): 1781-1788. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013

[18] Reffas A, Bernardet V, David B, Reinert L, Lehocine MB, Dubois M, Duclaux L. Carbons prepared from coffee grounds by H3PO4 activation: Characterization and adsorption of methylene blue and Nylosan Red N-2RBL. J. Hazard. Mater. 2010; 175: 779-788. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.076

[19] Demiral I, Kul ŞÇ. Pyrolysis of apricot kernel shell in a fixed-bed reactor: Characterization of bio-oil and char. J. Anal. Appl. Pyrol. 2014; 107: 17-24. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.01.019

[20] Barroso-Bogeat A, Alexandre-Franco M, Fernandez-Gonzalez C, Gomez-Serrano V. FT-IR analysis of pyrone and chromene structures in activated carbon. Energy Fuels. 2014; 28: 4096-4103. https://doi.org/10.1021/ef5004733
[21] Koto N and Soegijono B. Effect of Rice Husk Ash Filler of Resistance Against of High-Speed Projectile Impact on Polyester-Fiberglass Double Panel Composites. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1191, 2019; 012058. doi:10.1088/1742-6596/1191/1/012058.
[22] Chukwu MN, Madueke CI, Ekebafe LO. Effects of Snail Shell as Filler on the Mechanical Properties of Terephthalic Unsaturated Polyester Resin. Niger. Res. J. Chem. Sc. 2019; 6: 21-32.
[23] Ameh AO, Isa MT, Sanusi I. Effect of particle size and concentration on the mechanical properties of polyester/date palm seed particulate composites. Leonardo J. Pract. Technol. 2015; 26: 65-78.
[24] Yalçın R. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları ile küllerinin karakterizasyonu ve kompozit özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 2020.
[25] Albano C, Ichazo M, Gonza´lez J, Delgado M, Poleo R. Effects of filler treatments on the mechanical and morphological behavior of PP+wood flour and PP+sisal fiber. Mater. Res. Innov. 2001; 4 (5–6): 284–293.
[26] Dong C, Davies IJ. Flexural Properties of Macadamia Nutshell Particle Reinforced Polyester Composites. Compos. Part B. 2012; 43: 2751–2756.
[27] De Farias MA, Farina MZ, Pezzin APT, Silva DAK. Unsaturated polyester composites reinforced with fiber and powder of peach palm: Mechanical characterization and water absorption profile. Mater. Sci. Eng., C. 2009; 29(2): 510–513. https://doi.org/10.1016/j.msec.2008.09.020
[28] Glória GO, Teles MCA, Lopes FPD, Vieira CMF, Margem FM, Gomes MA, Monteiro SN. Tensile Strength of Polyester Composites Reinforced with PALF. J. Mater. Res. Technol. 2017; 6(4): 401–405. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2017.08.006
[29] Seki Y, Sever K, Sarıkanat M, Sakarya A, Elik E. Effect of huntite mineral on mechanical, thermal and morphological properties of polyester matrix. Compos. B; Eng. 2013; 45: 1534-1540. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.09.083
[30] Duygu G, Borazan AA, Acikbas G. Effect of Marble: Pine Cone Waste Ratios on Mechanical Properties of Polyester Matrix Composites. Waste Biomass Valorization. 2017; 8(5): 1855–1862. http://dx.doi.org/10.1007/s12649-017-9856-6.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 579-588, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1098749

Cu-Al-Zn Alaşımının Manyetik, Yapısal ve Termal Özellikleri Üzerine Mn ilavesinin Etkileri

Emine ALDIRMAZ[1*]
Fizik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Amasya Üniversitesi, Amasya, Türkiye
[*1]emine.aldirmaz@amasya.edu.tr

(Geliş/Received: 05/04/2022; Kabul/Accepted: 07/08/2022)

Öz: Bu çalışmada, Cu-%11.42Al-%6.43Zn ve Cu-%11.31Al-%6.03Zn-%2.70Mn (% ağırlıkça) alaşımları üzerinde bazı fiziksel yöntemlerle araştırmalar yapılmıştır. Alaşımların yapısal, kristalografik, manyetik ve termal özellikleri incelenmiş ve Mn katkısının etkileri araştırılmıştır. X-ışını difraksiyon yöntemi kullanılarak alaşımların yapıları analiz edilmiştir. Elektron mikroskop incelemelerinden; Cu-Al-Zn alaşımında farklı morfolojilerde α-çökelti fazının oluştuğu gözlemlenmiştir. Fakat, Cu-Al-Zn-Mn alaşımında α-çökelti fazının gözlenmesinin yanında martensite fazına da rastlanılmıştır. Alaşımların manyetik özellikleri VSM ile belirlenmiştir. Her iki alaşımın da manyetizasyonunun manyetik alanla değişimi M-H oda sıcaklığında elde edilmiştir. Cu-Al-Zn alaşımında uygulanan dış magnetik alan ile mıknatıslanma azalırken, Cu-Al-Zn-Mn alaşımının ferromanyetik davranış sergilediği bulunmuştur. Alaşımların faz dönüşüm sıcaklıkları DSC yöntemi ile belirlenmiştir. DSC incelemelerinden Mn ilavesinin faz dönüşüm sıcaklıklarını düşürdüğü bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Cu-bazlı alaşımlar, Çökelti, Aktivasyon Enerjisi, Manyetizasyon, DSC.

Effects of Mn Addition on Magnetic, Structural and Thermal Properties of Cu-Al-Zn Alloy

Abstract: In this study, some physical studies were carried out on Cu-11.42Al-6.43%Zn and Cu-11.31%Al-6.03%Zn-2.70%Mn (wt. %) alloys. Structural, crystallographic, magnetic and thermal properties on alloys were investigated and the effects of Mn addition were discussed. The structure of the alloys were analyzed using the X-ray diffraction method. From electron microscope examinations; It was observed that α-precipitate phase with different morphologies was formed in Cu-Al-Zn alloy. However, in addition to the α-precipitation phase in Cu-Al-Zn-Mn alloy, martensite phase was also observed. The magnetic properties of the alloys were determined by VSM. The variation of magnetization with magnetic field M-H of both alloys was investigated at room temperature. It was found that Cu-Al-Zn alloy exhibited diamagnetic behavior, while Cu-Al-Zn-Mn alloy exhibited ferromagnetic behavior. The phase transformation temperatures of the alloys were determined by the DSC method. From the DSC investigations, it was found that the addition of Mn reduced the phase transformation temperatures.

Key words: Cu-based alloys, Precipitation, Activation Energy, Magnetization, DSC.

1. Giriş

Metal ve metal alaşımlarına duyulan ihtiyaçtan dolayı bu malzemeler üzerindeki çalışmalar geçmişten günümüze kadar devam etmektedir. Özellikle bakır bazlı alaşımlar maliyetlerinin düşük olması, yüksek elektrik ve termal iletkenlikleri sebebiyle oldukça ilgi çekicidir [1]. Son zamanlarda, bakır bazlı şekil hatırlamalı alaşımlar üzerinde çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Alaşımlarda, meydana gelen fazlar; yüksek sıcaklık fazı "austenite" faz ve düşük sıcaklıklarda meydana gelen "martensite" faz olarak isimlendirilir [2]. Özellikle sıcaklık, basınç, dış zor ve uygulanan manyetik alan etkisi ile metal/metal alaşımların bazı fiziksel özellikleri değiştirilebilmekte ve geliştirilebilmektedir. Bazı bakır bazlı alaşımlarda basınç, dış zor ve manyetik alan etkisi haricinde sıcaklık etkisi ile "martensite" faz gözlenebilmektedir [3]. Bu özellikleri nedeniyle bu alaşımlar; mühendislik ve medikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [4, 5]. Cu-Al bakır bazlı şekil hatırlamalı alaşımlar; iyi hafıza özelliklerine sahip olmaları, yüksek dönüşüm sıcaklığı, iyi termal ve elektriksel özellik, düşük maliyet ve kolayca üretilebilirliği açısından araştırmacılar tarafından yoğun ilgi görmektedir [6]. Fakat tüm bu özelliklere rağmen, Cu bazlı şekil hatırlamalı alaşımların bazı dezavantajları vardır. Bu dezavantajlar alaşımlandırma elementlerinin eklenmesi ile geliştirilebilir. Örneğin; bu alaşımlara üçüncü bir element katkılandırmak, bu alaşımların kolay üretilmesine, iyi ısıl ve termal iletken özellik sergilemesine ve iyi şekil hatırlama etkisi göstermesini sağlar. Hatta farklı element katkıları, bu alaşımlara termal stabilite, elastiklik, tane boyutu arttırma gibi özellikler de sağlar. Ayrıca Cu-Al-Zn şekil hatırlamalı alaşımlarda Al miktarının arttırılması ve Zn miktarının azaltılmasının sertliğin ve elektriksel iletkenliğin azalmasına yol açtığı görülmüştür [7, 8].

Günümüzde birçok alanda kullanılan manyetik malzemelerin geliştirilmesi için pek çok çalışma yapılmaktadır. Bu malzemeler; bilgisayar teknolojisi, haberleşme, otomobil sanayisi, elektrik motorları gibi birçok alanda kullanılmaktadır [9]. Son zamanlarda şekil hatırlamalı alaşımların manyetik özellikleriyle ilgili yapılan

* Sorumlu yazar: emine.aldirmaz@amasya.edu.tr, Yazarın ORCID Numarası: 0000-0003-0456-7074

çalışmalar genellikle manyetik alan etkisiyle oluşturulan faz dönüşümlerini incelemektedir [10]. Son araştırmalarda, hem şekil hatırlama etkisi hem de ferromanyetik davranışı aynı anda gösteren "ferromanyetik şekil hatırlamalı alaşımlara yer verilmiştir [11, 12]. Hatta, Cu-Al alaşımlarına eklenen Mn; şekil hatırlama özelliğine sahip olan ferromanyetik malzemelerle yapılan çalışmalarda kompozisyona bağlı olarak alaşımların süperparamanyetik özellik gösterdiğini de ortaya çıkarmıştır [13, 14]. Şekil hatırlamalı alaşımların fiziksel, kimyasal ve elektriksel özellikleri; faz dönüşümleri, farklı alaşım elementlerinin eklenmesi, deformasyon ve uygulanan ısıl işlemlerin etkisi ile geliştirilebilir [15, 16].

Şekil hatırlamalı alaşımların göstermiş olduğu üstün özelliklerinden dolayı bu konu üzerine yapılan çalışmalara ilgi giderek artmıştır. Bu malzemelerin manyetik özelliklerinin araştırılmasıyla kullanım alanları genişletilmiştir. Buna bağlı olarak da kullanılacak amaca göre uygun kompozisyonda malzeme üretimi bu konuda ilerlemelere sebep olacaktır. Bu çalışmada, Cu-Al-Zn ve Cu-Al-Zn-Mn alaşımları ergitme yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Alaşımlarda termal etki ile meydana getirilen faz dönüşümleri taramalı elektron mikroskobu (SEM), faz dönüşüm sıcaklıkları Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC), alaşımların kristal yapıları ve fazlar X Işınları Toz Difraktometresi (XRD) ve alaşımların manyetik özellikleri titreşimli örnek magnetometresi (VSM) kullanılarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada kullanılan polikristal Cu-Al-Zn (alaşım 1) ve Cu-Al-Zn-Mn (alaşım 2) alaşımları %99.9 saflık derecesinde toz halinde bulunan Cu, Al, Zn ve Mn elementleri kullanılarak hazırlanmıştır. Alaşımların ağırlıkça yüzdeleri EDX yöntemi ile Cu-%11.42Al-%6.43Zn ve Cu-%11.31Al-%6.03Zn-%2.70Mn (% ağırlıkça) olarak belirlenmiştir. Alaşımlar 800 ºC' de 30 dak. sürelerde homojenleştirme işlemine tabi tutulmuşlardır. Homojen hale getirilen örnekler, buzlu su içerisine atılarak hızlı soğutulmuşlardır. Isıl işlem uygulandıktan sonra, örneklerin yüzeyleri 10 ml HCl, 48 ml metanol ve 2.5 g ($FeCl_3$-$6H_2O$) karışımından oluşan çözelti içerisinde dağlanmıştır. Elektron mikroskobu deneyleri FEI / Quanta 450 FEG model elektron mikroskobu ile yapılmıştır. X ışınları incelemeleri Bruker D8 Advance bilgisayar kontrollü x-ışını difraktometresi ile CuK_α (λ=1.5405 Å) kullanılarak alınmıştır. Ölçümler 2θ=20-100º arasında 2º/dak. sabit tarama hızı ile yapılmıştır. DSC ölçümleri farklı ısıtma/soğutma hızlarında (5, 10, 15 ve 20 ºC/dak.) azot gazı atmosferinde DSC TA Q20 model DSC ile alınmıştır. Manyetik ölçümler için Fiziksel Özellik Ölçüm Sistemi (Quantum Design PPMS-9t) kullanılmıştır. M-H ölçümleri ± 6 T aralığında oda sıcaklığında ölçülmüştür.

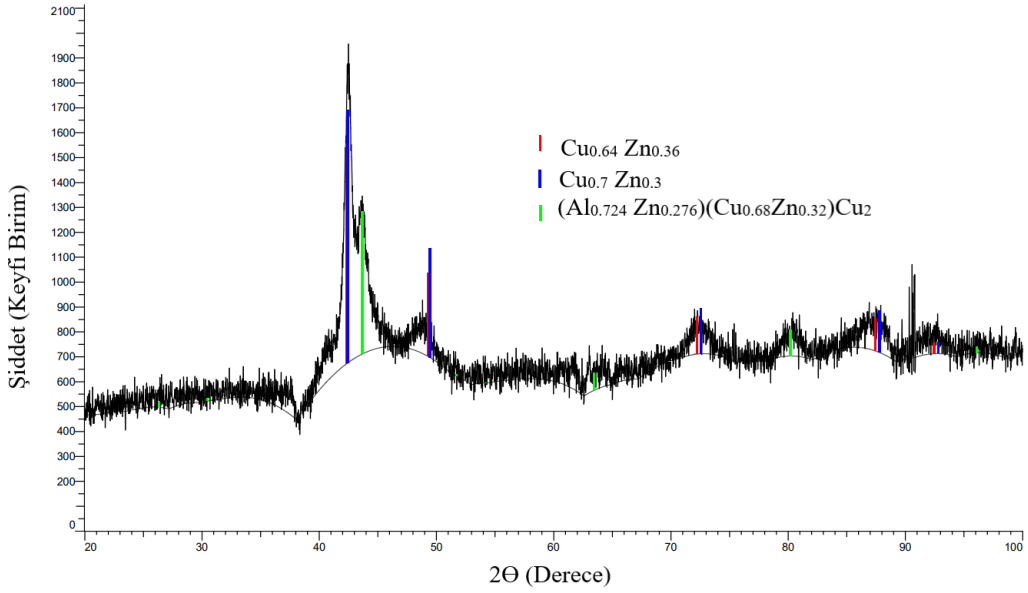
3. Bulgular ve Tartışma

Alaşım 1 ve 2'nin fazlarını ve kristal yapılarını belirlemek için x ışını kırınımı tekniği kullanılmıştır. X ışınları ölçümleri oda sıcaklığında alınmıştır. Alaşım 1 ve 2' ye ait x-ışını kırınım desenleri Şekil 2' de gösterilmiştir. Bu ölçümler sonucunda alaşım 1 ve 2 için elde edilen örgü parametreleri, birim hücre hacmi, boyut, dislokasyon yoğunluğu değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) = ($1/D^2$) denklemi ile hesaplanır [17]. Buradaki D kristal boyutudur (nm).

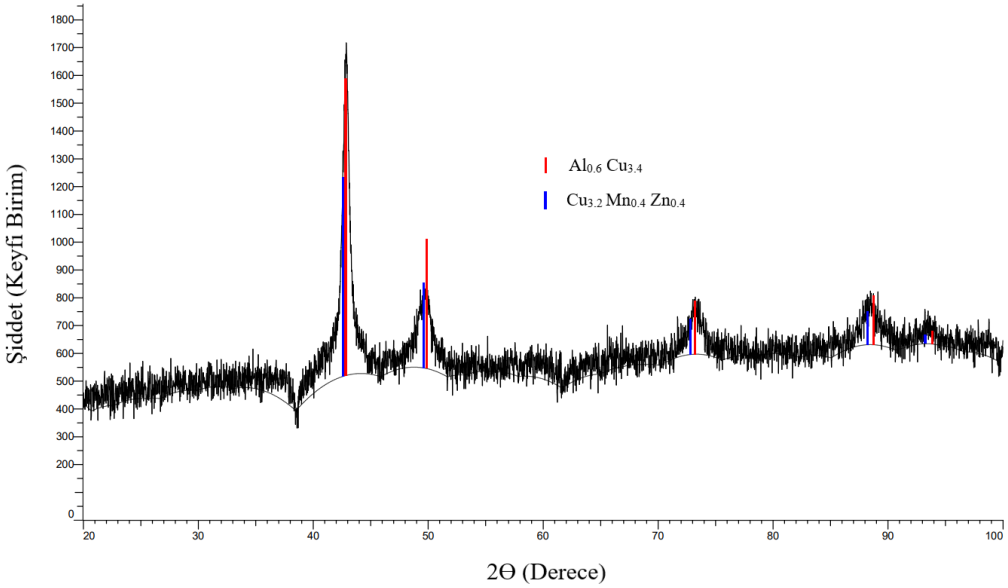
Alaşım 1'in kırınım deseni incelendiğinde; yansıma veren düzlemler (1 1 1), (2 0 0), (2 2 0), (3 1 1) ve (2 2 2) düzlemleridir ve 2θ=42.32°, 49.27°, 72.24°, 87.45° ve 92.42° dir. Faz yapısı $Cu_{0.64}$ $Zn_{0.36}$ dır. Alaşım 1'de gözlemlenen $Cu_{0.7}$ $Zn_{0.3}$ fazına ait düzlemler (1 1 1), (2 0 0), (2 2 0), (3 1 1) ve (2 2 2) şeklindedir. Bu düzlemlere ait 2θ değerleri ise 42.46°, 49.44°, 72.51°, 87.81° ve 92.82° olarak elde edilmiştir. Alaşım 1'de meydana gelen diğer 2θ faz açısı değerleri 43.66°, 63.45°, 80.19° ve 96.10° olarak belirlenmiş olup yansıma düzlemleri (2 2 0), (4 0 0), (4 2 2) ve (4 4 0) olarak bulunmuştur. Bu yansıma veren düzlemlere ait faz ($Al_{0.724}$ $Zn_{0.276}$)($Cu_{0.68}Zn_{0.32}$)Cu_2'dir. Bakır bazlı alaşımlar için kompozisyon ve soğutma hızına bağlı olarak ana faz DO_3 ve $L2_1$ süper örgülü yapılardan oluşması nedeniyle bu yapıları birbirinden ayırmak zordur. XRD sonuçlarına göre (2 2 0) düzlemi DO_3 yapısının temel düzlemi olduğundan bu desenin DO_3 süperörgü düzenli β_1 austenite (ana) faz yapısında olduğu tespit edilmiştir [18, 19].

Alaşım 2'nin x-ışını kırınım deseninden; 2θ=42.83°, 49.88°, 73.21°, 88.73° ve 93.83° değerlerinde difraksiyon veren düzlemler sırasıyla kübik $Al_{0.6}$ $Cu_{3.4}$ fazına ait (1 1 1), (2 0 0), (2 2 0), (3 1 1) ve (2 2 2) düzlemleri olarak belirlenmiştir. Yine alaşım 2'de gözlenen $Cu_{3.2}$ $Mn_{0.4}$ $Zn_{0.4}$ faz için 2θ açısı 2.62°, 49.62°, 72.80°, 88.19° ve 93.24° değerleridir ve yansıma veren düzlemler (1 1 1), (2 0 0), (2 2 0), (3 1 1) ve (2 2 2) olarak belirlenmiştir. XRD çalışmaları sonucunda; alaşım 1 ve 2'de meydana gelen $Cu_{0.64}$ $Zn_{0.36}$, $Cu_{0.7}$ $Zn_{0.3}$, $Al_{0.6}$ $Cu_{3.4}$ ve $Cu_{3.2}$ $Mn_{0.4}$ $Zn_{0.4}$, fazlarının bakırca zengin kübik α-fazıdır. Elde edilen veriler önceki çalışmalar ile uyum içindedir [19-21]. Fakat, Tablo 1 incelendiğinde elde edilen dislokasyon yoğunluğu değerlerinin literatürde yer alan benzer

alaşımların değerlerinden daha büyük olduğu bulunmuştur [22]. Bu sonuç, çalışmada kullanılan alaşımların kompozisyonlarının literatürden farklı olmasına bağlanmıştır.



(a)



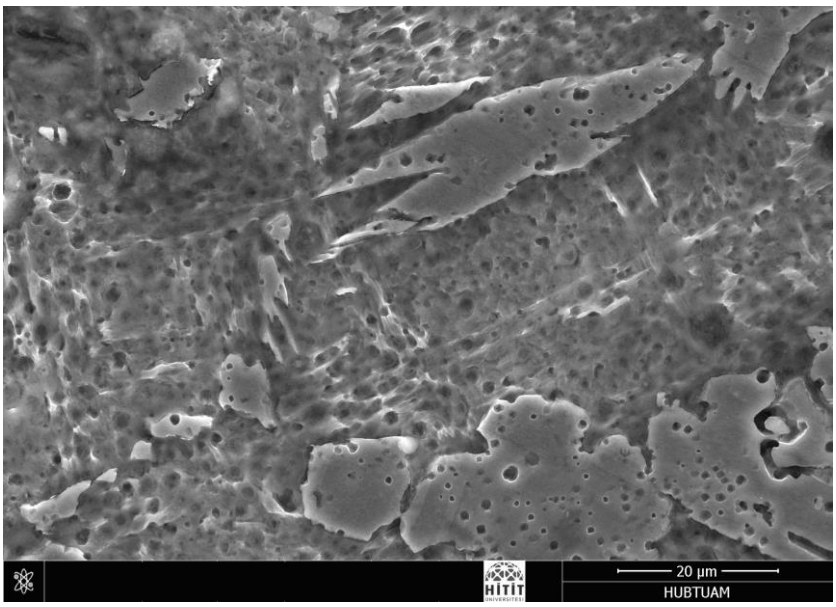
(b)

Şekil 1. Alaşımların XRD analiz sonuçları (a) alaşım 1 ve (b) alaşım 2.

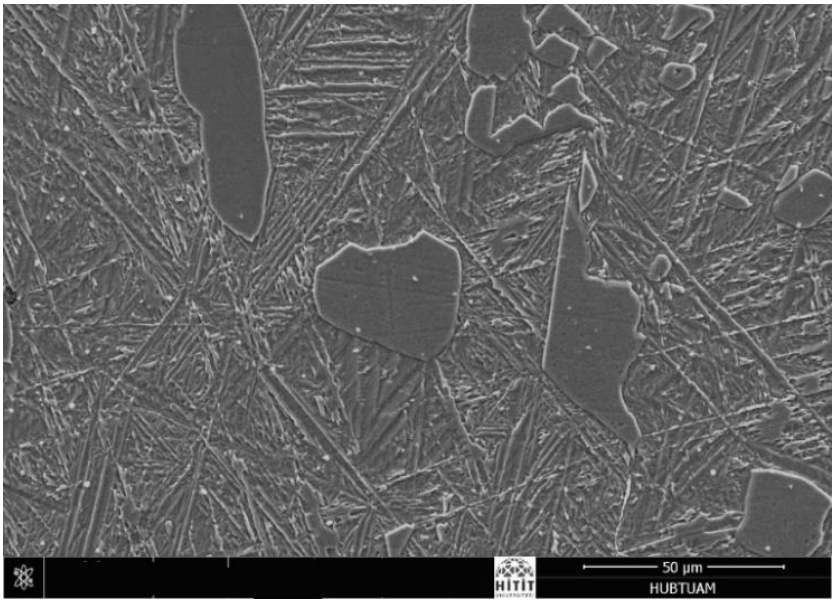
Tablo 1. Alaşımlara ait örgü parametreleri, birim hücre hacmi, boyut, dislokasyon yoğunluğu değerleri.

Yapı Parametreleri	$Cu_{0.64}$ $Zn_{0.36}$	$Cu_{0.7}$ $Zn_{0.3}$	$(Al_{0.724}$ $Zn_{0.276})(Cu_{0.68}Zn_{0.32})Cu_2$	$Al_{0.6}$ $Cu_{3.4}$	$Cu_{3.2}Mn_{0.4}$ $Zn_{0.4}$
a (Å)	3.696	3.684	5.859	3.653	3.671
Hacim (a^3)	50.49	50.00	201.13	48.77	49.48
Kristal Boyutu (nm)	8.43	8.51	7.55	7.90	8.45
Dislokasyon Yoğunluğu	0.014	0.013	0.017	0.016	0.014
% Ağırlık	64.21	64.10	228.80	232.25	251.47
Uzay Grubu	Fm-3m (225)	Fm-3m (225)	Fm-3m (225)	Fm-3m (225)	Fm-3m (225)

Alaşım 1 ve 2'nin SEM görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2(a)'dan görülebileceği gibi alaşım 1'de taneler arasında rastgele dağılmış bakırca zengin α çökeltileri tespit edilmiştir. Ayrıca, α çökeltilerinin ana faz (β) içerisinde uzun, yuvarlak ve düzensiz morfolojide olduğu görülmüştür [23]. Alaşım 2'nin SEM görüntüsü incelendiğinde ise α çökeltileri ile birlikte iğne ve V-biçimli martensite plakaları gözlemlenmiştir. Alaşım 1'den farklı olarak Mn alaşım 2'de martensite yapının oluşmasına neden olmuştur.



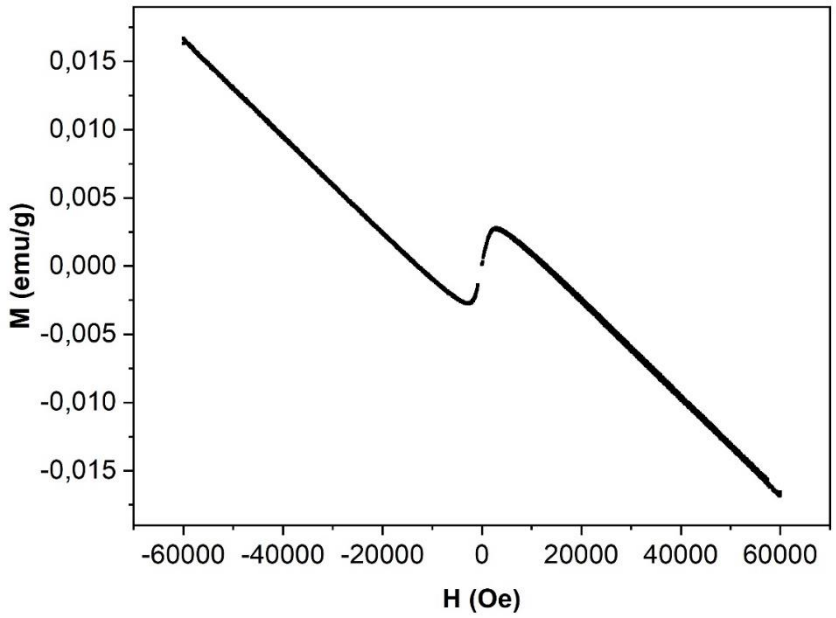
(a)



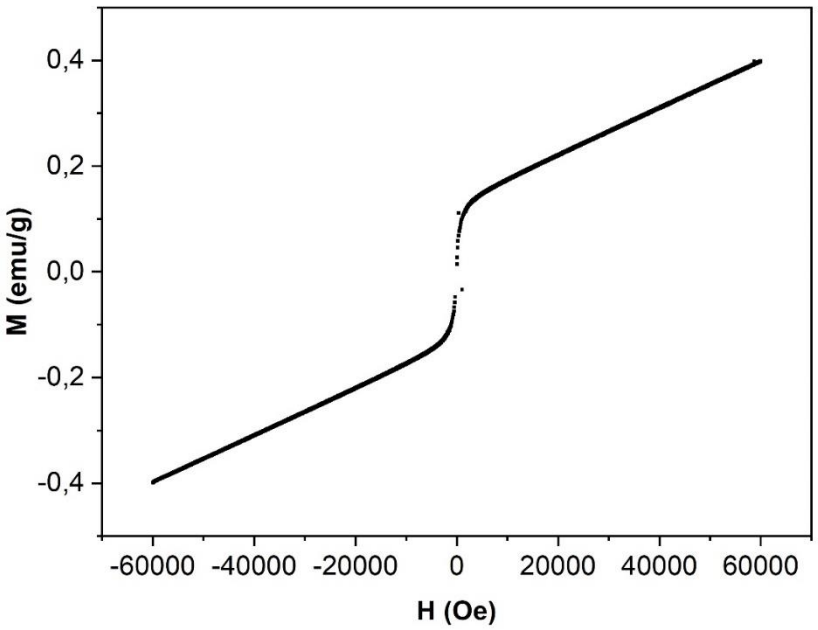
(b)

Şekil 2. Alaşımların SEM görüntüleri (a) alaşım 1 ve (b) alaşım 2.

Bu çalışmada alaşım 1 ve 2'ye ait VSM ölçümleri -6 ile 6 T aralığında alınmıştır. Alaşımlara ait M-H grafikleri Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde manyetik alan büyüklüğünün artması ile manyetizasyonun da değiştiği gözlemlenmiştir. Alaşım 1 ve 2 için manyetizasyon değerleri sırası ile 0.01 emu/g ve 0.39 emu/g olarak elde edilmiştir. Alaşım 1'in M-H eğrisi incelendiğinde uygulanan manyetik alanla mıknatıslanmanın azaldığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar benzer alaşımların sonuçları ile uyum içerisindedir [22]. Alaşım 1' e ait manyetizasyon değeri Nassar ve arkadaşlarının benzer alaşım için yapmış oldukları değerden daha yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni alaşım kompozisyonundaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Alaşım 2'nin M-H eğrisi incelendiğinde ise ferromanyetik davranış gösterdiği bulunmuştur. Mn-Mn çiftlerinden dolayı alaşım 2 ferromanyetik davranış sergilemiştir. Alaşım 2'nin sonuçları literatürle uyum içerisindedir [4, 11,12].



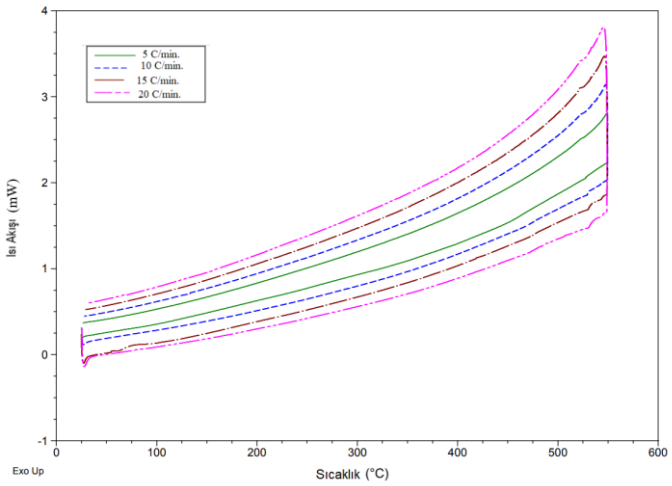
(a)



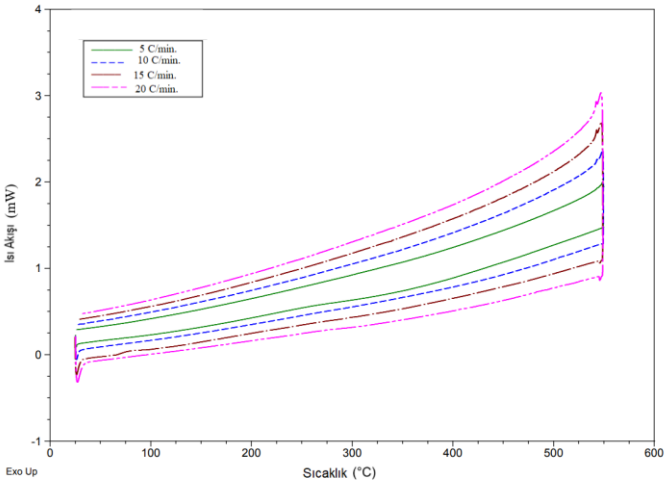
(b)

Şekil 3. Alaşımların M-H eğrileri (a) alaşım 1 ve (b) alaşım 2.

Alaşım 1 ve 2'nin dönüşüm sıcaklıkları ve entalpi değerleri DSC yöntemi ile incelenmiştir. Alaşımlara ait farklı ısıtma/soğutma hızlarında elde edilen DSC eğrileri sırası ile Şekil 4'te verilmiştir. Bu eğrilerden elde edilen dönüşüm sıcaklıkları ve entalpi değerleri Tablo 2 ve 3'te listelenmiştir. Tablolardan görüleceği üzere alaşımların dönüşüm sıcaklıkları genel olarak ısıtma hızının artmasıyla artmıştır. Alaşım 2'nin dönüşüm sıcaklıkları alaşım 1'e göre daha düşük elde edilmiştir. Sonuç olarak, alaşım 1'e eklenen Mn austenite dönüşüm sıcaklıklarını azaltmıştır (Tablo 2) [24]. SEM sonuçlarına göre alaşım 2' de V-biçimli martensite plakaları gözlemlenmiştir. Fakat, alaşım 2 için DSC eğrilerinde alınan sıcaklık aralığında martensite (M)→austenite (A) piklerine rastlanmamıştır. Bunun nedeni DSC cihazının düşük ısıtma hızlarına ve yavaş soğutma kabiliyetine sahip olmasındandır [25].



(a)



(b)

Şekil 4. 5, 10, 15 ve 20 °C/dak. ısıtma/soğutma oranlarında elde edilen DSC eğrileri (a) alaşım 1 ve (b) alaşım 2.

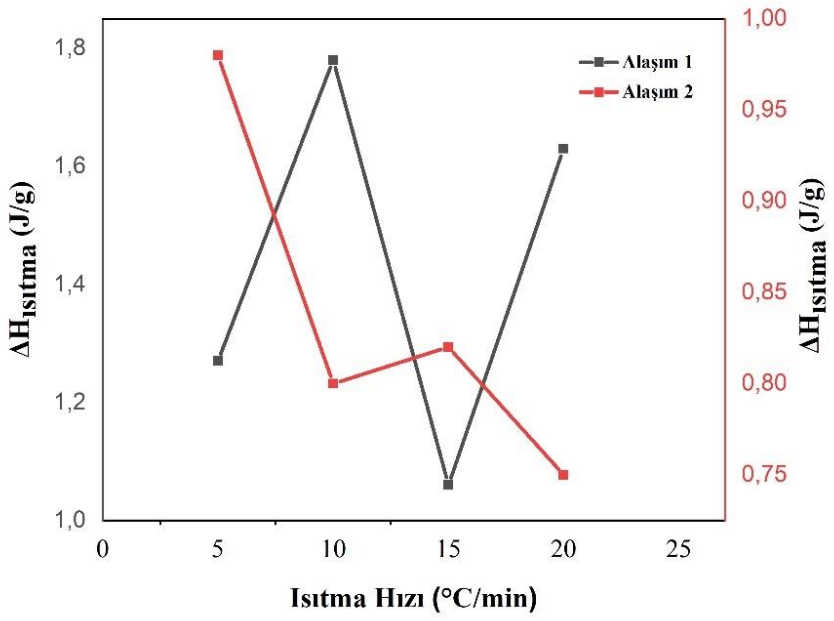
Tablo 2. Cu-Al-Zn alaşımı için entalpi değişim değerleri ve DSC pik analizleri.

Isıtma hızı (°C/dak.)	A_s (°C)	A_f (°C)	A_{max} (°C)	$\Delta H_{ısıtma}$ (J/g)
5	340.91	427.26	397.93	1.27
10	514.48	539.65	526.85	1.78
15	520.53	542.66	529.58	1.06
20	516.81	543.73	530.13	1.63

Tablo 3. Cu-Al-Zn-Mn alaşımı için entalpi değişim değerleri ve DSC pik analizleri.

Isıtma hızı (°C/dak.)	A_s (°C)	A_f (°C)	A_{max} (°C)	$\Delta H_{ısıtma}$ (J/g)
5	279.14	412.26	327.51	0.98
10	372.86	456.26	409.73	0.80
15	440.26	495.61	462.16	0.82
20	475.42	510.62	493.28	0.75

Şekil 5' de entalpi ısıtma değerlerinin ısıtma hızına bağlı değişim grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde entalpi ısıtma değerlerinin ısıtma hızına bağlı olarak değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Buna sebep olarak artan ısıtma hızının sıcaklıkların başlangıç ve bitiş değerlerini değiştirdiği gösterilebilir. Alaşım 1'e Mn katkılandırılarak elde edilen alaşım 2'de entalpi değerleri ısıtma hızının artması ile azalma göstermiştir (Şekil 5). En yüksek entalpi değeri ise alaşım 1'de meydana gelmiştir. Bu sonuç; en zor ya da zorlanılmış dönüşümün alaşım 1'de meydana geldiğini göstermektedir [25].



Şekil 5. Alaşımların entalpi ısıtma değerlerinin ısıtma hızına bağlı değişimi.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Cu-%11.42Al-%6.43Zn ve Cu-%11.31Al-%6.03Zn-%2.70Mn (% ağırlıkça) alaşımlarının yapısal, kristalografik, termal ve manyetik özellikleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan XRD incelemeleri sonucunda Cu-Al-Zn alaşımında β_1 fazının oluştuğu ve bu faz ile birlikte $Cu_{0.64}$ $Zn_{0.36}$ ve $Cu_{0.7}$ $Zn_{0.3}$ fazlarının da bulunduğu tespit edilmiştir. Cu-Al-Zn-Mn alaşımında ise bakırca zengin α-fazları $Al_{0.6}$ $Cu_{3.4}$ ve $Cu_{3.2}$ $Mn_{0.4}$ $Zn_{0.4}$ bulunmuştur. Elektron mikroskop çalışmaları ile Cu-Al-Zn alaşımında α-çökeltilerinin uzun, yuvarlak ve düzensiz morfolojide oluştuğu görülmüştür. Bunun yanı sıra Cu-Al-Zn-Mn alaşımında α-çökeltileri ile birlikte martensite fazın meydana geldiği belirlenmiştir. Cu-Al-Zn alaşımına Mn katkılandırmanın martensite fazın oluşmasına neden olduğu görülmüştür. Ayrıca alaşımların manyetizasyon değişimleri de incelenmiştir. Cu-Al-Zn alaşımında uygulanan manyetik alanla mıknatıslanma azalma sergilerken, Mn katkılandırılarak elde edilen Cu-Al-Zn-Mn alaşımı ferromanyetik karakter sergilemiştir. Ayrıca, Mn katkılı Cu-Al-Zn-Mn alaşımının manyetizasyon değerinin Cu-Al-Zn dan büyük olduğu bulunmuştur. Dolayısıyla Mn elementinin manyetizasyon değerini arttırdığı belirlenmiştir. DSC sonuçlarından elde edilen verilere göre, Mn katkısının austenite dönüşüm sıcaklıklarını düşürdüğü tespit edilmiştir. Ayrıca DSC sonuçları alaşımların yüksek dönüşüm sıcaklıklarına sahip olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; incelenen alaşımlardan Alaşım 2 manyetik özellik, her iki alaşım da yüksek sıcaklık özelliği göstermiştir. Bu sebeple bu alanda yapılacak çalışmalara yol gösterecek ve çalışılan alaşımların manyetik davranışı ile ilgili yapılan çok az sayıda olan çalışmalara katkı sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu makale Amasya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tarafından FMB-BAP 19-0405, FMB-BAP 19-0406 ve FMB-BAP 20-0437 nolu projeler ile desteklenmiştir. Bu sebeple Amasya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Kaynaklar

[1] Haberkorn N, Lovey F C, Condo A M, Guimpel J. Development and Characterization of Shape Memory Cu-Zn-Al Thin Films. Mater. Sci. Eng. B 2010; 170: 5-8.
[2] Olson G B, Cohen M. Thermoelastic Behaviour in Martensitic Transformations. Scripta Metall. 1975; 9: 1247-1254.
[3] Nishiyama Z, Martensitic Transformation. Academic Pres, New York, 1978.
[4] Sutou Y, Omori T, Furukama A, Takahashi Y, Kainuma R, Yamauchi K, Yamashita S, Ishida K. Development of medical guide wire of Cu-Al-Mn-Base superelastic alloy with functionally graded characteristics. J. Biomed. Mater. Res. Part B Appl. Biomater. 2004; 69B: 64-69.
[5] Silva R A G, Cuniberti A, Stipcich M, Adorno A T. Effect of Ag Addition on the Martensitic Phase of the Cu- 10 wt % Al Alloy. Mater. Sci. Eng. A. 2007; 456: 5-10.
[6] Heil T, A phase-field computer model of microstructure evolution in a ferromagnetic shape memory alloy. Blackburg, Virginia, USA, 2005.
[7] Dasgupta R, Jain A K, Kumar P, Hussain S, Pandey A. Role of alloying additions on the properties of Cu–Al–Mn shape memory alloys. J alloys comp. 2015; 620: 60- 66.
[8] Gomidzelovic L, Pozega E, Kostav A, Vukovic N, Krstic V, Zivkovic D, Balanovic L, Thermodynamics and characterization of shape memory Cu−Al−Zn alloys. Trans. Nonferrous Met. Soc. China 2015; 25: 2630-2636.
[9] Alaneme K K, Eloho A O. Reconciling viability and cost-effective shape memory alloy options–a review of copper and iron based shape memory metallic systems. Eng. Sci. Tech, Int. J., 2016;19-3:1582-1592.
[10] Akdoğan A, Nurveren K. Şekil Hafızalı Alaşımlar, Mühendis ve Makine, 521 (2003) 35-45.
[11] Aldirmaz E, Guler M, Guler E. Investigation of Magnetic Properties of Phase Transformations in Copper-Based Alloys. J. Supercond. Nov. Magn. 2017; 30: 1257-1261.
[12] Sasmaz M, Bayri A, Aydogdu, Y. The Magnetic Behavior and Physical Characterization of Cu–Mn–Al Ferromagnetic Shape Memory Alloy. J. Supercond. Nov. Magn. 2011; 24: 757-762.
[13] Kakeshita T, Saburi T, Shimizu K. Effects of Hydrostatic Pressure and Magnetic Field on Martensitic Transformations. Mater. Sci. Eng. 1999; A273- 275: 375-379.
[14] Prado M O, Lovey F C, Civale L. Magnetic Properties of CuMnAl alloys with SME. Acta Metall. 1997; 46: 137-147.
[15] Kciuk M, Chwastek K, Kluszczynski K. Szczygłowski J. A study on hysteresis behaviour of SMA linear actuators based on unipolar sigmoid and hyperbolic tangent functions. Sensors Actuators A 2016; 243:52-58.
[16] Canbay C A, Tataroglu A, Dere A, Al-Ghamdi A, Yakuphanoglu F. A new shape memory alloy film/p-Si solar light four quadrant detector for solar tracking applications. J. Alloys Compd. 2016; 688:762-768.
[17] Saleem M, Fang L, Ruan H B, Wu F, Huang Q L, Xu C L, Kong C Y, Effect of zinc acetate concentration on the structural and optical properties of ZnO thin films deposited by Sol-Gel method. Int. J. Phys. Sci. 2012; 7: 2971-2979.

[18] Gerdan Y E, Aldirmaz E, Guler M, Tanak H, Guler E. Martensitic transformation and magnetic properties of the CuAl, CuAlMn, and CuAlMnZn alloys. J. Supercond. Nov. Magn. 2018; 31: 3919-3923.
[19] Aldirmaz E, Güler M, Güler E. Effect of Nickel Addition on the Magnetic and Microstructural Properties of Cu-Al-Fe Alloy. J. Supercond. Nov. Magn. 2020; 33: 755-759.
[20] Cucu S C, Aldırmaz E. Effect of Heat Treatment on the Magnetic Properties of a CuMn Alloy. J. Supercond. Nov. Magn. 2017; 30: 197-201.
[21] Aldirmaz E, Güler M, Güler E. Effect of Quaternary Element (Ni and Mn) Additions on Structural and Magnetic Properties of Cu-Based Alloys. Brazilian J. Phys. 2021; 51: 1224-1229.
[22] Nassar A, Mahmoud D S, Mohamed Wael S, Moustafa A. M, Salwa H. El-Sabbagh. Investigation of the structure, magnetic, rheological and mechanical properties of EPDM rubber/Cu-Al-Zn alloy composites. Egypt. J. Chem. 2021; 64: 7377-7391.
[23] Sampath V, Effect of Thermal Processing on Microstructure and Shape-Memory Characteristics of a Copper–Zinc–Aluminum Shape-Memory Alloy. Mater. Manufact. Process. 2007; 22: 9-14.
[24] Canbay C A, Başbağ G. Karaduman O, Boyrazlı M. Thermodynamical and Microstructural SME Study on CuAlNi and CuAlNiCo Shape Memory Alloys. J. Mater. Electr. Devices 2021; 1: 1-5.
[25] Canbay C A, Karaduman O, Özkul İ. Lagging temperature problem in DTA/DSC measurement on investigation of NiTi SMA. J Mater Sci: Mater Electron 2020; 31: 13284-13291.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 589-600, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1099000

Elektrolüminesans Görüntülerde Arızalı Fotovoltaik Panel Hücrelerin Evrişimli Sinir Ağı ile Otomatik Sınıflandırılması

Hakan AÇIKGÖZ[1], Deniz KORKMAZ[2*]
[1] Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Gaziantep, Türkiye
[2] Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Malatya, Türkiye
[1] hakan.acikgoz@gibtu.edu.tr, [*2] deniz.korkmaz@ozal.edu.tr

(Geliş/Received: 05/04/2022; Kabul/Accepted: 19/05/2022)

Öz: Fotovoltaik (FV) panel hücrelerindeki arızaların tespiti ve sınıflandırılması güneş enerjisi santrallerinin verimli ve güvenilir bir şekilde işletilebilmesi için oldukça önemli bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmada, FV panel hücrelerindeki arızaların hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesi ve sınıflandırılması için etkin bir evrişimli sinir ağı (ESA) modeli önerilmiştir. Önerilen model, daha az parametre ve model boyutuna sahip SqueezeNet ile transfer öğrenme yaklaşımı kullanılarak geliştirilmiştir. Eğitim yakınsamasını iyileştirmek ve sınıflandırma başarımını arttırmak için modelin aktivasyon fonksiyonları değiştirilerek ateşleme modüllerinden atlama bağlantıları oluşturulmuştur. Deneylerde, elektrolüminesans (EL) görüntülerden elde edilen bir veri seti kullanılmıştır. Sınıf dağılımının dengesizliğini gidermek ve örnek sayısını arttırmak için veri artırma teknikleri uygulanmıştır. Önerilen yöntemin performansı AlexNet, ShuffleNet, GoogLeNet ve SqueezeNet gibi ön eğitimli ESA mimarileri ile karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda önerilen yöntemin doğruluk, kesinlik, duyarlılık, özgüllük ve F1-skor değerleri sırasıyla %91.29, %84.21, %89.72, %92.04 ve %86.88 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, önerilen yöntem diğer yöntemlerin doğruluk ölçütündeki değerlerini %0.99 ile %6.29 arasında iyileştirmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar analiz edildiğinde, önerilen yöntemin FV panel hücrelerindeki arızaların tespitinde etkili bir performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Fotovoltaik panel hücreleri, arıza tespiti ve sınıflandırma, elektrolüminesans görüntüleme, evrişimli sinir ağları, derin öğrenme.

Automatic Classification of Defective Photovoltaic Module Cells in Electroluminescence Images with Convolutional Neural Network

Abstract: Detection and classification of faults in photovoltaic (PV) module cells have become a very important issue for the efficient and reliable operation of solar power plants. In this study, an efficient convolutional neural network (CNN) model is proposed for fast and accurate detection and classification of faults in PV module cells. The proposed model is developed using the transfer learning approach with SqueezeNet, which has fewer parameters and model sizes. In order to improve the training convergence and increase the classification performance, the activation functions of the proposed model are changed and skip connections are added from the fire modules. A dataset obtained from electroluminescence (EL) images is used in the experiments. Data augmentation techniques are also applied to eliminate the imbalance of class distribution and increase the class samples. The performance of the proposed method is compared with pre-trained CNN architectures such as AlexNet, ShuffleNet, GoogLeNet, and SqueezeNet. In the experimental studies, the accuracy, precision, sensitivity, specificity, and F1-score values of the proposed method are obtained as 91.29%, 84.21%, 89.72%, 92.04%, and 86.88%, respectively. In addition, the proposed method improves the accuracy values of the other methods between 0.99% and 6.29%. When all the obtained results are analyzed, it is observed that the proposed method has an effective performance in the detection of faults in PV module cells.

Key words: Photovoltaic module cells, fault detection and classification, electroluminescence imaging, convolutional neural networks, deep learning.

1. Giriş

Son yıllarda, küresel ısınma ve fosil yakıtların azalması güneş, rüzgar, hidroelektrik ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına (YEK) olan ilgiyi arttırmıştır. Bu enerji kaynaklarının arasında, güneş enerjisi dikkat çeken YEK türlerinden biridir. Güneş enerjisi, muazzam potansiyel gücü ve güvenli enerji üretimi gibi özellikleri sayesinde daha kabul edilebilir ve gelecek vaat eden bir enerji kaynağı haline gelmiştir [1,2]. Geleneksel

[*] Sorumlu yazar: deniz.korkmaz@ozal.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0002-6432-7243, [2] 0000-0002-5159-0659

enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında, güneş enerjisi bol kaynak, geniş yayılım, çevre kirliliği içermemesi, serbest kullanım ve kolay erişebilirlik gibi birçok avantaja sahiptir [3,4]. Bu enerjinin önemli özelliklerinden biri de, üretim için gerekli sistemlerin kolay kurulumu ve düşük altyapı maliyetleri içermesidir [1,5]. Böylece, dünya genelinde güneş enerjisi üretim santralleri giderek yaygın hale gelmeye başlamıştır.

Genel olarak güneş enerjisi üretimi termal ve fotovoltaik (FV) sistemlerle sağlanmaktadır. Bunlar arasında FV'ler, güvenli ve sürdürülebilir enerji üreten en önemli güç üretim sistemlerinden biri olarak kabul edilir [6]. Dünya genelinde, toplam FV enerji üretim kapasitesi 10 yıl önce sadece 23 GW iken 2019 yılı sonunda 625 GW'ı aşmıştır. FV kapasitesinin yıllık ilavesi ise 2009 yılında yaklaşık 8 GW iken 2019 yılında 115 GW'dan fazla olmuştur. Ayrıca, FV kapasitesinin 2030 yılında 3,518 TWh'lik enerji üretimini karşılayabileceği tahmin edilmektedir [7]. Bununla birlikte, FV sistemlerinin üretimi ve kullanımında panellerin güvenilirliği, güç düşüşü, dış ortam koşulları ve arızalarla karşılaşılması gibi çeşitli problemler ortaya çıkar. FV panelleri açık havada kurulu olurlar ve genellikle bir alüminyum çerçeve ve cam laminasyon yardımıyla çevre koşullarından korunurlar. Ancak, bu önlemler sert iklim koşullarından dolayı yeterli olmayabilir ve kurulum sırasında panelin kırılması veya çatlaması, düşen ağaç dalları, karlanma, böcek izleri, yanık izleri, gölgelenme ve renk değişimi gibi farklı birçok arıza meydana gelebilir. Ayrıca, hatalı lehimleme veya bağlantı gibi üretim hataları da FV panellerin hasarlı olmasına sebep olabilir. Bu tür çeşitli problemler, FV sistemlerinin akım akışını engelleyerek üretim gücünü ve verimliliğini azaltır. Bu nedenle, güneş enerjisi üretim santrallerinde, maksimum verimi sağlamak için panellerin çalışma durumunu izlemek ve arızalı üniteleri değiştirmek veya onarmak gerekir [8–10].

Arızalı panellerin ve hücrelerin görsel olarak tespit edilmesi uzman kişiler tarafından bile zor bir durumdur. Camlardaki görülebilir çatlak veya kırıkların yanı sıra, bir panelin verimliliğini düşüren birçok kusur gözle görülemeyebilir. Böylece, yukarıda belirtilen arızalar veya kusurların tespiti için akım-gerilim (I-V) eğrisi ölçümü, termal kızılötesi görüntüleme ve elektrolüminesans (EL) görüntüleme gibi yöntemler geliştirilmiştir [6,11]. I-V eğrisi ölçümü, FV panellerinin belirli radyasyon altında çıkış gerilimini ve akımını ölçülerek bir grafik üzerinde görselleştirilmesine dayanır. Bu eğriler ile tüm bir panelin genel durumunu belirlemek mümkün olsa da küçük kusurların tespiti zordur ve problemli hücre veya bölgeyi tam olarak belirleyemez [9,11]. Kızılötesi görüntüleme, güneş panelleri ve hücre koşullarının görselleştirilmesi için sıklıkla kullanılan bir diğer yöntemdir. Beklenmedik derecede yüksek bir akım bir bölgede ısınmaya neden olurken, açık devre o bölgenin düşük sıcaklıkta olmasına neden olur. Böylece kızılötesi görüntüleme, kısa devreler, sıcak noktalar ve etkin olmayan hücreler gibi arızaları tespit edebilir. Ancak, termal kameraların çözünürlüğü nispeten düşük olduğu için mikro çatlak gibi kusurların bu yöntemle etkin bir şekilde tespit edilmesi zordur [6]. EL görüntüleme ise FV panellerin gerilim geri beslemesi sonucu yaydığı üst kızılötesi dalga boyundaki ışığı analiz ederek, paneli oluşturan hücreler üzerindeki kristal yapı hakkında bilgi veren etkili bir yöntemdir. Bu yöntem çok daha yüksek çözünürlükte görüntüleme sunar ve mikro çatlakları da tanımlayabilir [12]. EL görüntülerinde, bağlantısı kesilmiş parçalar ışınlama yapmadığı için problemli hücreler daha koyu görünür. Bir EL görüntüsü elde etmek için akım, 1,150 nm dalga boyunda EL emisyonunu indükleyen bir FV paneline uygulanır ve emisyon bir silikon CCD sensörü ile görüntülenebilir. Bu yöntem mikro çatlakların tespit edilmesini sağlar ve görüntüler yanal ısı yayılımından dolayı bulanıklıktan zarar görmez [9]. Yine de, EL görüntülerin uzman kişiler tarafından detaylı olarak incelenmesi ve yorumlanması hem zaman alıcı bir süreçtir hem de hataya sebep olabilir. Manuel süreç özellikle büyük ölçekli üretim tesislerinde ve enerji santrallerinde denetimin yeterince verimli olmasını engeller. Bu nedenle, EL görüntülerindeki arızaların otomatik olarak yorumlanmasını ve arızaların tespitini sağlamak oldukça önemli bir konu haline gelmiştir [11,13].

Literatürde, FV panellerindeki arızalarının otomatik tespiti ve sınıflandırılmasına yönelik çalışmalar son zamanlarda ivme kazanmaya başlamıştır. Ali ve ark. [4] FV panellerin sıcak noktalarının tespiti ve sınıflandırılması için kızılötesi termografi tekniği kullanılarak hibrit özelliklere dayalı bir destek vektör makinesi (DVM) modeli önermiştir. Ayrıca, RGB, doku, yönlendirilmiş gradyan histogramı ve yerel ikili desenden oluşan yeni bir hibrit öznitelik vektörü ile bir veri birleştirme yaklaşımı kullanılmıştır. Pratt ve ark. [5] tek kristalli ve çok kristalli silikon levha tabanlı FV panellerinin EL görüntüleri ile U-Net mimarisi tabanlı bir anlamsal bölütleme modeli geliştirmişlerdir. Bu model, piksel düzeyinde arıza sınıflandırma maskelerini üretmek için laboratuvar kontrollü hızlandırılmış stres testi dizisine tabi tutulan bir grup panel üzerinde alınan EL görüntülerine uygulanmıştır. Venkatesh ve Sugumaran [8] RGB görüntülerini kullanarak PV panellerde meydan gelen delaminasyon, böcek izi, yanık izi, kırılma ve renk bozulması gibi önemli arızaların tespitini gerçekleştirmişlerdir. Önemli ve baskın öznitelikler J48 karar ağacı algoritması ile belirlenmiştir. Sınıflandırıcı olarak yerel ağırlıklı öğrenme, k-yıldız, en yakın komşu ve k-en yakın komşu algoritmaları kullanılmıştır. Zhao ve ark. [12] üretim hattının denetim gereksinimlerini karşılamak için çok sınıflı arızaların evrişimli sinir ağı (ESA) tabanlı otomatik tespitini sağlamışlardır. Çalışmada, arıza etiketli 5,983 EL görüntüsü kullanılmış ve 19 farklı arıza tanımlanmıştır. Sizkouhi ve ark. [14] FV panellerinde karşılaşılan çeşitli yaygın arızalar ve kusurlar için otonom bir arıza tespit yöntemi önermiş ve sıklıkla karşılaşılan kuş düşüşlerinin tespitine odaklanmışlardır. Bu bağlamda, VGG-16

modeli modifiye edilerek bir kodlayıcı-kod çözücü mimarisi tabanlı bölütleme yöntemi kullanılmıştır. Akram ve ark. [15] derin öğrenme yöntemi tabanlı transfer öğrenme ile kızılötesi görüntülerdeki panel arızalarının otomatik tespitini gerçekleştirmişlerdir. Başka bir çalışmada, Haidari ve ark. [16] FV enerji santrallerinde sıklıkla karşılaşılan sıcak nokta ve sıcak alt dizi etiketli iki tür farklı arızanın tespiti için VGG16 tabanlı bir ESA mimarisi önermişlerdir. Kullanılan veri seti hava ve karasal termal görüntüleri içermiştir. Espinosa ve ark. [17] semantik bölütleme ve RGB görüntülerinden sınıflandırma için ESA yapısı kullanan bir otomatik fiziksel arıza sınıflandırma yöntemi önermiştir. Deneylerde, arızalı ve arızasız olarak tanımlanan 2 çıkış sınıfı ve arızasız, çatlaklar, gölgeler ve kolayca tespit edilemeyen toz olarak 4 çıkış sınıfı analiz edilmiştir. Su ve ark. [18] ise FV santrallerinde küçük sıcak nokta arıza tespiti için çok ölçekli özellik birleştirme, karmaşık arka plan bastırma ve arıza özniteliği vurgulama yeteneklerini sergileyebilen RCAG-Net isimli bir ESA yapısı önermişlerdir.

Son zamanlarda, bazı çalışmalar ise FV panellerinin hücre arızaları üzerine yoğunlaşmıştır. Deitsch ve ark. [9] DVM tabanlı otomatik hücre arıza tespit ve sınıflama yöntemi önermişlerdir. Sınıflandırıcı için gerekli öznitelikler bir ESA yapısı ile çıkarılmıştır. Çalışmada, hem mono hem de polikristal panellerin yüksek çözünürlüklü EL görüntüleri kullanılmıştır. Chen ve ark. [13] çok kristalli güneş pilleri için bir çatlak tespit yöntemi önermişlerdir. Çatlak ve arka plan arasındaki kontrastı artıran çatlak belirginlik haritasını oluşturmak için bir filtreleme yöntemi kullanılmış ve çatlak bölgesinin belirlenmesi sağlayan yerel eşik ve minimum yayılma ağacını ile bölütleme gerçekleştirilmiştir. Fioresi ve ark. [19] Deeplab-V3 v ResNet-50 tabanlı bir bölütleme yöntemi önermiş 17,064 EL görüntüsü ile hücre arızaları tespit edilmiştir. Su ve ark. [20] heterojen arka plan bozulması altında daha ayırt edilebilir arıza özellikleri elde etmek için, merkez simetrik yerel ikili desen yöntemi ile merkez piksel gradyan bilgisi adlı yeni bir özellik tanımlayıcısı önermişler ve her pikseli eşiklemeye tabi tutmuşlardır. Bir başka çalışmada, farklı seviyede derin öznitelikler kullanılarak bir mikro çatlak tespit yöntemi önerilmiştir. Otomatik kodlayıcı ile yığınlanmış gürültü giderme süreci uygulanmış ve ön ilgileri temsil eden öznitelikler ESA yardımı ile çıkartılmıştır [21]. Chen ve ark. [22] ise renkli güneş pili görüntülerinin ışık sprektrumu özelliklerini inceleyerek geliştirdikleri ESA yapısı ile hücre yüzeyindeki arızaları sınıflamışlardır.

Yukarıdaki çalışmalar incelendiğinde, bir FV santrali verimliliğinin sağlanması için panel içindeki arıza ve kusurların tam yerinin vurgulanması, etkilenen alanların yüksek hassasiyetle izlenmesini sağlar. Bunun için bir hücre arızasının belirlenmesi de önemli bir adım haline gelir. Böylece, arızalı alanların hızlı bir şekilde tanımlanıp panelin gelecekteki verimlilik kaybının tahmini potansiyel olarak daha kolay belirlenebilir [9,23]. Sonuç olarak, panel hücrelerinin EL görüntüleri ile görsel olarak incelenmesi ve arızaların otomatik sınıflandırılması güneş enerjisi üretim santralleri için önemli bir konu haline gelmektedir.

Bu çalışmada, transfer öğrenme yaklaşımı kullanılarak FV panel hücrelerinin arıza tespiti için derin öğrenme tabanlı bir sınıflandırma yöntemi önerilmiştir. Bu kapsamda, gerçek zamanlı uygulamalar için daha az parametre ve depolama alanı gibi özelliklere sahip SqueezeNet tabanlı bir ESA mimarisi geliştirilmiştir. ESA yapısında, eğitim yakınsamasını iyileştirmek ve fazla öğrenme probleminin üstesinden gelmek için hem toplu normalleştirme (BN) katmanı kullanılmış hem de düzeltilmiş doğrusal birim (ReLU) fonksiyonları üstel doğrusal birim (ELU) fonksiyonları ile değiştirilmiştir. Ayrıca, geliştirilen ağın daha detaylı öznitelikleri birleştirebilmesi için ateşleme katmanlarından atlama bağlantıları oluşturulmuştur. Çalışmada, halka açık bir EL veri seti kullanılmış ve sınıf dağılımının dengesizliğini gidermek için veri artırma teknikleri uygulanmıştır. Çalışmanın değerlendirilmesinde, önerilen modelin etkinliği ve başarımı bazı ön eğitimli ESA mimarileri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen modelin EL görüntülerinden FV panel hücre arızalarını 2 sınıflı olarak işlevsel ve arızalı etiketleri ile etkili bir şekilde sınıflayabildiğini göstermektedir. Önerilen yöntem basit, hızlı ve düşük boyutlu olması gibi özellikleri de pratikte uygulanabilir bir potansiyele sahiptir.

Çalışmanın geri kalan kısmı; kullanılan veri seti, önerilen ESA mimarisi, veri artırma teknikleri, değerlendirme ölçütleri, deneysel çalışmalar ve sonuç bölümlerinden oluşmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

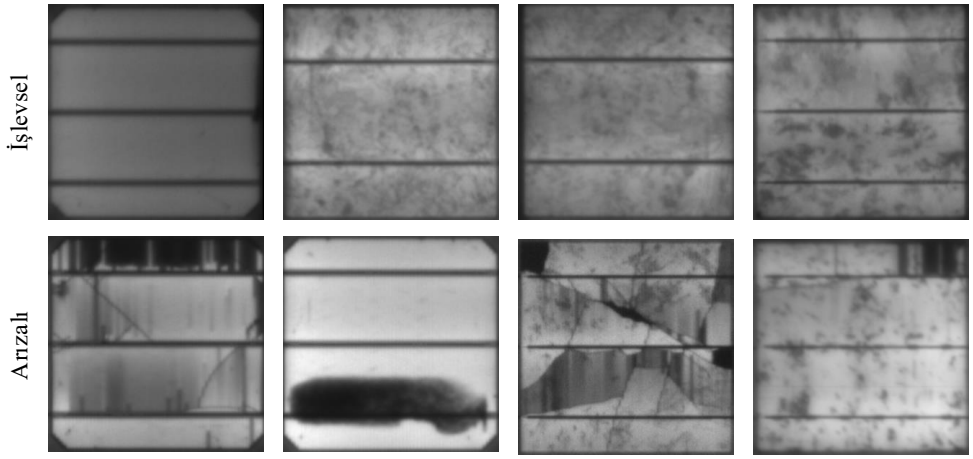
ESA mimarileri kendi kendine öğrenme yetenekleri ve üstün performansları sayesinde görüntü ile ilgili sınıflama problemlerinde son derece etkili çözümler sunabilir. Eğitilmiş çok sayıda katman içeren ESA yapıları, görsel bilgilerin işlenmesinde rol oynayan görsel korteks yapısından esinlenerek geliştirilmiştir. Bir evrişimli ağ genel olarak evrişim, havuzlama ve tam bağlantı katmanları ile aktivasyon fonksiyonlarından meydana gelir. Evrişim katmanları, filtreler aracılığıyla girdileri işleyerek çıktıları girdiyle uyumlu uzamsal bağlantılara dönüştürür. Aktivasyon fonksiyonları evrişim katmanlarını takip ederek ağın öznitelik çıkarma yeteneğinin arttırılmasında yardımcı olur. Havuzlama katmanı ise genel olarak evrişimlerden sonra uygulanan bir örnekleme işlemi gerçekleştirir. Son olarak tam bağlantı katmanı ile belirlenen amacın gerçekleşmesi için nöronların eğitimini sağlar. Böylelikle, geliştirilen ağ mimarisi otomatik ve etkili öznitelikleri öğrenme yeteneği sergileyebilir [18,24].

Bu bağlamda, basit ve etkili bir ön eğitimli ağ olan SqueezeNet tabanlı ESA yapısı tasarlanmış ve FV panel hücrelerinin arızalarını otomatik olarak tespit ederek hücrenin işlevselliğini sınıflamak için kullanılmıştır. Bu bölümün devamında deneylerde kullanılan FV veri seti, önerilen ESA yapısı ve veri artırma teknikleri ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

2.1 Kullanılan FV Veri Seti

Bu çalışmada, monokristal ve polikristal FV panellerinin yüksek çözünürlüklü EL görüntülerinden elde edilen halka açık bir güneş pili veri seti kullanılmıştır [9,25]. Bu veri seti 44 farklı FV panelinden elde edilen 300×300 piksel çözünürlükte 2,624 panel hücresinden oluşur. Burada, 18 panel monokristal 26 panel ise polikristal tiptedir. Toplamda 715 görüntü arızalı sınıfını temsil etmektedir. 106 adet görüntü tamamen arızalı olmayan daha küçük kusurları içerirken, 295 görüntü yüzey kusurlarına sahiptir. Bu görüntüler veri setinde %33 ve %67 ağırlığına sahip arızalı şeklinde etiketlenmiştir. Geri kalan 1,508 hücre görüntüsü ise herhangi bir algılanabilir arıza olmaksızın işlevsel olarak etiketlenmiştir. Bu çalışmada, %33 ve %67 ağırlıklarında arızalı görüntüler dikkate alınmamış ve sadece arızalı ile işlevsel etiketlerine sahip EL görüntüleri kullanılmıştır.

Veri seti, farklı açılardan bir test laboratuvarı ortamında ve kontrollü koşullar altında toplanarak elde edilmiştir. Böylece, görüntü kalitesini olumsuz etkileyecek etkenler en aza indirgenmiştir. Bazı örnekler ise kırpma, ölçekleme ve döndürme gibi ön işleme adımları ile düzenlenmiştir. Karanlık bir odada yapılan çekimlerde FV panellerinin tek ışık yaydığı göz önüne alındığında, görüntülerin homojen bir şekilde aydınlatılması düşünülmüştür. Veri seti özellikle mikro çatlakları ve elektriksel olarak ayrılmış ve bozulmuş parçaları olan hücreleri, kısa devreli hücreleri, açık devre ara bağlantıları ve lehimleme hatalarını içermektedir. Böylece, FV panellerinin verimliliğini, güvenilirliğini ve dayanıklılığını olumsuz yönde etkileyen yaygın arızalar temsil edilmiştir [9]. Şekil 1'de veri setinde yer alan çeşitli örnek görüntüler gösterilmektedir.



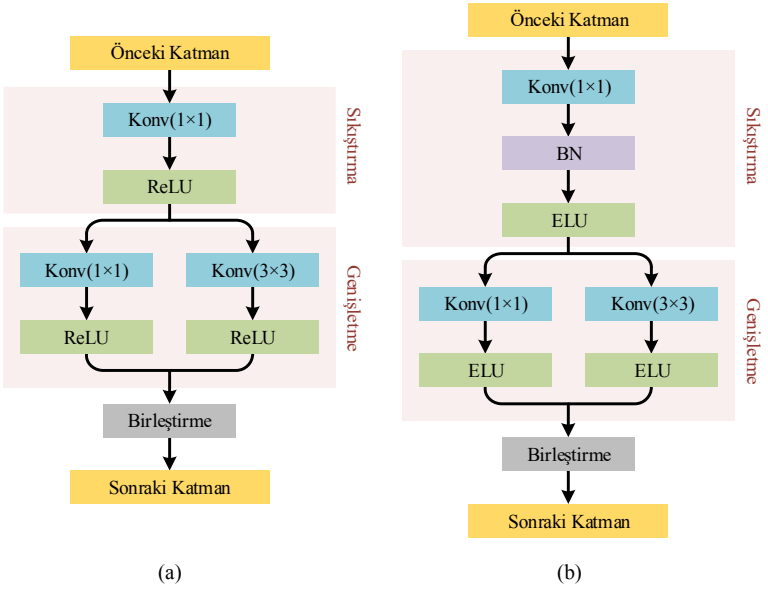
Şekil 1. İşlevsel ve arızalı sınıflarına ait örnek EL görüntüleri.

2.2 Önerilen ESA Modeli

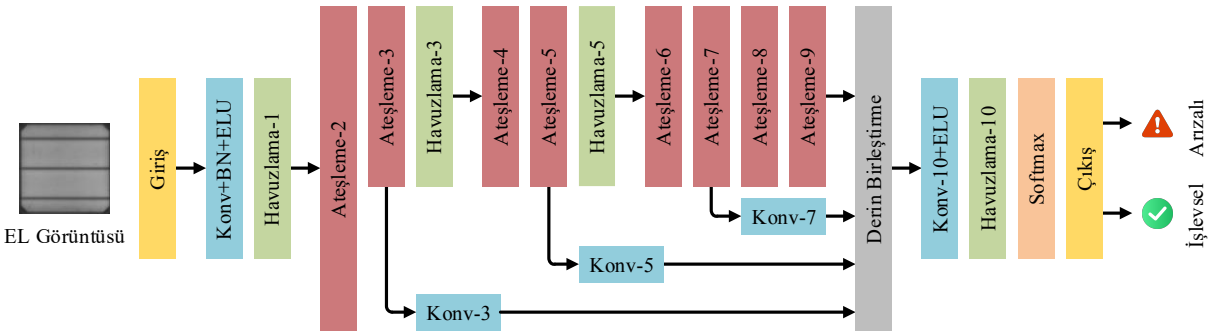
ESA modellerinde sıklıkla kullanılan ön eğitimli mimarilerden biri de SqueezeNet mimarisidir. Bu mimari, görüntü işleme problemlerinde büyük boyutlu ve karmaşık derin mimariler ile aynı düzeyde başarı elde etmek için geliştirilen küçük boyutlu ve alternatif bir ESA yapısıdır. Bu mimarinin temel amacı daha az parametreye sahip bir evrişimli ağ oluşturarak 50 kat daha az parametre ve 0.5 MB'dan küçük bir model boyutu ile AlexNet mimarisine benzer doğruluk sağlamaktadır [26,27]. SqueezeNet mimarisi daha küçük bant genişliği, verimli dağıtılmış katman yapısı ve düşük depolama alanı gereksinimi gibi özellikleri sayesinde hem hızlı hem de yüksek performans sağlayabilmektedir [28]. Belirtilen özellikler dikkate alınarak, bu çalışmada SqueezeNet tabanlı etkili ve üstün bir ESA modeli önerilmiştir.

SqueezeNet mimarisi genel olarak ateşleme modülü isimli katmanlardan oluşmaktadır. Şekil 2 (a)'da gösterildiği gibi, her bir ateşleme modülü sıkıştırılmış ve genişletilmiş evrişim katmanlarını içerir. Sıkıştırılmış katman 1×1 boyutunda filtrelerden oluşurken genişletilmiş katman 1×1 ve 3×3 boyutunda filtrelerden meydana gelir. Ateşleme modülleri kademeli olarak yerleştirilmiştir ve Ateşleme-2 katmanından başlayarak Ateşleme-9

katmanına kadar toplam 8 modül bulunur. Burada, H×W×C boyutundaki giriş görüntüsü sıkıştırılmış katmandan geçer ve evrişim sayısı giriş kanalları sayısının C/4'üne eşit olur. Daha sonra, evrişimli görüntü genişletilmiş katmandan geçirilerek verinin derinliği çıkış derinliğinin C/2'sine genişletilir. SqueezeNet model yapısında, evrişim katmanlarını bir ReLU aktivasyon fonksiyonu takip eder ve elde edilen öznitelik haritaları bir birleştirme katmanı ile birleştirilir. BN katmanları içermeyen ELU fonksiyonu, BN içeren ReLU fonksiyonuna göre daha iyi performans sergileyebildiği için önerilen modelde tüm ReLU katmanları ELU katmanları ile değiştirilmiştir. Bununla birlikte, eğitim yakınsamasını iyileştirmek ve aşırı öğrenmeden kaçınmak için ateşleme modüllerindeki sıkıştırılmış katmanlarda yer alan evrişim katmanı ile aktivasyon fonksiyonu arasına BN katmanları eklenmiştir [29]. Hesaplama maliyetinin arttırılmaması için ateşleme modülleri içerisindeki genişletilmiş evrişim katmanlarında ise BN katmanı kullanılmamıştır. Bu değişiklikler ile önerilen ateşleme yapısı Şekil 2 (b)'de gösterilmiştir. Ayrıca, alt ateşleme modüllerinden daha derin öznitelikleri almak ve çok seviyeli öznitelik haritası oluşturmak için Ateşleme-3, Ateşleme-5 ve Ateşleme-7 modüllerinden 1×1 boyutunda filtreler ile atlama bağlantıları tasarlanmıştır [29,30]. Bu bağlantılar ile basit ve etkili bir baypas yapısı elde edilerek ağın doğruluk başarımı arttırılmıştır. Önerilen ESA modelinin genel yapısı Şekil 3'de verilmiştir. Bu şekillerde, evrişim katmanı ise Konv() ifadesi ile temsil edilmiştir. Ağ yapısında yer alan havuzlama katmanları uzamsal boyutlar boyunca bir alt örnekleme işlemi gerçekleştirir ve küresel ortalama havuzlama katmanı, sınıfların özellik haritalarını tek bir sınıf değerine dönüştürür. Ağın sonunda yer alan aktivasyon fonksiyonu ise ikili sınıflara ait olasılık dağılımlarını türetmektedir. Ayrıca, ağın girişi RGB derinlikli 227×227 piksel boyutundadır ve her giriş görüntüsünün boyutu RGB derinlikli ağın girişine göre yeniden boyutlandırılmıştır.



Şekil 2. Ateşleme modülleri: (a) Klasik ateşleme yapısı, (b) Önerilen ateşleme yapısı.

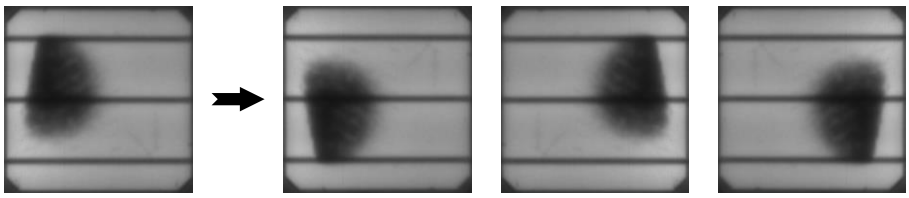


Şekil 3. Önerilen ESA modeli.

2.3 Veri Artırma Teknikleri

Veri setlerinin örnek sayısı derin öğrenme modellerinin başarımını etkilemektedir. Genellikle, sınırlı sayıda veri ile ESA'ları eğitmek, aşırı öğrenmeye neden olur ve eğitilen ağın genelleme yeteneği yüksek olmaz. Ancak, veri setindeki örneklerin nicelik, nitelik ve çeşitlilik yönünden sayısını artırmak geliştirilen ağın eğitim performansını artırabilir. Veri artırma, sınıflandırma problemlerinde ve yeterli verinin olmadığı durumlarda kullanılan popüler yöntemlerden biridir. Veri artırma ile sentetik veri üretimi gerçekleştirilebilir ve sınırlı örneklerin neden olduğu aşırı öğrenme durumuna engel olarak daha iyi bir sınıflandırma performansı sağlar. Böylece, sınıf dağılımları arasındaki düzensizlik en aza indirgenerek tüm sınıflar için aynı sayıda bir kümeleme yapılır [31].

Çalışmada kullanılan FV veri setinde, arızalı ve işlevsel sınıflarına ait toplam 2,223 EL görüntüsü yer almaktadır. Ancak, arızalı sınıfı için 715 adet görüntü bulunmaktadır ve işlevsel sınıfının yarısından daha azdır. Bu durumda, sınıflara ait dağılım düzensizdir ve önerilen ağın eğitim performansı için örneklerin arttırılması gereklidir. Veri arttırmada, veri setinin temsil ettiği genel yapıyı korumak için ters çevirme ve döndürme teknikleri uygulanmıştır. Ters çevirme işleminde sütunlardaki ve satırlardaki elemanlar tersine çevrilmiştir. Döndürme işleminde ise görüntüler merkez noktası etrafında ile saat yönünün tersine 180° açı ile döndürülmüştür. Böylece, her bir sınıf örneği için üç farklı sentetik görüntü elde edilmiştir. Şekil 4'de, arızalı sınıfından seçilen örnek bir görüntü için veri artırma sonucu elde edilen sentetik görüntüler verilmiştir.



Şekil 4. Veri artırma teknikleri ile elde edilen sentetik görüntüler.

3. Bulgular

Bu bölümde, EL görüntülerinde FV panellerdeki arızaların tespiti ve sınıflandırılması için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneyler, Intel (R) i7-10750H CPU @2.60 GHz, NVIDIA Quadro P620 GPU ve16 GB RAM belleğe sahip bir iş istasyonunda MATLAB R2021b programı aracılığıyla yapılmıştır. Veri setindeki görüntüler arızalı ve işlevsel olarak sınıflandırılarak etiketlenmiştir. İlk olarak veri setindeki görüntülerin %15'i doğrulama, %15'i ise test için ayrılmıştır. Kalan görüntülerde ise eğitim başarımını arttırmak için veri arttırma teknikleri uygulanmıştır. Veri artırma sürecinden sonra, her iki sınıfın örnek sayıları en az örneğe sahip sınıfa göre rastgele seçilerek eşitlenmiştir. Önerilen yöntemin FV panel hücreleri görüntülerindeki sınıflandırma başarımı AlexNet, GoogLeNet, ShuffleNet ve SqueezeNet gibi literatürde sıklıkla tercih edilen ön eğitimli ESA'lar ile karşılaştırılarak test edilmiştir. Tüm yöntemlere aynı eğitim, doğrulama ve test görüntüleri uygulanarak daha adil bir karşılaştırma amaçlanmıştır. Deneylerde, mini-yığın boyutu ve maksimum döngü sayısı sırasıyla 16 ve 50 olarak belirlenmiştir. Eğitim boyunca başlangıç öğrenme oranı 1e-4 olarak ayarlanmış ve her 10 döngüde bir 0.5 azaltma oranı ile değiştirilmiştir. Optimizasyon yönteminde ise stokastik gradyan inişi kullanılmıştır.

3.1 Değerlendirme Ölçütleri

Derin öğrenme yöntemlerinden elde edilen sonuçları analiz etmek için kullanılan doğruluk, kesinlik, duyarlılık, özgüllük ve F1-skor değerlendirme ölçütleri Tablo 1'de verilen hata matrisi yardımıyla hesaplanmıştır.

Doğruluk, doğru tahmin edilen sınıftaki örnek sayısının veri setindeki tüm örneklere olan oranı olarak tanımlanmaktadır ve Denklem (1) ile ifade edilmektedir:

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+DN+YP+YN} \quad (1)$$

Kesinlik ise doğru tahmin edilen sorunlu örnek sayısının sorunlu olarak tahmin edilen toplam örnek sayısına oranıdır ve Denklem (2) ile ifade edilebilir:

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP+YP} \tag{2}$$

Duyarlılık, doğru tahmin edilen sorunlu örnek sayısının gerçekte sorunlu olan tüm örnek sayısına oranı olarak ifade edilmektedir ve aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \tag{3}$$

Özgüllük, doğru tahmin edilen sorunlu olmayan örnek sayısının gerçekte sorunlu olmayan tüm örnek sayısına oranı olarak matematiksel olarak aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir:

$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{DN+YP} \tag{4}$$

F1-skor, duyarlılık ve kesinlik parametrelerinin ağırlıklı ortalaması olarak ifade edilebilir ve aşağıdaki denklem ile bulunabilir:

$$\text{F1} - \text{skor} = 2 * \frac{Duyarlılık * Kesinlik}{Duyarlılık + Kesinlik} \tag{5}$$

Değerlendirme ölçütlerinde kullanılan doğru pozitif, doğru negatif, yanlış pozitif ve yanlış negatif gibi ifadeler denklemlerde DP, DN, YP ve YN olarak simgelenmiştir. DP ve DN sırasıyla gerçekte pozitif ve gerçekte negatif sınıfta yer alan ve doğru tahmin edilen sayıları ifade etmektedir. YP ve YN ise sırasıyla gerçekte negatif ve pozitif sınıfta yer alan ve yanlış tahmin edilen sayıları göstermektedir.

Tablo 1. Hata matrisi.

Hata Matrisi		Tahmin Edilen Sınıf	
		Pozitif (Arızalı)	Negatif (İşlevsel)
Gerçekteki Sınıf	Pozitif (Arızalı)	Doğru Pozitif (DP)	Yanlış Negatif (YN)
	Negatif (İşlevsel)	Yanlış Pozitif (YP)	Doğru Negatif (DN)

3.2 Deneysel Çalışmalar

Önerilen yöntem ve ön eğitimli ESA yöntemlerinden elde edilen ölçüt sonuçları Tablo 2'de listelenmiştir. Ayrıca bu tablodaki sonuçların daha iyi gözlemlenebilmesi için Şekil 5 sunulmuştur.

Tablo 2. Tüm yöntemlere ait değerlendirme ölçütlerinin sonuçları (%).

Yöntem	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	Özgüllük	F1-Skor
AlexNet	85.89	73.81	86.92	85.40	79.83
ShuffleNet	87.69	80.00	82.24	90.27	81.11
GoogLeNet	89.79	84.77	83.18	92.92	83.96
SqueezeNet	90.39	85.05	85.05	92.92	85.05
Önerilen Yöntem	91.29	84.21	89.72	92.04	86.88

Tablo 2 derinlemesine analiz edildiğinde ilk olarak tüm yöntemler doğruluk değerleri açısından incelenmiştir. Önerilen yöntemin doğruluk değeri %91.29 olarak hesaplanırken En iyi ikinci sonucu gösteren SqueezeNet'in değeri ise %90.39 olarak elde edilmiştir. AlexNet, ShuffleNet ve GoogLeNet'in doğruluk değerleri ise sırasıyla %85.89, %87.69 ve %89.79 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan en kötü değeri AlexNet'in verdiği

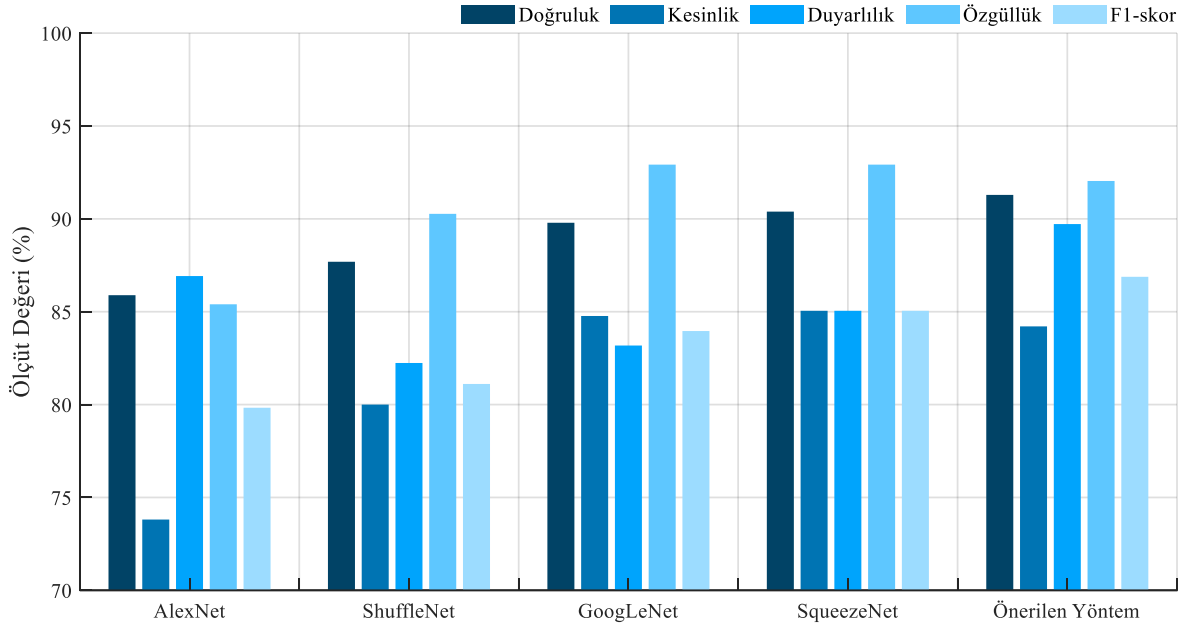
görülmektedir. Bu ölçüt değeri değerlendirildiğinde, önerilen yöntemin daha iyi sınıflandırma sonuçlarını garanti etmesinin yanı sıra FV panellerin daha verimli çalışmasında daha etkin olabileceği düşünülmektedir.

Tüm derin öğrenme yöntemleri kesinlik ölçüt değeri açısından değerlendirildiğinde, önerilen yöntemin kesinlik değeri %84.21 olarak elde edilirken SqueezeNet'in değeri %85.05 olarak hesaplanmıştır. Bu ölçüt değerinde AlexNet, GoogLeNet ve ShuffleNet'in sonuçları sırasıyla %73.81, %80.00 ve %84.77 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan önerilen yöntemin en iyi ikinci kesinlik değerini sağladığı görülmektedir.

Derin öğrenme yöntemleri diğer bir ölçüt olan duyarlılık değerleri bakımından analiz edildiğinde yine en iyi sonucu %89.72 ile önerilen yöntem sağlamıştır. İkinci en iyi sonucu ise %86.92'lik değeri ile AlexNet göstermiştir. Bu performans değerlendirme ölçütünde ShuffleNet, GoogLeNet ve SqueezeNet'in değerleri %82.24, %83.18 ve %85.05 olarak hesaplanmıştır. Bu ölçütteki sonuçlardan, önerilen yöntemin FV panellerdeki arızaların sınıflandırılmasında diğer yöntemlerden daha iyi sonuçları sağladığı açıkça görülmektedir.

Bu çalışmadaki deneysel çalışmalarda kullanılan derin öğrenme yöntemleri diğer bir ölçüt olan özgüllük değeri açısından analiz edilmiştir. Bu ölçütte en iyi sonucu %92.92 ile GoogLeNet ve SqueezeNet sağlarken en kötü sonucu %85.40'lük değeri ile AlexNet göstermiştir. Önerilen yöntem ise %92.04'lik değer ile en iyi ikinci sonucu sağlamıştır. ShuffleNet'ten elde edilen özgüllük değeri ise %90.27 olarak hesaplanmıştır. Derin öğrenme yöntemleri sonuncu ölçüt olan F1-skor açısından analiz edildiğinde yine en iyi sonuç %86.88 ile önerilen yöntemden elde edilmiştir. En kötü sonucu ise %79.83 ile AlexNet sağlamıştır. ShuffleNet, GoogLeNet, SqueezeNet'in F1-skorundaki değerleri %81.11, %83.96 ve %85.05 olarak hesaplanmıştır.

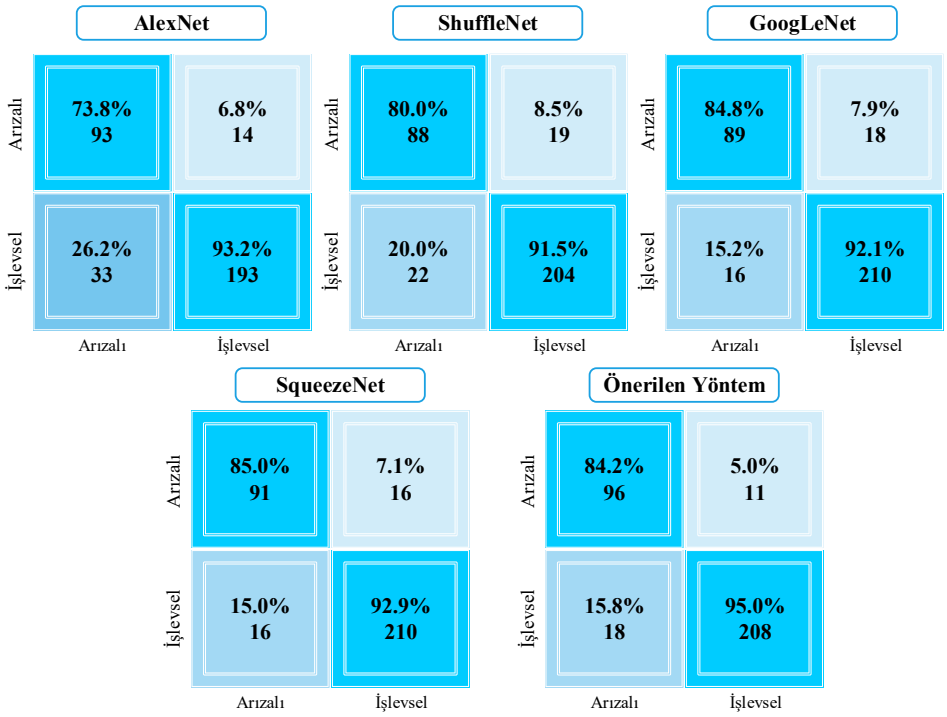
Ayrıca önerilen yöntemin diğer yöntemlerden elde edilen doğruluk, duyarlılık ve F1-skorlarındaki iyileştirme yüzdeleri incelenmiştir. Önerilen yöntem AlexNet, ShuffleNet, GoogLeNet ve SqueezeNet'in doğruluk değerlerini sırasıyla %6.29, %4.11, %1.67 ve %0.99 olarak iyileştirmiştir. Diğer bir ölçüt değeri olan duyarlılıkta ise önerilen yöntem AlexNet, ShuffleNet, GoogLeNet ve SqueezeNet'in sonuçlarını sırasıyla %3.22, %9.10, %7.92 ve %5.49 olarak geliştirmiştir. Önerilen yöntemin F1-skor değerlerindeki iyileştirme yüzdeleri AlexNet, ShuffleNet, GoogLeNet ve SqueezeNet için %8.83, %7.11, %3.48 ve %2.15 olarak hesaplanmıştır.



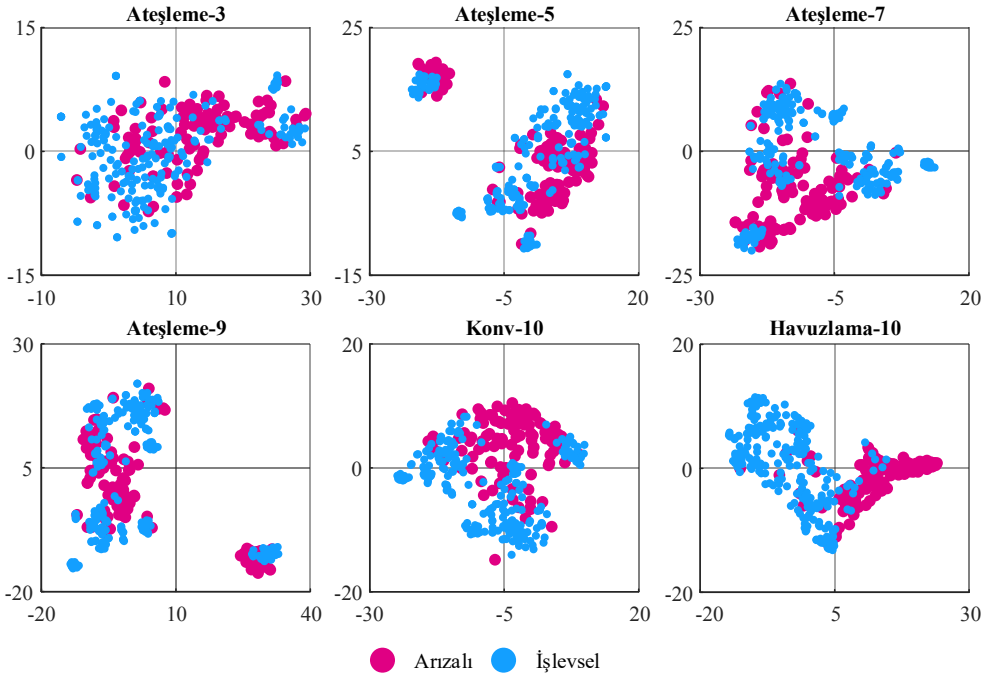
Şekil 5. Değerlendirme ölçütlerinin karşılaştırılması.

Şekil 6'da, bu çalışmada kullanılan tüm derin öğrenme yöntemlerine ait hata matrisleri sunulmuştur. Burada, önerilen yöntem 226 işlevsel etiketindeki görüntülerin 208'ini doğru olarak sınıflandırırken 18 görüntüyü ise yanlış sınıflandırmıştır. Önerilen yöntem arızalı etiketinde bulunan 107 görüntünün 96'sını doğru teşhis ederken 11 görüntüyü ise yanlış tahmin etmiştir. En kötü sonuçları gösteren AlexNet ise arızalı etiketindeki 226 görüntüden 193 görüntüyü doğru tahmin ederken 33 görüntüyü yanlış tahmin etmiştir. İşlevsel etiketindeki 107 görüntüden ise 93 tane görüntüyü doğru tahmin ederken 17 tane görüntüyü ise yanlış tahmin etmiştir. En iyi ikinci sonucu sağlayan SqueezeNet ise işlevsel etiketinden 210 görüntüyü doğru bilirken 16 görüntüyü yanlış tahmin etmiştir.

Arızalı etiketinde ise 91 görüntüyü doğru sınıflandırırken 16 görüntüyü yanlış sınıflandırmıştır. ShuffleNet ve GoogLeNet ise işlevsel olan etiketteki görüntülerden sırasıyla 204 ve 210 tanesini doğru tahmin ederken sırasıyla 22 ve 16 tanesini de yanlış olarak tahmin etmiştir. Yine aynı yöntemler arızalı olan görüntülerden sırasıyla 88 ve 89 tanesini doğru tahmin ederken sırasıyla 19 ve 18 tanesini yanlış tahmin etmiştir.



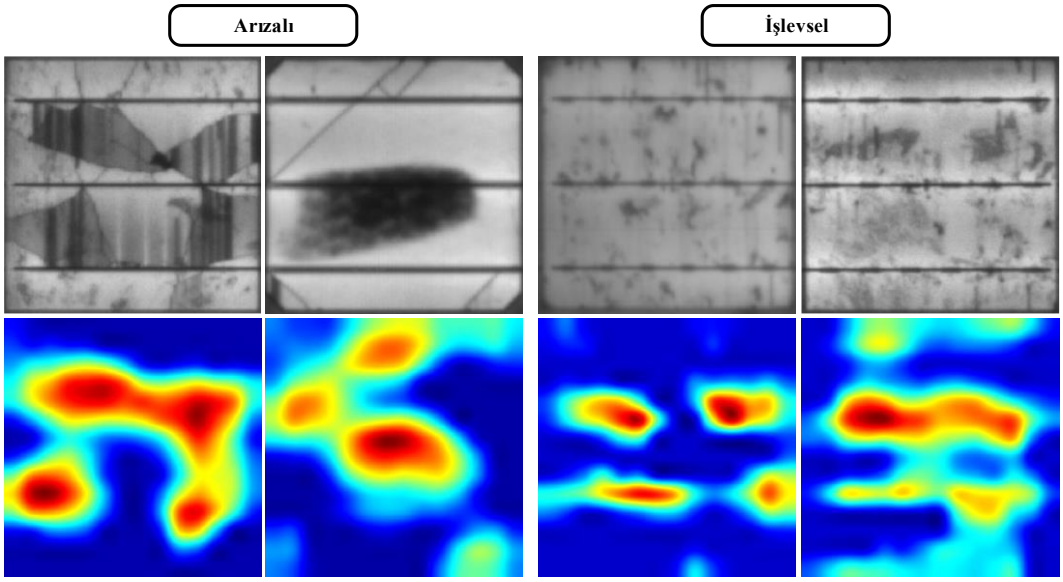
Şekil 6. Tüm yöntemlerden elde edilen hata matrisleri.



Şekil 7. Önerilen yöntemin katmanlarından çıkartılan öznitelikler.

Önerilen yöntemde, kullanılan veri setindeki her bir etikete ait kümenin önerilen yöntemin katmalarından çıkartılan öznitelikleri görsel olarak analiz etmek için Şekil 7 verilmiştir. Burada, önerilen yöntemin Ateşleme-3, Ateşleme-5, Ateşleme-7, Ateşleme-9, Konv-10 ve Havulama-10 katmanlarındaki arızalı ve işlevsel etiketlerindeki görüntülere ait kümelenmeler görülmektedir. Bu öznitelik dağılımları incelendiğinde, Ateşleme-3 katmanından elde edilen arızalı ve işlevsel sınıflara ait öznitelikler karmaşık bir durumdadır. Önerilen yöntemin Ateşleme-5 katmanındaki öznitelikler analiz edildiğinde yine her bir etiketteki görüntülere ait kümeler aynı noktada bulunmamaktadır. Ateşleme-7 ve Ateşleme-9 katmanlarından çıkartılan özniteliklere ait görüntüler incelendiğinde her bir etiket aynı noktada kümelenmemiştir. Son katmanlardan olan Konv-10 ve Havulama-10'daki özellikler gözlemlendiğinde ise her bir etikete ait öznitelik dağılımı neredeyse farklı yerlerde ayrılarak kümelenmiştir.

Ayrıca, önerilen yöntemin arızalı ve işlevsel sınıflarındaki her bir görüntüyü tahmin ederken hangi bölgeleri ele alarak bir karar verdiğini görselleştirmek için gradyan ağırlıklı sınıf aktivasyon haritalama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemden elde edilen sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Önerilen yöntemin sınıflardan seçilen örnek giriş görüntülerine karşı ürettiği ısı haritaları.

Burada, test için hazırlanan veri setindeki arızalı ve işlevsel sınıfında bulunan görüntülerden rastgele olarak ikişer EL görüntüsü seçilmiştir. Arızalı sınıfındaki görüntüler incelendiğinde, önerilen yöntem FV panel hücresindeki arızalı görüntüleri sınıflandırırken belirli bölgelere daha fazla yoğunlaşmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi bu bölgeler genellikle hücredeki arızaların olduğu yerlerdir. Önerilen yöntem işlevsel sınıfındaki görüntüyü tahmin ederken yine dikkate değer bölgeleri hesaba katarak karar vermiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, fotovoltaik (FV) panel hücrelerindeki arızaların tespiti ve sınıflandırılması için efektif bir derin öğrenme modeli önerilmiştir. Önerilen model, daha az parametre ve model boyutuna sahip ön eğitimli bir evrişimli sinir ağı (ESA) olan SqueezeNet ile geliştirilmiştir. SqueezeNet yapısında aktivasyon fonksiyonları değiştirilerek ve ateşleme modüllerine atlama bağlantıları eklenerek sınıflandırma başarımının artırılması amaçlanmıştır. Deneylerde, elektrolüminesans (EL) görüntülerden oluşan halka açık bir veri seti kullanılmış ve örnek sayısını çoğaltmak için veri artırma teknikleri uygulanmıştır. Veri setindeki tüm görüntüler eğitim, doğrulama ve test süreçleri için rastgele ayrılmıştır. Önerilen yöntemin FV panel hücrelerinden elde edilen görüntülerdeki arızaların tespit edilip sınıflandırmasındaki başarımını incelemek için AlexNet, ShuffleNet, GoogLeNet ve SqueezeNet gibi en çok kullanılan ön eğitimli derin öğrenme mimarileri ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda, önerilen yöntem arızalı ve işlevsel etiketlerinde bulunan görüntüleri ortalama %91.29'luk bir doğruluk değeri ile sınıflandırmıştır. Ayrıca, önerilen yöntem arızalı sınıfı için oluşturulan test veri setindeki 226 görüntünün 208 tanesini ve işlevsel sınıfındaki 107 görüntünün ise 96 tanesini doğru olarak tahmin etmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, önerilen ESA yapısı FV panel hücrelerindeki arızaların sınıflandırılmasında diğer

ön eğitimli derin öğrenme yöntemlerinden daha üstün performans göstererek daha iyi sonuçların elde edilebileceğini göstermiştir.

İlerleyen çalışmalarda, EL görüntülerinden elde edilen çok sınıflı panel ve hücre arıza tespitinin daha etkin ve doğru bir şekilde yapılabilmesi için farklı özelliklere sahip derin öğrenme yöntemleri ile yeni bir modelin geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

[1] Korkmaz D. SolarNet: A hybrid reliable model based on convolutional neural network and variational mode decomposition for hourly photovoltaic power forecasting. Appl Energy 2021;300:117410. doi:10.1016/j.apenergy.2021.117410.

[2] Acikgoz H. A novel approach based on integration of convolutional neural networks and deep feature selection for short-term solar radiation forecasting. Appl Energy 2022;305:117912. doi:10.1016/j.apenergy.2021.117912.

[3] Li B, Delpha C, Diallo D, Migan-Dubois A. Application of Artificial Neural Networks to photovoltaic fault detection and diagnosis: A review. Renew Sustain Energy Rev 2021;138. doi:10.1016/j.rser.2020.110512.

[4] Ali MU, Khan HF, Masud M, Kallu KD, Zafar A. A machine learning framework to identify the hotspot in photovoltaic module using infrared thermography. Sol Energy 2020;208:643–51. doi:10.1016/j.solener.2020.08.027.

[5] Pratt L, Govender D, Klein R. Defect detection and quantification in electroluminescence images of solar PV modules using U-net semantic segmentation. Renew Energy 2021;178:1211–22. doi:10.1016/j.renene.2021.06.086.

[6] Demirci MY, Beşli N, Gümüşçü A. Efficient deep feature extraction and classification for identifying defective photovoltaic module cells in Electroluminescence images. Expert Syst Appl 2021;175. doi:10.1016/j.eswa.2021.114810.

[7] Khezri R, Mahmoudi A, Aki H. Optimal planning of solar photovoltaic and battery storage systems for grid-connected residential sector: Review, challenges and new perspectives. Renew Sustain Energy Rev 2022;153:111763. doi:10.1016/j.rser.2021.111763.

[8] Naveen Venkatesh S, Sugumaran V. Machine vision based fault diagnosis of photovoltaic modules using lazy learning approach. Meas J Int Meas Confed 2022;191:110786. doi:10.1016/j.measurement.2022.110786.

[9] Deitsch S, Christlein V, Berger S, Buerhop-Lutz C, Maier A, Gallwitz F, et al. Automatic classification of defective photovoltaic module cells in electroluminescence images. Sol Energy 2019;185:455–68. doi:10.1016/j.solener.2019.02.067.

[10] Otamendi U, Martinez I, Quartulli M, Olaizola IG, Viles E, Cambarau W. Segmentation of cell-level anomalies in electroluminescence images of photovoltaic modules. Sol Energy 2021;220:914–26. doi:10.1016/j.solener.2021.03.058.

[11] Akram MW, Li G, Jin Y, Chen X, Zhu C, Zhao X, et al. CNN based automatic detection of photovoltaic cell defects in electroluminescence images. Energy 2019;189:116319. doi:10.1016/j.energy.2019.116319.

[12] Zhao Y, Zhan K, Wang Z, Shen W. Deep learning-based automatic detection of multitype defects in photovoltaic modules and application in real production line. Prog Photovoltaics Res Appl 2021;29:471–84. doi:10.1002/pip.3395.

[13] Chen H, Zhao H, Han D, Liu K. Accurate and robust crack detection using steerable evidence filtering in electroluminescence images of solar cells. Opt Lasers Eng 2019;118:22–33. doi:10.1016/j.optlaseng.2019.01.016.

[14] Moradi Sizkouhi A, Aghaei M, Esmailifar SM. A deep convolutional encoder-decoder architecture for autonomous fault detection of PV plants using multi-copters. Sol Energy 2021;223:217–28. doi:10.1016/j.solener.2021.05.029.

[15] Akram MW, Li G, Jin Y, Chen X, Zhu C, Ahmad A. Automatic detection of photovoltaic module defects in infrared images with isolated and develop-model transfer deep learning. Sol Energy 2020;198:175–86. doi:10.1016/j.solener.2020.01.055.

[16] Haidari P, Hajiahmad A, Jafari A, Nasiri A. Deep learning-based model for fault classification in solar modules using infrared images. Sustain Energy Technol Assessments 2022;52:102110. doi:10.1016/j.seta.2022.102110.

[17] Rico Espinosa A, Bressan M, Giraldo LF. Failure signature classification in solar photovoltaic plants using RGB images and convolutional neural networks. Renew Energy 2020;162:249–56. doi:10.1016/j.renene.2020.07.154.

[18] Su B, Chen H, Liu K, Liu W. RCAG-Net: Residual Channelwise Attention Gate Network for Hot Spot Defect Detection of Photovoltaic Farms. IEEE Trans Instrum Meas 2021;70. doi:10.1109/TIM.2021.3054415.

[19] Fioresi J, Colvin DJ, Frota R, Gupta R, Li M, Seigneur HP, et al. Automated Defect Detection and Localization in Photovoltaic Cells Using Semantic Segmentation of Electroluminescence Images. IEEE J Photovoltaics 2022;12:53–61. doi:10.1109/JPHOTOV.2021.3131059.

[20] Su B, Chen H, Zhu Y, Liu W, Liu K. Classification of Manufacturing Defects in Multicrystalline Solar Cells with Novel Feature Descriptor. IEEE Trans Instrum Meas 2019;68:4675–88. doi:10.1109/TIM.2019.2900961.

[21] Qian X, Li J, Cao J, Wu Y, Wang W. Micro-cracks detection of solar cells surface via combining short-term and long-term deep features. Neural Networks 2020;127:132–40. doi:10.1016/j.neunet.2020.04.012.

[22] Chen H, Pang Y, Hu Q, Liu K. Solar cell surface defect inspection based on multispectral convolutional neural network. J Intell Manuf 2020;31:453–68. doi:10.1007/s10845-018-1458-z.

[23] Gallardo-Saavedra S, Hernández-Callejo L, Alonso-García M del C, Santos JD, Morales-Aragonés JI, Alonso-Gómez V, et al. Nondestructive characterization of solar PV cells defects by means of electroluminescence, infrared thermography, I–V curves and visual tests: Experimental study and comparison. Energy 2020;205. doi:10.1016/j.energy.2020.117930.

[24] Gu J, Wang Z, Kuen J, Ma L, Shahroudy A, Shuai B, et al. Recent advances in convolutional neural networks. Pattern Recognit 2018;77:354–77. doi:10.1016/j.patcog.2017.10.013.
[25] Deitsch S, Buerhop-Lutz C, Sovetkin E, Steland A, Maier A, Gallwitz F, et al. Segmentation of photovoltaic module cells in uncalibrated electroluminescence images. Mach Vis Appl 2021;32:1–23. doi:10.1007/s00138-021-01191-9.
[26] Iandola FN, Han S, Moskewicz MW, Ashraf K, Dally WJ, Keutzer K. SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and <0.5MB model size. Arxiv 160207360 2016:1–13.
[27] Ucar F, Korkmaz D. COVIDiagnosis-Net: Deep Bayes-SqueezeNet based diagnosis of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) from X-ray images. Med Hypotheses 2020;140:109761. doi:10.1016/j.mehy.2020.109761.
[28] Alhichri H, Bazi Y, Alajlan N, Jdira B Bin. Helping the visually impaired see via image multi-labeling based on SqueezeNet CNN. Appl Sci 2019;9. doi:10.3390/app9214656.
[29] Polsinelli M, Cinque L, Placidi G. A light CNN for detecting COVID-19 from CT scans of the chest. Pattern Recognit Lett 2020;140:95–100. doi:10.1016/j.patrec.2020.10.001.
[30] Yang Z, Yang X, Li M, Li W. Automated garden-insect recognition using improved lightweight convolution network. Inf Process Agric 2022. doi:10.1016/j.inpa.2021.12.006.
[31] Shorten C, Khoshgoftaar TM. A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning. J Big Data 2019;6:1–48. doi:10.1186/s40537-019-0197-0.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 601-607, 2022

Araştırma Makale
https://doi.org/10.35234/fumbd.1102568

Sürdürülebilir İdari Kayıp Yönetiminde Abone Sayaç Yönetim Bileşenleri için Performans Göstergeleri

Cansu BOZKURT[1], Mahmut FIRAT[2*], Salih YILMAZ[2]
[1] Ardahan Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Ardahan, Türkiye
[2] İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye
[3] Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çankırı, Türkiye
[1] cansubozkurt@ardahan.edu.tr, [*2] mahmut.firat@inonu.edu.tr, [3] salihyilmaz@karatekin.edu.tr

(Geliş/Received: 12/04/2022; Kabul/Accepted: 02/08/2022)

Öz: İçme suyu dağıtım sistemlerinde yasal abone sayaçlarındaki hatalardan kaynaklanan kayıplar idareler için doğrudan gelir kaybına neden olmaktadır. Bu kayıpların en aza indirilmesi, gelir kaybının azaltılması ve işletme verimliliğinin sağlanması için sayaçların düzenli izlenmesi gerekir. Bu nedenle bu çalışmada, idari kayıpların etkin ve sürdürülebilir yönetilmesi için abone sayaçlarının yönetim süreçlerinin performans göstergelerine göre analiz edilmesi ve izlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için sayaç yönetimi ve kayıpların azaltılması faaliyetlerini kapsayan 18 performans göstergesi dikkate alınmıştır. Bu göstergeler idari kayıp oranlarını, sayaç özelliklerini, sayaç yenileme ve hata oranlarını analiz etmektedir. Bu göstergeler pilot idarelerde uygulanmış ve test edilmiştir. Sayaç hata oranları genel olarak % 3 ile % 9 arasında değişmektedir. İdari kayıp oranları ise % 9 ile % 22 arasında değişmektedir. Ayrıca idarelerde 10 yaşından büyük sayaç oranı % 5 ile % 15 arasında değişmektedir. Çalışmada idari kayıp hacmini azaltabilmek amacıyla sahadan elde edilen ölçülebilir veriler kullanılarak abone sayaç yönetiminde kullanılan göstergeler hesaplanmıştır. İdarelerden bazı sayaç verilerinin temin edilememesi nedeniyle ilgili göstergelerin hesaplanamadığı görülmüştür. Bu göstergelerin de kullanılması ile idari kayıpların en önemli bileşeni olan sayaçların ve süreçlerin daha etkin bir şekilde analiz edilmesi ve performansının izlenmesi mümkün olacaktır. Ayrıca çalışmada uluslararası literatürde önerilen ve bu çalışma kapsamında geliştirilen performans göstergelerinin kullanılması İdareler için karşılaştırılabilir performans analizine imkan tanımaktadır. Bu çalışmanın İdareleri idari kayıpları azaltmaya teşvik edeceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Sayaç hataları, idari kayıplar, performans göstergeleri, sayaç yönetimi.

Performance Indicators for Customer Meter Management Components in Sustainable Apparent Loss Management

Abstract: Losses due to customer water meter inaccuracies cause direct income loss. Therefore, the customer water meters should be regularly monitored in order to reduce loss of income, ensure the operational efficiency and minimize the losses. In this study, it is aimed to analyze and monitor the management processes of customer meters according to performance indicators for the effective and sustainable management of apparent losses. For this, a total of 18 performance indicators covering meter management and loss reduction activities were taken into account. These indicators analyze apparent loss rates, meter properties, meter renewal and error rates. These indicators were tested at pilot administrations. Meter inaccuracies generally vary between 3% and 9%. It has been observed that the apparent loss rates vary between 9% and 22%. Moreover, the rate of meters older than 10 years in administrations varies between 5% and 15%. It is possible to analyze the meters and processes, which are the most important components of administrative losses, and to monitor their performance more effectively by using these indicators.

Key words: Meter errors, administrative losses, performance indicators, meter management

1. Giriş

Artan nüfus, kentleşme ve sanayinin gelişmesi nedeniyle mevcut su kaynakları yetersiz kalmakta ve yeni su kaynakları ihtiyacı doğmaktadır. Su idareleri için yeni kaynak arayışı daha maliyetli olacağı için mevcut suyu korumak ve su kayıplarını azaltmak önem arz etmektedir. Bu nedenle dağıtım sistemlerinden kaynaklanan sızıntıların tespit edilmesi, onarılması ve önlenmesi için çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir. Dağıtım sistemlerinde meydana gelen sızıntılar (fiziki kayıplar) sisteme verilen ancak abonelere iletilmeden sızıntı şeklinde kaybolan suyu ifade etmektedir [1]. Diğer taraftan su kayıplarının bir bileşeni olan idari kayıplar ise aboneler

[*] Sorumlu yazar: mahmut.firat@inony.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0002-0987-1297, [2] 0000-0002-8010-9289, [3] 0000-0002-3206-1225

ve/veya kullanıcılar tarafından tüketildiği halde ücreti alınamayan suyu içermektedir [2]. Bu tür kayıplar genel olarak, yasal kayıtlı abone sayaçlarından meydana gelen hatalardan kaynaklanan kayıpları ve yasadışı kullanımları kapsamaktadır. Bu kayıpların etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi ve azaltılması için idarede iyi bir abone bilgi yönetim sistemi (ABYS), güncel bir sayaç veri tabanı olması ve sayaç hatalarının düzenli tespiti ve izlenmesi gerekir [3]. Bu kayıpların azaltılması ve yönetilmesi için literatürde, sayaç değişiminde öncelikli bölgelerin belirlenmesi [4], sayaç hatalarının belirlenmesi ve izlenmesi, sayaç test ve kalibrasyonu için saha çalışmalarının yapılması kapsamında çalışmalar yapılmaktadır [5]. Arregui ve ark. [6] tarafından yapılan çalışmada konut sayaçlarının ölçüm performansının analiz edilmesi ve hata türlerinin belirlenmesi için detaylı bir test programı geliştirilmiştir. Sayaç hataları üzerinde sayacın ilk montaj, işletme ve kullanım koşullarının oldukça etkili olduğu vurgulanmıştır. Bu nedenle kayıp oranlarının azaltılması ve daha etkin yönetilmesi için sayaçların düzenli izlenmesi ve performans değişimlerinin analiz edilmesi gerekmektedir.

Daminato ve ark. [7] çalışmalarında dağıtım sistemlerinde tüketim davranışlarının belirlenmesi ve su tasarrufunun sağlanması için akıllı ölçüm ve izleme sistemlerinin kullanılması gerektiği ifade edilmiştir. Çalışmada, sayaç yenileme döneminin konutlarda günlük su tüketimleri ve sayaç performanslarının değişimine etkisini analiz etmiştir. Akıllı sayaçların kullanımı ile tüketimlerin yaklaşık %2 oranında azaltılabileceği belirtilmiştir. Mendoza ve Benavides-Munoz [8] çalışmada konut sayaçlarının doğruluğunun ve veriminin zamana bağlı olarak azaldığı ve tüketimlerin sürdürülebilir bir şekilde ölçümü doğrudan etkilendiği vurgulanmıştır. Bu nedenle sayaçların düzenli bir şekilde izlenmesi, hata oranlarının belirlenmesi ve su tüketim oranları üzerindeki etkisinin analiz edilmesi gerekmektedir. Yılmaz ve ark. [9] dağıtım sistemlerinde sayaçların daha etkin yönetilmesi için sayaç değiştirmede öncelikli bölgelerin ekonomik ölçütlere göre belirlenmesini amaçlamıştır. Bu amaçla sayaç özellikleri, tüketim karakteristikleri ve işletme verileri dikkate alınarak analitik hiyerarşi süreç ve ELECTRE yöntemleri kullanılmıştır.

Klosok-Bazan ve ark. [10] çalışmalarında dağıtım sistemlerinde işletme verimliliğinin izlenmesi, sistemin performans değişiminin analiz edilmesi için uygun performans göstergelerinin kullanılması gerektiği önerilmiştir. Bu kapsamda işletme koşullarını ve kaynak elde edilebilirliğini dikkate alan performans göstergeleri kullanılmıştır. Böylece dağıtım sistemlerinde kayıpların önlenmesi amacıyla uygulanan yöntemlerin işletme verimliliği ve kaynakların yönetilmesi üzerine etkisinin daha gerçekçi olarak izlenmesi mümkün olmaktadır. Mathye ve ark. [11] çalışmada dağıtım sistemlerinde yasal abone tüketimlerinin ve arka plan sızıntılarının analizi için hidrolik veri, klasik regresyon analizi ve minimum gece debisi yaklaşımları uygulanmıştır. Çalışmada tüketimlerin ve arka plan sızıntılarının doğru belirlenmesinde sahada ölçülen verilerin oldukça önemli olduğu ifade edilmiştir. [12]. Cordeiro ve ark. [12] tarafından yapılan çalışmada su idarelerinde karşılaşılan en temel sorunlar birinin idari kayıplar olduğu vurgulanmıştır. Bu kayıpların daha iyi yönetilmesi, su kullanım oranlarının azaltılması ve sayaç performanslarının izlenmesi ve analiz edilmesi için bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile sayaçların hata oranlarına bağlı olarak tüketimler tahmin edilmekte ve sayaç değişimi için referans oluşturacak bilgi üretmektedir.

Bu çalışmada, idari kayıp hacminin büyük kısmını oluşturan abone sayaçlarının yönetim süreçlerinin performans göstergeleri ile analiz edilmesi ve izlenmesi ile idari kayıpların etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesinin sağlanması amaçlanmıştır. Bunun için uluslararası literatürden abone sayaçlarının yönetimi ve idari kayıp hacminin azaltılması çalışmalarını kapsayan performans göstergeleri seçilmiş ve çalışma kapsamında önerilen göstergeler dikkate alınmıştır. Bu göstergelerin kullanılması ile idari kayıpların en önemli bileşeni olan sayaçların ve süreçlerin daha etkin bir şekilde analiz edilmesi ve performansının izlenmesi mümkün olmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada abone sayaçlarının süreçlerinin yönetilmesinin analiz edilmesi ve izlenmesi için toplamda 18 performans göstergesinden oluşan bir sayaç yönetimi performans değerlendirme sistemi oluşturulmuştur. Bu göstergelerin belli bir kısmı Uluslararası Su Birliği (IWA), Su ve Kanalizasyon İdareleri için Uluslararası Kıyaslamalı Performans Ağı (IBNET), Amerikan Su İşleri Birliği (AWWA), Birleşik Krallık Su Servisleri (OFWAT) gibi çeşitli kurumlar tarafından önerilen göstergelerden oluşurken belli bir kısmı ise bu çalışma kapsamında önerilmiştir. Bu göstergeler, veri ölçüm zorluğu, gereksinimleri ve uygulama zorlukları esas alınarak "temel seviye (Tablo 1)", "orta seviye (Tablo 2)" ve "ileri seviye (Tablo 3)" olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır [13].

Temel seviye göstergelerde genel olarak idari kayıp hacmi farklı değişkenlere göre analiz edilmektedir. Dağıtım sisteminin dinamik yapısı, abone ve servis bağlantı sayısı değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle sadece giriş hacminin yüzdesi şeklinde ifade etmek süreç içindeki değişimlerin analiz edilmesine yeterince imkan sunmamaktadır. Bundan dolayı idari kayıplar servis bağlantı sayısı, abone sayısı gibi sistemin bileşenlerine göre analiz edilmiştir.

Tablo 1. Temel Seviye Performans Göstergeleri [13]

Gösterge Adı	Gösterge	Birim	Gösterge Açıklama
PG1 Sayaç hata oranı	Sayaç Hata oranı/yıl	%	Bu bileşen sistemde yasal abone sayaçlarının hata oranını ifade eder. Sayaç hata oranı, idari kayıp hacmini doğrudan etkilemektedir. Bu kayıpların izlenmesi, hata oranının fazla olduğu bölgelerde öncelikli sayaç değişiminin planlanması ve finansal verimliliğin sağlanması için bu göstergenin yıllık belirlenmesi oldukça önemlidir.
PG2 İdari kayıp oranı (Op26)	(İdari Kayıp Hacmi / Giriş Hacmi)*100/yıl	%	Bu gösterge idari kayıpların giriş hacmine oranını ifade eder. İdari kayıplar doğrudan gelir kaybına neden olduğu için bu gösterge izlenmelidir (yıllık). İdari kayıp bileşenleri saha verilerine göre belirlenmeli ve giriş hacmi düzenli ölçülmelidir.
PG3 İdari kayıp oranı	(İdari Kayıp Hacmi / Gelir Getirmeyen Su (GGS) hacmi)*100/yıl	%	Bu gösterge idari kayıpların GGS içindeki oranını ifade eder. İdari kayıp bileşenleri saha verilerine göre belirlenmeli ve giriş hacmi düzenli ölçülmelidir.
PG4 Abone başına idari kayıp oranı	İdari Kayıp Hacmi / Abone Sayısı/yıl	m3/abone sayısı/yıl	Bu gösterge abone başına idari kayıp oranını ifade eder. Bunun için idari kayıp bileşenleri saha verilerine göre belirlenmeli ve abone yönetimi sistemi güncel olmalıdır.
PG5 Servis bağlantı başına idari kayıp oranı	İdari Kayıp Hacmi / 1000Servis Bağlantı Sayısı/yıl	m3/1000bağlantı/gün	Bu gösterge birim servis bağlantı başına idari kayıp oranını ifade eder. İdari kayıplar saha verisine göre belirlenmeli ve CBS servis bağlantı veri tabanı güncel olmalıdır.
PG6 Kalibrasyon yapılan sayaç oranı	(Kalibrasyon ve test yapılan sayaç sayısı / Abone Sayısı)*100	%	Bu gösterge idarede kalibrasyon/test yapılan sayaç oranını ifade eder. Bu gösterge için sahada güncel olan bir abone yönetim sistemi gereklidir. Bu gösterge yıllık olarak izlenmelidir.

Tablo 2. Orta Seviye Performans Göstergeleri [13]

Gösterge Adı	Gösterge	Birim	Gösterge Açıklama
PG7 Sayaç yaş oranı (5-10 yaş)	(5-10 yıl arası sayaç sayısı / toplam sayaç sayısı)*100	%	Bu gösterge sistemdeki sayaç yaş oranlarını izlemek için kullanılır. Yıllık olarak değiştirilmesi gereken sayaç sayısının belirlenmesi, sayaç testi için örneklerinin alınması ve sayaç yönetimi için bu gösterge önemlidir. Bu gösterge için sahada güncel olan bir abone yönetim sistemi gereklidir.
PG8 Sayaç yaş oranı (<5 yaş)	(5 Yaşından küçük sayaç sayısı / toplam sayaç sayısı)*100	%	Bu gösterge sistemdeki sayaç yaş oranlarını izlemek için kullanılır. Yıllık olarak değiştirilmesi gereken sayaç sayısının belirlenmesi, sayaç testi için örneklerinin alınması ve sayaç yönetimi için bu gösterge önemlidir. Bu gösterge için sahada güncel olan bir abone yönetim sistemi gereklidir.
PG9 Op8 Sayaç yaş oranı (>10 yaş)	(10 Yaş Üzeri olup Değiştirilen sayaç sayısı / 10 yaş üzeri sayaç sayısı)*100	%	Bu gösterge sistemdeki sayaç yaş oranlarını izlemek için kullanılır. Yıllık olarak değiştirilmesi gereken sayaç sayısının belirlenmesi, sayaç testi için örneklerinin alınması ve sayaç yönetimi için bu gösterge önemlidir. Bu gösterge için sahada güncel olan bir abone yönetim sistemi gereklidir. [14]
PG10 Değiştirilmesi gereken sayaç oranı	(Değiştirilmesi gereken sayaç sayısı / toplam sayaç sayısı)*100	%	Bu gösterge sistemde değiştirilmesi gereken sayaç oranını ifade eder. Bu gösterge idarede yıllık olarak değiştirilen, değiştirilmesi gereken sayaçların izlenmesi, yıllık olarak ayrılması gereken bütçenin belirlenmesi adına önemlidir. Bu gösterge yıllık izlenmelidir.
PG11 Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıp oranı	(Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıp hacmi / Yasal faturalandırılmış tüketim hacmi)*100/yıl	%	Bu gösterge sayaç hatalarından kaynaklanan kayıpların yasal faturalandırılmış kullanımlara oranını ifade eder. İdari kayıp bileşenleri saha verilerine göre belirlenmeli ve faturalandırılmış tüketimler düzenli okunmalıdır.
PG12 Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıp oranı	(Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıp hacmi / Giriş Hacmi)*100/yıl	%	Bu gösterge sayaç hatalarından kaynaklanan kayıpların giriş hacmine oranını ifade eder. Bunun için idari kayıp bileşenleri saha verilerine göre belirlenmeli ve giriş hacmi düzenli ölçülmelidir.

Tablo 3. İleri Seviye Performans Göstergeleri [13]

Gösterge Adı	Gösterge	Birim	Gösterge Açıklama
PG13 Sayaç değiştirilen bölgede kayıp oranı	(Sayaç değiştirilen bölgede kayıp hacmi / Yasal Faturalandırılmış Tüketim Hacmi)*100	%	Bu gösterge sayaç değişimi yapılan bölgelerde sayaçlardan kaynaklanan kayıp oranını ifade eder. Bu gösterge sayaç değişimi verimliliğinin izlenmesi adına önemlidir. Bunun için güncel ve düzenli olan bir abone yönetim sistemi olmalıdır.
PG14 Sayaç değiştirilen bölgede kayıp oranı	(Sayaç değiştirilen bölgede kayıp hacmi / giriş hacmi)*100/yıl	%	Bu gösterge sayaç değişimi yapılan bölgelerde sayaçlardan kaynaklanan kayıp oranını ifade eder. Bu gösterge sayaç değişimi verimliliğinin izlenmesi adına önemlidir. Bunun için güncel bir abone yönetim sistemi olmalıdır. Bu gösterge yıllık izlenmelidir.
PG15 Verisi doğrulanmış abone oranı	(Verisi doğrulanmış güncel abone sayısı / abone sayısı)*100	%	Bu gösterge sahada verisi güncellenmiş abone oranını ifade eder. Bu göstergenin % 100'e yakın olması gerekir. Abone bilgilerinin güncel olması, tahakkuk oranını ve dolayısıyla da tahsilat oranını arttırır. Bu gösterge için sahada güncel olan bir ABYS gereklidir.
PG16 Ticari abone sayaçlarından kaynaklanan kayıp oranı	(yasal ölçülmüş ticari kullanım hacmi*ticari abonelerde sayaç hata oranı / giriş hacmi)*100/yıl	%	Bu gösterge ticari abone sayaçlarından kaynaklanan kayıpların giriş hacmine oranını ifade eder. Bunun için idari kayıp bileşenleri saha verilerine göre belirlenmeli ve giriş hacmi ölçülmelidir.
PG17 Uzaktan okunan konut abone oranı	(Uzaktan okunan konut veya ticari abone sayısı / abone sayısı)*100	%	Bu gösterge abone yönetim sisteminde kayıtlı abonelerin uzaktan okunma oranını ifade eder. Abonelerin tahakkuklarının zamanında ve sistematik yapılması tahsilat oranı üzerinde olumlu etkisi olmaktadır. Bu gösterge için sahada güncel olan bir abone yönetim sistemi gereklidir.
PG18 Sayaç yenileme verimliliği	(Sayaç yenileme maliyeti / (sayaç değiştirilen bölgede kayıp hacmi*birim m3 su satış fiyatı))*100/yıl	%	Bu gösterge idarelerde sayaç yenileme verimliliğini ifade eder. Bunun için sayaç yenileme maliyetlerinin ve sayaç yenileme yapılan bölgelerde idari kayıplardaki azalmalar saha verilerine göre belirlenmelidir. Bu gösterge yıllık olarak izlenmelidir.

Tablolarda yer alan performans göstergelerinin doğru bir şekilde hesaplanması ve değerlendirme yapılması için öncelikle gerekli olan verilerin doğru ve sistematik bir şekilde ölçülmesi ve izlenmesi gerekir. Diğer türlü saha ölçümü yapılmadan tahmin edilen veriler kullanılarak hesaplanan göstergeler yanlış yönlendirmekte, sistem performansını iyi ve/veya kötü göstermekte ve buna bağlı süreçlerin yanlış yönetilmesine neden olmaktadır. Bunun için idarede, düzenli çalışan ve saha güncellemeleri yapılan abone bilgi yönetim sistemi (ABYS), güncel sayaç veri tabanı, su dengesinin saha verilerine göre doldurulması ve sayaç hatalarının düzenli belirlenmesi gerekir.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında Tablo 1, 2 ve 3'te verilen göstergeler için pilot idareler ait veri setleri kullanılarak uygulama yapılmıştır (Tablo 4). Önceki bölümde de bahsedildiği gibi göstergelerin doğru bir şekilde hesaplanması için verilerin düzenli ölçülmesi esastır. Tabloda "veri yok" yazılan veriler idarelerde tutulmadığı için bunların kullanıldığı performans göstergeleri hesaplanmamıştır. Tablo 4'te gösterilen veriler kullanılarak performans göstergeleri hesaplanmıştır (Tablo 5).

Dağıtım sistemlerindeki veriler değerlendirildiğinde, sayaç hata oranının idare 1'de yüksek seviyede olduğu, idare 2 ve 3'te ise kabul edilebilir seviyede (<%5) olduğu görülmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi özellikle sayaç yaşı ile ilgili veriler idare 1 ve idare 2'de temin edilememiştir. Bu verilerin düzenli tutulması ve izlenmesi için abone yönetim sisteminde bu veriler düzenli tutulması gerekir. Ayrıca, sayaç yenileme maliyeti, uzaktan okunan sayaç sayısı, sayaç değiştirilen bölgede kayıp hacminin izlenmesi, ticari abone sayaçlarının hata oranı gibi verilerin idarelerde tutulmadığı tespit edilmiştir. Doğru ve sistematik performans analizi yapabilmek için idarelerde gerekli olan verilerin düzenli ölçülmesi ve izlenmesi oldukça önemlidir. Tablo 4'teki veriler dikkate alınarak hesaplanan 18 performans göstergesi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. Pilot Sistemlere ait Veriler

Arıza Bakım Onarım	Birim	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
Sayaç hata oranı	%	9	3.9	3
Giriş hacmi	m^3	99921600	68743884	110548882
İdari kayıp hacmi	m^3	8992950	3007789	6552367
Gelir getirmeyen su hacmi	m^3	40957119	33046195	47045174
Abone Sayısı	adet	556300	249417	559665
Servis bağlantı sayısı	adet	111266	107138	172246
Verisi doğrulanmış güncel abone sayısı	adet	556300	249417	559665
Kalibrasyon ve test yapılan sayaç sayısı	adet	Veri yok	Veri yok	Veri yok
Toplam sayaç sayısı	adet	556300	249417	500149
5-10 yıl arası sayaç sayısı	adet	Veri yok	Veri yok	80286
5 Yaşından küçük sayaç sayısı	adet	Veri yok	Veri yok	88097
10 yaş üzeri sayaç sayısı	adet	Veri yok	11634	86316
10 yaş üzeri olup değiştirilen sayaç sayısı	adet	Veri yok	11634	12839
Değiştirilmesi gereken sayaç sayısı	adet	Veri yok	11634	86316
Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıp hacmi	m^3	8992950	2725687	1955400
Yasal faturalandırılmış tüketim hacmi	m^3	62787710	35697689	63503708
Yasal ölçülmüş ticari kullanım hacmi	m^3	Veri yok	Veri yok	3621521
Ticari abonelerde sayaç hata oranı	%	5	Veri yok	Veri yok
Uzaktan okunan konut veya ticari abone sayısı	adet	Veri yok	Veri yok	Veri yok
Sayaç yenileme maliyeti	TL	Veri yok	Veri yok	Veri yok
Birim m3 su satış fiyatı	T/m^3	5	3.74	4.4
Sayaç değiştirilen bölgede kayıp hacmi	m^3	Veri yok	Veri yok	Veri yok

Tablo 5. Pilot Sistemler için Performans Gösterge Hesabı

Gösterge Adı	Gösterge	Birim	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
PG1: Sayaç hata oranı	Sayaç hata oranı/yıl	%	9	3.9	3
PG2: İdari kayıp oranı (Op26)	(İdari kayıp hacmi / Giriş hacmi)*100/yıl	%	9.00	4.38	5.93
PG3 İdari kayıp oranı	(İdari kayıp hacmi / Gelir Getirmeyen Su (GGS) hacmi)*100/yıl	%	21.96	9.10	13.93
PG4 Abone başına idari kayıp oranı	İdari kayıp hacmi / Abone sayısı/yıl	m3/abone sayısı/yıl	16.17	12.06	11.71
PG5 Servis bağlantı başına idari kayıp oranı	İdari kayıp hacmi / 1000Servis bağlantı sayısı/yıl	m3/1000bağlantı/gün	80.82	28.07	38.04
PG6 Kalibrasyon yapılan sayaç oranı	(Kalibrasyon ve test yapılan sayaç sayısı / Abone Sayısı)*100	%	Veri yok	Veri yok	Veri yok
PG7 Sayaç yaş oranı (5-10 yaş)	(5-10 yıl arası sayaç sayısı / toplam sayaç sayısı)*100	%	Veri yok	Veri yok	16.05
PG8 Sayaç yaş oranı (<5 yaş)	(5 yaşından küçük sayaç sayısı / toplam sayaç sayısı)*100	%	Veri yok	Veri yok	17.61
PG9 Op8 Sayaç yaş oranı (>10 yaş)	(10 yaş üzeri olup değiştirilen sayaç sayısı / 10 yaş üzeri sayaç sayısı)*100	%	Veri yok	4.66	15.42
PG10 Değiştirilmesi gereken sayaç oranı	(Değiştirilmesi gereken sayaç sayısı / toplam sayaç sayısı)*100	%	Veri yok	4.66	15.42
PG11 Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıp oranı	(Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıp hacmi / Yasal faturalandırılmış tüketim hacmi)*100/yıl	%	14.32	7.64	3.08
PG12: Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıp oranı	(Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıp hacmi / Giriş Hacmi)*100/yıl	%	9.00	3.96	1.77
PG13 Sayaç değiştirilen bölgede kayıp oranı	(Sayaç değiştirilen bölgede kayıp hacmi / Yasal Faturalandırılmış Tüketim Hacmi)*100	%	Veri yok	Veri yok	Veri yok
PG14: Sayaç değiştirilen bölgede kayıp oranı	(Sayaç değiştirilen bölgede kayıp hacmi / giriş hacmi)*100/yıl	%	Veri yok	Veri yok	Veri yok
PG15 Verisi doğrulanmış abone oranı	(Verisi doğrulanmış güncel abone sayısı / abone sayısı)*100	%	100	100	100
PG16 Ticari abone sayaçlarından kaynaklanan kayıp oranı	(Yasal ölçülmüş ticari kullanım hacmi*ticari abonelerde sayaç hata oranı / giriş hacmi)*100/yıl	%	Veri yok	Veri yok	Veri yok
PG17 Uzaktan okunan konut abone oranı	(Uzaktan okunan konut veya ticari abone sayısı / abone sayısı)*100	%	Veri yok	Veri yok	Veri yok
PG18 Sayaç yenileme verimliliği	(Sayaç yenileme maliyeti / (sayaç değiştirilen bölgede kayıp hacmi*birim m3 su satış fiyatı))*100/yıl	%	Veri yok	Veri yok	Veri yok

Tablo 5'te verilen sonuçlara göre, PG2 ve PG3 göstergeleri idarelerdeki sayaç hata oranlarına paralel olarak idare 1'de en yüksek değerde iken idare 2'de ise en düşük değerdedir. Bu iki göstergenin doğru hesaplanmasında en temel koşul PG1 göstergesinin doğru bir şekilde saha verilerine göre belirlenmesidir. Bu gösterge temel olarak idarenin doğrudan gelir kayıp oranını da ifade etmekte olup özellikle idare 1'de bu oranının azaltılması oldukça önemlidir. Diğer taraftan PG4 göstergesi değerlendirildiğinde, abone sayılarına bağlı olarak idare 2 ve idare 3'te sonuçlar birbirine yakın çıkarken idare 1'de ise sayaçlardaki yüksek hata oranına bağlı olarak bu gösterge daha yüksek elde edilmiştir. Benzer ilişki PG5 göstergesi için de elde edilmiştir. Esasen bu iki gösterge sistemin dinamik parametrelerini (abone sayısı ve servis bağlantı sayısı) dikkate aldığı için süreç içinde idarelerin performansının analizinde referans bilgi üretmektedir. PG5 göstergesinin en yüksek ve en düşük değeri sırasıyla idare 1 ve idare 2 için hesaplanmıştır.

Diğer taraftan, her üç idarede de PG6 göstergesinin "veri eksikliğinden" dolayı hesaplanamadığı görülmektedir. Sayaç yönetiminde ve hata oranlarının azaltılmasında sayaç yaşı oldukça önemlidir. Bunun için idarelerde sayaç yaşı verilerinin düzenli tutulması ve izlenmesi gerekir. Bu kapsamda PG7 ve PG8 göstergeleri incelendiğinde, idare 1 ve idare 2 için bu göstergeler "veri eksikliğinden" dolayı hesaplanamamıştır. Diğer taraftan PG9 ve PG10 göstergeleri sayaç yenileme için planlama yapılması açısından referans bilgi sunmaktadır. Bu gösterge idare 1'de veri eksikliğinden dolayı hesaplanamamıştır. İdare 2 ve 3 için yapılan hesaplamalara göre, idare 2'de değiştirilmesi sayaç oranı oldukça düşük olup sayaç yönetimi açısından iyi düzeydedir.

Tablo 5'te PG11 ve PG12 göstergeleri sayaç hatalarından kaynaklanan kayıpların giriş hacmine ve yasal faturalandırılmış kullanım hacmine oranını ifade etmektedir. Bu iki gösterge için en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla idare 1 ve idare 3 için elde edilmiştir. PG11 göstergesi özellikle tahakkuk yapılan hacme göre değerlendirme yaptığı için idarelerin sayaç hatalarından kaynaklanan kayıpların ekonomik değerinin değerlendirilmesi açısından önemli bilgiler sunmaktadır. İdare 1'de sayaç hatalarından kaynaklanan kayıplar toplam tahakkukların % 14.32 kadarlık kısmını oluşturmaktadır. Yani idarede tahakkuk hacminin % 14.32 kadar kısmı aboneler tarafından tüketildiği halde ücreti ödenmemektedir. Bu oranın azaltılmasına bağlı olarak idarede doğrudan gelir artışı olacaktır. PG13, PG14, PG16, PG17 ve PG18 göstergelerinin her üç idarede de veri eksikliğinden dolayı hesaplanamadığı görülmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, idari kayıpların etkin ve sürdürülebilir yönetilmesi için abone sayaçlarının yönetim süreçlerinin performans göstergelerine göre analiz edilmesi ve izlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için sayaç yönetimi ve kayıpların azaltılması faaliyetlerini kapsayan 18 performans göstergesi dikkate alınmıştır. Bu göstergeler gerçek saha verilerine göre pilot idarelere uygulanmıştır. Bu göstergelerin uygulanmasında karşılaşılan en temel sorun gösterge hesabında kullanılan verilerin idarelerde ölçülmemesi gösterilebilir. Bu verilerin doğru ve sistematik bir şekilde belirlenmesinde idarelerde abone bilgi yönetim sistemlerinin güncel olması ve sahada abone eşleştirmelerinin yapılmış olması gerekir. Yapılan hesaplamalara göre, idarelerde kayıp oranları genel olarak yüksek sayılabilecek seviyededir. Bu kayıp oranlarına bağlı olarak gelir kaybının gelir getiren kullanımlara oranı da yüksek seviyede elde edilmiştir. Ayrıca 10 yaşından büyük sayaçların izlendiği göstergenin İdare 1'de veri eksikliğinden dolayı hesaplanamadığı, idare 3'te ise % 10'dan büyük oranda hesaplandığı görülmektedir. Bu gösterge özellikle sayaç yönetimi ve ilk yatırım maliyetlerinin analiz edilmesi ve planlama yapılması açısından oldukça önemlidir. Sonuç olarak, dağıtım sistemlerinde doğrudan gelir kaybına neden olan idari kayıpların azaltılması ve işletme verimliliğinin sağlanması için bu kayıp bileşenlerinin düzenli izlenmesi oldukça önemlidir. Ayrıca çalışmada sahadan elde edilen veriler kullanılarak karşılaştırılabilir gösterge analizi yapılması ile idarelerin su kayıp yönetiminde eksik olduğu noktalar açığa çıkmakta ve bu konuda öncelikli olarak veri kalitesini iyileştirmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Böylece çalışmanın idareleri idari kayıp yönetimine teşvik edeceği düşünülmektedir. Bu çalışmada önerilen göstergelerin sayaçların izlenmesi, sayaç performansının analiz edilmesi ve kayıpların analiz edilmesinde karar vericiler için referans oluşturacağı düşünülmektedir. İlave olarak, Su kayıp yönetiminde fiziksel kayıpları tespit etmek daha kolay olduğundan fiziksel kayıp yönetimine ağırlık verilmektedir. Bu çalışma ülkemizde eksikliği yaşanan İdari kayıp bileşenlerinin yönetilmesine imkan sağlanacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, (İÜ-BAP FDK-2020-2262) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1]. AL-Washali T, Sharma S, Lupoja R, AL-Nozaily F, Haidera M, Kennedy M. Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply. Resources, Conservation and Recycling 2020; 152: 104515.
[2]. Yılmaz S, Özdemir Ö, Fırat M. Application of IWA standard water balance in strategic water loss analysis: Benefits and problems. Environmental Research and Technology 2021; 4 (2): 176-183.
[3]. Ncube M, Taigbenu AE. Assessment of apparent losses due to meter inaccuracy using an alternative, validated methodology. Water Supply 2019; 19 (4): 1212–1220.
[4]. Yılmaz S, Özdemir Ö, Fırat M. Gelir getirmeyen su oranının azaltılması için optimum sayaç değiştirme süresinin hesaplanması, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019; 31(2): 423-430.
[5]. Ociepa E, Mrowiec M, Deska I. Analysis of Water Losses and Assessment of Initiatives Aimed at Their Reduction in Selected Water Supply Systems. Water 2019; 11(5): 1037.
[6]. Arregui FJ, Gavara FJ, Soriano J, Pastor-Jabaloyes L. Performance Analysis of Ageing Single-Jet Water Meters for Measuring Residential Water Consumption. Water 2018; 10: 612-629.
[7]. Daminato C, Diaz-Farina E, Filippini M, Padron-Fumero N. The impact of smart meters on residential waterconsumption: Evidence from a natural experiment in the Canary Islands. Resource and Energy Economics 2021; 64: 101221.
[8]. Mendoza AA, Benavides-Munoz H. Evaluation of domestic water measurement error: a case study. Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA 2021; 70.2: 217-225.
[9]. Yılmaz S, Bozkurt C, Özdemir Ö, Fırat M, Identification of the Priority Regions in the Customer Water Meters Replacement using the AHP and ELECTRE Methods. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences 2021; 39(4): 331-342.
[10]. Klosok-Bazan I, Boguniewicz-Zablocka J, Suda A, Lukasiewicz E, Anders D. Assessment of leakage management in small water supplies using performance indicators. Environmental Science and Pollution Research 2021; 28: 41181-41190.
[11]. Mathye RP, Scholz M, Niyende-Byakika S. Analysis of Domestic Consumption and Background Leakage Trends for Alexandra Twonship South Africa. International Journal on Emerging Technologies 2022; 13(1): 1-9.
[12]. Cordeiro C, Borges A, Ramos M.R. A Strategy to Assess Water Meter Performance. Journal of Water Resources Planning and Management 2022; 148(2): 05021027.
[13]. Bozkurt C. Su Kayıp Yönetimi ve Kontrolü için En Uygun Strateji Modelinin Geliştirilmesi. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2022.
[14]. Davis S.E. Residential water meter economics. Leakage 2005. Halifax, Canada, 2005.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 609-626, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1104455

1 MWp Kapasiteli Çatı Tipi Dağıtık Güneş Enerji Santralinin Tasarımı ve Simülasyon Uygulaması

Onur TURAN[1*]
[1] Elektrik Mühendisliği, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
[*1] onrtrna@hotmail.com

(Geliş/Received: 16/04/2022; Kabul/Accepted: 07/08/2022)

Öz: Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri olan fotovoltaik (PV) santraller neredeyse sıfıra yakın olan zararlı çevresel etkisi ve nispeten kolay kurulumları nedeniyle, ülkemizin güneş potansiyeli de göz önünde bulundurulduğunda temiz enerji anlamında büyük fırsatlar sağlamaktadır. Ayrıca Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) kapsamında sunulan devlet destekleri yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomiye kazandırılması yönünde büyük fırsatlar sunmaktadır. Ülkemiz Cumhurbaşkanlığı yıllık programında yaptığı projeksiyona göre 2022 yılında güneş enerji santrallerinden üretilen elektrik miktarında 1000 MW artış beklenmektedir. Ayrıca güneş enerjisiyle üretilen elektriğin toplam üretim içerisindeki payının %8,5 olması öngörülmektedir. Bu çalışmada; 1MWp kapasiteye sahip çatı tipi, şebekeye bağlı dağıtık güneş enerji santralinin tasarımı ve simülasyon uygulaması PVsyst programı aracılığıyla sunulmuştur. Yapılan çalışmada panel eğimi, doğru PV modül ve inverter seçiminin son derece önemli olduğu görülmüştür. Yıllık şebekeye verilebilecek enerji miktarı 1246 MWh olarak elde edilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmalarında eşdeğer enerji üretimine sahip bir elektrik santraline nazaran kurulan böyle bir tesisin 14000 ton Co_2 salınımı yapmayarak iklim değişikliği etkisine olumlu katkı sunacağı vurgulanmıştır. Yeni kurulacak böyle bir tesisten ilk on yıllık süre boyunca yerli katkı ile birlikte sabit ücretle alım garantisiyle 4.485.600 ₺ gelir elde edilebileceği görülmüştür. Santralin ömrünün 25 yıl olacağı düşünüldüğündeyse YEKDEM destekleri olmasa bile tesis yatırımının son derece avantajlı olacağı söylenebilir.

Anahtar kelimeler: PV sistem; Şebekeye Bağlı PV; Güneş enerjisi.

Design and Simulation Application of 1 MWp Capacity Rooftop Distributed Solar Power Plant

Abstract: Photovoltaic (PV) power plants, which are one of the most important renewable energy sources, provide great opportunities in terms of clean energy, due to their almost zero harmful environmental impact and relatively easy installation, considering the solar potential of our country. In addition, the government supports offered within the scope of the Renewable Energy Resources Support Mechanism (YEKDEM) provide great opportunities to bring renewable energy resources into the economy. According to the projection made in the annual program of the Presidency of our country, an increase of 1000 MW is expected in the amount of electricity produced from solar power plants in 2022. In addition, the share of electricity produced by solar energy in the total production is expected to be 8.5%. In this study; the design and simulation application of a rooftop, grid-connected distributed solar power plant with a capacity of 1MWp was presented through the PVsyst program. In the study, it was seen that the panel slope, the right PV module, and inverter selection are essential. The annual amount of energy that can be supplied to the grid has been obtained as 1246 MWh. In the simulation studies, it was emphasized that such a facility, which was established compared to a power plant with equivalent energy production, would contribute positively to the impact of climate change by not emitting 14000 tons of Co_2. It has been observed that revenue of 4,485,600 ₺ can be obtained from such a newly established facility for the first ten-year period with a fixed fee purchase guarantee with the domestic contribution. Considering that the life of the power plant will be 25 years, it can be said that the facility investment will be highly advantageous even without YEKDEM support.

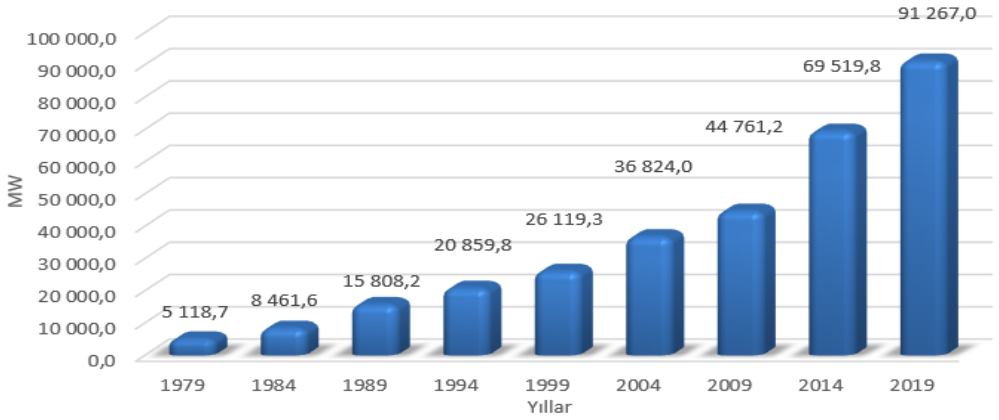
Key words: PV system, On-Grid PV, Solar energy.

1. Giriş

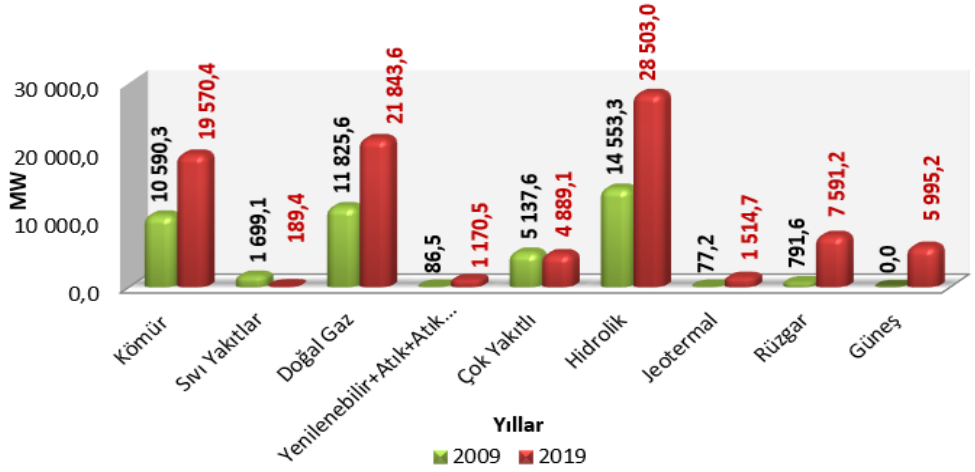
Solar enerji direkt olarak güneş ışınımı ile ilgilidir ve doğrudan güneş ışığından elde edilebildiğinden ulaşılması kolay, temiz, güvenilir bir enerji kaynağıdır [1]. Günümüzde, dünyadaki sosyo-ekonomik gelişmeler ve insanların refahı doğrudan enerjiye bağlıdır. Fosil yakıtlar toplam üretimde en yüksek payı oluşturmaktadır. Bununla birlikte karbon salınımı, fosil yakıtların kullanımıyla ilişkili bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Öte yandan dünya genelinde enerji talebi sürekli artmaktadır. Bu artan talep fosil yakıtlarla karşılanacak olursa, fosil yakıtların yoğun kullanımı büyük miktarda karbondioksit ve diğer sera gazlarını açığa çıkaracaktır. Diğer taraftan yenilenebilir enerji kaynaklarına erişim ise oldukça kolaydır neredeyse hiç karbon salınımı içermezler. Bu nedenle

[*] Sorumlu yazar: onrtrna@hotmail.com. Yazarın ORCID Numarası: [1] 0000-0001-6523-3428

elektrik üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarına yoğunlaşmak günümüz dünyasının bir gereğidir [2]. Fotovoltaik enerji üretim sistemlerinin şebekeyi güçlendirmek için artan kullanımı, dinamik analiz ve elektrik şebekesi çalışmaları için uygun ve etkili bir matematiksel model ile birlikte doğru simülasyon çalışması ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır [3]. Ülkemizin cari açığına büyük katkıda bulunan fosil yakıt ithalatının önemli miktarı bu yakıtları elektrik enerjisine çevirirken kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji santrallerinin enterkonnekte sisteme daha fazla katkı sunmasıyla ülkemiz cari açığının azalması yönünde pozitif etki edeceği aşikardır. Ülkemiz orta kuşak güneş alan ülkeler kategorisinde olmasına rağmen sadece son 10 yılda yapılan yatırımlarla, PV santrallerin toplam kurulu güç içerisindeki payı %6,6 seviyesine ulaşmıştır. Şekil 1 ve Şekil 2'de Türkiye'nin toplam kurulu gücünün artış oranı ve bu kurulu gücün enerji santrallerine göre dağılımı verilmiştir [4].



Şekil 1. Türkiye kurulu gücünün artış grafiği [4].



Şekil 2. Türkiye'nin elektrik üretiminde santrallerin payı [4].

Bu çalışmada ülkemizin kuzey batı (Trakya) bölgesinde kurulması planlanabilecek çatı tipi güneş enerji santrali (GES) için uygulanabilirlik analizi PVsyst 7.2 programı kullanılarak yapılmıştır. Bölgenin rakımının yüksek olmaması nedeniyle arazilere kurulacak GES'lerinin ulaşım, arazi tesviye vb. gibi maliyetleri de düşük olacaktır. Bu bölge İstanbul'a yakınlığı nedeniyle tekstil firmalarının ilgisini çekmektedir. Yapılan simülasyon çalışmasında bu bölgede bulunan bir tekstil fabrikasının çatısına uygulanabilecek 1MWp kapasiteli, şebekeye bağlı bir güneş enerji santralinin analizi sunulmuştur. Öncelikle PVsyst programına santralin kurulacağı bölge tanıtılarak, bölgenin meteorolojik verileri NASA veri tabanına göre suni olarak elde edilmiştir. Sonrasında PV modül ve inverter seçimi yapılarak mimari yapısı çizilen fabrikanın üzerine PV modüller yerleştirilerek gölgelenme çalışması yapılmıştır. Fabrika konumu gereği herhangi bir gölgelenme etkisine sahip değildir. Çalışmaya kayıplar ve PV modül oryantasyonları deklare edilerek simülasyon yürütülmüştür. PVsyst programı ile çeşitli kapasitelerde PV modüller ve inverterler seçilerek kapsamlı bir analiz gerçekleştirmek mümkündür. Ayrıca sistemde oluşacak joule, eskime, bakım/onarım vb. gibi kayıplar da detaylı bir şekilde çalışmaya eklenerek optimum analiz yapılabilmektedir.

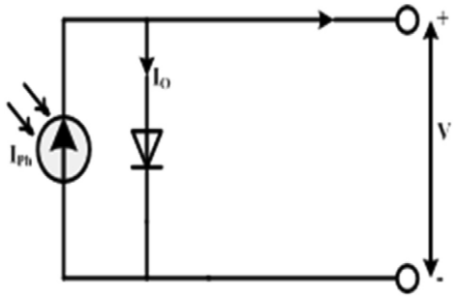
Bu çalışma Trakya bölgesinde yapılması planlanan GES projelerinin analizi için öncü durumdadır. ULAKBIM TR Dizin veri tabanında Trakya bölgesi için yapılmış bir güneş enerji santrali çalışması bulunmamaktadır. Bu bakımdan bu bölge için literatüre yeni sunulmuş bir çalışmadır. 1 MWp kapasiteli bir santralin boyutlarının ne olacağı simülasyon çalışmalarında ortaya konulmuş, sistem kayıpları ve şebekeye 1 yıl boyunca ne kadar güç aktaracağı analiz edilmiştir. YEKDEM mekanizması aracılığıyla böyle bir yatırımdan ne kadar gelir elde edilebileceği de ayrıca ortaya konulmuştur.

2. Literatür Özeti

Literatürde PVsyst programıyla analizi yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda farklı kapasitelerde hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız santraller modellenip tekno-ekonomik analizleri yapılmıştır. [5-8]. Yapılan bir diğer çalışmada PVsyst programı aracılığıyla kullanımda olan bir GES'in karşılaştırması yapılmış. Simülasyon ve gerçek sonuçlar arasında sadece %0,56 fark görülmüştür [9]. Bu sonuçla tasarım aşamasında olan santrallerin modellenmesiyle yapılabilecek fizibilite çalışmalarının önemi ortaya koyulmuştur. PVsyst programıyla yapılan simülasyon çalışmalarıyla, belli bir bölgede tesis edilecek PV panellerin eğim açılarının karşılaştırmalı analizleri yapılarak optimum değerlerinin elde edildiği çalışmalar da yapılmıştır [10]. İran'ın Tebriz şehrinin sürdürülebilirliğini karbon salınımından arındırılmasına dayandırılarak yapılmış bir çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada [11] Tebriz şehrinin güneş enerji potansiyeli PVsyst, Therm gibi programlar aracılığıyla analiz edilmiştir. Awad ve diğ. (2021), yaptıkları çalışmada bir üniversite kampüsünün orta ve uzun vadeli enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla optimum çatı tipi fotovoltaik enerji santrali kurulumunu şebekeye bağlı olarak tasarlanmıştır. Yapılan çalışmada PV modül sayıları üniversitenin gelecek dönem enerji ihtiyacı göz önünde bulundurularak PSO tekniği ile belirlenmiştir. Optimum PV modül sayısına göre yapılan tasarım PVsyst programı ile doğrulanmıştır [12]. Kumar ve diğ. (2021), bir fakülte binasının enerji gereksiniminin karşılanması için PVsyst programı ile şebekeden bağımsız bir güneş enerji santrali tasarlamışlardır. Yapılan bu çalışmada fakülte binasının enerji ihtiyacının %98 oranında şebekeden bağımsız GES üzerinden sağlanabileceği görülmüştür [13]. Viana ve diğ. (2020), farklı veri tabanlarından alınan meteorolojik verilerin bir üniversite kampüsünde kullanımda olan PV santral üretimi ile karşılaştırmalı analizini yapmışlardır. PVsyst programı aracılığıyla yapılan simülasyon çalışmalarının gerçek enerji üretimi miktarından farkının %5 olduğu görülmüştür. Ayrıca en doğru meteorolojik veri tabanı bilgilerinin ise ATLAS olduğu değerlendirilmiştir [14]. Kendi kendine yetebilen bir üniversite kampüsü oluşturmak için yapılan bir diğer çalışmada [15] PVsyst programı aracılığıyla tekno-ekonomik analizler yapılmıştır. Bu çalışmada fazladan üretilen enerjinin şebekeye aktarımıyla gelir elde edilebileceği de görülmüştür. Tropikal iklim koşullarına sahip okyanus kıyısında bulunan ülkeler ve daha çok kırsal nüfusa sahip, enerjide dışa bağımlılığı yüksek olmasına rağmen yıl içinde yüksek güneş ışınımı alan gelişmemiş ülkeler için PVsyst programı ile performans değerlendirmelerinin yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır [16,17]. Ülkemiz farklı bölgelerine kurulması düşünülen şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız santraller için PVsyst programı ile fizibilite çalışmaları yapılmıştır [18,19]. Soğuk ve yarı kurak iklim koşullarına sahip bölgelere yapılacak konutlarda, pasif mimari temelli tasarım ile yapılacak uygulamalarla elde edilebilecek enerji miktarı PVsyst programı ile analiz edilmiştir. Mimari tasarımın net sıfır enerji ihtiyacı sağlamadaki önemi görülmüştür [20]. Goel ve diğ. (2020), 11,2 KWp kapasiteye sahip şebekeye bağlı bir GES'inin gerçek üretim verileriyle simülasyon sonuçlarını karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir. Simülasyon çalışmaları için PVsyst ve Helioscope programları kullanılmıştır [21]. Bir bölgenin enerji ihtiyacının tamamının karşılanması için PVsyst programı aracılığıyla analizler yapılmıştır. Bu çalışmada literatüre çatı uygunluk faktörü sunularak yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada yerleşim bölgesinde bulunan evlerin çatılarına kurulacak FV santrallerle bu bölgenin bütün enerji ihtiyacının karşılanabileceği ve şebekeden enerji talebinin sıfırlanmasıyla, sıfır karbon emisyonlu bölgeler kurulabileceği vurgulanmıştır [22]. GES'lerinin performasını artırmak için güneş takip sistemleri de kullanılmaktadır. Chandel ve diğ. (2021), yaptıkları çalışmada sabit eğim, ayarlanabilir eğim ve güneş takip sistemleri ile çalışan bir GES'inin simülasyon çalışmalarını PVsyst ve PVSOL programları aracılığıyla karşılaştırmalı analiz etmişlerdir. Ayarlanabilir eğim ile çalışan sistemin performansının daha yüksek olduğu görülmüştür [23]. Diğer ülkelerde ülkemizdeki gibi GES projelerini teşvik etmekte ve desteklemektedir [24]. Tesis edilen PV santraller güneşten gelen ışınımın radyasyonunu PV modüller vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu enerji çeviriciler vasıtasıyla kullanıma hazır hale getirilip, şebekeye bağlı sistemlerde enterkonnekte sisteme gönderilir. PV sistemin performansı, sıcaklık ve güneşlenmedeki değişiklikten etkilenmektedir [25]. İdeal olarak bir PV modülünün maksimum güç noktasında (MPP) çalıştırılması gerekir [2].

3. Pv Hücre ve Modülün Matematiksel Modeli

Yapılan çalışmalarda seri ve şönt direnç içermeyen PV hücre modelinin doğru sonuçları yansıtmadığı görülmüştür [26]. Bu nedenle Şekil 3'de verilen PV hücre modeline ilgili dirençler eklenerek ideal PV hücre modeli oluşturulmuştur.



Şekil 3. PV hücre modeli [2].

Bu modelin diyot akımı ve uç denklemleri Denklem 1 ve Denklem 2 ile verilmektedir.

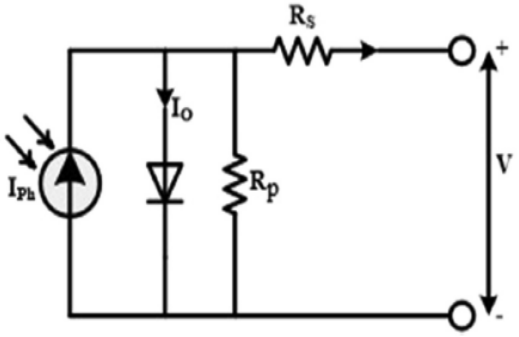
$$I = I_{ph} - I_d \tag{1}$$

$$I_d = I_0 \left\{ e^{qV_d/aKT} - 1 \right\} \tag{2}$$

Burada q electron miktarıdır ve değeri $1{,}6x10^{-19}$'dir ayrıca K Boltzmann sabitidir ve değeri $1{,}3805x10^{-23}\,J/K$' dir. T Kelvin olarak sıcaklık, I_o kaçak akım, V_d ise diyot gerilimidir. Çıkarılan denklemlere Kirchoff Akımlar yasası uygulandığında terminal akımı I Denklem 3'deki gibi bulunur.

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{qV_d/aKT} - 1 \right\} \tag{3}$$

ideal bir PV hücrenin eşdeğer devresi Şekil 4' de verilmiştir. Burada R_s hücrenin seri direncini R_p ise şönt direncini temsil etmektedir [27].



Şekil 4. İdeal PV hücresi eşdeğer şeması [3].

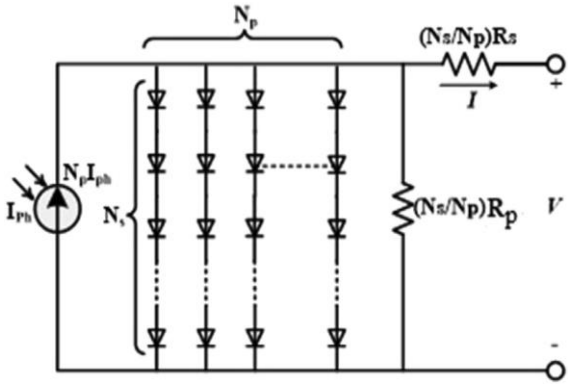
Bu hücreler seri ve paralel bağlanarak PV modüller elde edilir. Verilen devreye Kirchoff Akım ve Gerilim yasaları uygulandığında devrenin modeli elde edilmiş olur. Bunlar Denklem 1-2-3 ile verilmiştir.

$$I = I_{ph} - I_o - \frac{V_d}{R_p} \tag{4}$$

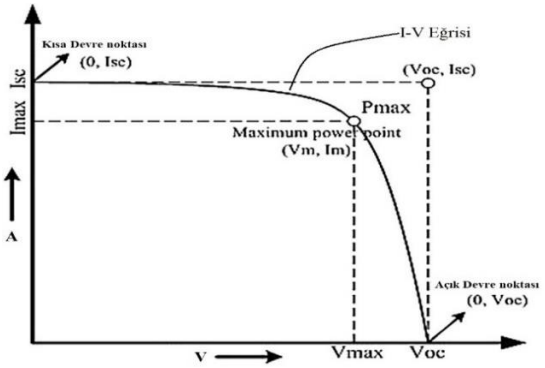
$$V_d = V + IR_s \tag{5}$$

$$I = I_{ph} - I_o \left[exp\left(\frac{V + IR_s}{aV_t}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \tag{6}$$

Bir PV modül birçok PV hücrenin seri-paralel bağlanmasıyla elde edilir. Şekil 5'de PV modül eşdeğer devresi verilmiştir.



Şekil 5. PV modül eşdeğer devresi [3].



Şekil 6. PV modül I-V grafiği.

Şekil 5'de verilen PV modülün uç akımı Denklem 7 ile verilmiştir [2-3, 28,29].

$$I = N_p \left\{ I_{pv} - I_{s1} \left[exp\left(\frac{V + IR_s\left(\frac{N_S}{N_p}\right)}{aN_S V_t} \right) - 1 \right] \right\} - \left\{ \frac{V + IR_s\left(\frac{N_S}{N_p}\right)}{R_{sh}\left(\frac{N_S}{N_p}\right)} \right\} \quad (7)$$

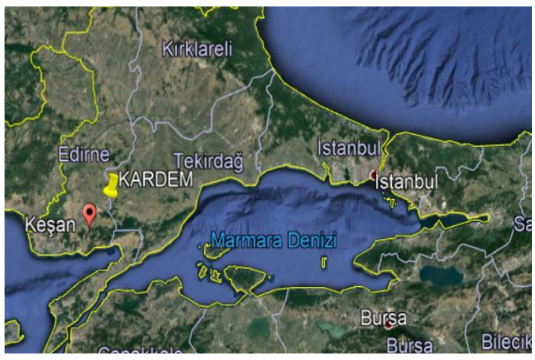
Bir PV panel uçlarına potansiyometre bağlanıp gerilim/akım grafiği elde edilmek istenirse karşımıza Şekil 6'daki gibi bir lineer olmayan eğri çıkacaktır. Bu fotovoltaik panelden maksimum güç alınmak istenirse çalışma noktası, akım-gerilim karakteristiğindeki eğrinin altına çizilebilecek en büyük alanlı bir dikdörtgen ile bulunabilir. Bu dikdörtgenin eğri ile kesişen noktası, maksimum güç noktasıdır ve PV sistemler MPP noktasında çalıştırılırlar. Güneş ışınımı günün her saati eşit olmayacağından pratikte MPP noktası da değişken olacaktır. Bu nedenle PV sistemlerden maksimum verimi alabilmek için kullanılan inverterlerin maksimum güç noktası takibi (MPPT) özelliğinin olması gereklidir.

4. Materyal ve Metot

PV enerji tesislerinin tasarımı ve projelendirilmesi için literatürde birçok program bulunmaktadır. Bu çalışmada kolay kullanımı ve kullanıcı dostu ara yüzü nedeniyle PVsyst Ver:7.2 programı tercih edilmiştir. Ayrıca çalışmanın simülasyonları HP Marka 64 bit işletim sistemi ve i7 işlemciye sahip bir bilgisayarda yapılmıştır.

4.1. Santral Yeri Çalışmaları

Bu çalışmada Şekil 7 ve Şekil 8 ile konumu gösterilen KARDEM Tekstil A.Ş firmasının çatısına şebekeye bağlı 1MWp değerine sahip GES sisteminin kurulum simülasyonu ve analizi amaçlanmıştır.



Şekil 7. GES Santral Konumu.



Şekil 8. GES santralinin kurulacağı fabrika görünümü

Tesisin enlemi 40°52'19.85"K boylamı ise 26°42'30.24"D olarak Google Earth yazılımı ile tespit edilmiştir. Aynı zamanda Şekil 9' da verildiği gibi bu fabrikanın etkin çatı alanı 10868m² dir.



Şekil 9. Çatı alanı görünümü.

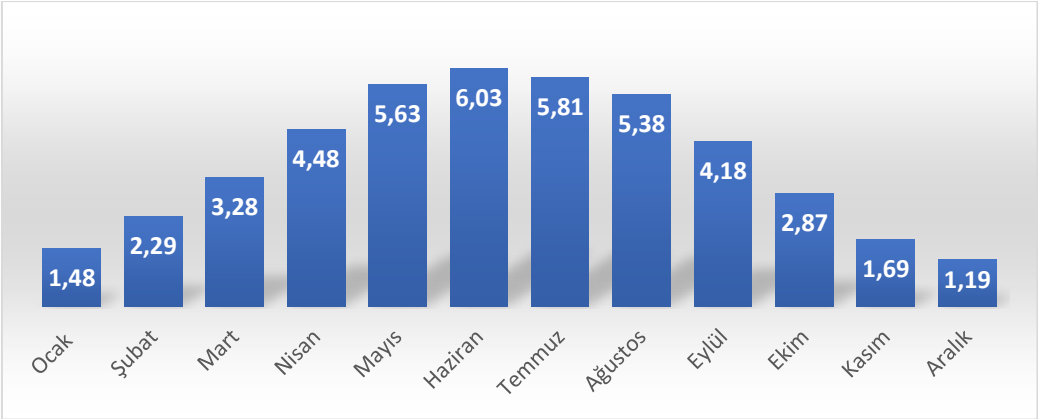


Şekil 10. GES kurulacak çatı görünümü.

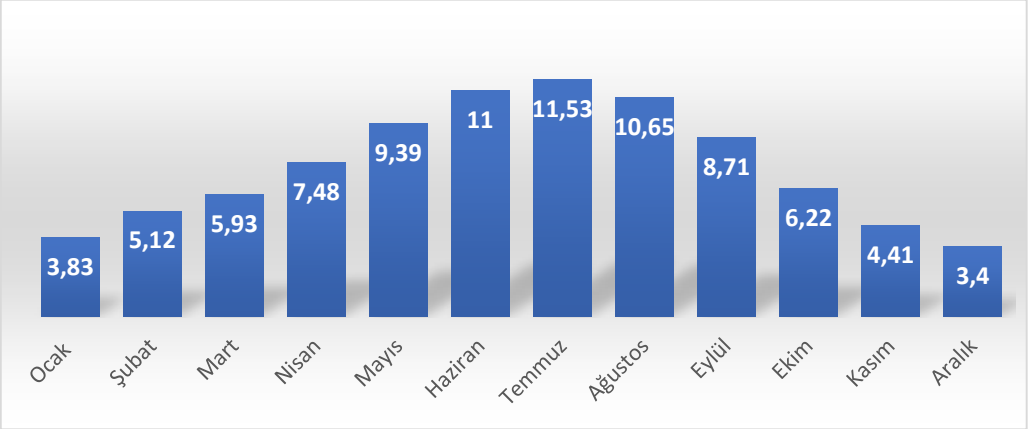
Şekil 10 ile fabrikanın gerçek görünümü verilmiştir. Fabrika üzerinde herhangi bir gölgelenme etkisi yaratacak nesne bulunmamaktadır.

4.2. Konumun İklim Verileri

Türkiye'nin güneş enerjisi atlası [30] verilerine göre Edirne ili Keşan ilçesi için en yüksek radyasyon değeri ve güneşlenme süresi yaz aylarında gerçekleşmektedir. Bu durum Şekil 11 ve Şekil 12 ile diğer aylara göre karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir. Şekil 11 ile verildiği gibi en yüksek güneş radyasyonu değeri Haziran-Temmuz aylarında en düşük güneş radyasyonu değeri ise Aralık-Ocak aylarında olduğu görülmüştür. Şekil 12'de ise GES'in kurulacağı santralin bulunduğu bölgenin günlük güneşlenme süresinin en yüksek olduğu dönemin Haziran-Ağustos ayları arasında ayları olduğu görülmektedir.

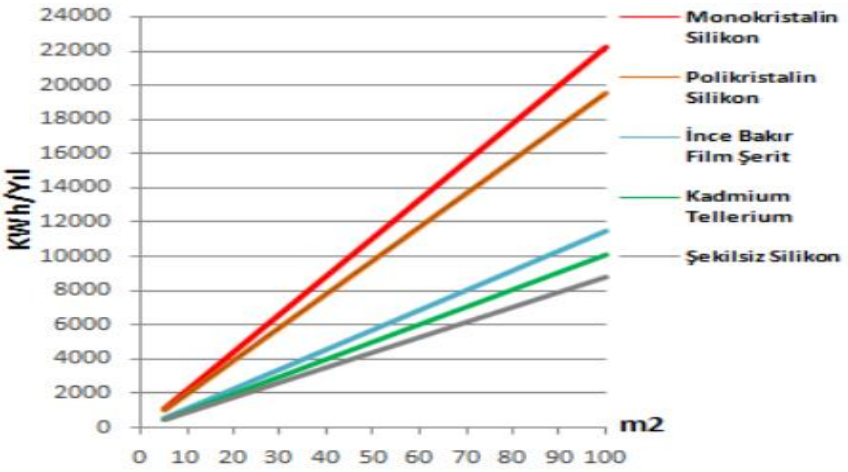


Şekil 11. Keşan ilçesi radyasyon değerleri $^{KW_h}/_{m^2} - gün$



Şekil 12. Keşan ilçesi güneşlenme süreleri (s)

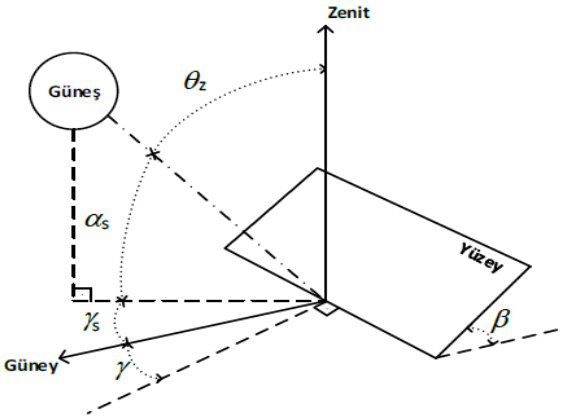
Ayrıca yapılan incelemelerde monokristal-silikon tip PV modüllerin diğer PV modüllere oranla bu bölge için, Şekil 13'de gösterildiği gibi en iyi performansı sergilediği anlaşılmıştır. Birim m² başına en yüksek enerji miktarı mono-si tip PV modülden alınacağı görülmektedir.



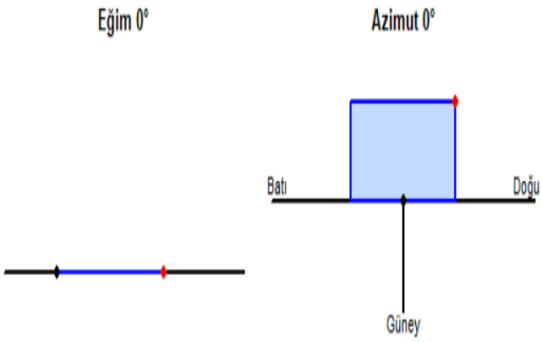
Şekil 13. PV tipi-üretilebilecek enerji $\boldsymbol{KW_h/yıl}$ [30].

4.3. Optimum Santral Tasarımı

PV Santral tasarımında en çok dikkat edilecek husus panellerin zenit, azimut ve eğim açısına göre optimum yerleşimidir. Şekil 14 ile zenit (θ_z), yüzey (β) ve azimut (γ) açısının hayali olarak dünyaya göre dik çizilen bir çizgi referans alındığındaki gösterimi verilmiştir [31].

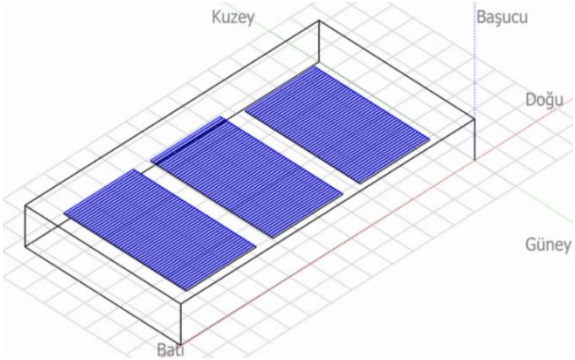


Şekil 14. Zenit, azimut, yüzey açısının gösterimi [31].

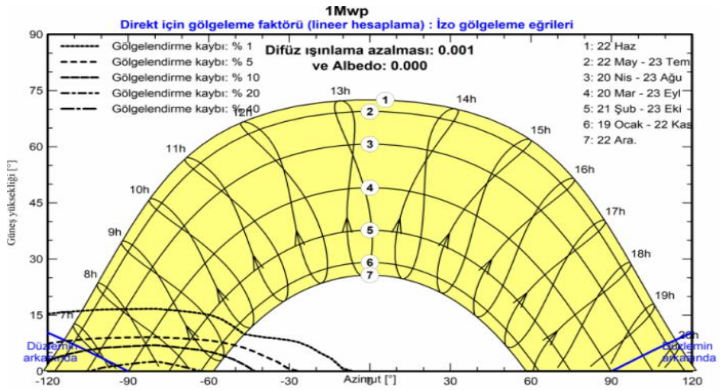


Şekil 15. PV modülerin optimum yönelimi.

PVsyst programına Nasa veri tabanı vasıtasıyla GES konumu seçilerek gerçek iklim verileri aktarılır. Daha sonra yıllık ışınım verisi kullanılarak panellerin optimum (kayıpsız) azimut açısı ve eğimi belirlenir. Solar PV santral kurulumu yapılması planlanan fabrika çatısının Şekil 10'da verildiği gibi eğimsiz ve düz bir yapıya sahip olması sebebiyle PV panellerin eğimsiz bir şekilde yerleştirilmesinin gölgelenme etkisi nedeniyle kayıplara neden olmayacağı simülasyon çalışmalarıyla görülmüştür. Bu nedenle Şekil 15'de görüldüğü gibi azimut açısı ve panel eğimi 0º olarak belirlenmiştir. Panellerin eğimsiz yerleştirilmesi nedeniyle oluşabilecek ilave çelik konstrüksiyon maliyetlerinden de kaçınılmış olacaktır. İlaveten GES kurulacak fabrika çatısının Şekil 9 ve Şekil 10'da görüldüğü gibi herhangi bir gölgelenmeye maruz kalmaması nedeniyle hesaplamalar gölgelenme etkisi olmadan yapılmıştır. Çatı üzerinde panellerin görünümü Şekil 16'da gösterilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmasında panel yerleşimleri dikkate alınmadan 1421 MW güç elde edilebileceği görülmüştür. Fakat kurulum yapılacak yerin coğrafi yeri, güneş doğuşuna göre nerede olduğu gibi bilgilerin simülasyona yansıtılması ve optimum panel yerleşimiyle bu tesisten yılda 1246 MW güç alınacağı tespit edilmiştir. GES kurulacak fabrikanın doğu-batı düzlemine göre yerleşimi ve çatı modüllerin yerleşimi Şekil 16'da verilmiştir. Santralin çatı üzerinde kapladığı alan 5017 m²'dir.

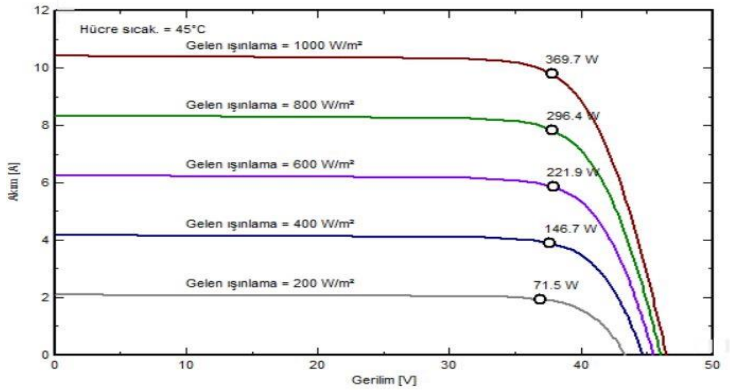


Şekil 16. PV modüllerin çatı üzerinde görünümü.

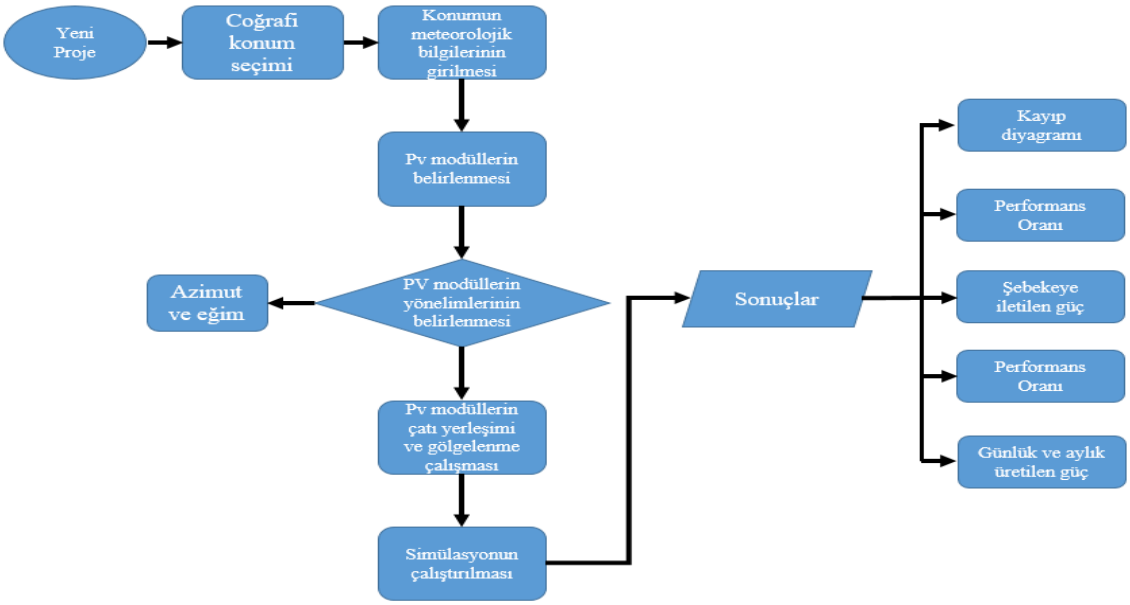


Şekil 17. PV modüllerin sene boyu ışınım grafiği.

Optimum panel yerleşimi nedeniyle PV modüller mevsim fark etmeksizin gün boyunca en uzun süre boyunca güneş ışınımına maruz kalacaklardır. Şekil 17'de bu santralin gölgelenme eğrisi verilmiştir. Tasarımı yapılan çatı tipi santralde 1MWp güç elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle 400Wp gücünde monokristalin silikon özelliğe sahip 2499 adet PV modül kullanılmıştır. Şekil 18'de ise tasarımda kullanılan PV modülün I-V grafiği sunulmuştur. Şekil 18 incelendiğinde 1000 $^{W}/_{m^2}$ ışınım ile standart test koşulları altında, PV modülün yaklaşık 370 W güç verdiği görülmektedir. Şekil 19'da ise PVsyst programı ile yapılan bu çalışmanın akış diyagramı verilmiştir. Bu çalışma ilgili akış diyagramına bağlı kalarak yürütülmüştür.



Şekil 18. Kullanılan PV modül I-V eğrisi.



Şekil 19. Çalışmanın akış diyagramı.

5. Bulgular

5.1. Güneş Işınımı, Ortam Sıcaklığı ve Enerji Üretimi

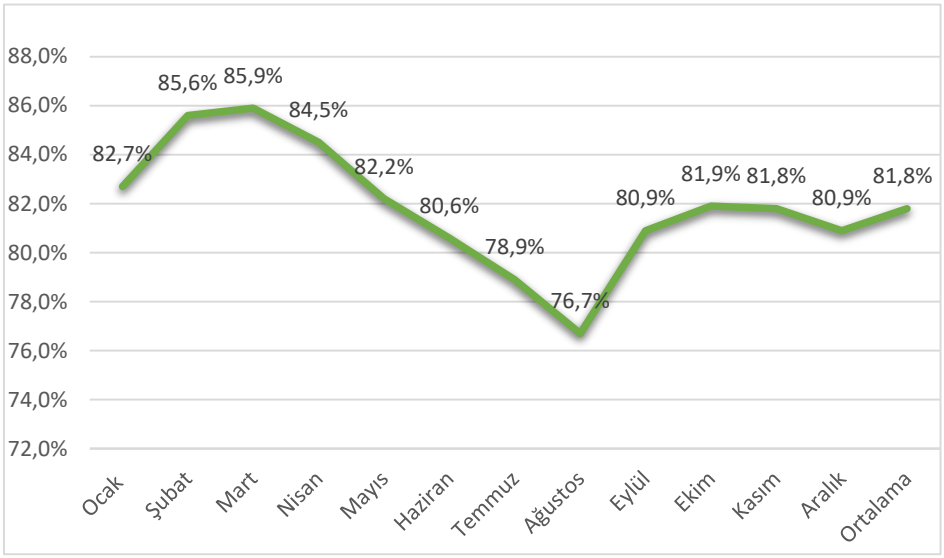
Tasarlanan GES ile üretilecek enerjinin aylara göre dağılımı Tablo 1 ile verilmiştir. PV modüllerin üzerine gelen güneş ışınımının arttığı Nisan-Ağustos ayları arasında aynı şekilde elektrik üretiminin de arttığı görülmüştür. En yüksek ve en düşük güç üretimi sırasıyla Haziran ve Aralık aylarında 168,7 MW – 36,3 MW olarak kaydedilmiştir. Ortam sıcaklığının en yüksek olduğu Temmuz ayında en yüksek elektrik enerjisi üretimi elde edilmemiştir. Bunun nedeni PV modüllerin yüksek sıcaklıktan joule kayıpları nedeniyle olumsuz etkilenmesidir. Bir yıl boyunca kolektör düzlemine gelecek ışınım 1533,1 KWh/m² olarak elde edilmiş buna karşılık toplam elektrik üretimi ise yaklaşık olarak 1246 MW olarak elde edilmiştir.

Tablo 1. Enerji üretiminin özeti.

Aylar	Işınım (KWh/m²)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Kolektör Düzlemine Gelen Işınım (KWh/m²)	Şebekeye Verilen Enerji (MWh)
Ocak	54,2	4,,81	54,2	44,8
Şubat	70,8	5,23	70,7	60,5
Mart	114,4	8,25	114,3	98,2
Nisan	145,8	13,6	145,7	123,1
Mayıs	185,4	19,14	185,3	152,3
Haziran	209,4	23,86	209,3	168,7
Temmuz	213	26,26	212,9	167,9
Ağustos	194,4	25,88	194,3	148,9
Eylül	147	22,21	146,9	118,9
Ekim	96,4	16,98	96,3	78,9
Kasım	58,5	10,78	58,4	47,8
Aralık	44,9	6	44,8	36,3
Yıl Toplamı	1534,2	16,19	1533,1	1246,3

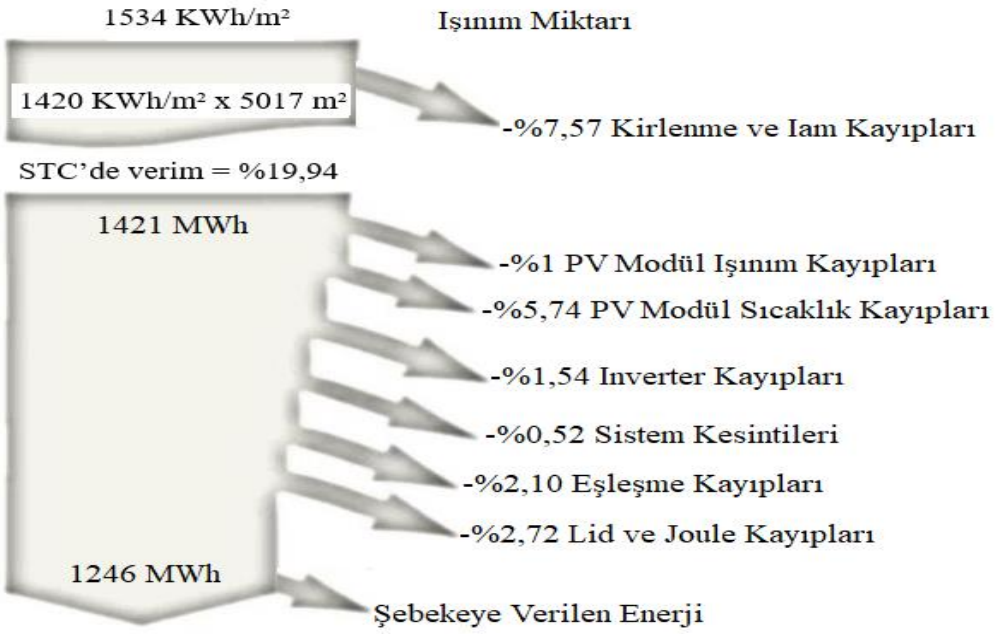
5.2. Performans Oranı ve Kayıplar

Tasarımı yapılan santralin bulunduğu konuma ait iklim şartlarına bağlı olarak performans oranı simülasyon sonuçlarıyla %81,80 olarak elde edilmiştir. Bu durum ay bazında ve yıllık olarak Şekil 20'de gösterilmektedir. PV modüllerin yüksek sıcaklık altında performansı düşeceğinden Temmuz ve Ağustos ayında en düşük performans elde edilmiştir. Bunun nedeni yüksek sıcaklığın PV modüller üzerindeki olumsuz etkisidir. En yüksek performans ise Şubat ve Mart aylarında olduğu görülmektedir.



Şekil 20. Santral performans oranı.

PV sistem kayıpları çoğunlukla yüksek dizi sıcaklıklarından, ışımanın yetersiz olmasından, yetersiz sistem boyutlandırmasından, sistem bileşenlerinin verimsizliği veya arızalanmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 21'de sistemin kayıp diyagramı verilmiştir.



Şekil 21. Kayıp diyagramı.

Tasarımı yapılan santralde yıllar içerisinde PV modüllerin kirlenmesi ve normal ışınım altında fotovoltaik hücrelerin yüzeyine ulaşan ışımanın azalmasına karşılık gelen Iam kayıplarının %7,57 PV modüllerin ısınmaya ve ışınıma bağlı kayıplarının %6,74 inverter kayıplarının %1,54 kesintiler ve eşleşme kayıplarının %2,62 joule ve monokristal–silikon PV modüllerin güneşe ilk maruz kalma anlarında oluşan kayıpların %2,72 olduğu görülmüştür. Bütün bu kayıplardan sonra standart test koşulları altında kurulacak santralin şebekeye yılda 1246 MW güç ileteceği elde edilmiştir. Tablo 2 ile inverter kayıplarının aylara göre dağılımı verilmiştir. Tabloda belirtilen kayıp miktarları bir aylık süredeki toplam kaybı ifade etmektedir.

Tablo 2. Inverter kayıpları.

Aylar	**Inverter Kayıpları KW**
Ocak	953
Şubat	1018
Mart	1390
Nisan	1741
Mayıs	2223
Haziran	2440
Temmuz	2629
Ağustos	2313
Eylül	1684
Ekim	1242
Kasım	997
Aralık	896
Toplam	**19525**

Güneş ışınımı ve ortam sıcaklığının en yüksek olduğu Temmuz ayında inverter kayıplarının 2629 KW ile en yüksek seviyede olduğu kaydedilmiştir. En düşük inverter kayıpları ise Aralık ayında oluştuğu görülmüştür. Yıllık toplam inverter nedeniyle oluşan güç kayıp değeri 19525 KW olarak elde edilmiştir. Bu kayıp değeri temel olarak inverterin gece gibi enerji üretimi olmayan zamanlarda stand-by konumunda kalması oluşan öz tüketimi ve DC-AC dönüşümü sırasında inverter içerisinde kullanılan devre elemanları, manyetik elemanlar, kapasitörler ve güç elektroniği elemanlarının anahtarlanması sırasında oluşan kayıplardır. Ayrıca kullanılan inverterin MPPT özelliği bulunduğundan inverter sürekli MPP noktasını arayacak ve bu bölgede salınım yapacaktır. Bu durumda inverterin veriminin düşmesine neden olabilmektedir [32-34].

5.3. Şebekeye Verilen Günlük Ortalama Enerji Miktarı

Bir GES'inin istenen bir süre boyunca şebekeye sağladığı toplam elektrik enerjisi miktarına toplam enerji denir. Saatlik, günlük ve aylık üretilen enerji miktarı Denklem 8-9-10 ile sırasıyla verilmektedir [16,35].

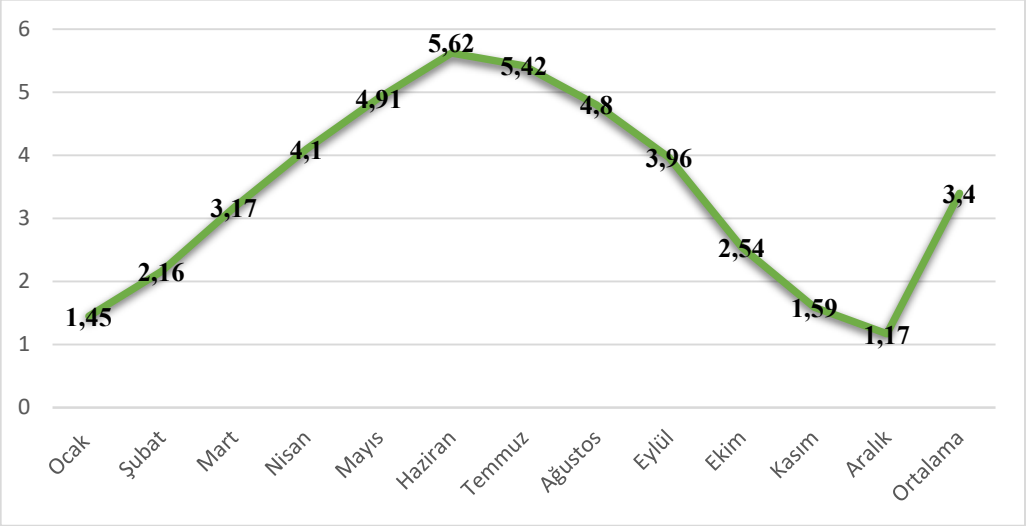
$$E_{AC,saat} = \sum_{d=1}^{60} E_{AC}\,, d \tag{8}$$

$$E_{AC,gün} = \sum_{s=1}^{24} E_{AC}\,, s \tag{9}$$

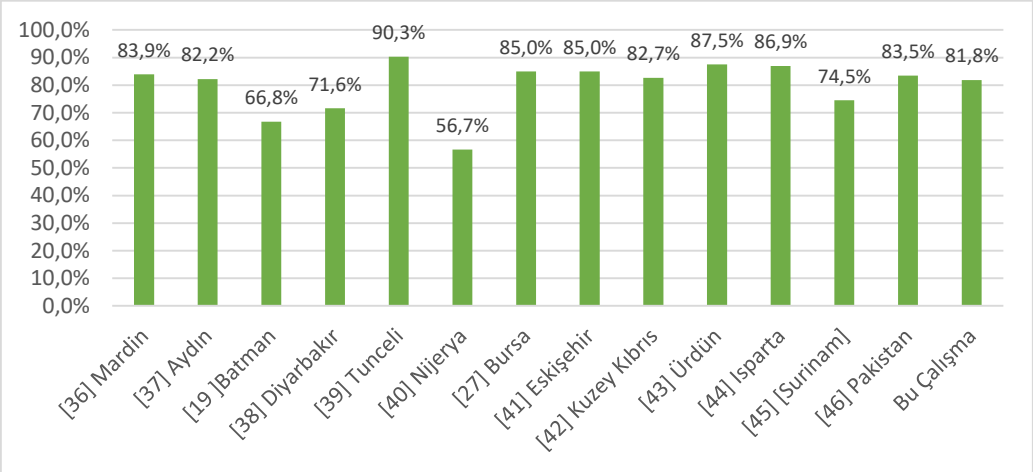
$$E_{AC,ay} = \sum_{g=1}^{n} E_{AC}\,, g \tag{10}$$

Denklem 8'de d indisi dakikayı, Denklem 9'da s indisi ise saati temsil etmektedir. E_{AC} ise sırasıyla dakikalık, saatlik ve aylık enerji çıktısını temsil etmektedir. Denklem 10'da verilen n indisi ise bir aydaki gün sayıdır. Denklem 11 ile günlük üretilen ortalama enerji miktarı verilmektedir [35].

$$Y_{gün} = \frac{1}{n} \sum_{g=1}^{n} E_{AC}\,, g \tag{11}$$

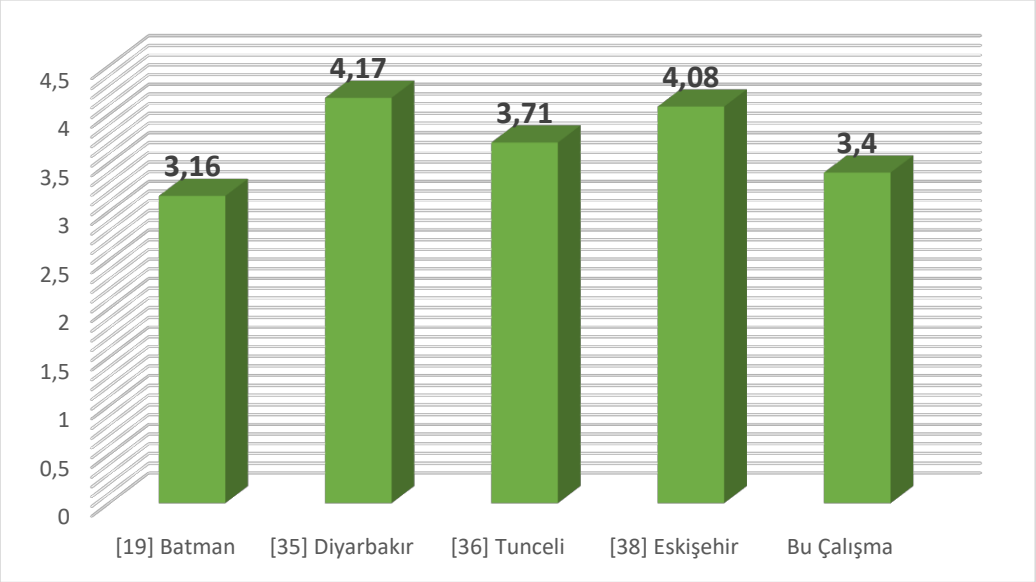


Şekil 22. Üretilen enerji miktarı.



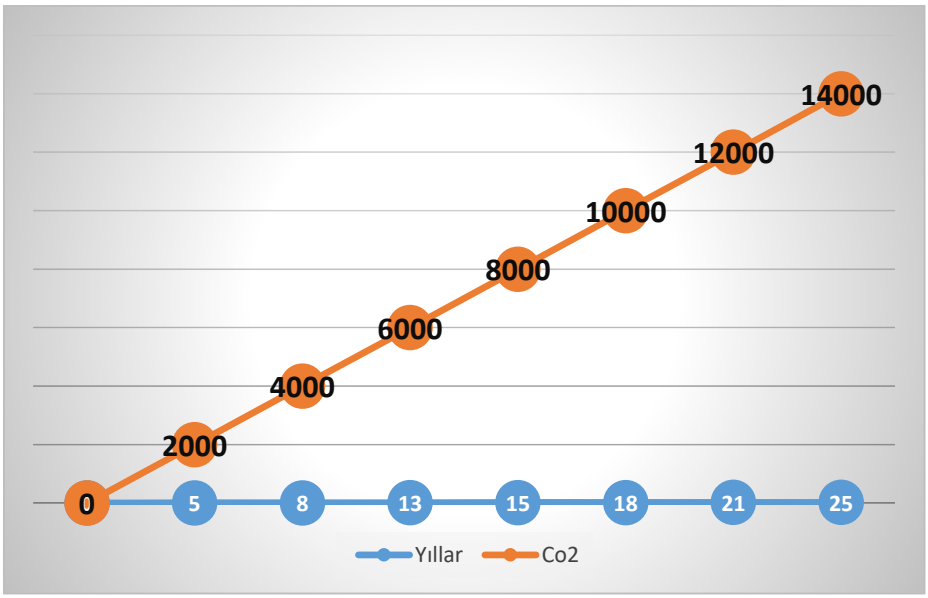
Şekil 23. Performans oranları karşılaştırması.

Santralin günlük ortalama ürettiği güç miktarı aylara göre Şekil 22'de verilmiştir. Üretilen enerjinin günlük ortalama miktarı 3,40 KWh/KWp-gün olarak elde edilmiştir. En yüksek elektrik enerjisinin üretildiği dönem yaz ayları olmuştur. En düşük günlük ortalama üretim Aralık ayında 1,17 KWh en yüksek güç üretimi ise 5,62 KWh olarak Haziran ayında kaydedilmiştir. Ülkemiz ve Dünya'nın farklı bölgeleri için PVsyst programı ile yapılan bazı çalışmaların performans oranı ile sunulan bu çalışmanın performans oranının karşılaştırması Şekil 23 ile verilmiştir. Yapılan bu karşılaştırma tablosu bir bütün olarak çalışmalarda sunulan santrallerin karşılaştırılması olarak sunulmuştur. PVsyst programıyla yapılan bu çalışmalarda santral konumu, panel gölgelenmesi, kayıplar gibi GES değişkenleri tam olarak simülasyon çalışmalarına yansıtılabildiğinden direkt olarak karşılaştırması yapılan GES'lerinin performans oranı dikkate alınmıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte GES'lerinden yüksek performans elde edildiği görülmektedir. MOSFET, IGBT, SCR gibi güç elektroniği elemanlarındaki sürekli ilerlemenin neticesinde inverter, converter ve mppt cihazlarındaki gelişmelerin yanında fotovoltaik panel teknolojisinin de gelişmesiyle birlikte GES'lerinin bir bütün olarak veriminin artarak, kayıplarının azaldığı ve dolayısıyla performanslarının arttığı söylenebilir [47,48]. Ülkemizin farklı şehirleri için yapılan çalışmalarda elde edilen günlük ortalama enerji çıktısı karşılaştırmalı olarak Şekil 24 ile verilmektedir. Günlük verim bir gün boyunca üretilen enerjinin ortalaması olarak Denklem 11 ile hesaplanmaktadır. Diğer şehirlerde elde edilen günlük ortalama güç miktarı 3,78 KWh/KWp iken sunulan bu çalışmada günlük ortalama güç miktarı 3,40 KWh/KWp olarak elde edilmiştir.



Şekil 24. Günlük ortalama enerji çıktısı.

Ayrıca analizi yapılan GES'inin 25 yıllık işletme süresi boyunca lineer bir artış oranıyla, eşdeğer üretime sahip bir enerji santraline kıyasla doğaya salınımının bertaraf edileceği miktardaki CO_2 miktarı Şekil 25 ile verilmektedir.



Şekil 25. Bertaraf edilen CO_2 miktarı.

Simülasyon sonuçlarında 1246 MW yıllık enerji üretimi olan böyle bir çatı tipi GES'inin 25 yıllık işletme süresince eşdeğer enerji üretimine sahip santrallere göre toplam 14000 ton daha az karbon salınımı yapacağı öngörülmektedir.

5.4. YEKDEM Katkıları

YEKDEM birçok Avrupa ülkesinde de olduğu gibi fosil yakıtlı, yüksek miktarda karbon salınımına neden olan enerji üretimini kısa vadede azaltmak, uzun vadedeyse bitirmeye yakın bir noktaya getirmek için yenilenebilir enerji üretimini desteklemek amacıyla ortaya çıkan bir destek mekanizmasıdır. Ülkemizde YEKDEM mekanizması kapsamında güncel olarak GES'ler için verilen destek miktarları Tablo 3 ile verilmiştir.

Tablo 3. YEKDEM destekleri.

	YEK Destekleme Mekanizması Fiyatı (kuruş/KWh)	YEK Destekleme Mekanizması Uygulama Süresi (yıl)	Yerli Katkı Fiyatı (kuruş/KWh)	Yerli Katkı Fiyatı Uygulama Süresi (yıl)	Toplam Alım Garantisi Süresi (yıl)
Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi	32	10	8	5	10

Tablo 3'e göre yerli katkıyla birlikte bu çalışmada analizi yapılan GES için ilk 5 yıl 2.492.000₺ ikinci 5 yıllık sürede ise 1.993.600₺ gelir elde edilebileceği görülmektedir. On yıllık alım garantili süre boyunca toplam 4.485.600₺ gelir elde edilebileceği söylenebilir. Verilen destek miktarları enflasyona göre güncelleneceğinden gelir miktarı artabilecektir. Ayrıca analizi yapılan bu GES gibi fabrika çatısına kurulması planlanan tesisler için alım garantisi olmadığında da fabrikada kullanılan elektrik enerjisi bedeli için dağıtım sistemi operatörü ile fatura mahsuplaşması yapılarak elektrik kullanım bedeli ödenmeyebilir, mahsuplaşma sonunda eğer varsa şebekeye iletilen fazla elektrik enerjisi bedeli ise faturalandırılabilir.

6. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada bir GES santrali yatırımı planlanmadan önce simülasyon çalışmalarıyla optimum tasarım yapılabileceği ortaya konulmuş, fizibilite çalışmalarına ışık tutulabileceği belirlenmiştir. Santral, kurulması planlanan yerin coğrafi koşulları belirlendiğinde maliyet hesaplarının da yapılabileceği görülmüştür. Ülkemiz coğrafi konumu gereği GES projelerinden yaz aylarında en yüksek enerji çıktısı alınabileceği tespit edilmiştir. Bununla birlikte PV modüllerin yüksek sıcaklıklardan olumsuz etkileneceği göz önünde bulundurulmalıdır. Ülkemiz tarım havzalarının sulanması için geniş su kanalları kullanmaktadır. Bu su kanallarının üzerine GES santralleri kurulduğunda hem buharlaşma nedeniyle su kaybı önlenecek hem de santraller doğal olarak soğuyacağından daha verimli çalışacaklardır. Bu tür santraller yapılabilirliği değerlendirilmesi gereken projeler olarak durmaktadır. Ayrıca Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansının (IRENA) [49] yaptığı analiz çalışmasına göre gelişen teknoloji, giderek artan rekabetçi tedarik ağı ve yapılan uygulamalar neticesinde artan deneyimlerin sonucunda solar fotovoltaik maliyetlerinin son yıllarda keskin bir şekilde düştüğünü vurgulamaktadır. Burada en büyük faktörün teknolojik gelişimlere paralel olarak solar hücre maliyetinin %90 oranında azalmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle GES tesislerinin kurulması güneşlenme süreleri yüksek olan, ekonomik olarak gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkeler ve bölgeler için geleneksel enerji santrallerine nazaran çok daha uygun olacaktır.

Çalışmanın çıktıları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Analizi yapılan çatı tipi GES'in simülasyon çalışmaları sonunda şebekeye 1 yıllık süre boyunca 1246 MW enerji verilebileceği elde edilmiştir.
- Bu santralin çatı üzerinde kaplayacağı alan 5017m² olacaktır.
- Santralin üreteceği maksimum güç miktarı 168,7 MWh olarak Haziran ayı olarak kaydedilmiştir. Minimum güç miktarı ise 36,3 MWh ile Aralık ayında olacaktır.
- Santralin kurulacağı bölgedeki meteorolojik verilere göre PV modül kolektör alanına gelen yatay ışınım miktarı 1534 KWh/m² olarak tespit edilmiştir.
- Bölgenin yıllık ortalama ortam sıcaklığının 16,19 °C olacağı görülmüştür.
- GES'in en yüksek ve en düşük günlük ortalama enerji verdiği aylar sırasıyla Haziran ve Aralık aylarıdır.
- GES'in günlük ortalama vereceği güç miktarı 3,40 KWh/KWp-gün olarak elde edilmiştir.
- Sistemin performans oranını %81,8 olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde kayıp oranı ise %18,2'dir. En yüksek ve en düşük performans oranı sırasıyla Mart ve Ağustos aylarında elde edilmiştir.
- GES'in işletme süresi boyunca benzer kapasiteli konvansiyonel santrallere göre 14000 ton daha az karbon salınımı yapacağı simülasyon sonuçlarıyla elde edilmiştir.

- Ülkemizin farklı bölgelerinde PVsyst programı aracılığıyla yapılan GES tasarımlarında elde edilen günlük güç miktarının ortalaması 3,78 KWh/KWp-gün olarak Şekil 22 ile literatüre sunulmuştur.
- YEKDEM ile sunulan GES projesinin ilk 10 yıllık garanti alım taahhüdü gereğince yaklaşık 4.500.000₺ gelir sağlayabileceği görülmüştür.

Analizi yapılan çatı tipi GES'in yüksek performansı nedeniyle bölgenin GES projeleri için uygun olduğu söylenebilir. Ayrıca GES santralleri dağıtık üretim santrallerinden olduğundan şebekeye entegrasyonlarında harmonik, reaktif güç, kısa devre analizi gibi çalışmalar yapılmalıdır.

Aynı bölgede için güneş takip sistemli GES'lerin analizi yapılarak bu çalışma ile karşılaştırılıp performans analizleri yapılabilir.

Yazarların Katkıları

O.T. makaledeki araştırma simülasyon ve değerlendirme çalışmaları yürüttü, makale yazımını yaptı. Makalenin son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Teşekkür

Yazar, KARDEM Tekstil AŞ'den Aydın MUTLU, İhsan KARA ve Ali Asım KELEŞ beylere teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

[1] Babatunde, A.A., Abbasoglu, Serkan., Evaluation of field data and simulation results of a photovoltaic system in countries with high solar radiation, Turk J Elec Eng & Comp Sci, 2015, 1608 – 1618.
[2] Bana, Sangram., Saini, R.P., Identification of unknown parameters of a single diode photovoltaic model using particle swarm optimization with binary constraints, Renewable Energy, Elsevier, 2017, vol. 101(C), pages 1299-1310.
[3] Arabshahi, M.R., Torkaman, H., Keyhani, A., A method for hybrid extraction of single-diode model parameters of photovoltaics, Renewable Energy, Elsevier, 2020, vol. 158(C), pages 236-252.
[4] URL1: https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri
[5] D. Okello., E. E. Van Dyk., F. J. Vorster., Analysis of measured and simulated performance data of a 3.2 kWp grid-connected PV system in Port Elizabeth, South Africa, Energy Convers. Management, 2015, vol. 100, pp. 10–15.
[6] M. S. Adaramola., Techno-economic analysis of a 2.1 kW rooftop photovoltaic-grid-tied system based on actual performance, Energy Convers. Manag. 2015, vol. 101, pp. 85–93.
[7] Y.M. Irwan., A.R. Amelia., M. Irwanto., Fareq.M., W.Z. Leow., N. Gomesh., I. Safwati., Stand-Alone Photovoltaic (SAPV) System Assessment using PVSYST Software, Energy Procedia, 2015, vol. 79.
[8] H. Wang., Z. Wang., X. Fu., Economic Analysis of 4MW Distributed Photovoltaic Power Generation Project Based on PVsyst Software Simulation, 2019, E3S Web Conf., vol. 118.
[9] H. K. Demiryürek., U. Arifoğlu., M. Bolat., Lebit Enerji Güneş Santralinin Pvsyst Programı ile Analizi, 2020, vol. 9, no. 3, pp. 1351–1363.
[10] H. Yağlı., Y. Koç., Gaziantep Bölgesi İçin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminde Kurulacak Panellerin Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi, Eur. J. Sci. Technol, 2020, no. 19, pp. 475–483.
[11] Mahmoud, Ouria., Aníbal, T. de Almeida., How to Decarbonize Developing Cities by 2050: A Case from Tabriz-Iran, Renewable Energy, 2021.
[12] Hilmy, Awad., Yasser, F. Nassar., Ahmed, Hafez., Mohamed, K. Sherbiny., Alaa, F.M Ali., Optimal design and economic feasibility of rooftop photovoltaic energy system for Assuit University, Egypt, Ain Shams Engineering Journal, 2022, Volume 13, Issue 3.
[13] Ravi, Kumar., C.S. Rajoria., Amit, Sharma., Sathans, Suhag., Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software: A case study, Materials Today: Proceedings, 2021, Volume 46, Part 11.
[14] Z. C. Viana., J. dos Santos Costa., J. V. Silva., R. M. Fernandes., Accuracy Analysis of Pvsyst Software for Estimating the Generation of a Photovoltaic System at the Polo de Inovação Campos dos Goytacazes, 2020 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition - Latin America (T&D LA), 2020, pp. 1-6.

[15] Bharosh, K. Yadav., Pankaj, K. Rauniyar., K. Sudhakar., Tri, R. Bajracharya., Shanmuga, Priya., Sustainable green campus in NEPAL: 3E analysis, International Journal of Low-Carbon Technologies, 2021, Volume 16, Issue 2, Pages 531–542.
[16] Charles, K.K. Sekyere., Francis, Davis., Richard, Opoku., Edward, Otoo., Gabriel, Takyi., Lawrence, Atepor., Performance evaluation of a 20 MW grid-coupled solar park located in the southern oceanic environment of Ghana, Cleaner Engineering and Technology, 2021, Volume 5.
[17] Mohammad, Baqir., Harpreet, K. Channi., Analysis and design of solar PV system using Pvsyst software, Materials Today: Proceedings, 2021.
[18] Akkaya, S., Akkaya, O. S., Samsun, Bayburt ve Mersin İllerine Kurulabilecek Güneş Enerjisi Santrallerinin Modellenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2021, 9(2): 759-773.
[19] Akcan, E., Kuncan, M., Minaz, M.R., Pvsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2020, (18), 248-261.
[20] Amani, Nima., Reza, Soroush., Abdul, Amir., Mashhad, Mostafa., Safarzadeh, Keyvan., Energy analysis for construction of a zero-energy residential building using thermal simulation in Iran. International Journal of Energy Sector Management, 2021.
[21] Goel, S., Sharma, R., Analysis of measured and simulated performance of a grid-connected PV system in eastern India. Environ Dev Sustain 23, 2021, 451–476.
[22] Odeh, S., Nguyen, T. H., Assessment Method to Identify the Potential of Rooftop PV Systems in the Residential Districts, Energies, 2021.
[23] Chandel, Rahul., Chandel, Shyam., Performance analysis outcome of a 19-MWp commercial solar photovoltaic plant with fixed-tilt, adjustable-tilt, and solar tracking configurations. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 2021.
[24] W. Omran., Performance Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Systems, PHd. Thesis, University of Waterloo, 2010.
[25] M. Buresch., Photovoltaic Energy System: Design and Installation, McGraw- Hill, New York, 1983.
[26] D. Jena., V.R. Ramana., Modeling of photovoltaic system for uniform and nonuniform irradiance: a critical review, Renew. Sustain. Energy Rev, 2015.
[27] İzgi, E., Özcan, Ö., Şebekeye bağlı fotovoltaik çatı sisteminin karşılaştırmalı performans analizi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2020, 127-140.
[28] Castro, R., Silva, M., Experimental and Theoretical Validation of One Diode and Three Parameters–Based PV Models, Energies, 2021.
[29] B. C. Babu., S. Gurjar., A Novel Simplified Two-Diode Model of Photovoltaic (PV) Module, IEEE Journal of Photovoltaics, 2014, vol. 4, no. 4, pp. 1156-1161.
[30] URL2: https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/22.aspx
[31] A. Durusu., Fotovoltaik güneş santral tasarımı ve saha optimizasyonu için yeni bir yaklaşım, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2016.
[32] S. Gonzalez, J. Stein, A. Fresquez, M. Ropp and D. Schutz, "Performance of utility interconnected photovoltaic inverters operating beyond typical modes of operation," 2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2013, pp. 2879-2884, doi: 10.1109/PVSC.2013.6745071.
[33] Koutroulis, E., & Blaabjerg, F. (2011). Methods for the optimal design of grid-connected PV inverters. International Journal Renewable Energy Research, 1, 54-64.
[34] E. Koutroulis and F. Blaabjerg, "Techniques for the optimal design of photovoltaic inverters interconnected with the electric grid," Proceedings of the 2011 14th European Conference on Power Electronics and Applications, 2011, pp. 1-10.
[35] Attari, Kamal., E. Ali., Asselman, Adel., Performance analysis and investigation of a grid-connected photovoltaic installation in Morocco, Energy Reports. 2016. 2. 261-266.
[36] M. M. Doğanay., Mardin Bölgesi Güneş (fotovoltaik) Enerjisi Potansiyel Analizi, Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, c. 3, sayı. 1, ss. 86-117, 2021.
[37] H. C. Bayrakçı., T. Gezer., Bir Güneş Enerjisi Santralinin Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği, Teknik Bilimler Dergisi, c. 9, sayı. 2, ss. 46-54, 2019.
[38] Haydaroğlu, C., Gümüş, B., Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7, ss.491 - 500, 2016.
[39] Y. Doğan., M. Korkmaz., Application and Economic Contribution of The Solar Energy System in Agricultural Plants: Using Pvsyst Software, Engineering Sciences, 2021.
[40] Ikoiwak, E. A., Big-alabo, A., Wofuru, İ., Design and Simulation of an On-Grid Photovoltaic System, International Journal of Engineering and Innovative Research, 2021.
[41] Adan, H. K., Başaran, F. Ü., Performance Investigation of On-Grid Solar Photovoltaic System in Eskişehir/Turkey, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi. 2021; 23(68): 557-566.
[42] S. Abbasoğlu., A. A. Babatunde., Evaluation of field data and simulation results of a photovoltaic system in countries with high solar radiation, Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2015, sayı. 6, ss. 1608-1618.
[43] Hamzeh, Ali., Hamed, Sadeq., Al-Omari, Zakaria., Sandouk, A., Aldahim, G., First Year Performance of a PV Plant in Jordan Compared to PV Plants in the Region. International Journal of Renewable Energy Research, 2015.
[44] Sancar, M. R., & Altınkaynak, M. (2021). Isparta İli İçin Farklı Çatı Tiplerinde Tasarlanan Fotovoltaik Sistemlerin Karşılaştırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (32), 1024-1028.

[45] Raghoebarsing, A., & Kalpoe, A. (2017). Performance and economic analysis of a 27 kW grid-connected photovoltaic system in Suriname. IET Renewable Power Generation, 11(12), 1545-1554.
[46] Faiz, F. U. H., Shakoor, R., Raheem, A., Umer, F., Rasheed, N., & Farhan, M. (2021). Modeling and Analysis of 3 MW Solar Photovoltaic Plant Using PVSyst at Islamia University of Bahawalpur, Pakistan. International Journal of Photoenergy, 2021.
[47] Khalil, S., Oumidou, N., Elkhatiri, A., & Cherkaoui, M. (2022). A Critical Review of DC/AC Converter Structures for Grid-Connected Photovoltaic Systems. In International Conference on Digital Technologies and Applications (pp. 497-506). Springer, Cham.
[48] Ben Saïd-Romdhane, M., Skander-Mustapha, S., & Slama-Belkhodja, I. (2020). Analysis of performance criteria for an optimal PV system configuration. SN Applied Sciences, 2(8), 1-8.c
[49] IRENA (2020), Renewable power generation costs in 2019,International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 627-634, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1107291

Java Temelli Rasgele Sayı Dizisi Test Ortamı Uygulaması

Kenan İNCE[1]
[1]Yazılım Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Turkey
[1]kenanince@gmail.com

(Geliş/Received: 21/04/2022; Kabul/Accepted: 07/09/2022)

Öz: Bu çalışmada kriptografinin temel taşlarından olan rasgele sayıların rasgelelik analizlerinin Java ortamında arayüz aracılığı ile kolay yapılabilmesi hedeflenmiştir. Rasgele sayı üreteçleri (RSÜ) siber güvenlik çalışmaların önemli bir alanıdır. Farklı kategorilerdeki RSÜ'ler kullanılarak üretilmiş olan sayı dizilerinin tahmin, taklit ve tekrar edilemez olması için güçlü istatistiki özellikler göstermesi gerekmektedir. Üretilen sayıların bu şartlara uyumluluğu farklı istatistiksel testlerden oluşan test ortamları kullanılarak yapılmaktadır. Rasgele sayı üreteçleriyle üretilen sayıların rasgelelik analizlerini yapan farklı programlama dilleri ile geliştirilmiş test ortamları mevcuttur. Fakat bu test ortamlarının çalıştırılabilmesi için gerekli kütüphanelerin yüklenmesi gerekmektedir. Son zamanlarda geliştirilen birkaç örnek dışında rassallık analizleri için hala terminal arayüzeri kullanılmaktadır. Bu çalışmada NIST SP 800-22 Rev.1a testleri ile analiz yapan, Java Swing tabanlı bir masaüstü uygulaması geliştirilmiştir. Uygulamada üretilmiş olan sayı dizileri test edilebileceği gibi aynı zamanda işletim sistemine göre Java SecureRandom kütüphanesinin sunmuş olduğu algoritmaları kullanarak rasgele sayı üretimi ve ardından üretilen bit dizilerin testleri de yapılabilmektedir.

Anahtar kelimeler: Java SecureRandom, NIST Test Suit, RSÜ (Rasgele SayıÜreteçleri), SHA (Secure Hash Algorithm)

Java Based Random Number Sequence Test Suite

Abstract: In this study, it is aimed that the randomness analysis of random numbers, which are the cornerstones of cryptography, can be done easily through the interface in the Java environment. Random number generators (RSU) are an important area of cyber security studies. Sequences of numbers produced using RNGs of different categories must show strong statistical properties in order to be unpredictable, inimitable and unrepeatable. The compatibility of the generated numbers with these conditions is carried out using test environments consisting of different statistical tests. There are test environments developed with different programming languages that analyze the randomness of numbers produced by random number generators. However, in order to run these test environments, the necessary libraries must be loaded. Terminal interfaces are still used for randomness analysis, except for a few recent examples. In this study, a Java Swing-based desktop application was developed that analyzes with NIST SP 800-22 Rev.1a tests. The number sequences produced in the application can be tested, as well as the random number generation and then the tests of the generated bit sequences by using the algorithms offered by the Java SecureRandom library according to the operating system.

Key words: Java SecureRandom, NIST Test Suit, RNG, SHA (Secure Hash Algorithm)

1. Giriş

Kriptolojinin amacı, bilginin mahremiyetini gerekli kişiler için gerekli süre boyunca sağlamaktır. Bilginin çoğalması, erişim yollarının ve hızının artması ile birlikte kriptoloji çalışmaları önem kazanmıştır. Özellikle bütün dünyada kişisel verilerin korunması kapsamında kanunlar çıkarılmıştır [1].

Veri yetkilendirmesi en temelde seçilen bir şifre ile ya da parmak izi, retina verisi gibi kişiye özel taklit edilemez kaynaklar kullanılarak sağlanır. Kullanıcının erişim tercihi her ne ise bu verinin de şifrelenerek saklanması ve buna göre yetkilendirme yapılması gerekir. Günümüzde bir verinin türüne bakılmaksızın aktarılırken, yetkilendirme yaparken veya kaydedilirken bütün aşamalarında bir şekilde şifrelemeden geçmesi gerekmektedir.

Şifreleme için geliştirilmiş birçok yöntem mevcuttur [2-4]. Bütün şifreleme algoritmalarının kesişim noktası Rasgele Sayı Üreteçleridir (RSÜ) denilebilir [5-7]. Akış şifreleme gibi şifreleme yöntemleri RSÜ üzerine inşa edilirken, bir kısmı ise güvenli anahtar üretimi aşamasında kullanırlar.

RSÜ iki ana kategoride incelenir, Gerçek Rasgele Sayı Üreteçleri (GRSÜ) ve Sözde Rasgele Sayı Üreteçleri (SRSÜ). GRSÜ genel olarak fiziksel olaylara dayanan üreteçler, SRSÜ ise yazılımsal olarak çeşitli karıştırma teknikleri kullanan deterministik üreteçlerdir. GRSÜ kriptolojik olarak daha güvenlidir ancak daha maliyetli ve zahmetli yöntemlerdir. SRSÜ ise daha ulaşılabilir fakat güvenlik zafiyetleri olan yöntemlerdir. Günümüzde yaygın kullanılan bütün programlama dillerinde rasgele sayı üretim kütüphaneleri mevcuttur. Fakat genel olarak bu üreteçler kriptografik olarak güvenli sayılmazlar.

Sorumlu yazar: kenanince@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: [1]0000-0003-4709-9557

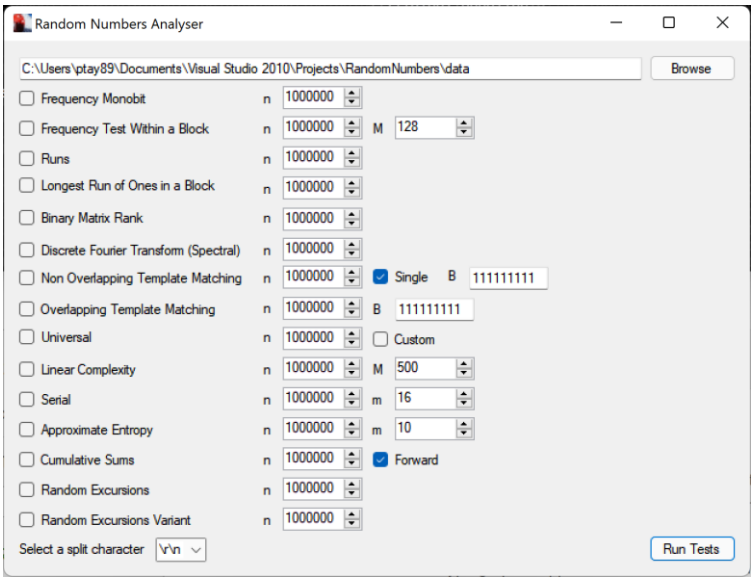
Bir RSÜ'nün kriptografik olarak güvenli sayılabilmesi için iyi istatistiksel özelliklere sahip olmalıdır. Yani tahmin, taklit ve tekrar edilemez olduğunun sunulabilmesi gerekir. Bu noktada rassallık test ortamları bu istatistiksel özellikleri test etmektedirler. Yaygın kullanılan rassallık test ortamları NIST SP 800-22 Rev.1a [8], Diehard [9], TESTU01 [10], ENT [11] ve CryptX [12] uygulamalarıdır. Bu test ortamlarının ortak yönü, RSÜ'ler tarafından üretilmiş olan sayı dizilerini istatistiksel testlerden geçirerek beklenen özellikleri sağlayıp sağlamadığını bir temel olarak ortaya koymaktır. Bu anlamda RSÜ'ler için temel doğru niteliğindedirler. Bu test ortamları arasında ortak testler olmakla birlikte farklılıkları da vardır.

Bütün RSÜ çalışmalarında, önerilen RSÜ'nin güvenilirliğini göstermek adına rassallık analiz test sonuçları sunulmalıdır. Araştırmacılar bir şekilde geliştirilmiş olan bu araçları kullanarak önerdikleri yöntemlerin güvenilirliğini göstermektedir.

Literatürde yapılan araştırma sonucu, görsel arayüz kullanan, kullanıcı dostu uygulamaar araştırılmıştır. Fakat ulaşılan uygulamaların ihtiyacı yeterli ölçüde sağlamadığı düşünülmüştür. Bu sebeple bu uygulamanın geliştirilmesine karar verilmiştir.

NIST STS'nin dökümantasyonunda K.1 bölümünde grafiksel kullanıcı arayüzünden bahsedilmektedir. Bu uygulama çalıştırılarak sonuç alınamamış fakat ilgili dökümanda bahsedilen şekli ile sonuçların text dosyası olarak kaydedildiği saptanmıştır. Girdi olarak ikili diziyi yine sadece text olarak almaktadır. Bu durum RSÜ çalışmaları için çalışma dışı zaman kaybı anlamına gelmektedir.

Araştırmamızda karşılaşılan bir diğer uygulama Şekil 1'de gösterilen, ulaşılan sayfada belirtildiği üzere C# dili ile implemente edilmiştir. Ancak bu uygulamanın geliştirici sayfası veya dokümantasyonuna ulaşılamamıştır. Bu sebeple istenilen amaçla kullanılmaya uygun bulunmamıştır. Öncelikle rasgele sayı üretim işlevi bulunmamaktadır. Ayrıca bütün testlere uzunluk değerinin tek tek atanması şeklinde bir yol izlenmiştir. Oysa bir RSÜ test edilirken üretmiş olduğu dizinin bütün testlerden elde edilen p değerlerinin sunulması gerekir [13].



Şekil 1. Araştırma sonucu karşılaşılan bir RSÜ test ortamı

Bir diğer karşılaşılan test ortamı ise Owlet RNG Analyzer uygulamasıdır [14]. Fakat bu uygulama lisanslı bir uygulamadır. Owlet RNG Analyzer uygulamasının geliştirilen bu çalışma gibi detaylı bir uygulama olduğu düşünülmektedir. Sadece NIST STS ile değil, diğer test ortamlarını da kullanarak test yapılabilmektedir. Ancak lisanslı bir uygulama olması ve açık kaynak olmaması dezavantajlarıdır.

Yapılan araştırma sonucu bulunan uygulamaların dezavantajlarından ötürü bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın diğer çalışmalardan ayrılan en büyük özellikleri:

1. Açık kaynak olarak geliştirilmiş ve çevrimiçi olarak kaynak kodları ile kullanıma sunulmuştur.
2. Java ile geliştirildiği için, diğer uygulamalar gibi işletim sistemi bağımlılığı yoktur.

Bu çalışmanın literatüre katkısı, ara yüz yardımı ile, herhangi bir teknik donanıma ihtiyaç duymadan geliştirilen RSÜ mimarisini hızlıca test edilebilmesini sağlayan, platformdan bağımsız bir Java uygulamasının geliştirilmiş olmasıdır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada Java programlama dili, JDK 11 (LTS) üzerinde geliştirilmiştir. Geliştirme ortamı olarak Netbeans 12.x ve arayüz kütüphanesi olarak Swing tercih edilmiştir.

2.1. NIST Testleri

Geliştirilen uygulama NIST istatistiksel testlerini içermektedir. NIST 15 adet testten oluşmaktadır. Bu testler üretilen akışların farklı istatistiksel özelliklerini test etmektedir. Bu sayede kriptografik olarak güvenilir olup olmadığı ortaya konulabilir. Tabiki gerçek bir rassal olaylar dizisi NIST testlerinden rassal değil olarak değerlendirilebilir. Bunun sebebi rasgelelik kavramının doğasından ötürüdür. Ancak SRSÜ ile üretilen akışlar arka planlarında deterministik bir sistem barındırdıklarından ötürü bu istatistiksel testlerden başarılı sonuç almadığı takdirde kriptografik olarak güvenli sayılamazlar.

NIST aşağıda kısaca açıklanan 15 istatistiksel testten oluşmaktadır.

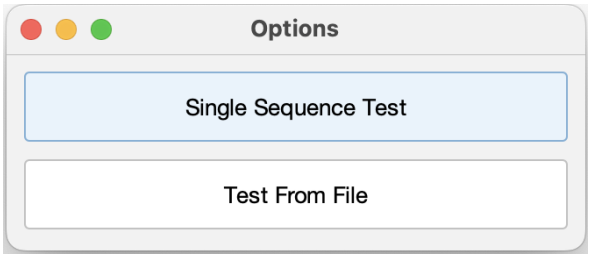
- **Frekans testi (Frequency-Monobit test):** Bu testin amacı test edilen akıştaki 1 ve 0 değerlerinin kıyasi oranlarını ortaya koymaktır. Hilesiz bir para atışı rassal olayında tekrar sayısı arttıkça yazı ve tura sayıları birbirine yaklaşır. Bu testin gerçekleştirdiği analiz bu para atma olayındaki gibi, akıştaki 1 ve 0 değerlerinin sayılarının birbirine belli bir aralık dahilinde yakın ya da eşit olması gerekmektedir.
- **Bir blokdaki frekans testi (Frequency test within a block):** Bu test frekans testi gibidir ancak frekans testinin M bit blok içerisinde gerçekleştirilmesi şeklindedir. M=1 alındığında frekans testi ile aynı sonucu verir. Bu sebeple M değerinin 2 ve üzeri seçilmesi gerekir. NIST dökümanına göre M değerinin 20 ve üzeri seçilmesi tavsiye edilmiştir.
- **Koşu testi (Runs test):** Bu testin amacı akıştaki ardışık aynı bitlerin uzunluklarını analiz etmektir. k uzunluğundaki bir gezintide k tane aynı bit olmalıdır. Bu test, bu tür sıfırlar ve birler arasındaki salınımın çok hızlı veya çok yavaş olup olmadığını belirler.
- **Bir bloktaki en uzun süreli koşu testi (Test for the longest run of ones in a block):** Bu testin amacı, test edilen dizideki en uzun koşunun uzunluğunun, rastgele bir dizide beklenen en uzun koşunun uzunluğuyla tutarlı olup olmadığını belirlemektir.
- **İkili matris derece testi (Binary matrix rank test):** Bu testin amacı, orijinal dizinin sabit uzunluktaki alt dizileri arasındaki doğrusal bağımlılığı kontrol etmektir.
- **Ayrık Fourier dönüşüm testi (Discrete Fourier transform test):** Bu testin odak noktası, dizinin Ayrık Fourier Dönüşümündeki tepe yükseklikleridir. Bu testin amacı, test edilen dizideki rastgelelik varsayımından bir sapmayı gösterecek olan periyodik özellikleri (yani birbirine yakın tekrarlayan modeller) tespit etmektir.
- **Örtüşmeyen şablon eşleştirme testi (Non-overlapping template matching test):** Bu testin odak noktası, önceden belirlenmiş hedef dizilerin oluşum sayısıdır. Belirli bir periyodik olmayan şablonun çok fazla tekrarını üreten oluşturucuları tespit etmektir. Test belirli bir m-bit şablonunu aramak için bir m-bit penceresi kullanılır. Desen bulunamazsa, pencere bir bit ilerletilir. Model bulunursa, pencere bulunan modelden sonraki bit'e sıfırlanır ve arama devam eder. M-bit bloklar GF^m alanındaki indirgenemez polinomlardır.
- **Örtüşen şablon eşleştirme testi (Overlapping template matching test):** Örtüşmeyen şablon eşleştirme testinde olduğu gibi m-bit pencerelerde m-bit blokları eşleştirir. Aralarındaki fark şablon eşleştiğinde aramaya devam etmeden önce pencerenin sadece 1 bit kaydırılmasıdır.
- **Evrensel istatistiksel test (Universtal statistical test):** Bu testin odak noktası, eşleşen desenler arasındaki bit sayısıdır. Testin amacı, dizinin bilgi kaybı olmadan önemli ölçüde sıkıştırılıp sıkıştırılamayacağını tespit etmektir. Önemli ölçüde sıkıştırılabilir bir dizinin rastgele olmadığı kabul edilir.
- **Doğrusal karmaşıklık testi (Linear complexity test):** Bu testin temelini LFSR çalışma yapısı oluşturmaktadır. Akışın rasgele kabul edilecek kadar karmaşık olup olmadığını belirler. Rasgele diziler uzun LFSR'ler ile ifade edilebilir. Bu sebeple çok kısa LFSR bulunması akışın rasgele olmadığı anlamına gelir.
- **Serilik testi (Serial test):** Bu testin odak noktası, tüm dizi boyunca olası tüm örtüşen m-bit modellerinin frekansıdır. Bu testte de block boyu m, 1 olarak alındığında frekans testi ile aynı karakteristikte olmaktadır.

- **Yaklaşık entropi testi (Approximate entropy test):** Testin amacı, iki ardışık uzunluktaki (m ve m+1) örtüşen blokların sıklığını rastgele bir dizi için beklenen sonuçla karşılaştırmaktır.
- **Kümülatif toplamlar testi (Cumulative sums test):** Bu testin odak noktası, akıştaki 1 sayısı 1 ile ve 0 sayısı -1 ile ifade edildiğinde ardışık toplamların maksimumdan (0) sapma miktarını analiz etmektir. Testin amacı, test edilen dizide meydana gelen kısmi dizilerin kümülatif toplamının, rastgele diziler için bu kümülatif toplamın beklenen davranışına göre çok büyük veya çok küçük olup olmadığını belirlemektir.
- **Rasgele geziler testi (Random excursions test):** Rastgele yürüyüş döngüsü, başlangıç noktasından başlayıp orijine geri dönen, rasgele alınan birim uzunluktaki bir dizi adımdan oluşur. Bu testin amacı, bir döngü içindeki belirli bir duruma yapılan ziyaretlerin sayısının, rastgele bir dizi için beklenenden farklı olup olmadığını belirlemektir.
- **Rasgele geziler varyant testi (Random excursions variant test):** Bu testin amacı, rastgele yürüyüşte çeşitli durumlara beklenen ziyaret sayısından sapmaları tespit etmektir.

2.2. Uygulama

2.2.1. Karşılama formu

Uygulamanın karşılama ekranında iki seçenek bulunmaktadır. Bunlar “Single Sequence Test” ve “Test From File” seçenekleridir. Birinci seçenek panoya alınan veya uygulamanın sunmuş olduğu oluşturucu algoritmalar yardımı ile üretilen tek bir ikili akışın testi için geliştirilen sayfaya yöntendirme yapmaktadır. İkinci seçenekte ise, ikili tabanda farklı ayıraçlar ile dosya formatında kaydedilmiş akışların test edilmesi için tasarlanmış arayüze yönlendirmektedir. Bu karşılama sayfasının ekran görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Uygulama karşılama arayüzü

2.2.2. Test arayüzü

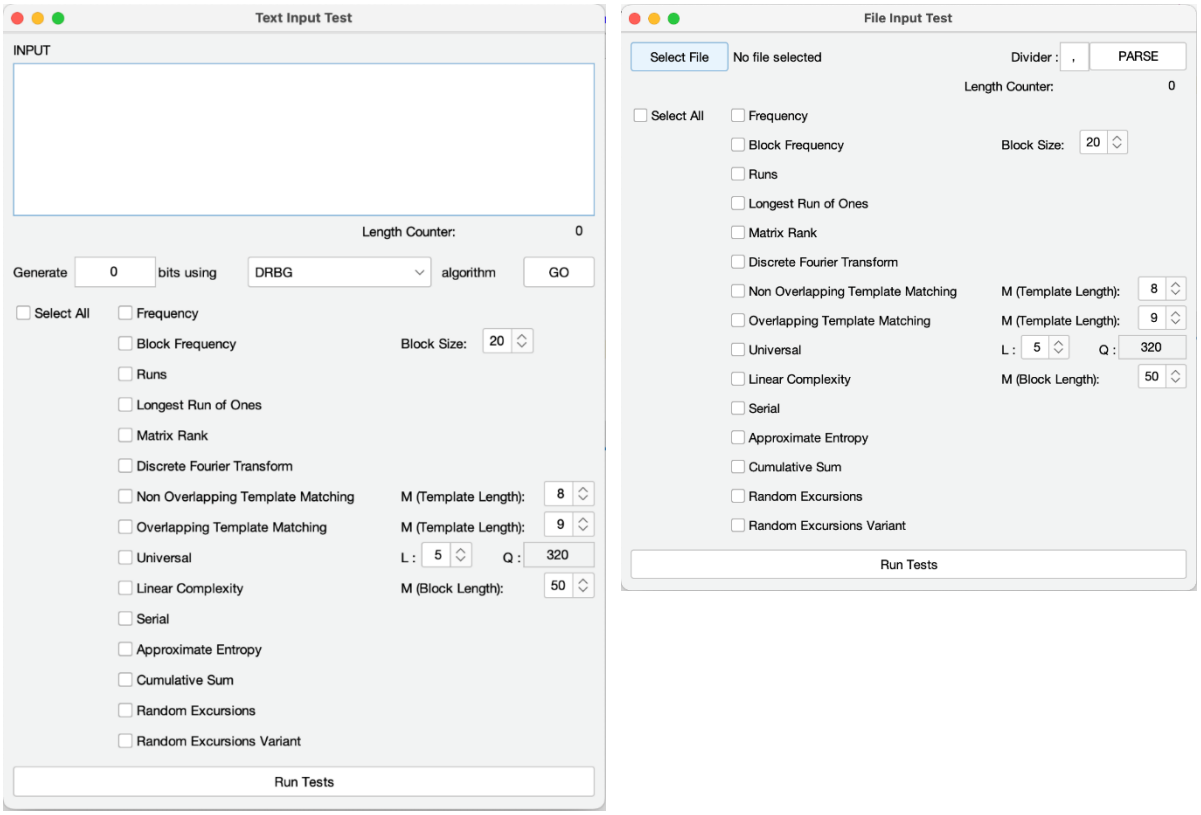
Karşılama ekranında “Single Sequence Test” butonuna tıklayarak Şekil 3.a, “Test From File” butonuna tıklanarak Şekil 3.b’de sunulmuş olan arayüzlere geçiş yapılır. Şekil 3.a’da verilmiş olaran arayüz iki farklı şekilde kullanılabilir. İlk olarak herhangi bir RSÜ tarafından üretilmiş olan akış panoya alınıp INPUT alanına yapıştırılarak test gerçekleştirilebilir. İkinci seçenek olarak ise, ileride detaylandırılacak olan algoritmalardan birini seçerek, belirtilen uzunlukta ikili bir akış oluşturarak test yapılabilir.

Akış oluşturma aşamasında temel olarak Java SecureRandom kütüphanesi kullanılmıştır. SecureRandom kütüphanesi programlama dillerinde standart olarak sunulan “random()” veya “rand()” fonksiyonları gibi kriptografik olarak zayıf bir PRNG olmadığı yapılan testlerde görülmüştür [17]. SecureRandom kütüphanesi içerisinde sunulan rasgele sayı üretme algoritmaları Tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca ilgili seçim arayüzü Şekil 4’de sunulmuştur. Tablodan görülebileceği gibi bütün algoritmalar bütün işletim sistemlerin mevcut değildir. Ancak uygulama bütün işletim sistemlerinde sorunsuz çalışmakta, fakat işletim sisteminde var olan algoritmalar seçenek olarak gelmektedir. Ayrıca sunulan algoritmalar arasında Trivium yapısı [15] ile rasgele ikili akış üretme seçeneği eklenmiş durumdadır. Zaten açık kaynak olması sebebi ile farklı geliştiriciler tarafından bu algoritmaların sayısı arttırılabilir durumdadır. Trivium seçeneği ve eklenecek diğer algoritmalar implemete edileceğinden bütün işletim sistemlerinde çalışacak halde olacaktır.

Şekil 3 b’de verilmiş olarna arayüzde öncelikle akışın yer aldığı dosyanın seçilmesi gerekmektedir. Daha sonra dosyada bitler arası ayıraç ne ise bunun verilmesi beklenmekte, varsayılan ayıraç olarak “,” tercih edilmiştir. Bu işlemlerden sonra “PARSE” butonu ile dosya taranarak, ilgili ayıraç yardımı ile bit akışına dönüştürülmekte ve testler gerçekleştirilebilmektedir.

Şekil 3'te görülebileceği gibi kullanıcı NIST içerisinde yer alan bütün testleri uygulayabileceği gibi bazı testleri hariç tutarak akışı test edebilmektedir. Ayrıca NIST dökümantasyonuna göre kullanıcının değişiklik yapabileceği parametreleri değiştirerek testi kişiselleştirebilmektedir.

SecureRandom ile bit dizisi üretilerek veya panodan yapıştırılarak girdi penceresi doldurulduktan sonra hangi istatistiksel testlerin uygulanacağı seçilir. Aslında bütün NIST STS testlerinden geçmeyen bir RSÜ başarılı kabul edilmez. Ancak geliştirme esnasında özel olarak bazı testler tekrarlanarak üretecin karakteristiği analiz edilmek istenebilir. Bu sebeple bu testler seçimli halde uygulamaya aktarılmıştır.

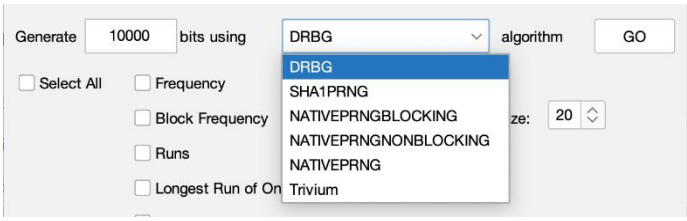


(a) (b)

Şekil 3. Test arayüzü a) Tek bir akış arayüzü b) Dosya taranarak yapılacak test arayüzü

Tablo 1. İşletim sistemlerine göre SecureRandom tohum algoritmaları

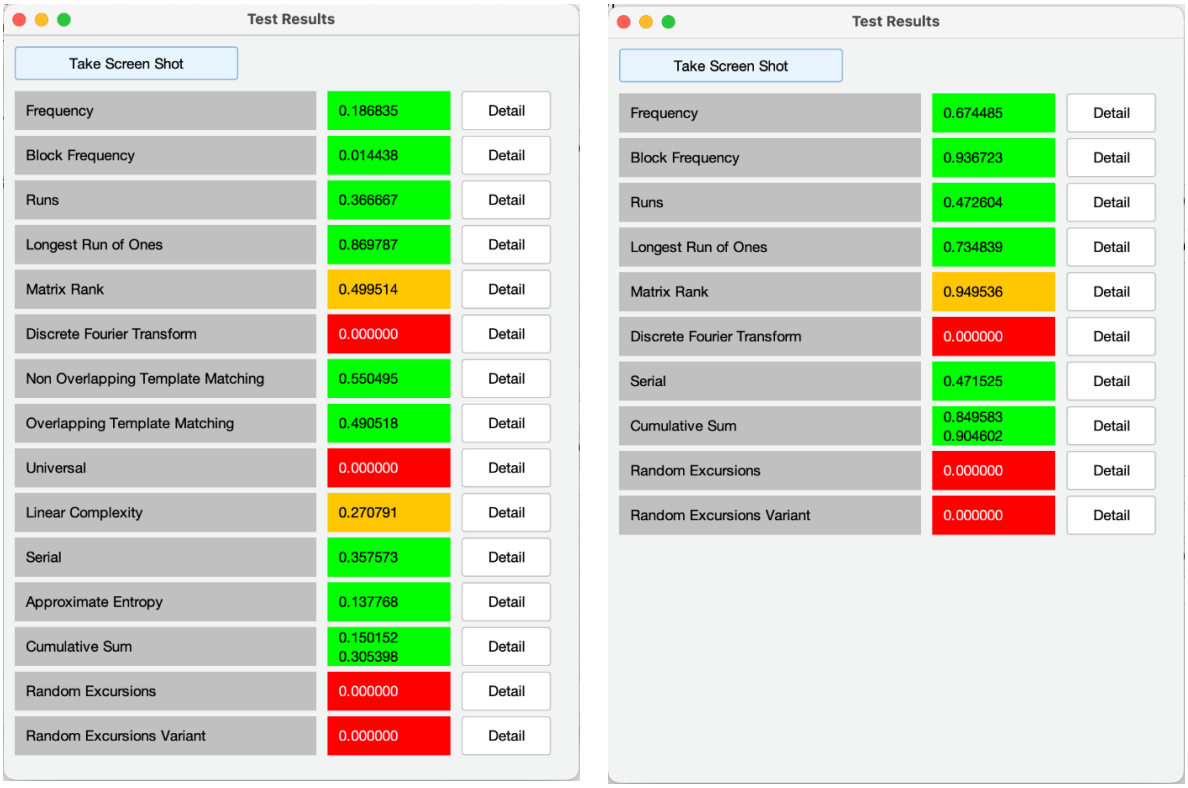
Algoritma	İşletim Sistemi
NativePRNG	Linux, Mac
NativePRNGBlocking	Linux, Mac
NativePRNGNonBlocking	Linux, Mac
PKCS11	-
SHA1PRNG	Linux, Mac, Windows
Windows-PRNG	Windows



Şekil 4. Windows işletim sisteminde tohum seçim algoritmaları

2.2.3. Sonuç Arayüzü

Bütün ayarlar yapıldıktan sonra test gerçekleştirilebilir. Testler gerçekleştirildiğinde Şekil 5'deki gibi bir sonuç ekranı üretilmektedir. Bu ekran seçilmiş olan testlerin sonucunu gösterecektir. Ayrıca bu ekranda çalışmalarda kullanılabilecek ekran görüntüsü alınabilmektedir.

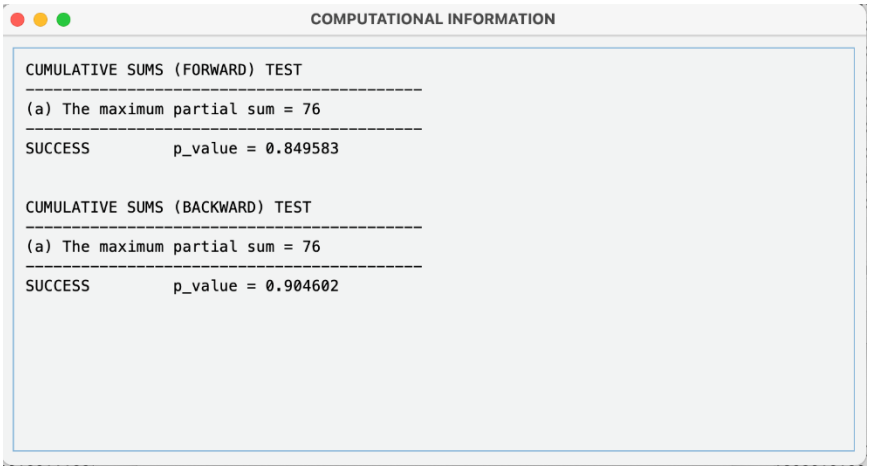


(a) (b)

Şekil 5. Test Sonuç Ekranı a) Bütün testler seçilmiş sonuç b) Bir kısım testler seçilmiş sonuç

Şekil 5'deki sonuç ekranında test edilmiş olan ikili dizinin seçilen istatistiksel testlerdeki "p_value" değerleri sunulur. Yeşil dizinin ilgili testten başarılı olduğunu, kırmızı ise başarısız olduğunu görsel olarak vurgulamaktadır. Turuncu ise dizinin başarılı "p_value" değerinin kabul edilen aralıkta olduğunu ancak testin bazı isterlerini (en düşük uzunluk gereksinimi gibi) sağlamadığını gösterir.

NIST STS test sonuçlarını uygulamada tasarlanan sonuç ekranından daha detaylı sunmaktadır. Özellikle "Overlapping Template Matching Test" gibi bazı testlerde incelenmesi ve analiz edilmesi gereken farklı hesaplama detayları bulunmaktadır. Bu hesaplama detaylarını Şekil 5'de sunulmuş olan sonuç penceresinde her testin yanında "Detail" butonu ile sağlanmıştır. Örnek bir test için detay sayfası Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Rasgele seçilen bir test için detay sayfası

3. Tartışma

RSÜ'ler kriptolojik çalışmalarda büyük önem taşır. Bu sebeple ister GRSÜ olsun ister SRSÜ olsun, RSÜ'ler ile üretilen bit dizileri kullanılırken uygulama hassasiyeti göz önünde bulundurulmalıdır. Güçlü istatistiksel özellikler barındırmayan üreteçler kullanılmamalıdır. Bu bağlamda, RSÜ alanında çalışan araştırmacılar için mevcut test ortamlarının kullanımı zor olmayabilir. Ancak çalışma alanı bu olmayan, ya da sadece veri güvenliğini sağlamaya çalışan bir kullanıcı için bu testlerin kullanımı çok basit olmayacaktır.

Geliştirilmiş olan uygulama gerek akademik çalışmalarda gerekse bilgi güvenliği, kriptografi, siber güvenlik vb. gibi lisans derslerinde de kullanıma uygundur. Özellikle RSÜ konusu anlatılırken bazı kavramların görsel olarak anlatımında faydalı olacaktır.

4. Sonuçlar

Bu uygulama sonucunda, bütün işletim sistemlerinde çalışacak, kullanımı kolay bir NIST STS test ortamı geliştirilmiştir. Bu uygulama sayesinde RSÜ çalışmalarındaki ard arda gerçekleştirilen test aşamasının hızlı ve kolay olması hedeflenmiştir.

Uygulama açık kaynak olarak GitHub üzerinde paylaşılmıştır. Bu sayede geliştirilmeye ve açık bir şekilde kullanılmaya devam edeceği değerlendirilmektedir [16].

Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Daire Başkanlığı'nın (İnönü BAP) FBG-2020-2143 numaralı projesi ile desteklenmiştir. Değerli destekleri için İnönü Üniversitesi İnönü BAP birimine teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

[1] https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6698&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5, Erişim Tarihi: 01.03.2022
[2] Iqra Basharat, Farooque Azam and Abdul Wahab Muzaffar. Article: Database Security and Encryption: A Survey Study. International Journal of Computer Applications 47(12):28-34, June 2012. doi: 10.5120/7242-0218
[3] Kumari, M., Gupta, S., and Sardana, P., "A Survey of Image Encryption Algorithms", 3D Research, vol. 8, no. 4, 2017. doi:10.1007/s13319-017-0148-5.
[4] John Justin M, Manimurugan S, A Survey on Various Encryption Techniques, International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), ISSN: 2231-2307, Volume-2 Issue-1, March 2012.
[5] F.J. Farsana, K. Gopakumar, A Novel Approach for Speech Encryption: Zaslavsky Map as Pseudo Random Number Generator, Procedia Computer Science, Volume 93, 2016, Pages 816-823, ISSN 1877-0509, doi: 10.1016/j.procs.2016.07.302.
[6] Hui Xu, Xiaojun Tong, Xianwen Meng, An efficient chaos pseudo-random number generator applied to video encryption, Optik, Volume 127, Issue 20, 2016, Pages 9305-9319, ISSN 0030-4026, doi: 10.1016/j.ijleo.2016.07.024.

[7] D. Liu, Z. Liu, L. Li and X. Zou, "A Low-Cost Low-Power Ring Oscillator-Based Truly Random Number Generator for Encryption on Smart Cards," in IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 63, no. 6, pp. 608-612, June 2016, doi: 10.1109/TCSII.2016.2530800.
[8] A. Rukhin, J. Soto, J. Nechvatal, M. Smid, E. Barker, S. Leigh, M. Levenson, M. Vangel, D. Banks, A. Heckert, J. Dray, S. Vo: A Statistical Test Suite for the Validation of Random Number Generators and Pseudo Random Number Generators for Cryptographic Applications, Version STS-2.1, NIST Special Publication 800-22rev1a, April, 2010. http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-22rev1a/SP800-22rev1a.pdf.
[9] G. Marsaglia: The Marsaglia random number CDROM including the DIEHARD battery of tests of randomness. See http://stat.fsu.edu/pub/diehard, 1996
[10] P. L'Ecuyer, R. Simard: TestU01: A C library for empirical testing of random number generators, ACM Trans. Math. Softw., vol 33, 2007.
[11] J. Walker: ENT – A pseudorandom number sequence test program. 1993, http://www.fourmilab.ch/random/.
[12] W. Caelli et. al.: Crypt X Package Documentation, Information Security Research Centre and School of Mathematics, Queensland University of Technology, 1992. Crypt-X: http://www.isrc.qut.edu.au/resource/cryptx/
[13] https://code.google.com/archive/p/randomnumbertestsuite-nist/ erişim tarihi: 01.03.2022
[14] Owlet RNG Analyzer, https://www.bertendsp.com/products/owlet-rng-analyzer/#1509975186771-d75f9380-e39f, erişim zaman: 01.03.2022
[15] De Cannière, C. (2006). Trivium: A Stream Cipher Construction Inspired by Block Cipher Design Principles. In: Katsikas, S.K., López, J., Backes, M., Gritzalis, S., Preneel, B. (eds) Information Security. ISC 2006. Lecture Notes in Computer Science, vol 4176. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/11836810_13
[16] RNG Analyzer Github URL: https://github.com/kenan-ince/RTS
[17] K. İnce, "Security Analysis of Java SecureRandom Library", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, no. 24, pp. 157-160, Apr. 2021, doi:10.31590/ejosat.900956

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 635-645, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1114056

Yazılım Ürün Ölçütlerinin Uygulamalı İncelenmesi

Ayşe KAHVECİ YETİŞ[1*], Resul DAŞ[2]
[1,2] Yazılım Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[*1]aysekahveci23@hotmail.com, [2]rdas@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 10/05/2022; Kabul/Accepted: 26/07/2022)

Öz: Yazılım sistemleri, yaşantımıza her geçen gün artarak dahil olmaktadır. Buna bağlı olarak yazılım geliştiricileri tarafından bir ihtiyaç için alternatif pek çok yazılım sistemi geliştirilmektedir. Kullanıcı istekleri doğrultusunda şekillenen sistemlerde çalışma performansı ve güncellenebilir yazılım seçenekler arasında eleyici özelliklerden bazılarıdır. Kod kalitesini belirlemek için metrik ya da ölçüt olarak tanımlanan değerlerden faydalanılır. Bu çalışmada, ürün ölçütlerinde yer alan kaynak kod ölçütleri ve sınıf tabanlı ölçütler açıklanmıştır. Kaynak kod ölçütlerinden olan McCabe ile sınıf tabanlı ölçütlerden olan Chidamber ve Kemerer, Brito e Abreu MOOD, Bansiya ve Davis QMOOD ölçüt kümeleri irdelenmiş ve sınıf tabanlı ölçütler tablo halinde sunulmuştur. Ölçütlerin uygulama üzerinde gösterilmesi için Java tabanlı bir kütüphane uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen masaüstü uygulamasının ölçütleri, Eclipse CodeMR eklentisi yardımıyla analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda riskli ölçütler tespit edilerek sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Yazılım ölçütleri, McCabe, CK, MOOD, QMOOD.

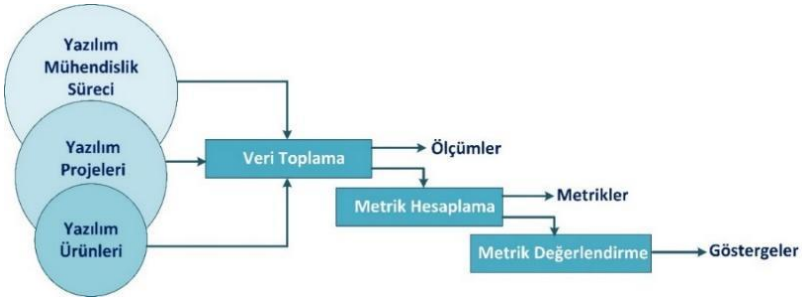
Applied Analysis of Software Product Metrics

Abstract: Software systems are increasingly included in our lives day by day. Accordingly, many alternative software systems are developed by software developers for a need. Working performance and updatable software in systems shaped according to user requests are some of the eliminating features among the options. Values defined as metrics or criteria are used to determine code quality. In this study, source code criteria and class-based criteria in product criteria are explained. McCabe in the source code criteria and Chidamber and Kemerer, Brito e Abreu MOOD, Bansiya and Davis QMOOD metric clusters in the class-based criteria were examined and class-based metrics were presented in tables. A Java-based library application has been developed to display metrics on the application. The criteria of the developed desktop application were analyzed with the help of the Eclipse CodeMR plugin. As a result of the analysis, risky criteria were determined and presented with tables.

Key words: Software metrics, McCabe, CK, MOOD, QMOOD.

1. Giriş

Yazılım mühendisliği, bir yazılım veya sistemin yazılım yaşam döngüsü boyunca farklı süreçlerden geçtiğini ifade eder [1]. Bu süreçlerin her birinde farklı parametreler ve çeşitli ölçümler kullanılarak doğrulama işlemleri yapılır. Bu nedenle yazılım mühendisliğinde ölçüm, önemli bir rol oynar ve metrik olarak da ifade edilir [2]. Bir yazılım ürününün niteliklerini ölçmek için titiz bir yaklaşım gereklidir. Her ölçüm açıkça tanımlanmış ve kolayca anlaşılabilir çeşitli parametrelere ve özelliklere bağlı, belirli bir amaç veya ihtiyaçları ifade etmelidir. Yazılım mühendislik süreçleri, yazılım projeleri ve yazılım ürünleri Şekil 1'de gösterildiği üzere iç içe girmiş önemli olgulardır. Yazılım kalite ölçütlerinin bu üç olgudan toplanan veriler sonucunda elde edildiği görülmektedir [3].



Şekil 1. Yazılım ölçütleri toplama süreci [3]

* Sorumlu yazar: aysekahveci23@hotmail.com. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0002-0832-892X, [2] 0000-0002-6113-4649

Bu çalışmanın amacı, geliştirilen bir uygulamaya ait kod ölçütlerinden yaygın olarak bilinenlerin analizini yapmak ve bu analizler doğrultusunda çıkarımlarda bulunmaktır. İkinci bölümde yazılım kalitesinin belirlenmesi için kullanılan ve literatürde en çok yer edinen ölçütlerin sınıflandırılması verilmiştir. Bu kapsamda Kaynak Kod McCabe Ölçütleri ve Sınıf Tabanlı Tasarım Ölçütlerinde yer alan Chidamber ve Kemerer, Brito e Abreu MOOD, Bansiya ve Davis QMOOD ölçütleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde ise geliştirilen örnek uygulamaya ait CodeMR'ın desteklediği ölçütler yer almaktadır. Dördüncü bölümde uygulama sonuçları detaylı bir biçimde açıklanarak görseller ile ifade edilmiştir. Son bölümde ise çalışma hakkında çıkarımlar yapılmış, yorumlarda bulunulmuştur.

2. Yazılımda Ürün Bazlı Ölçütler

Ürün ölçütleri, ürünün kalitesine ilişkin boyut, kod ölçümleri, karmaşıklık, tasarım özellikleri, performans, verimlilik, güvenilirlik, taşınabilirlik ve kalite düzeyi gibi özelliklerini tanımlar. Ürün ölçütleri, gereksinimlerden yerleşik sistemlere kadar, geliştirmelerinin herhangi bir aşamasındaki yazılım ürünü ölçümleridir. Ürün ölçütleri yalnızca yazılım özellikleriyle ilgilidir. Ürün ölçütleri iki sınıfa ayrılır:

• *Dinamik ölçütler*, yürütülmekte olan bir programdan yapılan ölçümlerle toplanır. Dinamik ölçütler bir programın verimliliğini ve güvenilirliğini değerlendirmeye yardımcı olurken, statik ölçütler bir yazılım sisteminin karmaşıklığını anlamaya yardımcı olur [4]. Genellikle yazılım kalite özellikleriyle oldukça yakından ilişkilidir. Belirli görevler için gereken yürütme süresini ölçmek ve sistemi başlatmak için gereken süreyi tahmin etmek nispeten kolaydır. Bunlar doğrudan sistem arızalarının verimliliği ve yazılımın güvenilirliği ile ilgili olup, arızanın türü kaydedilebilir.

• *Statik ölçütler*, tasarım, programlar ve belgeler gibi sistem temsillerinden yapılan ölçümlerle toplanır. Statik ölçütlerin kalite özellikleriyle dolaylı bir ilişkisi vardır. Karmaşıklık, anlaşılabilirlik ve sürdürülebilirlik arasındaki ilişkiyi türetmeye ve doğrulamaya çalışmak için bu ölçütlerin büyük bir kısmı önerilmiştir. Yazılım ürün kalitesinin arttırılması amacıyla ürün ölçütleri üzerine çok sayıda kalite ölçütleri belirlenmiştir. Ancak, bu ölçütler ile ilgili literatürde birbirinden farklı yaklaşımlar mevcuttur [5]. Geliştirilen ürünün amacı, boyutu, kullanmış olduğu teknolojiler, sistematik yapısı gibi birçok önemli kısımların incelenmesi gerekir. Bu incelemelerin hepsinde niceliksel ölçümler de mümkün olamamaktadır. Bu sebeple bu bölümde genel ürün ölçütleri ile birlikte en yaygın kullanılan kod ölçütleri verilmektedir.

2.1. Kod Tabanlı Ölçütler

Yazılımın kalitesinin değerlendirilmesinde sürdürülebilirlik önemli bir etkendir. Sürdürülebilirlik için kodun sürekli gelişime açık olması ve bakımının kolay olması gerekmektedir. Dolayısıyla kodun okunabilirliği ve anlaşılabilirliğinin yüksek olması kalite oranını da arttırır. Yazılım kod kalitesinin belirlenmesi için çeşitli ölçütler önerilmiştir.

McCabe Ölçütleri

Önerilen ölçütlerden en temel olanı geleneksel McCabe kalite ölçütleridir [5]. Geleneksel kalite ölçütleri proje büyüklüğü, kodun okunabilir ve anlaşılabilir olması, algoritmik karmaşıklık gibi içerdiği 3 farklı bileşenle en temel şekilde kodun iç yapısını değerlendirir. Geleneksel ölçütlerde temel konular yardımıyla yazılım sisteminin kalitesi hakkında bilgi sahibi olunur.

Yazılım kalitesi hakkında gerçekleştirilen literatür araştırmalarında en çok raporlanan kalite metriğinin, yazılım güvenilirliğini doğrulamak amacıyla kullanılan 'hata tespit metriği' olduğu görülmüştür. Bu ölçütler, yazılımda var olan toplam hata sayısı hakkında bilgi vermektedir. Bu ve benzeri temel ölçüt türlerinin tespiti için yazılımı oluşturan kodların dikkatlice incelenmesi McCabe kalite ölçütleri yardımıyla gerçekleştirilir [6].

Kod bakımının kolay yapılabilirliğini ve anlaşılabilirliğini arttırmak için yorum satırları kullanılmaktadır. Kod karmaşıklık analizi, program kod satırlarının sayısını dikkate alan ölçüttür. Kod bloklarındaki satırlarda bulunan boşluk, yorum, mantıksal ifadeler gibi satırların sayılmasıyla belirlenen ölçütler ile yapılan ölçme işlemidir. Tablo 1'de McCabe kod ölçütleri verilmiştir.

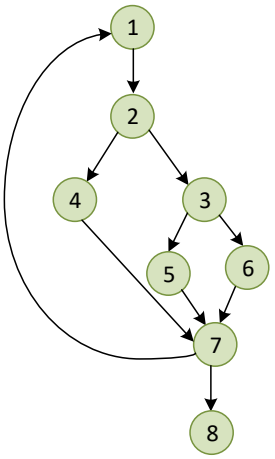
Tablo 1. McCabe'e göre kaynak kodlar için ölçütler [3]

Ölçüt adı	Açıklama
Kod satırları (LOC-Lines Of Code)	Kod bloğundaki satır sayıları.
Kaynak kod satırları (SLOC-Source Lines of Code)	Kod bloklarındaki boşluk satırları hariç ama yorum satırları da dahil olan tüm kod satırlarının sayısıdır.
Koddaki fiziksel Satırlar (PLOC-Physical Lines Of Code)	Kod bloklarındaki açıklama satırları ve boş satırlar dışında kalan tüm fiziksel satırların sayısıdır. Yorum ve boşluk içermeyen satırlar *(Non-Comment Non-Blank-NCNB)* olarak da bilinir.
Koddaki mantıksal satırlar (LLOC-Logical Lines of Code)	Kod bloklarındaki *if, while, for, switch-case, do-while* gibi mantıksal ifadelerin bulunduğu satırların sayısıdır.
Çalıştırılabilir yordam sayısı (EXEC-Executable Statements)	Kod bloklarında bulunan içinde hesaplama adımları bulunduran, fonksiyon, altyordam, altprogram, metot gibi kod parçacıklarının toplam sayısıdır.
Yorum oranı (CP-Comment Percentage)	Program içerisinde bulunan yorum satırlarının, programda bulunan yorum ve boşluk içermeyen toplam satır sayısına oranıdır. Yorum oranının yüksek olması, programın anlaşılabilir ve okunabilirliğini arttırır.
Döngüsel karmaşıklık (CC-Cyclomatic Complexity)	Koddaki koşullu gidiş yollarının doğrusal dallanmaları şeklinde ifade edilir.

Döngüsel karmaşıklık ölçütü, koşullu ifade ve yapıların sayısı ile hesaplanır. Kodda bulunan kontrol blokları ve döngüsel yapılar koşullu dallanmaya sebebiyet veren ölçütler olarak değerlendirilir [7]. Döngüsel karmaşıklığı yüksek olan modüllerin, döngüsel karmaşıklığı daha düşük olan modüllere göre hataya eğilimli olma olasılığı daha yüksektir. Bu nedenle, bir sisteme entegre edilmeden önce bu tür modüllerdeki hataları ortaya çıkarmak için ortalamanın üzerinde çaba sarf edilmelidir. Kodun sahip olduğu ve koşullu dallanmaya neden olabilecek kırılma noktalarının çokluğu, döngüsel karmaşıklığın yüksek olmasına sebep olur. Döngüsel karmaşıklık, yazılımın mantıksal karmaşıklığının bir ölçüsüdür. Bu ölçü (CC veya V(G)), bağımsız yolların sayısını tanımlamak için kullanılır ve aşağıda verilen formüllerden biriyle hesaplanır [8].

V(G) = (Kenar Sayısı) - (Düğüm Sayısı)+2
V(G) = (Dallanan Düğüm Sayısı) + 1

Şekil 2'de verilen çizgesel diyagram Döngüsel Kod karmaşıklığı açısından incelendiğinde, 4 farklı gidiş yolu olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Çizgesel akış diyagram örneği

G graf olmak üzere döngüsel kod karmaşıklığı V(G) = 4 olarak bulunur. Hesaplama yaparken yukarıdaki formüllerden herhangi biri kullanılır. Örnek diyagramda, 8 düğüm ve 10 yol olduğundan ilk formüle göre (10-8+2) denklemine göre 4 çıkar. 2, 3 ve 7 birden çok düğüme giden dallanan düğümlerdir. İkinci formüle göre ise (3+1) denklemine göre 4 çıkar. Olası yollar aşağıda listelenmiştir. Burada 4. yol için 7'ye kadar olan yollar tek bir yol olarak değerlendirilir. Diğer olasılıklar göz önüne alınmaz.

- 1. yol: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8$
- 2. yol: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 8$
- 3. yol: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8$
- 4. yol: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 1 \rightarrow \cdots \rightarrow 7 \rightarrow 8$

Formülde bulunan düğümlerden her biri mantıksal bir dalı, kenarlardan her biri düğümler arasındaki bağlantıyı temsil eder. Programın döngüsel karmaşıklığının fazla olması test işlemi için gerekecek durum sayısının fazla olmasına sebep olacaktır. Dolayısıyla bir yöntemin ya da sistemin döngüsel karmaşıklığının düşük olması, kolay test edilebilirliğini gösterir. Yazılım Mühendisliği Enstitüsü (Software Engineering Institute - SEI) tarafından kabul gören döngüsel karmaşıklık ve risk değerlendirmesi Tablo 2'de verilmiştir [9].

Tablo 2. Döngüsel karmaşıklık değerlerine karşı gelen risklerin değerlendirilmesi

Döngüsel Karmaşıklık	**Risk Değerlendirmesi**
1-10	Düşük riske sahip karmaşık olmayan modül
11-20	Orta riske sahip az karmaşık modül
21-50	Yüksek derecede riske sahip olan karmaşık modül
50-∞	Çok yüksek derece riskli test edilemez modül

Literatür incelendiğinde, yazılım ölçütleri konusunda farklı öneriler ve yaklaşımların olduğu görülmektedir. Maurice Howard Halstead tarafından 1977'de yazılımın ölçülebilir özelliklerini ve aralarındaki ilişkileri belirlemek amacıyla ölçütler belirlemiştir [10]. Önerilen ölçütler, algoritmaların farklı dillerdeki uygulamasını veya ifadesini yansıtmakta, ancak bunların belirli bir platformda yürütülmesinden bağımsız olması gerektiği gözlemlerini yapmıştır.

2.2. Sınıf Tabanlı Tasarım Ölçütleri

Sınıf, bir nesne tabanlı sistemin temel birimidir. Bu nedenle, nesne tabanlı tasarım kalitesinin değerlendirilmesinde, tek bir sınıf, sınıf hiyerarşisi ve sınıf işbirlikleri için ölçüler çok değerlidir. Bir sınıf, verileri ve verileri işleyen işlevleri kapsamaktadır.

Chidamber ve Kemerer Ölçütleri

Chidamber ve Kemerer (CK) tarafından önerilen nesne tabanlı yazılım ölçütleri literatürde en yaygın kullanılan ölçütlerdir [11]. CK ölçütlerinde bir sistemin bütününden ziyade sistemdeki sınıflar dikkate alınır [12]. Nesne yönelimli tasarım için kullanılan bu ölçüt grubunda, sistemdeki sınıflar geniş bir şekilde değerlendirilir [13]. CK ölçüt paketi olarak adlandırılan Chidamber ve Kemerer tarafından sınıf tabanlı ölçütler için 6 (altı) ölçüt önerilmiştir. Önerilen ölçütler Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3. Chidamber ve Kemerer'a göre sınıf tabanlı ölçütleri [3,8,11,14,15]

Ölçüt adı	**Açıklama**
Sınıf Başına Ağırlıklı Metot Sayısı *(WMC-Weighted Methods per Class)*	Bir sınıftaki metotların karmaşıklık derecesinin veya sayısının toplamıdır. WMC, sınıfın geliştirilmesi ve bakımı için harcanacak sürenin tahmininde etkilidir. WMC ile nesne yönelimli bir yazılımın anlaşılırlık, yeniden kullanılabilirlik ve dayanıklılık gibi ölçütleri değerlendirilir. Bundan dolayı, WMC makul olduğu kadar düşük tutulmalıdır.
Kalıtım ağacının derinliği *(DIT-Depth of Inheritance Tree)*	Bu ölçüt, düğümden ağacının köküne kadar olan maksimum uzunluktur. Derin bir sınıf hiyerarşisi, daha fazla tasarım karmaşıklığına yol açar. Büyük DIT değerleri, birçok yöntemin yeniden kullanılabileceğini belirtir. Bu ölçütten yararlanarak yazılımın verimliliği, yeniden kullanılabilirliği, anlaşılırlığı, test edilebilirliği gibi kavramların oranları belirlenir.
Alt Sınıf Sayısı *(NOC-Number Of Children)*	Alt Sınıf Sayısı, bir sınıftan doğrudan türetilen toplam alt sınıfların sayısıdır. Çocukların sayısı arttıkça yeniden kullanım artar. Ancak alt sınıf sayısı yüksek olan sistemler, daha karmaşık ve daha çok hataya sahip, yüksek zaman-çaba-maliyet ile test edilebilirlik özelliklerine sahiptir.

Tablo 3 Devamı

Nesne Sınıfları Arasındaki Bağımlılık *(CBO-Coupling Between Object Classes)*	Bir sınıfın bağımlı olduğu sınıfların sayıları toplamıdır. Genel olarak, her sınıf için CBO değeri düşük tutulmalıdır. CBO, yeniden kullanılabilirlik ve verimliliğin ölçülmesinde kullanılır. Bir sınıfın az bağımlılığa sahip olması, farklı uygulamalarda daha kolay yeniden kullanılabilirliğe sahip olması demektir. Bağımlılığın fazla olması testlerin daha dikkatli bir şekilde yapılması gerektiğini, dolayısıyla test maliyetlerinin de aynı oranda artacağını gösterir.
Sınıfın Tetiklediği Metot Sayısı *(RFC-Response For a Class)*	RFC, bir nesnenin tetikleyebileceği tüm metotların sayısıdır. RFC arttıkça, test dizisi büyüdüğü için gereken efor da artar. RFC, test edilebilirlik, bakım ve test zaman-maliyet değerleri hakkında fikir verir. Bu nedenle RFC değerinin düşük olması, sistemin test edilebilirlik oranının yüksek, test için harcanan zaman-maliyet değerlerinin düşük, sistem dayanıklılığının yüksek ve bakımın kolay olduğunu gösterir.
Metot İçi Uyumsuzluk *(LCOM-Lack of Cohesion in Methods)*	LCOM metriği ile metotların birbirlerine olan benzerliği ölçülür. LCOM yüksekse, yöntemler nitelikler aracılığıyla birbirine bağlanabilir. Bu, sınıf tasarımının karmaşıklığını artırır. LCOM'un düşük tutulması en iyi durumdur. LCOM değeri ne kadar yüksekse, o kadar çok durum test edilmelidir. LCOM yardımı ile verimlilik ve yeniden kullanılabilirlik derecesi hakkında bilgi edinilir.

Brito e Abreu MOOD Ölçütleri

Brito e Abreu MOOD ölçüt kümesi, nesne yönelimli yöntemin yapısal noktalarını esas alır [12]. MOOD ölçüt kümesinin prensipleri, kapsülleme, kalıtım, çok çeşitlilik, mesaj aktarımı olarak sıralanır. Brito e Abreu MOOD tarafından nesneye dayalı sınıf tabanlı ölçütlerin belirlenmesinde 6(altı) ölçüt kullanılmıştır [16]. Önerilen ölçütler Tablo 4'te sunulmaktadır.

Tablo 4. Brito e Abreu MOOD'a göre sınıf tabanlı ölçütleri [3,17,18]

Ölçüt adı	**Açıklama**
Metot Gizleme Faktörü *(MHF-Method Hiding Factor)*	Metot Gizleme Faktörü(Method Hiding Factor-MHF), sistemde tanımlı olan bütün sınıflardaki çağrılabilen metotların, var olan bütün metotlara oranıdır. Kalıtımla gelen metotlar hesaplamaya dahil edilmez. Bu ölçüt, sınıf tanımının görünürlüğü hakkında yorum yapma şansı tanır.
Nitelik Gizleme Faktörü *(AHF-Attribute Hiding Factor)*	Kalıtımla gelen niteliklerin dahil edilmemesi ve sistemde tanımlı olan tüm sınıflardaki görünür niteliklerin, tüm niteliklere oranı olarak hesaplanır. MHF metriğinde olduğu gibi AHF metriğinin hesaplanmasında da kalıtım ile gelen metotlar hesaplamaya dahil edilmez ve MHF gibi sınıfların görünürlüğü hakkında bilgi sahibi olmak için bu ölçütten yararlanılabilir. Bu ölçütle sınıf tanımının görünürlüğü ölçülür.
Metot Kalıtım Faktörü *(MIF-Method Inheritance Factor)*	Var olan bütün sınıflardaki kalıtım ile gelen metot sayısının, sınıflarda bulunan toplam metot sayısına oranı olarak tanımlanır.
Nitelik Kalıtım Faktörü *(AI-Attribute Inheritance Factor)*	Sistemde tanımlı olan tüm sınıflardaki kalıtım yardımıyla gelen niteliklerin, sistemde var olan bütün niteliklere oranı ile belirlenir.
Çok Biçimlilik Faktörü *(PF-Polymorphism Factor)*	Belirlenen bir sınıf için sistemdeki farklı çok şekilli olan durumların, maksimum olası diğer çok şekilli durumlara oranı olarak belirlenir.
Bağımlılık Faktörü *(CF-Coupling Factor)*	Sistemde sınıflar arasındaki bağımlılık sayısının toplamının, oluşabilecek maksimum bağımlılık sayısına oranı olarak belirlenir. Oranların belirlenmesinde kalıtım ile gelen bağımlılıklar dikkate alınmaz.

Bansiya ve Davis QMOOD Ölçütleri

Bansiya ve Davis QMOOD Ölçüt Kümesi yazılım toplam kalite endeksinin hesaplanması için faydalanılan ölçüt kümesidir. 4 farklı seviye şeklinde tanımlanmıştır. Seviyelerin ilk adımı sınıf, metot gibi nesne yönelimli yaklaşımların belirlenmesi yer alır. Bir diğer seviyede QMOOD ölçütleri yardımıyla karmaşıklık, uyumluluk gibi bir üst seviyedeki özelliklerin hesaplanması gerçekleştirilir [12]. Bu özelliklerin kalite değerlendirilmesi dikkate

alınarak yazılım sistemine ait toplam kalite indeksi (Total Quality Index(TQI)) hesaplanır. QMOOD ile yazılım tasarım kalitesinin ölçülmesinde ölçütlerin değer aralıklarının farklı olmasından dolayı, z-puanı normalizasyonu kullanılır [19].

• *Yazılım Kalite Nitelikleri (Attribute):* QMOOD ölçüt kümesinde işlevsellik, verimlilik, genişleyebilirlik, yeniden kullanılabilirlik ve esneklik gibi niteliklerden bahsedilir.

• Nesneye Dayalı Yazılım Özellikleri (Property): QMOOD ölçüt kümesinin 2. seviyesinde artık ölçümler gündeme gelir. Bu aşamada, kalıtım, kapsülleme, çok biçimlilik, soyutlama, bağımlılık, hiyerarşi, yazılımın büyüklük ve karmaşıklığı hakkında bilgilere ulaşılabilir [14].

• *Nesneye Dayalı Yazılım Bileşenleri (Components):* Nesne yönelimli yazılım bileşenleri, nitelik, metot, sınıf, ilişkiler ve sınıf hiyerarşisini içinde barındırır [20].

• *Nesneye Dayalı Yazılım Ölçütleri:* Nesne yönelimli kalite değerlendirilmesinde hiyerarşik bir yaklaşım tanımlanır. Bu yaklaşımda, nesne yönelimli değerlendirme için kullanılan ölçütler sınıflar, nesneler ve bu iki yapı arasındaki ilişkilerin yapısal ve davranışsal özellikleri ile belirlenir [12].

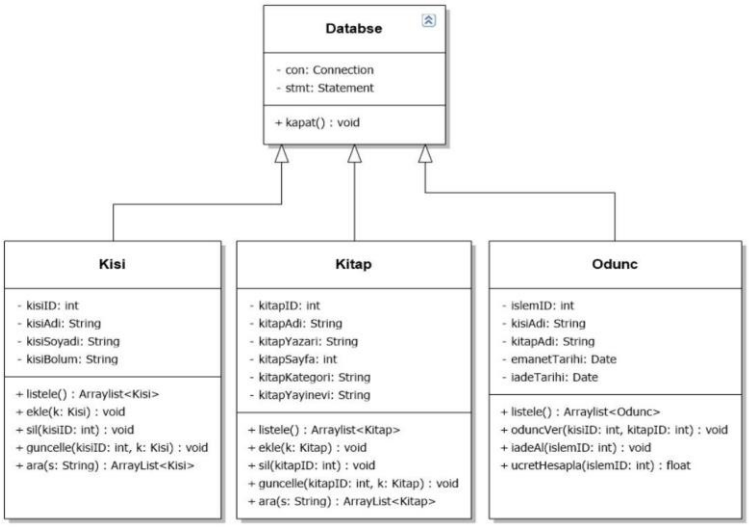
Bansiya ve Davis tarafından irdelenen QMOOD(Quality Model for Object Oriented Design) ölçütlerinde kullanılan değerler Tablo 5'te sunulmaktadır.

Tablo 5. Bansiya ve Davis QMOOD'a göre sınıf tabanlı yazılım ölçütleri [11,15,20,21]

Ölçüt adı	**Açıklama**
Ortalama Ata Sayısı *(ANA-Avarage Number of Ancestors)*	Tüm sınıflarda bulunan ve Chidamber-Kemerer ölçütleriyle hesaplanan DIT değerlerinin ortalaması olarak hesaplanır. Yazılımda soyutlamanın kullanımı hakkında bilgi verir.
Metotlar Arası Uyumluluk *(CAM-Cohesion Among Methods)*	Bansiya tarafından tam olarak tanımı verilmemiş olsa da literatür tanımı olarak metotların imzalarına bakarak ölçülen uyumluluğun hesaplanması olarak ifade edilebilir.
Sınıf Arayüz Boyutu *(CIS-Class Interface Size)*	Sınıfta bulunan erişime açık (public) metotların sayısıdır. Bu sayı sayesinde yazılım sisteminin mesajlaşma özelliği hakkında yorum yapılabilir.
Veri Erişim Metriği *(DAM-Data Access Metric)*	Yazılım sisteminin sınıflarında bulunan özel erişimli (private) ve korumalı (protected) olarak tanımlanan niteliklerin, var olan tüm niteliklere oranı olarak belirlenir. Bu ölçüt ile yazılımın kapsülleme özelliği hakkında bilgi sahibi olunabilir.
Doğrudan Sınıf Bağımlılığı *(DCC-Direct Clas Coupling)*	Bir sınıfın parametre olarak kabul edildiği sınıfların toplam sayısı ile bu sınıf nitelik olarak içeren sınıf sayılarının toplamı olarak değer alır. Sınıflar arası bağımlılık bu ölçüt ile belirlenir.
Kümeleme Ölçüsü *(MOA-Measure Of Aggregation)*	Tanımlanan sınıf bildirimlerinin, tanımlı olan temel veri tiplerine oranı olarak belirlenir.
İşlevsel Soyutlama Ölçüsü *(MFA-Measure of Functional Abstraction)*	Sistemdeki tüm sınıflarda bulunan türetilmiş metot sayıları toplamının, tüm metot sayıları toplamına oranıdır. Yazılım sisteminin kalıtım özelliği bu ölçüt ile değerlendirilir.
Metot Sayısı *(NOM-Number of Methods)*	Sınıfta tanımlı olan metot sayısının toplamıdır. Sınıflarda bulunan metot sayısı, sınıf karmaşıklığının da göstergesidir.

3. Örnek Proje için Kod Ölçütlerinin Hesaplanması

Örnek proje olarak Java ortamında temel kütüphane ihtiyaçlarını karşılayan bir uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulamaya ait sınıf UML diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Projenin sınıf UML diyagramı

Java dilinin yanında C ve Python gibi farklı diller kullanılarak da yazılımların geliştirilebileceği Eclipse platformu aracılığıyla kullanılan CodeMR eklentisi sayesinde, geliştirilen yazılım sistemine ait kod ölçütleri hesaplanır. Özellikle son yıllarda bu eklentinin akademik çalışmalarda kullanımı artmaktadır [22-26]. Java tabanlı uygulamalarda CodeMR eklentisi ile ölçütlerin çıkarılmasında, temel olarak Chidamber ve Kemerer ölçüt kümeleri baz alınır. CodeMR ile belirlenen ölçütler ve açıklamaları Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. CodeMR ile analiz edilen ölçütler

Kısaltması	**Açıklama**
CBO (Coupling Between Object Classes)	Nesne sınıfları arasındaki bağımlılığı verir.
RFC (Response For a Class)	Sınıfın tetiklediği metot sayısını verir.
DIT (Depth Of Inheritance Tree)	Kalıtım ağacının derinliğini verir.
NOC (Number Of Children)	Alt sınıf sayısını verir.
WMC (Weighted Methods Per Class)	Sınıf başına ağırlıklı metot sayısını verir.
LOC (Lines Of Code)	Kod satırlarının sayısını verir.
LCOM (Lack of Cohesion in Methods)	Metot içi uyumsuzluklarının sayısıdır.
MCC (McCabe Cyclomatic Complexity)	McCabe döngüsel karmaşıklığı ifade eder.
NBD (Nested Block Depth)	İç içe bulunan metot derinliklerini verir.
#Pa (Number of Parameters)	Toplam parametre sayısını verir.
#MC (Number of Methods Called)	Çağrılan metot sayısını ifade eder.
#AF (Number of Accessed Fields)	Erişilen alan sayısıdır.

Bu çalışmada, yazılımda bulunan ürün bazlı ölçütler ile birlikte kaynak kod ölçütlerine ve sınıf tabanlı tasarım ölçütlerine yer verilmiştir. Sınıf tabanlı tasarım ölçütleri başlığı altında Chidamber ve Kemerer, Brito e Abreu MOOD, Bansiya ve Davis QMOOD sınıf tabanlı ölçütleri irdelenmiştir. Sınıf tabanlı ölçütlerin alt başlıkları tablo şeklinde sunulmuştur. Çalışma kapsamında Java diliyle yazılan temel düzeyde bir kütüphane uygulaması geliştirilmiştir. Uygulamada Kisi, Kitap ve Odunc sınıfları yer almaktadır. Uygulamanın kod analizi için Eclipse destekli CodeMR eklentisinden faydalanılmıştır. CodeMR eklentisine göre bir projeye ait ölçütler sınıf, paket ve metot ölçütlerinden oluşmaktadır. Geliştirilen uygulamanın sınıf ölçütleri incelendiğinde genel olarak yardımcı model sınıflarının karmaşıklıkları düşük-orta seviyede risk oluşturmaktadır. Sınıf ölçütlerinin genel bakışla değerlendirilmesi sonucunda elde edilen bu karmaşıklık değerleri, sürükle bırak metodu ile oluşturulan arayüzlerde daha yüksek görülmektedir. Bu durum ise yazılan kodların sınıf bazında daha karmaşık yapıda olduğunu ve kod anlaşılabilirliğinin daha az olduğunu gösterir.

4. Uygulama Sonuçları

Çalışma kapsamında, Java diliyle temel düzeyde bir kütüphane uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulamanın, Eclipse CodeMR eklentisi ile kod ölçütleri çıkarılmıştır. Projeye ait genel ölçütler Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Projeye ait elde edilen sonuçlar

Toplam Satır Sayısı	1133
Sınıf Sayısı	11
Paket Sayısı	2
Problemli / Yüksek Problemli Paket Sayısı	0 / 0

CodeMR kütüphanesinde uygulamaya ait ölçütler farklı şekillerde kategorize edilmiştir. Bu gruplandırma sınıf, paket ve metot ölçütleridir. Uygulamaya ait sınıf ölçütlerinde CBO, RFC, DIT, NOC, WMC, LCOM gibi değerler yer almakta ve Şekil 4'te gösterilmektedir.

Element	Quality Attributes	CBO	RFC	DIT	NOC	WMC	LOC	LOC	LCOM
kutuphaneotomasyonu									
model						34	187	187	
DataBase		0	6	1	3	2	11	11	1.0
Kisi		0	13	2	0	10	48	48	0.375
Kitap		0	13	2	0	10	59	59	0.361
Odunc		0	26	2	0	12	69	69	0.84
view						148	946	946	
AnaPencere		3	27	6	0	12	66	66	0.0
KisiEkle		2	61	6	0	19	138	138	0.778
KisiPanel		2	66	5	0	17	173	173	0.796
KitapEkle		2	67	6	0	25	163	163	0.542
KitapPanel		2	63	5	0	17	175	175	0.796
OduncPanel		2	57	5	0	10	100	100	0.833
OduncVer		4	67	6	0	14	131	131	0.688

Şekil 4. Projeye ait sınıf ölçütleri

CodeMR eklentisi yardımıyla çıkarılan Kişi sınıfına ait *metot* ölçütleri Şekil 5'te verildiği gibi çıkmaktadır. Kişi sınıfına ait metotların ölçütleri incelendiğinde, ara metodunun en fazla *LOC* değerine yani en fazla satır sayısına sahip metot olduğu görülmektedir. LOC değerinin yüksek olması kodun kontrol edilebilirliğinin az olması anlamına gelir ve bu durumda hata meydana gelme riski artar. LOC değeri, tek başına karmaşıklık ile ilgili fikir vermez. LOC kodu yazan kişiden kişiye değişebilen sübjektif bir ölçüttür. Döngüsel karmaşıklık (*MCC*), en fazla ara, ekle ve listele metotlarında görülmektedir. En fazla toplam parametreye sahip *#Pa* metriğini barındıran metot kisi metodu, en fazla çağrılan metot sayısını belirten ölçüt olan *#MC* metriği 7 olarak belirtilen ara metodu ve listele metodunda yer almaktadır. *#AF* değeri en fazla olan metotlar ara, ekle ve listele metotlarıdır.

Element	LOC	WMC	MCC	NBD	#Pa	#MC	#AF
model	187	34					
DataBase	11	2					
Kisi	48	10					
ara(String): ArrayList	13		2	2	1	7	6
ekle(Kisi): void	5		2	1	1	1	6
guncelle(int, Kisi): void	4		1	1	2	1	4
Kisi( ): void	2		1	1	0	0	1
Kisi(int, String, String, Stri	5		1	1	4	0	4
listele( ): ArrayList	11		2	2	0	7	6
sil(int): void	3		1	1	1	1	1

Şekil 5. Kişi sınıfına ait metot ölçütleri

Kitap sınıfına ait ölçütler değerlerinden bazıları Şekil 6'da mevcuttur. Bu ölçüt sonuçlandırılmasına göre *LOC* yani en fazla satır satısına sahip metot kitap sınıfında bulunan ara metodudur. *MCC* ile döngüsel karmaşıklığı en

yüksek metotlar ara, ekle ve listele metodu olarak belirtilebilir. *NBD* ile iç içe blok derinliklerinin en fazla olduğu metotlar ise ara ve listele metotlarıdır. Toplam parametre sayısı olarak belirtilen *#Pa* en fazla kitap metodunda mevcuttur. *#AF* değeri en yüksek olan metotlar ara, listele ve ekle metotlarıdır.

Element	LOC	WMC	MCC	NBD	#Pa	#MC	#AF
kutuphaneotomasyonu							
model	187	34					
DataBase	11	2					
Kisi	48	10					
Kitap	59	10					
ara(String): ArrayList	15		2	2	1	9	8
ekle(Kitap): void	7		2	1	1	1	8
guncelle(int, Kitap): void	5		1	1	2	1	6
Kitap( ): void	2		1	1	0	0	1
Kitap(int, String, String, ir	7		1	1	6	0	6
listele( ): ArrayList	13		2	2	0	9	8
sil(int): void	3		1	1	1	1	1

Şekil 6. Kitap sınıfına ait metot ölçütleri

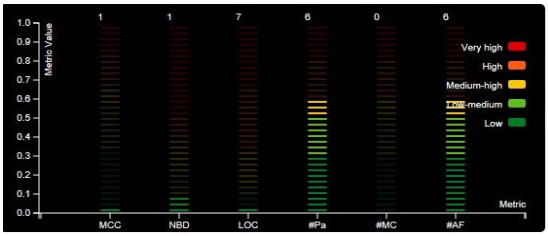
Ödünç sınıfına ait ölçütlerden bazıları Şekil 7'de görüldüğü gibidir. CodeMR eklentisi aracılığıyla farklı ölçütler filtrelenerek tabloda gösterilebilir. Sonuçların değerlendirilmesi adına seçilen ölçütlerde *LOC* ile belirtilen kod satır sayısı en fazla olan metotlar emanet gün hesaplaması ve ödünç işleminin listelendiği metotlar olarak belirtilmiştir. Yazılan kod bloklarında bulunan toplam parametre sayısı *#Pa* en yüksek olan metot 4 olarak belirlenen Odunc metodudur. En fazla çağrılan metot sayısı değeri olan *#MC*'ye sahip kod bloğu, 12 olarak belirlenen emanet günün hesaplandığı kod bloğudur. *#AF* değeri en yüksek olan metot 7 ile listele metodudur.

Element	LOC	WMC	MCC	NBD	#Pa	#MC	#AF
kutuphaneotomasyonu							
model	187	34					
DataBase	11	2					
Kisi	48	10					
Kitap	59	10					
Odunc	69	12					
emanetGunHesapla(Strin	15		2	2	1	12	1
iadeal(String): void	12		2	1	1	6	1
listele( ): ArrayList	15		2	2	0	8	7
Odunc( ): void	1		1	1	0	0	0
Odunc(String, String, Strir	5		1	1	4	0	4
oduncSil(String): void	3		1	1	1	1	1
oduncver(int, int): void	11		2	1	2	4	3
ucretHesapla(String): do	3		1	1	1	1	0

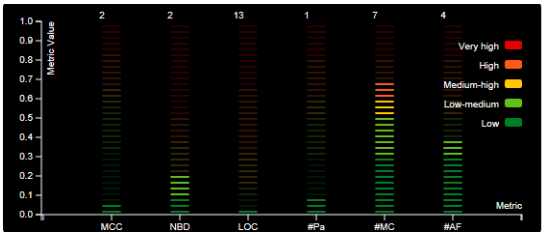
Şekil 7. Ödünç sınıfına ait metot ölçütleri

Ölçüt değerleri yukarda verilen metotların problemli olup olmadıkları ölçüt değerlerinin varsayılan sınırlar içerisinde olup olmaması ile kontrol edilir. Ödünç, kitap ve kişi sınıflarına ait ölçüt değerleri bu açıdan değerlendirilmiştir. Bu sınıflarda bulunan metotlar için seçilen ölçüt değerlerinin risk derecelerine göre kritiklik durumu bazı fonksiyonlar için Şekil 8'de belirtilmiştir. Grafikler göz önüne alındığında *#MC* olarak belirtilen çağrılan metot sayısı metriğinin, ödünç sınıfında bulunan ve Şekil 8.d ile verilen emanet gün hesaplama metodunda yüksek değerde olduğu söylenebilir. *#MC* ifadesinin yüksek olduğu sıralamada ikinci ve üçüncü metot Şekil 8.c ve Şekil 8.b ile verilen ödünç listele ve kişi ara metotlarıdır. Çağrılan metot sayısının yüksek olması yazılan kodun başka kod bloklarına daha çok bağlı olduğu anlamına gelir. Fonksiyonun doğruluğu, tetiklenen tüm fonksiyonların doğru çalışmasına bağlıdır. Kitap sınıfında oluşturulan ve Şekil 8.a ile verilen dolu yapılandırıcıda, *#Pa* ile ifade edilen parametre sayısı ve *#AF* ile ifade edilen erişilen alan sayısı uygulama içerisindeki en yüksek risk oranına sahiptir. Erişilen alan sayısının yüksek olduğu durumları Şekil 8.b ve Şekil 8.c ile verilen kişi ara metodu ve ödünç listele ve kişi ara metotları takip etmektedir. Erişilen alan sayısı, fonksiyonun bir sınıftaki genel parametrelerin yani özelliklerin kaç tanesini kullandığı anlamına gelir. Parametre sayısı metriği ise fonksiyonun aldığı parametre

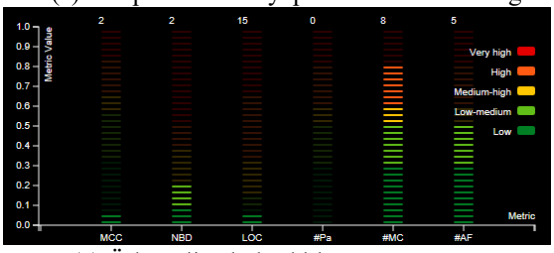
sayısını ifade eder. Kitap sınıfı dolu yapılandırıcısı için, sınıfa ait tüm özellikler parametre olarak istendiğinden bu değer yüksek çıkmıştır.



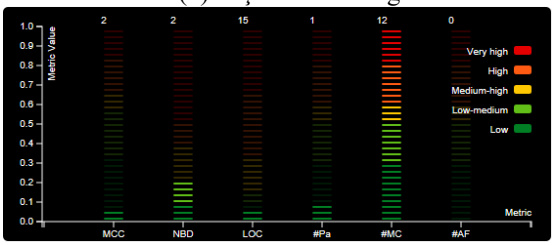
(a) Kitap sınıfı dolu yapılandırıcısı kod bloğu



(b) Kişi ara kod bloğu



(c) Ödünç listele kod bloğu



(d) Emanet gün hesaplama kod bloğu

Şekil 8. Kütüphane otomasyonu modüllerindeki kod ölçütlerine göre risk seviyelerinin grafiksel gösterimi

Şekil 8'de verilen ölçütlerin renklendirilmesi aşamasında CodeMR tarafından kullanılan eşik değerleri Tablo 8'de verilmiştir. Renklendirmede maksimum değer üstündeki değerler kırmızı olarak gösterilmektedir. Maksimum değerin altında kalanlar için ise değerin maksimum değere bölünmesi ile 0-1 aralığında normalize edilmiş değerleri hesaplanır. Normalize değerler için üst sınırlar tabloda gösterilmiştir.

Tablo 8. Şekil 8'de yer alan ölçütlerin risk eşik değerleri

	Max	Low	Low-med	Med-high	High	Very high
MCC	30	0,33	0,57	0,66	0,84	1
Ned	10	0,09	0,21	0,39	0,5	1
Loc	330	0,09	0,15	0,33	0,66	1
Pa	10	0,3	0,51	0,6	0,81	1
Mc	10	0,3	0,51	0,6	0,81	1
Af	10	0,3	0,51	0,6	0,81	1

Uygulamaya ait Odunc sınıfı incelendiğinde, RFC değerinin yüksek çıktığı görülmektedir. Bunun nedeni, Odunc sınıfındaki metotların emanetGunHesapla ve ucretHesapla gibi birbiri ile bağlı çalışan fonksiyonlara sahip olmasıdır. Bağlı fonksiyonların fazla olması, fonksiyonların birinde bulunan hatanın diğer fonksiyonlardaki çalışmayı etkilemesine sebep olduğu için bu tarz fonksiyonlar daha dikkatle incelenmelidir. Alt sınıf sayısını ifade eden NOC değeri, Database modelinde en yüksek değere sahiptir. Bunun nedeni, Kitap, Kisi ve Odunc modellerinin Database sınıfından türetilmesidir. Database sınıfında var olan bir hatanın modelleri etkileyeceği için daha riskli olarak değerlendirilebilir. #MC değeri ile ifade edilen çağrılan metot sayısı parametresi Ödünç Listele ve Emanet Gün Hesaplama kod bloklarında yüksek risk değeri içermektedir. Daha fazla alt fonksiyona bağlı olması, bu kod bloklarında #MC parametresinin yüksek risk içermesine neden olmaktadır.

5. Sonuç

Geliştirilen yazılım sistemlerinde yazılan kodun kalitesini ölçmek için ölçütlerden faydalanılır. Bir yazılım sisteminde belirli özelliklere sahip olmanın derecelendirilmesi, yazılım ölçütünü ifade eder. Literatürde metrik olarak da ifade edilen ölçütler yardımıyla yazılım sisteminin kod analizi gerçekleştirilebilir. Kod analizinin yorumlanması ile kod kalitesini arttırmak hedeflenir. Yazılım sistemlerindeki kodların kalitesi, yazılımın sürdürülebilir olması, tekrar kullanılabilir olması, esnek ve güncellenebilir olması gibi kalite niteliklerini arttırır. Literatürde yazılım ölçütleri hakkında farklı araştırmacılar, birçok yaklaşımlar sunmuşlardır.

Bu çalışmada, yazılım ölçütlerinin sınıflandırılması irdelenmiş, farklı başlıklar altında yer alan ölçütler tablo halinde sunulmuştur. Java programlama dili ile geliştirilen kütüphane uygulamasının kod ölçütleri CodeMR eklentisi yardımıyla analiz edilmiştir. Geliştirilen uygulamanın ölçüt analizleri dikkate alındığında, bir yazılımı oluşturan kodların tamamında birbiriyle bağlantılı yapıların artması riski arttırmaktadır. Yüksek oranda risk içeren yapıların daha özenli geliştirilmesi ve daha az hataya sahip olması gerekmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen örnek Java Swing projesi için CodeMR tarafından kod ölçütlerin hesaplanması mevcut projeye özgüdür.

Kaynaklar

[1] Lo, Sin Kit, et al. "A systematic literature review on federated machine learning: From a software engineering perspective." ACM Computing Surveys (CSUR) 54.5 (2021): 1-39.

[2] Haindl, Philipp, and Reinhold Plösch. "Value-oriented quality metrics in software development: Practical relevance from a software engineering perspective." IET Software 16.2 (2022): 167-184.

[3] Pressman, R. S.; Maxim, B. R. (2015). Software engineering: A practitioner's approach. Eighth, E., editor, *Software Engineering*, C. 1. Raghu Srinivasan, 8 edition.

[4] Bhatia, P. K. (2022). A Survey of Static and Dynamic Metrics Tools for Object Oriented Environment. *Emerging Research in Computing, Information, Communication and Applications*, ss.. 521-530, Springer, Singapore.

[5] Rashid, J., Toqeer M., and Muhamad W.N. (2019). "A study on software metrics and its impact on software quality." arXiv preprint arXiv:1905.12922.

[6] William F. and Carol T., "Software reuse: metrics and models," ACM Computing Surveys, vol. 28(2), pp. 415-435, 1996.

[7] Lee, M.-C. (2014). Software Quality Factors and Software Quality Metrics to Enhance Software Quality Assurance. *British Journal of Applied Science & Technology*, C. 4, Sayı 21, 3069–3095.

[8] Gezici, Bahar, Ayça Tarhan, Oumout Chouseinoglou. "Mobil uygulamaların evriminde karmaşıklık, boyut ve iç kalite gelişimi: Keşifsel bir çalışma." Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 34.3 (2018): 1483-1500.

[9] Murphy, J.; Robinson, J. (2007). Design of a research platform for en route conflict detection and resolution. 7th AIAA ATIO Conf, 2nd CEIAT Int'l Conf on Innov and Integr in Aero Sciences, 17th LTA Systems Tech Conf; followed by 2nd TEOS Forum, 7803.

[10] Halstead, M. H. (1977). Elements of software science (operating and programming systems series). Elsevier Science Inc.

[11] Chidamber, S. R.; Kemerer, C. F. (1994). A Metrics Suite for Object Oriented Design. *IEEE Transactions on Software Engineering*, C. 20, Sayı 6, 476–493.

[12] Erdemir, U.; Tekin, U.; Buzluca, F. (2008). Nesneye dayalı yazılım metrikleri ve yazılım kalitesi. Yazılım Kalitesi ve Yazılım Geliştirme Araçları Sempozyumu, 9–14, Kültür Üniversitesi, Istanbul, Turkey.

[13] Calp, M. H., Arıcı, N. (2011). Nesne Yönelimli Tasarım Metrikleri ve Kalite Özellikleriyle İlişkisi. Politeknik Dergisi, 14(1), 9-14.

[14] Ozdemir, N.; Dinçer, K.; Gezici, B. (2016). Measurement of the Quality Characteristics of Mobile Applications. *10. Türkiye Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu*, 337–348, Onsekiz MartUniversity, Canakkale, Turkey.

[15] Alakus, T. B.; Das, R.; Turkoglu, I. (2019). An overview of quality metrics used in estimating software faults. *IEEE International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*, 9– 14, Inonu University, Malatya, Türkiye.

[16] Yılmaz, Nebi, and Ayça Tarhan. "Açık kaynak yazılımlarda bakım yapılabilirliği ve güvenilirliği ölçmek için iki boyutlu değerlendirme metodu." Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University 34.4 (2019).

[17] Brito e Abreu, F.; Carapuça, R. (1993). Candidate metrics for object-oriented software within a taxonomy framework. *Journal of Systems and Software*, C. 26, Sayı 1.

[18] Brito e Abreu, F.; Melo, W. (1996). Evaluating the impact of object-oriented design on software quality. *Evaluating the Impact of Object-Oriented Design on Software Quality*, C. 26, 90–99. IEEE.

[19] Chawla, M. K.; Chhabra, I. (2013). Capturing OO Software metrics to attain quality attributes–a case study. International Journal of Scientific & Engineering Research, 4, Sayı 6, 359-363.

[20] Demirbaş, R. M. (2014). Nesne yönelik yazılım projelerinde öncelikli olarak test edilecek sınıfların yazılım ölçütleri yardımıyla belirlenmesine yönelik bir yöntem. YL Tezi, Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez No: 373774.

[21] Bansiya, J.; Davis, C. G. (2002). A Hierarchical Model for Object-Oriented Design Quality Assessmentn. *IEEE Transactions on Software Engineering*, C. 28, Sayı 1, 4–17.

[22] Ramamohan, H.; Raminaidu, S. (2020). Expending Aspect Oriented Methodology to Extent of Dynamic Complexity. *International Journal of Scientific Research inEngineering & Technology,* C. 1, Sayıs 1, 48-52.

[23] Lahti, J. R.; Tuovinen, A. P.; Mikkonen, T. (2021). Experiences on Managing Technical Debt with Code Smells and AntiPatterns. IEEE/ACM International Conference on Technical Debt (TechDebt).

[24] Oussalah, M. C.; Brohan, R.; Moustafa, O. (2021). Object Metrics for Green Software. J. Softw., C. 16, Sayı: 6, 285-305.

[25] Gupta, A.; Chauhan, N. K. (2022). A severity-based classification assessment of code smells in Kotlin and Java application. *Arabian Journal for Science and Engineering*, Springer, C. 47, Sayı: 2, 1831-1848.

[26] Bhatia, P. K. (2021). Dynamic Reusability Measurement Using Machine Learning Algorithms in Object-Oriented Environment. *Intelligent Computing and Communication Systems*, Springer, Singapore.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 647-655, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1114719

Laminar Dönen Boru Akışında Isı Transferinin İncelenmesi

Emre Turgut[1]*,Aydın Durmuş[2]
[1] Enerji Sistemleri Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[2]Makine Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
[1] turgutmr@gmail.com, [2] aydindurmus@aydin.edu.tr

(Geliş/Received: 12/05/2022; Kabul/Accepted: 27/06/2022)

Öz: Bu çalışmada, silindirik borunun çeşitli hızlarda döndürülmesi ile akışkana verilen dönme etkisinin ısı transferi, sürtünme faktörü ve etkinlik değerleri üzerinde meydana getirdiği değişimler deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler Reynolds sayısının 500 ile 1800 değerleri arasında ve silindirdik borunun farklı devirlerde döndürülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, dönme hızındaki artış ile Nusselt sayısı, sürtünme faktörü ve etkinlik değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Ayrıca laminar akışta gerçekleştirilen akış gözleme deneyleri ile borunun dönme hızındaki artışın, akışkan üzerine yaptığı etkiler görüntülenmiştir. Bu görüntülerden; laminar akış karakteristiği olan çizgi şeklindeki doğrusal akışın, dönme hızındaki artış ile birlikte türbülanslı akış karakteristiği kazandığı görülmüştür. Elde edilen sonuçların literatürle uyum içinde olduğu sonucu elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Dönen boru akışı, ısı transferi, etkinlik, akış gözleme.

Investigation of Heat Transfer in Laminar Rotating Pipe Flow

Abstract: In this study, the changes in heat transfer, friction factor and efficiency values caused by the rotation effect given to the fluid by rotating the cylindrical tube at various speeds was investigated experimentally. The experiments were carried out by rotating the cylindrical tube at different revolutions and the Reynolds number between 500 and 1800 values. As a result of the experiments, it was observed that the Nusselt number, friction factor and efficiency values increased with the increase in rotational speed. In addition, the effects of the increase in the rotational speed of the pipe on the fluid were observed with the flow observation experiments performed in laminar flow. From these images; It has been observed that linear flow, which has laminar flow characteristics, gains turbulent flow characteristics with the increase in rotational speed. The results obtained were found to be in agreement with the literature.

Key words: Rotating pipe flow, heat transfer, effectiveness, flow monitoring.

1. Giriş

Boru içindeki akışlarda, akışkana dönme etkisi verilerek ısı transferinin artırılması çok kullanılan bir yöntemdir. Adından da anlaşılacağı üzere türbülatörler (türbülans üreticileri) akış ortamının türbülansını artırmaktadır. Türbülans artışı da ısı transferi ve bununla birlikte basınç kaybını artırmaktadır. Literatürde yay, pervane, palet, kanatçık, bükülmüş şerit vb. pek çok şekilde üretilmiş türbülatör bulunmaktadır [1-10]. Bu yöntemlerde sisteme ek bir enerji vermeye gerek yoktur. Bu sebeple bu yöntemlere pasif yöntemler de denmektedir.

Dönmeli akış üretmenin bir diğer yolu ise akışkanın aktığı ortamın döndürülmesidir. Bunun için sisteme enerji girişi olmalıdır. Dışarıdan enerji verilerek ısı transferini artırma yöntemleri aktif yöntemler olarak adlandırılmaktadır. Dönen boru akışları; ısı değiştiricileri, borulama sistemleri, elektrik motorları, kimyasal karışımlar, soğutma sistemleri gibi pek çok mühendislik sistemlerinde kullanılmaktadır [11,12]. Endüstriyel uygulamalardaki öneminden dolayı dönen boru akışları pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Literatürde; dönen borulardaki akışın laminar akış [13,-14] ve türbülanslı akış [15,16] durumlarında; hem sayısal [17,18] hem de deneysel [19,20] olarak incelendiği çalışmalar mevcuttur.

Bu çalışma, akışkanın aktığı ortamın döndürülmesi ile elde edilen dönme etkilerini araştırmaya yöneliktir. Kikuyama et al.[21], akışkanın; eksenel olarak dönen bir boruya girmesi durumunda akışın dönen borudan teğetsel bir hız aldığını ve bunun da akış direncinde ve zamana göre ortalama hız profilinde büyük değişikliklere sebep olduğunu ve laminar akış karakteristiğinin dönme hızındaki artışla birlikte bu etkilerden dolayı bir kararsızlık kazandığını tespit etmişlerdir. Pedley [22], dönen bir boru içindeki laminar akışın kararlılığını incelemiştir. Yapmış olduğu deneyler sonucunda, eksenel Reynolds sayısının 82,9'dan büyük olması durumunda borunun dönmesinin

* Sorumlu Yazar: turgutmr@gmail.com. ORCID Numarası: [1] 0000-0002-1504-9080, [2] 0000-0002-0281-365X

akış üzerinde kararsızlığa sebep olduğunu tespit etmiştir. Song et al. [23], eksenel olarak dönen borulardaki ısı transferi karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler sonucunda; dönme hızının ve ısı borusu geometrisinin ısı transferi üzerindeki etkilerini karakterize etmişlerdir. Ouali et al. [24], eksenel hava akışına sahip dönen bir silindirin içerisinde taşınımla olan ısı transferini deneysel bir teknikle incelemişlerdir. Bu metot ile silindirin dış yüzeyi kızılötesi lambalarla ısıtılmış ve dış yüzeydeki yüzey sıcaklıkları kızılötesi kamera yardımıyla kaydedilmiştir. Deneyler dönme hızının, Reynolds sayısının ve hava debisinin farklı değerlerinde gerçekleştirilmiş ve deneysel bağıntılar geliştirilmiştir. Mori and Nakayama [25], paralel eksen etrafında büyük bir açısal hızla dönen düz bir boru içerisinde dönme ve kaldırma kuvvetlerinden dolayı olan etkileri incelemişlerdir. Bununla birlikte araştırmacılar, düşey eksen etrafında hızla dönen borudaki tam gelişmiş laminar akışı teorik olarak analiz etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, Coriolis kuvveti ile oluşan ikincil akıştan dolayı direnç katsayısında ve Nusselt sayısında önemli bir artış olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Ling et al. [26], turbo makinelerde kullanılan ve radyal olarak dönebilen ısı borularını yüksek sıcaklıklarda araştırmışlardır. Araştırmalarının sonucunda; ısı borusunun çapının, dönme hızının ve çalışma sıcaklığının ısı borusunun performansı üzerinde çok önemli etkileri olduğunu görmüşlerdir. İsmail and Miranda [27], eksenel olarak dönebilen bir ısı borusu üzerinde nümerik bir çalışma yapmışlardır.

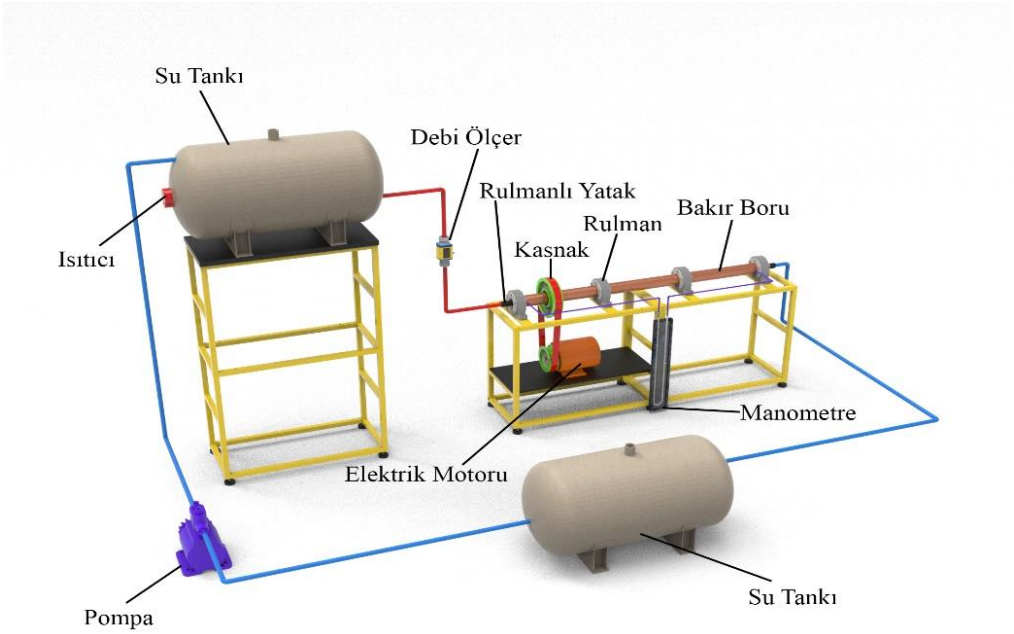
Bu çalışmada ise, bakır borunun çeşitli devirlerle döndürülmesinin, ısı transferi, sürtünme faktörü ve etkinlik üzerine olan etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Ayrıca laminar akışta gerçekleştirilen akış gözleme deneyleri ile borunun dönme hızındaki artışın, akışkan üzerine yaptığı etkiler görüntülenmiştir. Akış gözleme görüntüleri, ısı transferi ve basınç kaybı deneyleri birlikte değerlendirildiğinde, deneylerin hem birbirleriyle hem de literatürle uyum içinde olduğu görülmüştür. Akışta meydana gelen türbülans ya da sönümlenme etkileri gerek laminar ve gerekse türbülanslı akış durumunda ısı transferi ve basınç kaybını önemli ölçüde etkilemektedir. Geniş kapsamlı bir araştırmanın parçası olarak düşünülen bu çalışmada laminar akış koşullarında borunun dönme hızının artırılmasının sistem üzerine olan etkileri hem enerji analizi hem de akış gözleme deneyleriyle desteklenerek yorumlanmış ve sadece ısı transferi, basınç kaybı ve etkinlik değerlerinde meydana gelen artışlar değerlendirilmiştir. Meydana gelen sönümlenme etkisi, enerji analizinin yanısıra ekserji analizinin yapılması ve performans karakteristiklerinin Taguchi, ANOVA ve Gri İlişkisel Analiz yöntemleri ile değerlendirilmesi bu çalışmanın 2. bölümü olarak düşünülmüştür.

2. Materyal ve Metot

Deney düzeneğinin şematik görünüşü ve fotoğrafı Şekil 1a-b'de verilmiştir. Isı iletim katsayısının yüksek olmasından dolayı bakır boru tercih edilmiştir. Bakır boru 4 cm iç çapında, 0.5 mm kalınlığında ve 3 m uzunluğunda seçilmiş ve dikişsiz olarak üretilmiştir. Boru, rulmanlı yataklar ile sehpaya sabitlenmiş ve 0.75 kW'lık elektrik motorunun tahrik etmesiyle farklı devirlerde döndürülmüştür. Sistem için gerekli olan su 10 metre yükseğe yerleştirilen 300 litrelik bir depodan elde edilmiştir. Bu depoda toplam 4500 W gücünde iki adet ısıtıcı kullanılmıştır. Isıtıcılar termostat kontrollü olup su sıcaklığı 80°C olunca ısıtma işlemi otomatik olarak sonlandırılmıştır. 10 m yüksekten serbest düşü ile gelen sıcak su bakır borudan çıktıktan sonra ikinci bir depoya dökülmüş, bu depodan bir pompa vasıtasıyla tekrar yukarıdaki depoya basılmıştır. Böylece sistem için gereken su ihtiyacı karşılanmıştır.

Isı transferi deneyleri dakikadaki dönme hızına göre 4 farklı devirde (100 d/dk, 200 d/dk, 300 d/dk, 400 d/dk) gerçekleştirilmiştir. Deneyler laminar akış koşullarında, Reynolds sayısının 500 ile 1800 değerleri arasında 5 farklı debi değerinde yapılmıştır. Isı transferi deneylerinin gerçekleştirilmesi esnasında dönen bakır borudaki sıcaklıkların ölçülebilmesi amacıyla hareketli bir sehpa üzerine sabitlenen infrared sıcaklık ölçer bakır boruya 5 cm uzakta olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu şekilde bakır boru boyunca cidar sıcaklıkları borunun dönmesi esnasında da ölçülebilmiştir. Deneyler esnasında ölçülen sıcaklıkların sağlıklı olabilmesi açısından infrared sıcaklık ölçer ısıl çiftlerle kalibre edilmiş ve ortam sıcaklıkları bu ısıl çiftler yardımıyla ölçülmüştür.

Basınç düşüşlerinde meydana gelen değişimlerin tespit edilmesi için ise şeffaf hortumdan imal edilen bir U manometre kullanılmıştır. Bu manometre sistemin tam ortasına yerleştirilmiştir. Üzerinden sıcaklık ölçümleri almak için, ısıl çiftlerin de bulunduğu teflon burçların alt kısmına pirinç malzemeden üretilen basınç prizleri takılmıştır. U manometresinin şeffaf hortumları bu prizlere takılarak ve manometreye civa koyularak sistem tamamlanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 1.

Akış gözleme deneylerinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla ikinci bir deney düzeneği daha imal edilmiştir (Şekil 2a). Dönme etkisinin görüntülenebilmesi için 80 cm uzunluğunda bir cam boru kullanılmıştır. Cam borunun iki ucu, teflon malzemeden imal edilen burçlara yerleştirilmiştir. Bu teflon burçların içine iki adet halka conta yerleştirilmiş (Şekil 2b) ve bu şekilde akış gözleme düzeneğinde oluşabilecek sızıntıların önüne geçilmiştir. Sistem bir elektrik motoru ile tahrik edilmiş ve istenen devirde dönmesi sağlanmıştır. Sistemde oluşabilecek sarsıntıların önlenebilmesi için kasnak her iki yanından da oynak yataklar ile yataklanmıştır. Akış gözleme deneylerinin yapılabilmesi, sistemde akım görünürlüğünün sağlanabilmesiyle mümkün olmaktadır. Bunu gerçekleştirebilmek

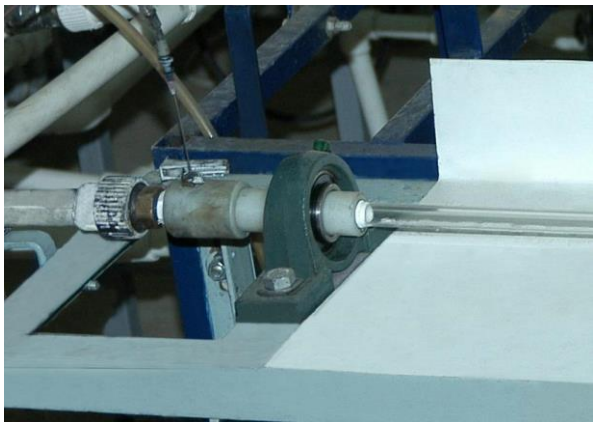
için ise suda çözünmeyen bir boya kullanılmıştır. Boyanın sisteme verilebilmesi için burç üzerinde bir delik açılmış ve bir iğne bu delikten içeri yerleştirilmiştir (Şekil 2b-c).



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.

Reynolds sayısı

$$Re = \frac{V_{ort}\ d_i}{\upsilon} \quad (1)$$

denklemi ile hesaplanır. Burada V_{ort} ortalama hızı, di iç borunun iç çapını ve υ kinematik viskoziteyi ifade etmektedir.

Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü aşağıdaki gibi elde edilir:

$$Nu = \frac{hd_i}{k} \quad (2)$$

$$f = \frac{2\Delta P d_i}{L\rho {V_{ort}}^2} \quad (3)$$

bu iki denklemde yer alan h taşınım katsayısını, k ısıl iletkenlik katsayısını, ΔP basınç kaybını, L boru uzunluğunu göstermektedir.

Sistemde gerçekleşen ısı transferi Q_g

$$Q_g = \dot{m}C_p(T_{giriş} - T_{çıkış}) \quad (4)$$

formülüyle hesaplanır. Maksimum ısı transferi ise boruya giren sıcak suyun çevre sıcaklığında boruyu terketmesi durumunda olacaktır ve bu durum da

$$Q_{maks} = \dot{m}C_p(T_{giriş} - T_{çevre}) \quad (5)$$

denklemiyle ifade edilebilir.
Etkinlik ise gerçekleşen ısı transferinin olabilecek maksimum ısı transferine oranı olarak tanımlanır. Bu durumda etkinlik

$$E = \frac{Q_g}{Q_{maks}} \quad (6)$$

şeklinde elde edilir.
Mühendislik sistemlerinin enerji analizinde ısı transfer birim sayısı veya transfer birim sayısı olarak ifade edilen ve NTU (number of transfer unit) ile gösterilen bir sayı kullanılır. Bu sayı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$NTU = \frac{A\,U}{C} \quad (7)$$

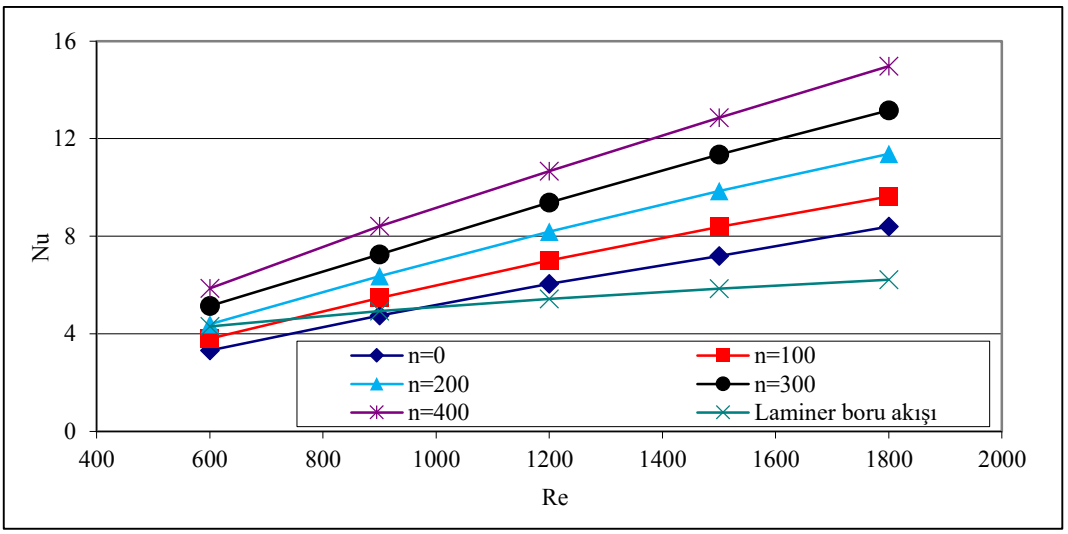
Bu denklemdeki C havanın ısıl kapasitesini, A ısı transfer alanını ve U toplam ısı transfer katsayısını ifade etmektedir. Havanın ısıl kapasitesi:

$$C = \dot{m}C_p \quad (8)$$

şeklinde hesaplanır.

3. Bulgular ve Değerlendirme

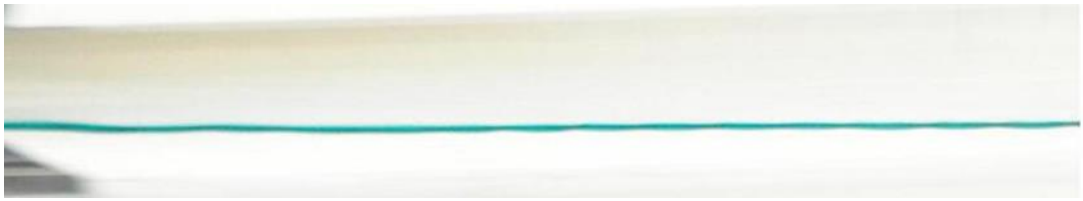
Silindirik bakır boru ve akış gözleme deneylerinde kullanılan cam borunun çeşitli devirlerde döndürülmesiyle gerçekleştirilen bu çalışmada Reynolds sayısı 500 ile 1800 değerleri arasında seçilmiştir. Sistemin durgun (n=0 d/dk) hali referans alındığında, artan devir sayısı ile Nusselt sayısının arttığı, devir sayısının n=400 d/dk değerinde ise en büyük değerine ulaştığı görülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3.

Bu durumu daha iyi anlayabilmek için akış gözleme deneylerini incelemek faydalı olacaktır. Ancak bu deneylere göz atmadan önce akış karakteristiklerinin ve bu karakteristiklerin ısı transferi üzerine olan etkilerinin iyi anlaşılması gerekmektedir. Laminar akış; çalkantısız akım çizgileri ile tanımlanan oldukça düzenli akışkan hareketi, türbülanslı akış ise genellikle yüksek hızlarda oluşan ve çalkantılar ile tanımlanan oldukça düzensiz akışkan hareketi olarak adlandırılır [28]. Akışta meydana gelen türbülans sınır tabaka kalınlığını azaltır ve bozar, daha iyi bir akış karışımı oluşmasını sağlayarak ısı transferini artırır. Şekil 4a da laminar akış karakteristiği görülmektedir. Çalkantısız, düz bir akım çizgisi şeklinde olan bu akış, borunun döndürülmesiyle Şekil 4b'de olduğu gibi türbülanslı akış karakteristiği kazanmıştır. Şekil 4c'de ise türbülanslı akışa (Re=5000) ait bir akış gözleme görüntüsü yer almaktadır. Şekil 4b'de akışın boruya girdiği noktada düz bir çizgi şeklinde olduğu, dönme etkisiyle birlikte türbülanslı akış karakteristiği kazandığı açık bir şekilde görülmektedir.

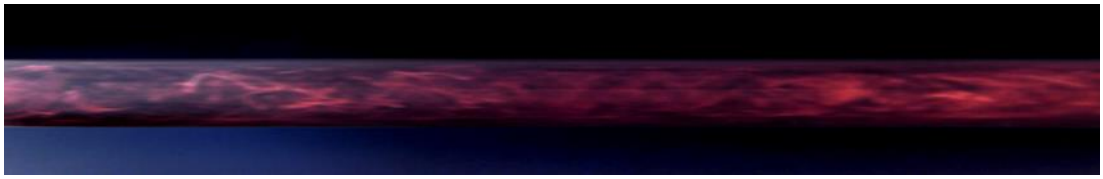
Türbülanslı akışta ısı transferinde meydana gelen artışların sebebi yukarıda açıklanmıştı. Şekil 3'te artan devir sayısıyla meydana gelen ısı transferi artışları akış gözleme deneyleriyle örtüşmektedir. Reynolds sayısının 1800 değerinde; borunun dönme hızının durgun halden 400 devire çıkması sonrasında Nusselt sayısı 8.4'den 14.97'ye çıkmıştır. Devir sayısının 400 d/dk olduğu durumda Nusselt sayısındaki değişimin, Reynolds sayısının 600-1800 değerleri arasında 5.87 ile 14.97 arasında olduğu görülmüştür. Meydana gelen bu artışın sebebi dönme etkisiyle laminar akışın türbülanslı akış karakteristiği kazanmasıdır.



(a)

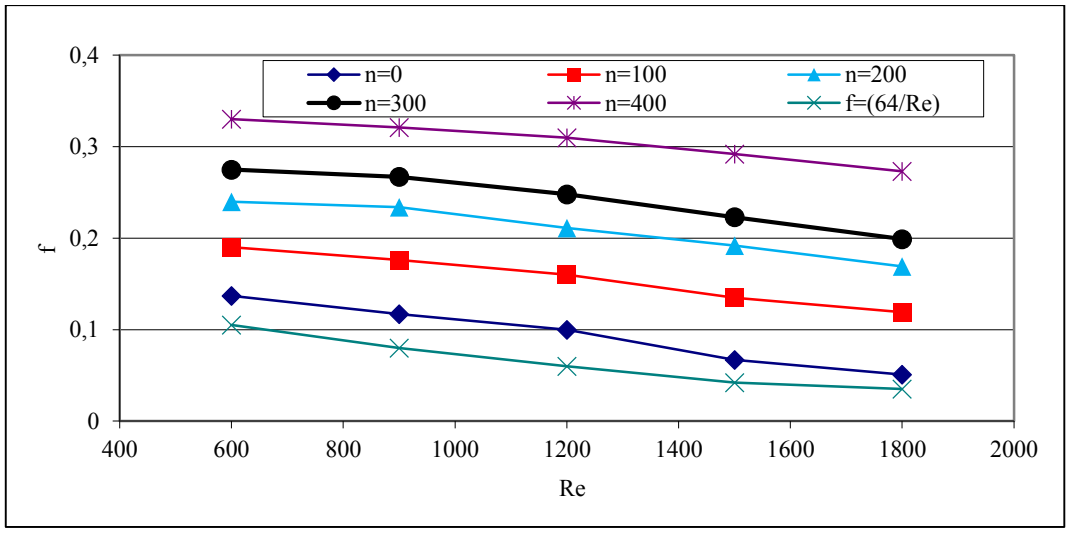


(b)



(c)

Şekil 4.



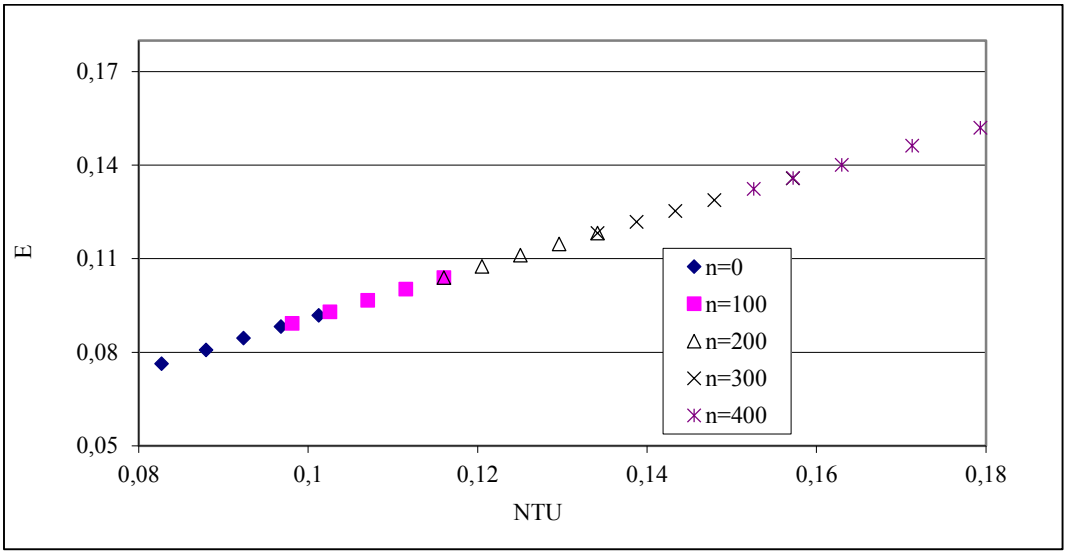
Şekil 5.

Isı transferindeki artışlara benzer şekilde basınç kayıpları (ΔP) da devir sayısındaki artış ile artmaktadır. Sürtünme faktöründeki (f) değişim hızın karesi ile ters orantılı olduğundan Reynolds sayısındaki artış ile sürtünme faktörü değerleri azalmaktadır. Bu durum Şekil 5'te sunulmuştur ve Denklem 3'te açık bir şekilde görülmektedir.

f'nin en büyük değeri ısı transferi deney sonuçlarıyla uyumlu olarak 400 d/dk durumunda ortaya çıkmıştır. Çünkü artan devir sayısı ile akış türbülans karakteristiği kazanmakta ve bunun sonucunda basınç kayıpları da artmaktadır. Durgun durum ile borunun 400 d/dk ile dönmesi durumu kıyaslandığında f değerlerinin sırasıyla 0.137 ile 0.33 arasında değiştiği görülmüştür. 400 d/dk durumunda f değerinde meydana gelen en büyük değişimin Reynolds sayısının 600-1800 değerleri arasında sırasıyla 0.33-0.273 arasında olduğu sonucu elde edilmiştir.

Mühendislik uygulamalarında etkinlik de önemli bir kavramdır ve gerçekleşen ısı transferinin olabilecek maksimum ısı transferine oranı olarak ifade edilir. Verilen Reynolds sayısı değerinde gerçekleşebilecek maksimum ısı transferi bellidir. Bu durumda gerçek ısı transferini maksimum ısı transferine ne kadar yaklaştırırsak etkinlik de o kadar artacaktır. Bu çalışmada etkinlik ile ilgili verilerin yorumlanabilmesi için Kays ve London [29] tarafından önerilen E-NTU yöntemi kullanılmıştır. Denklem 7'den de görüleceği gibi artan ısı transfer katsaytısı NTU'nun da artması anlamına gelecektir. Dolayısıyla artan NTU ile birlikte etkinlik de artacaktır.

Bu çalışmada, gerçekleşen en büyük ısı transferi borunun 400 d/dk hızla döndürülmesi durumunda elde edildiğinden etkinliğin en büyük olduğu devir sayısı da 400'dür (Şekil 6). Etkinlik değerleri 0.076 ile 0.152 değerleri arasında değişmiştir.



Şekil 6.

4. Sonuçlar

Silindirik borunun ekseni etrafında serbestçe döndürülmesiyle gerçekleştirilen bu çalışmada, dönme etkisinin ısı transferi, sürtünme faktörü ve etkinlik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen deneysel veriler akış gözleme deneyleriyle desteklenmiş ve aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

1. Laminar akışta borunun dönme hızının ve Reynolds sayısının artmasının Nu sayısını artırdığı görülmüştür. Laminar akışta meydana gelen ısı transferi artışı akış gözleme deneyleriyle doğrulanmıştır. Laminar akışın dönme etkisiyle türbülanslı akış karakteristiği kazandığı Şekil 4'te açık bir şekilde görülmektedir. Bilindiği üzere türbülanslı akışta ısı transferi, artan türbülans etkisine paralel olarak artmaktadır. Nusselt sayısının en büyük değerinin, 400 d/dk dönme hızında 14.97 olduğu görülmüştür.
2. Sürtünme faktörü değeri artan Reynolds sayısı ile birlikte azalma eğilimine girmiştir. Bu beklenen bir sonuçtur çünkü sürtünme faktörü hızın karesi ile ters orantılı olarak değişmektedir. Ancak dönme hızındaki artış ile artan türbülans etkisi ise basınç kayıplarını dolayısıyla da sürtünme faktörü değerlerini artıracaktır. Sürtünme faktörünün en büyük değeri türbülans etkisinin en büyük olduğu 400 d/dk durumunda 0.33 olarak bulunmuştur.
3. E-NTU değişimi incelendiğinde etkinliğin artan NTU ile arttığı görülmüş, en büyük etkinlik değeri 0.152 olarak hesaplanmış ve bu değere dönme hızının 400 d/dk olduğu durumda ulaşılmıştır.

4. Akış gözleme deneylerinden elde edilen sonuçların ısı transferi deney sonuçlarını desteklediği görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma FÜBAP (Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri) 1044 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Doktora tez çalışması olarak yürütülen bu çalışmada Prof. Dr. Aydın Durmuş proje yürütücüsü, Dr. Öğr. Üyesi Emre Turgut ise araştırmacı olarak görev almıştır. Proje çalışanları sağladıkları destekten dolayı FÜBAP'a teşekkür eder.

Kaynaklar

[1] Pourahmad S, Pesteei SM. Effectiveness-NTU analyses in a double tube heat exchanger equipped with wavy strip considering various angles. Energy Convers Manage 2016; 123:462-469.
[2] Du J, Hong Y, Wang S, Ye WB, Huang SM. Experimental thermal and flow characteristics in a traverse corrugated tube fitted with regularly spaced modified wire coils. Int J Therm Sci 2018; 133: 330-340.
[3] Muthusamy C, Vivar M, Skryabin I, Srithar K. Effect of conical cut-out turbulators with internal fins in a circular tube on heat transfer and friction factor. Int Commun Heat Mass Transfer 2013; 44: 64-68.
[4] Chompookham T, Chingtuaythong W, Chokphoemphun S. Influcnce of a novel serrated wire coil insert on thermal characteristics and air flow behavior in a tubular heat exchanger. Int J Therm Sci 2022; 171: 107184.
[5] Singh P, Pandit J, Ekkad SV. Characterization of heat transfer enhancement and frictional losses in a two-pass square duct featuring unique combinations of rib turbulators and cylindrical dimples. Int J Heat Mass Transfer 2017; 106: 629-647.
[6] Ayub ZH, Yang D, Khan TS, Al-Hajri E, Ayub AH. Performance characteristics of a novel shell and tube heat exchanger with shell side interstitial twisted tapes for viscous fluids application. Appl Therm Eng 2018; 134: 248-255.
[7] Shirvan KM, Mamourian M, Esfahani JA.Experimental investigation on thermal performance and economic analysis of cosine wave tube structure in a shell and tube heat exchanger. Energy Convers Manage 2018; 175: 86-98.
[8] Ham J, Shin Y, Cho H. Theoretical investigation of the influence of pipe diameter and exit channel widht in welded plate heat exchanger on heat exchanger performance. Heat Mass Transfer 2020; 56: 759-771.
[9] Fan A, Deng J, Guo J, Liu W. A numerical study on thermo-hydraulic characteristics of turbulent flow in a circular tube fitted with conical strip inserts. Appl Therm Eng 2011; 31: 2819-2828.
[10] Jasinski PB. Numerical study of thermo-hydraulic characteristics in a circular tube with ball turbulators. Part 3: Thermal performance analysis. Int J Heat Mass Transfer 2017; 107: 1138-1147.
[11] Ma JF, Shen XR, Zhang MK, Zhang BZ. Laminar developing flow in the entrance region of rotating curved pipes. J Hydrodyn 2006; 18(4): 418-423.
[12] Petrakis MA. Flow characteristics in a heated rotating straight pipe. Int J Heat Mass Transfer 1998; 41: 4385-4392.
[13] Lei U, Yang ACY. Convective heat transfer of the flow through a rotating circular straight pipe. Chin J Mech 2001; 17(2): 79-91.
[14] Ling J, Cao Y. Closed-form analytical solutions for radially rotating miniature high-temperature heat pipes including non-condensable gas effects. Int J Heat Mass Transfer 2000; 43: 3661-3671.
[15] Turgut E, Durmuş A. Dönen borudaki türbülanslı iç akışın incelenmesi. 17. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 24-27 Haziran 2009, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
[16] Cloos FJ, Zimmermann AL, Pelz PF. Two turbulent flow regimes at the inlet of a rotating pipe. Eur J Mech B Fluids 2017; 61: 330-335.
[17] Taamneh Y. Thermal analysis of gas turbine disk integrated with rotating heat pipes. Case Stud Therm Eng 2017; 10: 335-342.
[18] Shi X, Yin B, Chen G, Zhang X, Mei X. Numerical study on two-phase flow and heat transfer characteristics of loop rotating heat pipe for cooling motorized spindle. Appl Therm Eng 2021; 192: 116927.
[19] Koca T, Cıtlak A. Design and analysis of double-pipe heat exchanger using both helical and rotating inner pipe. Therm Sci 2021; 25(2B): 1545-1559.
[20] Wang H, Bao Y, Liu M, Zhu S, Du X, Hou Y. Experimental study on dynamic characteristics of cylindrical horizontal axially rotating heat pipe. Appl Therm Eng 2022; 209: 118248.
[21] Kikuyama K, Murakami M, Nishibori K, Maeda K. Flow in an axially rotating pipe, Bulletin of the JSME 1983; 26(114): 506–513.
[22] Pedley TJ. On the instability of viscous flow in a rapidly rotating pipe. Journal of Fluid Mechanics 1969; 35: 97-115.
[23] Song F, Ewing D, Ching CY. Experimental investigation on the heat transfercharacteristics of axial rotating heat pipes. Int J Heat Mass Transfer 2004; 47: 4721-4731.
[24] Ouali SS, Saury D, Harmand S, Phillipart O, Laloy D. Convective heat transfer inside a rotating cylinder with an axial air flow. Int J Therm Sci 2006; 45: 1166-1178.

[25] Mori Y, Nakayama W. Forced convective heat transfer in a straight pipe rotating around a parallel axis. Int J Heat Mass Transfer 1967; 10(9): 1179-1194.
[26] Ling J, Cao Y, Chang WS. Analyses of radially rotating high-temperature heat pipes for turbomachinery applications. ASME J Eng Gas Turbines Power 1999; 121: 306-312.
[27] Ismail KAR, Miranda RF. Two-dimensional axisymmetrical model for a rotating porous wicked heat pipe, Appl Therm Sci 1997; 17: 135-155.
[28] Çengel AY, Ghajar AJ. Heat and Mass Transfer -FUNDAMENTALS & APPLICATIONS. 6th ed. New York, NY, USA. McGraw Hill, 2020.
[29] Kays WM, London AL. Compact FHeat Exchangers. 3rd ed. New York, McGraw-Hill, 1984.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 657-666, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1117094

Bölgesel Güneş Enerji Potansiyeli ve Enerji Santrali Yatırımı Değerlemesi: Sincan Örneği

Harun VARLI[1*], Mustafa TUNA[2] , Mustafa TOMBUL[3]
[1] Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı
[*1] varlihan@hotmail.com, [2] mtuna57@gmail.com, [3] mtombul@ankara.edu.tr

(Geliş/Received: 16/05/2022; Kabul/Accepted: 07/08/2022)

Öz: Dünyadaki nüfus artışı ve ileri teknoloji süreçlerine bağlı olarak, enerjiye olan ihtiyaç her yıl artmaktadır. Artan enerji talebini karşılamak için, fosil esaslı kömür, doğal gaz, petrol gibi azalan kaynaklar, sıklıkla kullanılmaktadır, buyüzden çevre kirliliği tehlikeli seviyelere ulaşmaktadır. Türkiye'de çevre kirliliğinin önlenmesine katkıda bulunmak için, ithalat gerektirmeyen ve maliyeti düşük olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Ankara ili Sincan ilçesindeki 50MW büyüklüğündeki güneş enerji santralinin potansiyeli incelenerek yatırım bakımından değerlendirilmiştir. Güneş enerji santrali yatırımlarının 4-5 sene içerisinde yapılan yatırımı geri kazandırdığı ve karbon salınımını azaltarak fotovoltaik sistemlerin ekonomik ömrü olan 25 yıl süresince enerji üretebileceği mümkün görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, güneş enerjisi santralleri, bölgesel potansiyel.

Potentiality of Regional Solar Energy and Evaluation of Power Plant Investment: Case of Study Sincan

Abstract: The world's population growth and advanced technology processes lead to a higher need for energy in an annual context. Fossil-based resources such as coal, natural gas, oil, which are gradually decreasing, are frequently used to meet the increasing energy demand. Therefore environmental pollution reaches dangerous levels. The use of renewable energy sources, not requiring imports besides their low costs, is vital in resolving the environmental pollution in Turkey. This study examines the potantial of 50MW solar power plant in the Sincan district, Ankara province, for investment. It seems possible that solar power plant investments might recover the investment made within 4-5 years and produce energy for 25 years, which is the economic life of photovoltaic systems while reducing carbon emissions.

Key words: Solar energy, solar power plants, regional potantial.

1.Giriş

Dünyada tüketilen enerjinin yaklaşık %75'i fosil (kömür, petrol vb.), kaynaklardan elde edilmekte olup, bunlar sınırlı ve hızla tükenen kaynaklardır [1]. Bu durum, gelecekteki enerji talebi için önemli bir konudur. Ayrıca fosil kaynakların yoğun kullanımından kaynaklanan CO_2 emisyonları da küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu emisyon iklim değişikliğine ve geri dönüşü olmayan zararlara neden olmaktadır [2]. Petrol ve türevleri bu kaynaklar arasında en yaygın olarak kullanılanlardır. Araştırmalar, fosil yakıtların mevcut oranda tüketilmeye devam etmeleri halinde yakın gelecekte tükenmeye başlayacağını göstermektedir. Fosil enerji kaynaklarının sürekli olarak tükenmesi, ekolojik dengenin bozulması ve bu kaynakların enerji üretim sürecinde ortaya çıkan atıklar nedeniyle klimatolojik dengenin bozulması, çevresel sürdürülebilirlik adına çözülmesi gereken önemli sorunlardır.

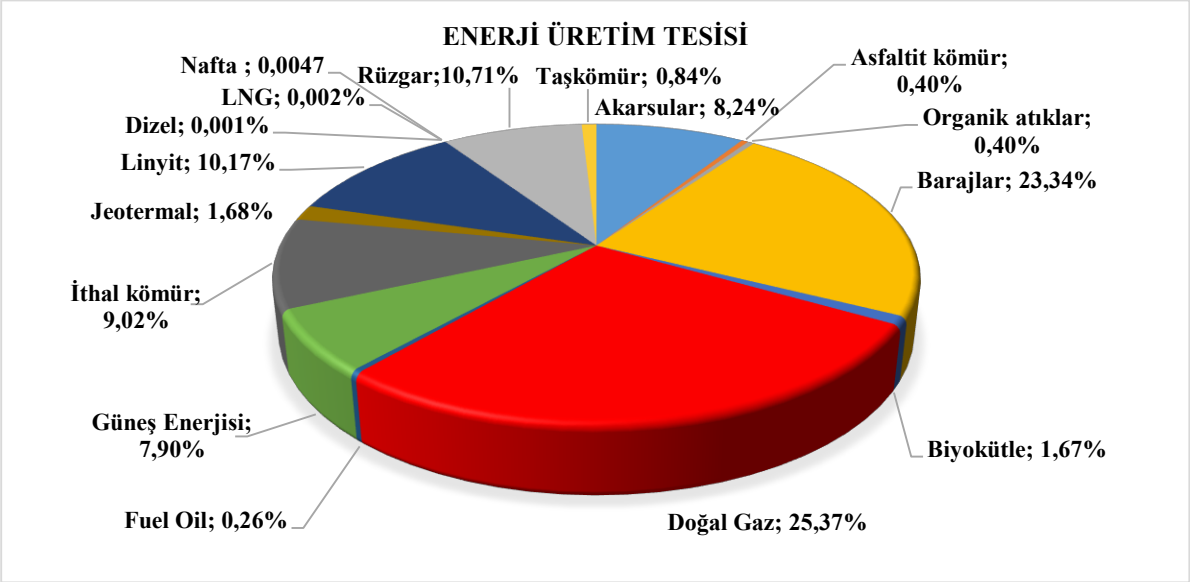
Türkiye gibi birçok ülkede fosil kaynaklarının gelecekteki enerji taleplerini karşılamakta yetersiz kalacağı düşüncesi yenilenebilir enerji kullanımının önemini ön plana çıkarmış ve enerji üretiminde yenilenebilir enerji yatırımları ile Türkiye önemli başarılara imza atmıştır [3]. Bugün dünyada enerji ihtiyacının yaklaşık %16.7'i yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır [4]. Türkiye'de ise %7,9'u yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Kıyılarında güçlü gelgitlerin olduğu Fransa, ABD, Kanada ve Avustralya'da gelgit enerjisi kullanılırken, İzlanda, Yeni Zelanda, ABD, Japonya ve Sovyetler Birliği'nde jeotermal enerji uygulamaları bulunmaktadır.

*Sorumlu yazar: varlihan@hotmail.com, Yazarların ORCID Numarası: [1]0000-0001-7521-2970, [2]0000-0002-9614-6076, [3] 0000-0002-1875-8042

Bu çalışmada, Ankara İli Sincan İlçesindeki çevresel etki değerlendirmesi uygun arazi ile enerji iletim ve bağlantı noktasında uygun görüşle 50 Megawatt elektrik enerjisi kurulu gücünde kurulması planlanan güneş enerjisi santralinin potansiyelini saatlik, aylık, yıllık sürelerde ve yatırımlarının değerlemesi veriler ışığında incelenmektedir. Yatırım değerleme çalışmaları; arazi ediniminden başlayıp imar planı ve kentsel tasarım projelerinin geliştirilmesi, tesis ve kaynakların yönetilmesi, finans kaynakları ve yabancı finans kuruluşları ile yapılabilecek çalışmaları kapsamaktadır.

2.Türkiye'de Enerji Görünümü

Ocak 2019'da Türkiye'de 292 MW kurulu güce sahip güneş enerji santralleri devreye alınmıştır [6]. Ocak 2019 itibarıyla Türkiye'nin toplam güneş enerjisi kurulu gücü 88.894 MW olmuştur. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği kapsamında üretilen güç ile birlikte toplam kurulu güç Ocak 2020'de 99.734 MW'a ulaşmıştır [7]. Buna göre Türkiye'deki elektrik üretim tesislerinin güneş enerjisi kurulu gücü 2019 yılına göre %12,19 artmıştır. Türkiye'nin toplam kurulu gücünün yüzde 25,37'si doğal gaz santrallerinden, yüzde 10,17'si linyit kaynaklı santrallerden, yenilenebilir enerji kaynakalarından olan hidroelektrik santrallerinden yüzde 31,58'i, yüzde 10,71 rüzgar santrallerinden, yüzde 7,90'ı güneş enerjisi santrallerinden, yüzde 1.68'i jeotermal enerji santrallerinden, yüzde 1,67'si biyokütleden elde edildiği görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim yapan santrallerin toplam kurulu gücü, toplam kurulu gücün yüzde 53,54'si Şekil 1'de de görüldüğü üzere 53.406 MW'a ulaşmıştır [6]. Ülkemizde enerji kaynakları çok fazla çeşitlilik göstermekte olup toplam enerji ihtiyacının yarısından fazlası yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır.



Şekil 1. Türkiye'de enerji santrali kurulu gücü oranları [9]

Tablo 1'de Ocak 2022 sonunda santral sayısının 10.549'e, kurulu güç ise 99.734,0 MW ulaştığı görülmektedir. TEİAŞ'ın 2022 yayınladığı aylık kurulu güç raporu, Şubat 2022'de kurulu elektrik üretiminin ocak ayına göre 156,1 MW artarak 99.890,1 MW'a ulaştığını gösteriyor. Kurulu gücün toplam 25.455.8 MW'ı doğalgaz santralleri, 23.283,5 MW'ı barajlı hidroelektrik santralleri, 10.142,5 MW'ı linyit santralleri, 9.053,8 MW'ı ithal kömür santralleri, 8.224,4 MW'ı nehir tipi santralleri, 10.711,0 MW rüzgar santrali ve 7.953,3MW güneş enerjisi santralidir. Mart 2022 itibariyle kurulu gücün toplam 100.334,0 MW, hidroelektrik santralleri 23.283,5 MW, rüzgar santrali 10.861,5MW ve güneş enerjisi santrali 8.028,9 MW dir. Buradan da görüldüğü üzere 2019 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynakları artarken fosil kökenli enerji kaynaklarında azalma söz konusudur.

Tablo 1. Türkiye'de enerji santrali kurulu gücü [9]

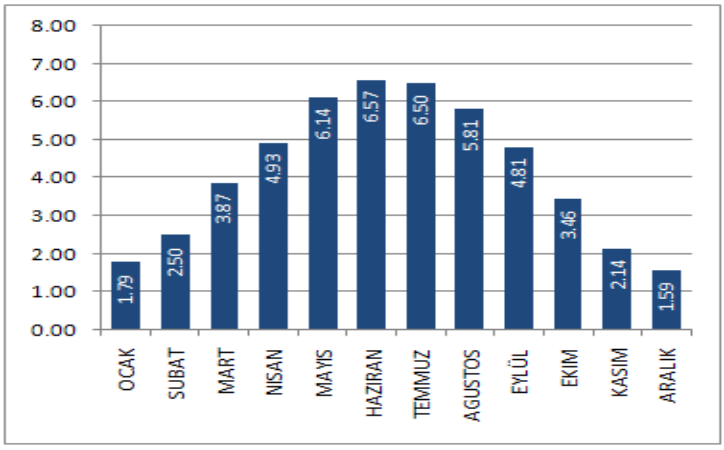
Enerji Kaynakları	Enerji Tesisi	Kurulu güç	Yüzde

	[Miktar]	[MW]	[%]
Akarsular	604	8.217,7	8.24%
Asfaltit Kömür	1	405,0	0,4%
Organik atık enerji	94	390,9	0,4%
Barajlar	141	23.280,3	23,34%
Biyokütle	380	1668,0	1,67%
Doğal gaz	351	25.305,3	25,37%
Fuel Oil	9	251,9	0,26%
Güneş enerjisi	8.482	7.881,1	7,90%
İthal kömür	15	8.993,8	9,02%
Jeotermal enerji	63	1.676,2	1,68%
Linyit	47	10.142,5	10,17%
LNG(sıvılaştırılmış doğal gaz)	1	2,0	0,002%
Dizel	1	1,0	0,001%
Nafta	1	4,7	0,0047%
Rüzgar	355	10.682,8	10,71%
Taşkömürü	4	840,8	0,84%
TOPLAM	10.549	99.734,0	100%

3.Türkiye'de Güneş Enerji Potansiyeli

Güneş, füzyon enerjisinin en önemli kaynağıdır ve dünyaya zarar vermeyecek bir mesafede bulunmaktadır. Güneş enerjisi, kömür, petrol ve atom enerjisi gibi fosil enerji kaynaklarından daha üstündür. Örneğin güneş enerjisinden elde edilen doğru akım elektrik enerjisi, güneş panellerinde modül hücreler kullanılarak çevreyi kirletmeden ve klimatolojik dengeyi bozmadan, inverterler ve transformatörler aracılığıyla doğrudan enterkonnekte şebekeye beslenebilir. Ayrıca elektroliz yoluyla hidrojen gazına dönüştürülebilir ve depolanabilir veya şu anda doğal gaz taşımacılığında kullanılan boru şebekesi gibi hatlar ile kullanılacağı yerlere dahi taşınabilir.

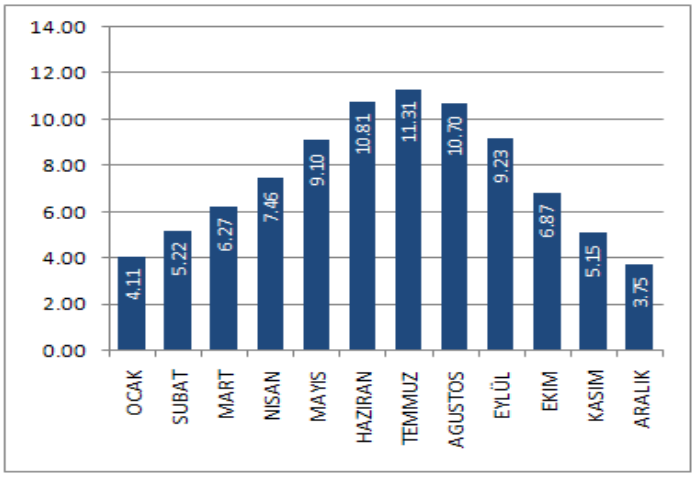
Günümüzde güneş enerjisinin kullanımı günlük yaşamın yapısından iletişim, tarım, sanayi, enerji santralleri, askeri hizmetler ve uzaya kadar uzanmaktadır. Güneş enerjisindeki teknolojiler, düşük ve yüksek sıcaklıkta ısı, güneş termal elektrik uygulamaları ve fotoelektrik, fotosentetik ve fotokimyasal fonksiyonlara dayanmaktadır [12].



Şekil 2. Türkiye'de aylık global radyasyon değerleri (KWh/m2-gün) [11]

Türkiyenin bulunduğu koordinatlar itbarıyla çok yüksek bir güneş enerjisi kapasitesi vardır. Şekil 2'de görülen değerler ülkemizin aylık bazda ortalama günlük global radyasyon değerleridir [11]. Global radyasyon değerinin en fazla olduğu ay Haziran ayıdır. Türkiye'nin aylık bazda ortalama günlük ışınım şiddetinin 4,18 kWh/m² gün olup yılık ortalama toplam global radyasyon değeri 1524,18 kWh/m² yıl olarak hesaplananmıştır.

Dünya çapında yapılan araştırmalarda, Türkiye'nin güneş enerjisinden üretilen enerji üretiminde 189 GWh'lik bir potansiyele sahip olduğuna ulaşılmaktadır. Bu değer Türkiye'yi enerji üretim potansiyelinde İspanya, Fransa ve çoğu Avrupa ülkesinin önüne geçiriyor. Türkiye, önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahip iken bu enerjiyi kullanmakta bazı zorluklarla karşılaşılmaktadır. En büyük zorluklar teknoloji ve finansal kısıtlamalardır. Ayrıca, nitelikli iş gücüne duyulan ihtiyaç nispeten yüksektir. Devletin yerli üretimi teşvik edecek teşvikler vermesi esastır [9]. Alternatif yenilenebilir enerji kaynakları arasından potansiyeli en yüksek olan enerji kaynağı Türkiye'de güneştir [10].



Şekil 3. Türkiye'de aylık bazda ortalama güneşlenme süreleri (günlük/saat)[11]

Şekil 3'teki grafikte ülkemizin aylık bazda ortalama güneşlenme süreleri gösterilmiştir [11]. Temmuz ayında güneşlenme süresi maksimum iken Aralık ayında minimumdur. Türkiye'nin aylık bazda ortalama günlük güneşlenme süresi 7,5 saat-gün, yılık ortalama toplam güneşlenme süresi ise 2737,5 saat-yıl (7,5x365) dır. Bu veriler doğrultusunda Türkiye'nin güneşlenme süresi açısından yüksek potansiyele sahip olduğu görülmektedir.

3.1. Ankara-Sincan Güneş Enerjisi Potansiyel Çalışmaları

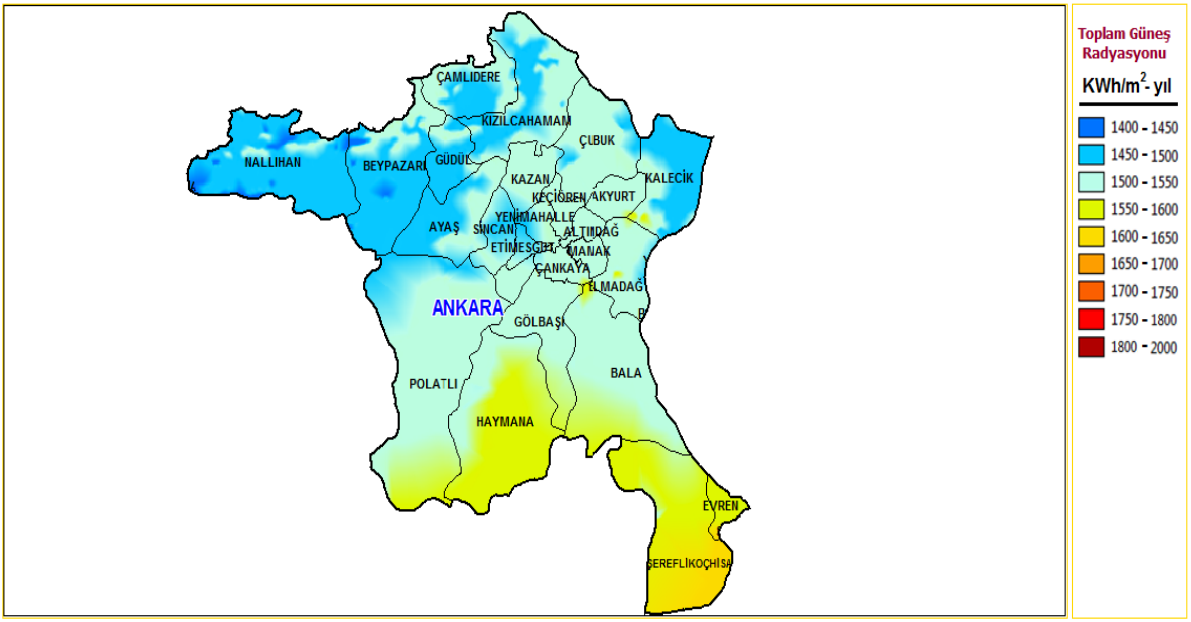
26.897 km2'lik bir alana sahip olan Ankara, 39.57 K enlemi ile 32,53 D boylamları arasında yer alır. Deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 890 m'dir. Ankara, doğusunda Kırıkkale, kuzeydoğusunda Çankırı, kuzeybatısında Bolu, batısında Eskişehir, güneyinde Konya, güneydoğusunda Kırşehir ve Aksaray İllerine komşudur[19]. Ankara'nın güney ve orta bölümlerinde karasal iklim hakim olup kış ayları soğuk ve kar yağışlı yaz ayları sıcak ve kurak geçmektedir. En sıcak aylar temmuz, ağustos aylarıdır. İldeki ortalama en yüksek gündüz sıcaklıkları 27-41° C'dir. En düşük gece sıcaklıkları ortalama -24 ila -1 °C arasındadır.

İlin en yüksek noktası 2015 m yüksekliğindeki Elmadağ, en geniş ovası 3789 km²'lik yüz ölçümü ile Polatlı Ovası, en büyük gölü yaklaşık 490 km²'lik yüz ölçümü ile Tuz Gölü'nün il içindeki alanı, en uzun akarsuyu yaklaşık 151 km'lik uzunluğu ile Sakarya Nehri'nin il içindeki bölümü, en büyük barajı ise 83,8 km²'lik yüz ölçümü ile Sarıyar Barajı olup, il geneli itibarıyla 14 doğal göl, 136 sulama göleti ve 11 baraj bulunmaktadır.

Enerji alanında ise Ankara İli Nallıhan İlçesinde Çayırhan Termik Santrali (634 MW) linyit kömürü enerji üretim kapasitesine sahip. Sarıyar Barajı (160 MW), Evren'de Hirfanlı Barajı (128 MW) ve Kesikköprü Barajı (76 MW) hidrolelektrik enerji üretim kapasitelerine sahiptir.

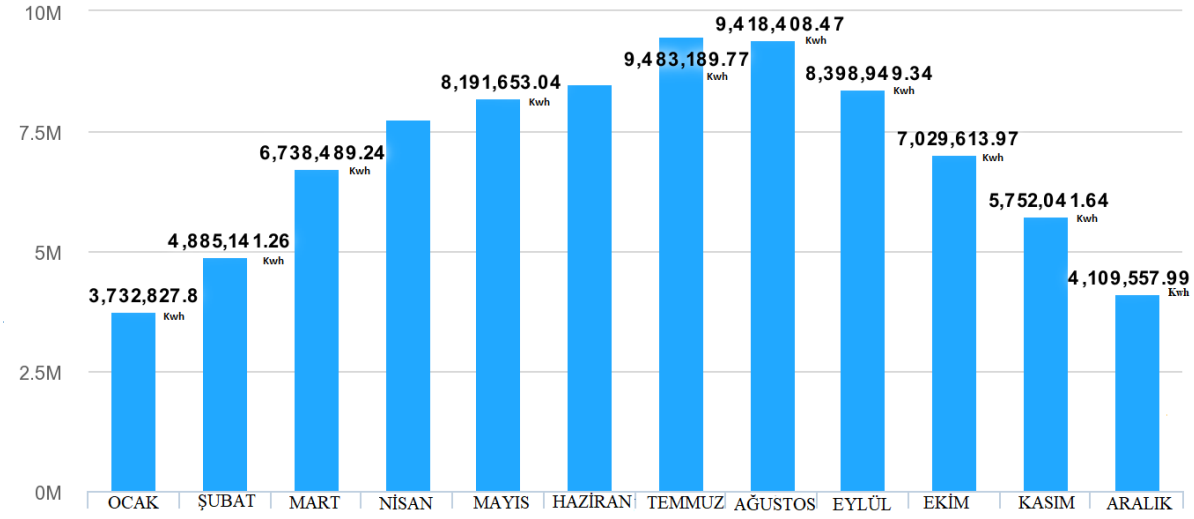
Ankara'nın güneş ışınım haritası Şekil 4'te verilmektedir [11]. Şekil 4'de görüldüğü üzere Ankara'nın güneş radyasyon değerleri yerine ve konumuna göre 1450-1600 KWh/m^2 yıl güneş ışınım potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

Ankara'nın mevcut işletmedeki güneş enerjisi santral sayısı 43 adet olup bunların toplam kapasitesi 384 MWe' dir [13]. Bu santrallar arasında Sincan ilçesine ait büyük çaplı arazi kurulumlu güneş enerjisi santrali bulunmamaktadır. 50 Megawatt büyüklükte potansiyele sahip güneş enerji santrali yatırımı için Sincan ilçesi bölgede ilk ve en büyük yenilenebilir enerji yatırımı olacaktır.



Şekil 4. Ankara ili güneş ışınım haritası (GEPA, 2022) [11]

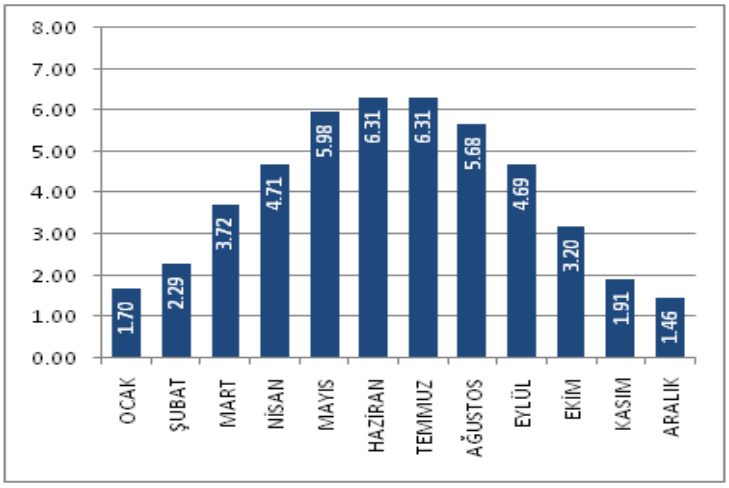
PVGIS programı kullanılarak elektrik şebekesine bağlı PV sisteminin depolama olmadan ortalama aylık ve günlük enerji üretimini yaklaşık verilerine ulaşılmıştır. Hesaplamalarda güneş radyasyonu, sıcaklık, rüzgar hızı ve PV modülünün tipi dikkate alınmıştır. Önceden tanımlanmış eğim veya yönlendirme açılarına sahip bir binaya veya bu açıların kullanıcı tarafından tanımlanabileceği serbest bir araziye entegre edilmiştir. Modüllerin nasıl monte edileceği seçilmiştir. Hesaplamalar seçilen güneş radyasyonu veritabanının tam zamansal kapsamı ile yapılmıştır [18].



Şekil 5. Sincan ilçesi 50Mw güneş enerji santrali için aylık üretim değerleri (PVGIS,2022)

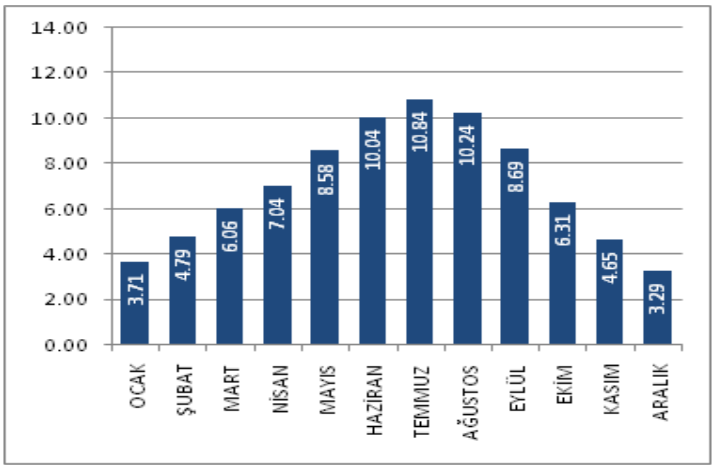
Şekil 5'te Sincan ilçesi Tatlar mevkiinde 50Megawatt kurulu güçteki santralin aylık hesaplanan üretim değerleri görülmektedir [17].

Şekil 5'e göre en yüksek enerji üretimi ağustos ayında 9.418.408,47 Kwh, en düşük ocak ayında 3.732.827,80 Kwh olarak PVGIS sisteminden hesaplanmış son onbeş yılın ışınım değerlerinin hesaplamaları sonucu bu grafiğe ulaşılaktadır. Yıllık toplam enerji üretimi ise 83.992.856,94Kwh olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 6. Sincan ilçesi aylık global radyasyon değerleri (KWh/m^2-gün) [11]

Şekil 6'da Sincan ilçesinin aylık ortalama radyasyon değerleri görülmektedir [11]. Şekil 5'e göre ortalama radyasyon değeri en yüksek temmuz ayında 6.31 KWh/m2 gün, en düşük aralık ayında 1.46 KWh/m^2 gün olarak ocak ayında da 1,70 KWh/m^2 gün olarak değişim göstermektedir.



Şekil 7. Sincan ilçesi aylık güneşlenme süreleri (saat) [11]

Şekil 7'de ise Sincan İlçesinin aylık ortalama güneşlenme süreleri görülmektedir [11]. Güneşlenme süresinin en düşük değeri aralık ayında 3.29 saat olduğu görülmektedir. Daha sonra ocak ayı 3.71 saat ile takip etmektedir. Şubat, mart, nisan, mayıs, haziran aylarında artarak devam etmektedir. En yüksek değeri ise temmuz ayında 10.84 saat olmak üzere değişim göstermektedir.

Ankara İli Sincan İlçesi yıllık toplam güneşlenme süresi 2470 saat ve yıllık toplam ışınım miktarı 1484 KWh/m2 yıl (günlük ortalama 4,06 KWh/m^2 gün) değerine sahiptir. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda ülke ortalamasının biraz altında bir günüşlenme süresine sahiptir. Yine de Ankara İli Sincan İlçesi güneş enerji potansiyeli açısından diğer ilçelere göre önem arzetmektedir [14].

Güneş santrali için arazi seçiminde dikkat edilmesi gereken noktalar [15]. i) Güneye meyilli olmalıdır. ii) Farklı bir arazi düzenlemesi veya hafriyat çalışması ve araziye ulaşmak için bir yol olup olmadığına bakılmalıdır. iii) Santral alanının tarım arazisi olup olmadığı ve etrafta ekili alan olup olmaması belirleyicidir. iv) Arazi satın alırken veya kiralarken herhangi bir potansiyel sorun olup olmadığı konusunda ön saha araştırması yapılmalıdır. v) Bölgedeki hava koşulları ve elektrik altyapısının uygun olup olmadığı araştırılmalıdır. Bu soruların cevapları verilmeli ve proje süreçleri daha sonra başlatılmalıdır.



Şekil 8. Sincan ilçesi arazi üzeri 50 megawatt panel yerleşimi

Şekil 8'de Sincan Tatlar mevkiinde gerçekleştirilmesi planlanan 50 MW'lık Güneş Enerji Santrali için arazi üzeri yerleşimi görülmektedir. Arazinin yapısı, uygulamayı ve yerleşimi oldukça önemli ölçüde etkiler. Ovada her MW için 12 dönüm arazi gerekmektedir. 50 MW için en az 600 dönüm arazi gerekmektedir. Ayrıca bu arazinin tarıma elverişli olmaması da istenmektedir. Böylece tarım dışı arazilerin daha verimli kullanılması sağlanacaktır. Türkiye'de çok sayıda tarım dışı arazi ve güneş enerji santral potansiyeli çok yüksek olan araziler bulunmaktadır. Bu potansiyele sahip olan Sincan İlçesi güneş enerji santrali yatırımları bakımından değerlendirilmelidir.

3.2. Güneş Enerji Santrali Yatırım Çalışması

Mayıs 2019'da yayınlanan Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi, kamu ve yerel yönetimlerin güneş enerji santral yatırımlarında arazi uygulamalarının önünü açtı ve elektrik sözleşme güçleri kadar yatırım yapmalarına izin verdi. Lisansız güneş enerji santrali yatırımlarında 1 Megawat olan sınır 5 Megawata kadar genişletildi.Ayrıca sözleşme gücü yüksek olanlar için 5.1.c maddesi ile kolaylık sağlandı.

Gayrimenkul geliştirme projelerinin ana konusu olan arazinin değerlemesinde; arsa, projelendirme ve sermaye olmak üzere 3 temel kaynağın bir araya getirilmesini gerektirmektedir [16]. Araziyi, projeleri ve sermayeyi bir araya getirebilecek bu yenilenebilir enerji yatırımlarından biri olan üzerinde çalışılan 50MW Güneş Enerji Santrali yatırımı ile enerji üretiminin artması beklenmekte ve bölgedeki elektrik enerjisinin arz-talep dengesini de minimal seviyeye çekmesi beklenmektedir.

Sincan İlçesi Tatlar Mevkiinde, 600 dönüm arazi üzerine kurulması düşünülen 50 MW kapasiteli güneş enerjisi santralinin değerleme çalışması incelenmiş ve Tablo 2'de sunulmuştur. Tablo 2'de görüldüğü üzere bu yatırımın 30 yıl sonundaki getirisi yaklaşık 157.083.798 Euro'dur. Karbon getirisi yaklaşık 4,4 Milyon Euro'dur. Öngörülen kâr yaklaşık 127.083.798 Euro'dur. Bu planlanan enerji santrali yatırımı, yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımların elektriksel ve finansal açıdan potansiyel getirilerinin yüksek olduğunu göstermektedir. Üstelik bu yatırımın çok kısa sürede geri dönüş sağladığı hesaplamalardaki verilerden de çok rahat görülebilmektedir. Güneş enerjisi santral yatırımları dört-beş yılda yatırım maliyetini karşılamakta aynı zamanda işletme maliyetleri açısından sürdürülebilir yatırımlar oldukları bu çalışmadan da keşfedilmektedir. Yenilenebilir enerji yatırımlarında özellikle yerel yönetimlerin Dünya Bankası, Avrupa İmar Bankası, Alman İşbirliği Bankası, Japon Bankası veya diğer küresel kuruluşlar tarafından sağlanan %3 + Libor veya Eurobor ile 3-5 yıllık geri ödemesiz kredi finansman desteklerinden de faydalanması enerji yatırımları için çok gereklidir. Yenilenebilir enerji yatırımlarında özelliklede bu yatırımların kredi ayağında İller Bankası'nın garantör kuruluş olarak bu desteklere öncü olması önem arz etmektedir.

Tablo 2. Enerji santrali sahası ışıma değerleri ve yatırım maliyeti [17]

Projenin adı		Sincan Güneş Enerjisi Santrali
Proje Koordinatları		39.903 / 32.459
Bölge		İç Anadolu
İl		Ankara
Semt		Sincan, Tatlar
Toplam Yatırım Maliyeti	[EUR]	30.000.000
Yıllık Gelir	[EUR]	5.236.126,60
Günlük Ort. Dikey Radyasyon	[kWh/m2]	5,14
Yıllık Ort. Dikey Radyasyon	[kWh/m2]	1876,10
Panel Tipi		Photovoltaic Mono Crystal
Panel Kapasitesi	[W]	450
Panel Büyüklüğü	[mm]	2094x1038x35
Panel adedi	[Unit]	113.384
Panel Verimliliği	[%]	20.7%

Toplam Yüzey alanı	[m2]	600.500
Kurulu Santral Gücü	[kWp]	51.022.77
Üretim kapasitesi	[kWh/Year]	73.283.787
İnvertör Kapasitesi	[kWe]	100
İnvertör Miktarı	[Unit]	500
Trafo Kapasitesi	[kVA]	10*5000
Kapasite Faktörü	[%]	0.86%

4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışma ile Ankara İli Sincan İlçesinin sahip olduğu güneş enerji potansiyeli araştırılmış olup bulgular dahilinde yıllık toplam güneşlenme süresi yaklaşık 2470 saat, yıllık toplam global radyasyon değerinin ise yaklaşık 1484 KWh/m^2 olduğu belirlenmiştir. Bu değerlerde İç Anadolu bölgesinde yer alan Ankara İli Sincan İlçesinin güneş enerjisi bakımından potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Santral sahası üzerinde yapılan inceleme ve araştırmalar, proje sahasının güneş enerjisi potansiyeli mevcut verilerle belirlenmiştir. Her biri 450W gücünde toplam 113.384 mono kristal fotovoltaik panel ve diğer sistemik ekipmanların (İnverter, konnektör, trafo, teller vb.) saha potansiyelinin optimum koşullarda elektrik enerjisine dönüştürülmesi için planlanmıştır. Güneş enerjisi santrali ilgili kurum olan TEDAŞ'ın ilgili dağıtım firmasının yetki alanı içerisinde olup, ilgili trafo merkezine bağlantısı dağıtım merkezi üzerinden planlanıp, tek hat şeması hazırlanarak, ilgili kuruma bağlantıya çağrı mektubu başvurusu yapılması ile bu bağlantı noktasına ilişkin fiziki şartlara uygun olarak yapılacak inceleme ve değerlendirmelerden sonra, bağlantı için belirlenen ölçüde enerji iletim hattına ihtiyaç olacaktır.

Yurtdışı veya yurtiçi kredileri kullanılarak yapılabilecek olan yatırımlarda güneş enerji santrali yatırımlarının 4-5 yıl içinde yapılan yatırımı geri kazanabileceği ve fotovoltaik sistemlerin ekonomik ömrü olan 25 yıl boyunca enerji üretebileceği ve karbon salınımını azaltacağı düşünülmektedir. Böylece elektrik enerjisi tüketimini karşılayabilen kurum ve kuruluşlar, yatırımlarından kaynaklanan sermaye girişi ile rahat hareket edebilecekler ve kendi kendilerine yetebileceklerdir. Bu yatırımı yapabilen kurum ve kuruluşlar gelecekte daha geniş finansal manevra alanı oluşturacaktır. Yenilenebilir enerji yatırımları özel kuruluşlar, kamu kurum ve kuruluşları tarafından da yatırım planlarına dahil edilmeli ve bu yatırımlar yakın gelecekte hayata geçirilmelidir. Bu adımlar, Türkiye'nin 21. yüzyılda tüm dünyadaki ülkeler arasından enerji alanında öne çıkmasını, Endüstri 4.0 çağına ayak uydurmasını, dünya çapında enerji arz ve talebinde üst sıralarda yerini almasını ve halkının refahını artırmasını sağlayacaktır.

Kaynaklar

[1] Gültekin, A.B.(2019)."Chapter1 ISBS2019-4th International Sustainable Buildings Symposium", IntechOpen, 2019.
[2] Yilmaz, S. and Dincer, F. (2017). "Optimal design of hybrid PV-Diesel-Battery systems for isolated lands: a case study for Kilis, Turkey", Renew.Energy Rev.(2017)
[3] REN21GSR. (2017). "Renewables 2017 Global Status Report"
[4] Ahsan, M.M. et al., (2021). "Transition towards sustainable energy production: where does Bangladesh stand as the worst hit by climate change?" Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal, 24 (3), 121–140, DOI: 10.33223/epj/142287
[5] Yilmaz, M.(2012). "Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi". Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi4-(2012):33-54.
[6] TEİAŞ. (2019). "Türkiye'de enerji santrali kurulu gücü TEİAŞ-(2020)"
[7] TEİAŞ. (2020). "Türkiye'de enerji santrali kurulu gücü TEİAŞ-(2021)"
[8] TEİAŞ. (2022). "Türkiye'de enerji santrali kurulu gücü TEİAŞ-(2022)"
[9] Karagöl, E.T. and Kavaz, I. (2017). "Dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerji", Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı Dergisi.
[10] Bayraktar, K.G. (2016). "Güneş_ Ülkemizin Enerji Geleceğidir ", Enerji ve Maden Derg. 13(2016) 50–54.

[11] GEPA, (2022). Güneş Enerji Potansiyel Atlası https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx
[12] Seyitoğlu, S.S. (2012). "Kayseri İlinde sulama sistemlerinde maliyet analizi".
[13] https://www.enerjiatlasi.com/gunes-enerjisi-haritasi/ankara.
[14] Bilhan, A.K., Emikönel, S., (2021). Nevşehir İli Güneş Enerji Potansiyelinin Analizi ve Kurulu Güneş Enerji Santralleri. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (24), 289-294.
[15] Güçlüer, D. (2010). "Güneş enerjisi santrali kurulacak alanların CBS-çok ölçütlü karar analizi yöntemi ile belirlenmesi ". Yıldız Teknik Ünv., Fen Bil. Ens. (Doctoral dissertation).
[16] Taktak, F. and Demir, H.(2010). "Termal Otel Geliştirme: Afyonkarahisar Örneği ". Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2(1), 20-35.
[17] PVGIS, (2022). https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MRSantral Sahası Işınım değerleri.
[18] https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
[19] http://www.ankara.gov.tr/genel-cografya-ve-yeryuzu-sekilleri

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 667-675, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1117256

Eu katkılı NiO Nanoparçacıkların Sol-Jel Yöntemi ile Sentezlenmesi, Yapısal ve Morfolojik Karakterizasyonu

Ezgi GÜRGENÇ[1*]
[1] Enerji Sistemleri Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[*1]ezgigurgenc89@gmail.com

(Geliş/Received: 16/05/2022; Kabul/Accepted: 27/06/2022)

Öz: Bu çalışmada, saf nikel oksit (NiO) ve Evropiyum (Eu) katkılı NiO nanoparçacıklar sol-jel yöntemi kullanılarak sentezlendi. Ni kaynağı olarak Nikel (II) asetat tetrahidrat ve Eu kaynağı olarak ise Evropiyum klorür kullanıldı. Sentezleme işlemi 80 ℃'de 3 saat sürede gerçekleştirildi. Sentezlenen nanoparçacıklar 450 ℃'de 1 saat süreyle tavlandı. Nanoparçacıkları oluşturan bileşikler X-ışını kırınımı (XRD) analiz edildi. Nanoparçacıkların morfolojileri alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) ile araştırıldı. Nanoparçacıkları oluşturan elementler ise enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi (EDX) ile belirlendi. Sentezlenen parçacıkların nano boyutta olduğu ve Eu katkısı ile morfolojilerin değiştiği görüldü. Eu katkısı arttıkça kafes parametreleri ve birim hücre hacimlerinin arttığı tespit edildi. Eu katkısı arttıkça kristalite boyutlarında azalma meydana gelmiştir. Yapısal ve morfolojik karakterizasyonlar neticesinde Eu katkısının başarıyla gerçekleştiği görüldü. Üretilen saf ve Eu katkılı NiO nanoparçacıkların yarıiletken endüstrisinde nanomalzeme olarak kullanım alanı bulabileceği sonucuna varıldı.

Anahtar kelimeler: NiO, Nadir toprak elementi, Yarıiletken, Sol-jel, Nanomalzeme.

Synthesis, Structural and Morphological Characterization of Eu-doped NiO Nanoparticles by Sol-Gel Method

Abstract: In this study, pure nickel oxide (NiO) and Europium (Eu) doped NiO nanoparticles were synthesized using the sol-gel method. Nickel (II) acetate tetrahydrate was used as the Ni source and Europium chloride was used as the Eu source. The synthesis process was carried out at 80 °C for 3 hours. The synthesized nanoparticles were annealed at 450 °C for 1 hour. The compounds forming the nanoparticles were analyzed by X-ray diffraction (XRD). The morphologies of nanoparticles were investigated by field emission scanning electron microscopy (FE-SEM). The elements that make up the nanoparticles were determined by energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX). It was observed that the synthesized particles were in nano size and the morphologies changed with the doping of Eu. It was determined that as the Eu contribution increased, the lattice parameters and unit cell volumes increased. As the Eu contribution increased, the crystallite size decreased. As a result of the structural and morphological characterizations, it was observed that the Eu contribution was successfully realized. It was concluded that the produced pure and Eu doped NiO nanoparticles could find use as nanomaterials in the semiconductor industry.

Key words: NiO, Rare earth element, Semiconductor, Sol-gel, Nanomaterial.

1. Giriş

Sonlu boyuta, tanılanmış yapıya ve morfolojik özelliklere sahip metal oksit nanoparçacıklarının üretilmesi, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği ve sürdürülebilir insan gelişimi için enerji depolama ve dönüşümü işlemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Yeni bir tip malzeme olan nanomalzemeler esasen veri depolama, biyotıp, manyetoelektronik, enerji depolama ve telekomünikasyon gibi ananlarda doğan ihtiyaç üzerine geliştirilmiştir [1]. Geçiş metal oksitleri (GMO), ilgi çekici fiziksel özellikleri ve farklı teknolojik alanlardaki umut vadeden özellikleri nedeniyle son yıllarda oldukça yoğun şekilde araştırılmaktadır [2]. Bu metal oksitler arasında nikel oksit (NiO) önemli bazı ilgi çekici özelliklerinden dolayı son yıllarda gaz sensörlerinde, düz panel ekranlarda, güneş pillerinde, pencere kaplamalarında, elektrokromik cihazlarda, esnek elektronik cihazlarda, Li-ion pillerde ve katı hal sensörleride dâhil olmak üzere birçok uygulamada kendine kullanım alanı bulmaktadır. NiO'nun ilgi

* Sorumlu yazar: ezgigurgenc89@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: [1]0000-0002-0653-4041

çekici özellikleri arasında daha düşük direnç, gaz absorbanlarına daha yüksek tepki, elektrokimyasal tersinirlik, yüksek optik modülasyon, yüksek döngüsel kararlılık, hızlı anahtarlama hızı, hafıza etkisi, iyi manyetik, termal, optik, mekanik ve elektrik performansı, yüksek iletkenlik, mükemmel redoks aktivitesi, iyi kimyasal elektroaktivite, yüksek toplu iletkenlik ve geniş spesifik yüzey alanı sayılabilir. Bunların yanında inorganik bir metal oksit olarak NiO, p-tipi bir iletkenliğe sahiptir ve 3.6-4.0 eV arasında geniş bir bant aralığına sahiptir [3].

Stokiyometrik NiO yalıtkan bir malzeme iken, deneysel NiO_x'de Ni boşluklarının varlığı p-tipi yarı iletkenin özelliği göstermesine neden olmaktadır. Buna ilaveten Ni boşluklarının büyük iyonlaşma enerjisi nedeniyle bozulmamış NiO_x içerisindeki delik yoğunluğu güçlü bir şekilde sınırlandırılmıştır. NiO'nun iletkenlik ve optik özelliklerini geliştirmekte en etkili ve verimli yöntem olarak dıştan bir katkı ile doğal boşlukların yoğunluğunun değiştirilmesi gösterilebilir. Çeşitli katkı maddeleri arasında, nadir toprak elementleri (NTE), çeşitli yarı iletken metal oksitlerin optiksel ve elektriksel özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır [4]. NTE'ler optik aktivitelerinin güvenilir olası ve kabul edilebilir katalitik fonksiyon özelliklerinden dolayı elektrik, optik, katalitik ve manyetik alanlarda tercih edilebilirler. NTE'ler arasında en ilginç özellikte olanlarından birisi lantanitlerin bir üyesi olan evropiyum' dur (Eu) ve 150 ila 180 °C arasındaki hava sıcaklıklarında tutuşur. Sertliği kurşuna benzerdir ve kolayca kalıplanabilir veya şekillendirilebilir. Ayrıca Eu NTE'ler arasında en reaktifidir ve havada hızla oksitlenebilir. NTE' lerin 4f-5d elektron yörüngelerinin benzersiz özelliklerinden ötürü araştırmacılar son yıllarda nadir toprak elementlerini metal oksitlerle katkılayarak yeni nanokompozit malzemeler geliştirmeye başlamışlar ve bunların farklı uygulamalarda kullanımlarını araştırmışlardır [5-9].

NiO nanoparçacıkların manyetik, elektrik, optik ve dielektrik gibi özellikleri, parçacık boyutu, bileşimdeki değişkenliği, katkılama, yüzey aktif maddeleri, tavlama sıcaklığı ve yüzey morfolojisinden etkilenir [10]. NiO nanoparçacıklar katı hal termal ayrışma, mikro emülsiyon tekniği, sol-jel, solvotermal işlem, hidrotermal metot, kimyasal yöntem, sonokimyasal yöntem ve anodik plazma tekniği gibi yöntemlerle üretilebilmektedir [11, 12]. Sol-jel tekniğinin, düşük maliyet, basitlik, işlem sıcaklığının kontrol edilebilmesi, homojenlik, güvenilirlik ve tekrarlanabilirlik gibi avantajları vardır [13-15].

Goumri-Said vd., çalışmalarında saf ve farklı katkı oranlarında (at.% 1, at.% 2, at.% 3, at.% 5 ve at.% 7) Eu katkılı NiO ince filmleri sol-jel döndürerek kaplama yöntemi ile üretmişlerdir [6]. Mokoena vd., saf ve farklı katkı oranlarında (ağ.% 1, ağ.% 2, ağ.% 3 ve ağ.% 4) Eu katkılı NiO nanoparçacıkları hidrotermal yöntemle üretmişlerdir [16]. Bir başka çalışmada yine hidrotermal yöntemle Eu katkılı NiO nanoparçacıklar üretilmiştir [5]. Chen vd., çalışmalarında saf ve farklı katkı oranlarında (mol.% 1, mol.% 3 ve mol.% 5) Eu katkılı NiO ince filmleri sol-jel döndürerek kaplama yöntemi üretmişlerdir [4]. Literatür çalışmalarında Eu katkılı NiO nanoparçacıkların üretimi ile ilgili yapılan çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür. Ayrıca bizim fikrimize göre yüksek oranda Eu katkılı NiO nanoparçacıkların sol-jel yöntemi ile üretilmesi ve karakterizasyonu ile ilgili bir çalışmaya literatürde rastlanmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada yüksek oranda Eu katkılı NiO nanoparçacıkların sol-jel yöntemi ile üretilmesi, yapısal ve morfolojik özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Mevcut çalışmada, saf ve farklı oranlarda (mol.% 1, mol.% 3 ve mol.% 5) Eu katkılı NiO nanoparçacıklar sol-jel yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen nanoparçacıkların yapısal ve morfolojik özellikleri FE-SEM, XRD ve EDX analizleri ile araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Tablo 1'de çalışmada kullanılan kimyasallar verilmiştir. 0.2 M Nikel (II) asetat tetrahidrat 20 ml metanole eklenmiş ve tüm parçacıklar çözününceye kadar manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Bir başka beherde 20 ml metanole 1 M NaOH eklenmiş ve yine tüm parçacıklar çözününceye kadar manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. NaOH çözeltisi yavaşça Nikel (II) asetat tetrahidrat içeren çözeltiye karıştırma işlemi devam ederken eklenmiştir. Nihai çözelti 80 °C' de 3 saat süre ile karıştırılmıştır. Bu işlem bittikten sonra oda sıcaklığına gelen sol-jel çözeltisi filtre kâğıdı ile süzülmüştür. Filtre kâğıdı üzerinde biriken parçacıklar birkaç defa etanolle yıkandıktan sonra birkaç defa saf su ile durulanmıştır. Etüvde 80 °C' de 5 saat boyunca kurutulan parçacıklar havanda dövüldükten sonra 450 °C'de 1 saat süreyle tavlanmıştır. Böylelikle saf NiO nanoparçacıklar üretilmiştir. Eu katkılı NiO nanoparçacıklar da aynı şekilde üretilmekle beraber tek fark olarak Nikel (II) asetat tetrahidrat çözeltisine toplam 0.2 M olacak şekilde Nikel (II) asetat tetrahidrat ve farklı oranlarda (mol.% 1, mol.% 3 ve mol.% 5) $EuCl_3$ eklenmiştir. Numuneler katkı oranına göre % 0, % 1, % 5 ve % 10 için sırasıyla, NiO, NiO-Eu1, NiO-Eu5 ve NiO-Eu10 olarak isimlendirilmiştir. Üretilen nanoparçacıkların yapısal özellikleri PANalytical Empyrean marka XRD cihazı ile belirlendi. XRD analizleri, CuKα (λ = 1.5406 ˚A) radyasyonunda, 45 kV'da, 40 mA'de ve 2θ = 10 - 90° tarama aralığında gerçekleştirildi. Nanoparçacıkların morfolojileri Zeiss Crossbeam 540 marka FE-SEM cihazında

farklı büyütmelerde belirlendi ve nanoparçacıkları oluşturan elementlerin kompozisyonları EDX analizi ile tespit edildi.

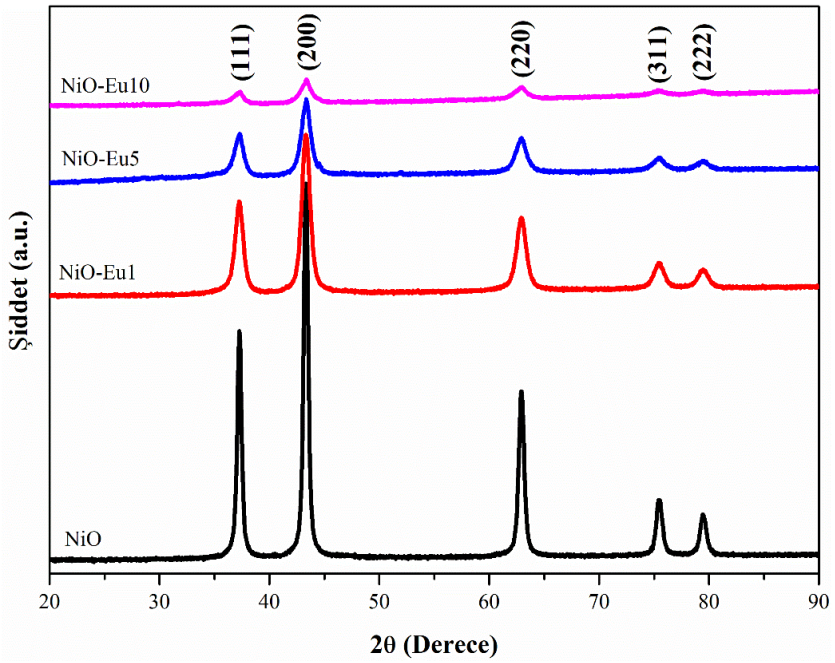
Tablo 1. Çalışmada kullanılan kimyasallar.

Kimyasal	**Marka**	**Formül**
Nikel (II) asetat tetrahidrat	Carlo Erba	$Ni(OCOCH_3)_2 \cdot 4H_2O$
Evropiyum klorür	PubChem	$EuCl_3$
Metanol	Chemsolute	CH_3OH

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Yapısal Özellikler

Şekil 1'de sol-jel yöntemi ile üretilen saf ve Eu katkılı NiO nanoparçacıkların XRD kırınım desenleri görülmektedir. Tablo 2' de XRD kırınım desenlerinde yüksek yoğunluklu piklere denk gelen 2θ açı değerleri verilmiştir. Niteliksel faz analizleri tüm numunelerde XRD kırınım piklerinin Bunsenit NiO fazının kübik yapısı içinde, JCPDS kartı numara 47–1049 ile uyumlu olarak indekslenebileceğini göstermektedir [6]. Eu katkısı numunelerde herhangi bir ikincil faza veya safsızlığa neden olmamıştır. Bu durum üretilen nanoparçacıkların yüksek saflıkta olduğunu ve tek fazlı yapıda göstermektedir [4, 5, 16]. Yüksek yoğunluklu pikler (111), (200), (220), (311) ve (222) düzlemlerine karşılık gelmektedir. Bunlardan (200) düzleminin yoğunluğunun, standart NiO modeline kıyasla nispeten yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum (200) düzlemi boyunca tercihli yönelimin varlığını ortaya koyduğunu göstermektedir [6]. Tüm piklerin şiddetleri Eu katkı oranı arttıkça azalmıştır. Bu durumun Eu'nun NiO konak kafesine dâhil edilmesinin, belirli bir çözünürlük sınırına ulaştıktan sonra nanoparçacıkların kristalliğinde bir düşüşe neden olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [6]. Eu katkısı arttıkça NiO' nun karakteristik pikleri daha yüksek 2θ açı değerlerine kaymıştır ve pikler genişlemiştir. Bu durum 0.947 Å olan Eu^{3+}'nın iyonik yarıçapının 0.69 Å olan Ni^{2+}'nin iyonik yarıçapına oranla daha yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir. Katkı elementlerinin iyonik yarıçaplarının büyük olması NiO' nun kristal kafesinde genişlemeye yol açabilir [6, 16].



Şekil 1. Sol-jel yöntemi ile üretilen saf ve Eu katkılı NiO nanoparçacıkların XRD kırınım desenleri.

Tablo 2. Yüksek yoğunluklu piklerin kırınım düzlemlerinin 2θ açı değerleri.

Numune	**(111)**	**(200)**	**(220)**	**(311)**	**(222)**
NiO	37.27°	43.32°	62.91°	75.46°	79.43°
NiO-Eu1	37.28°	43.32°	62.91°	75.44°	79.46°
NiO-Eu5	37.28°	43.35°	62.96°	75.57°	79.48°
NiO-Eu10	37.33°	43.40°	62.99°	75.44°	79.48°

Sentezlenen nanoparçacıkların kafes sabitleri aşağıdaki bağıntıdan yararlanarak (a = b = c) için (1 1 1) piki kullanılarak hesaplanmıştır [6, 17, 18];

$$\frac{1}{d^2} = \frac{(h^2 + k^2 + l^2)}{a^2} \quad (1)$$

Burada, h, k, l miller indekslerini ve d ise düzlemler arası mesafeyi göstermektedir. Sentezlenen nanoparçacıkların birim hücre hacimleri (V) ise aşağıdaki bağıntı ile bulunabilir [18];

$$V = a^3 \quad (2)$$

Kristalite boyutları (D), iyi bilinen yöntemlerden biri olan aşağıdaki Scherrer denklemi kullanılarak hesaplanmıştır [6, 19]:

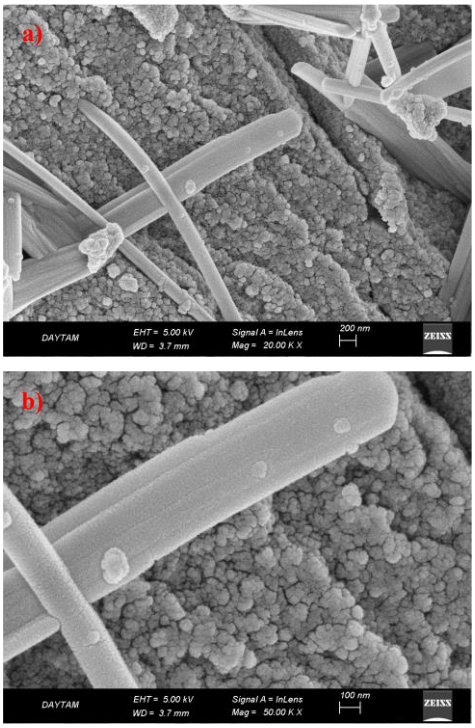
$$D = \frac{0.9\,\lambda}{\beta\, cos(\theta)} \quad (3)$$

Burada, 0.9 sabit, λ nm cinsinden X-ışınının dalga boyu, β radyan cinsinden yarı maksimum tam genişlik ve θ derece cinsinden kırınım açısıdır. Tablo 3'de yukarıdaki denklemlerden yararlanılarak ve XRD kırınım desenleri analiz edilerek elde edilen yapısal özellikler verilmiştir. Eu katkısı arttıkça kafes parametreleri ve birim hücre hacimleri katkılanan Eu^{3+}'nın iyonik yarıçapının konakçı Ni^{2+}'nin iyonik yarıçapına oranla daha yüksek olmasından dolayı artmıştır [6, 16]. Ortalama kristalite boyutları ($D_{ort.}$)ise, Eu katkısının artışına bağlı olarak düşmüştür. Benzer bir sonuç literatür çalışmalarında da elde edilmiştir ve bu duruma iyonik yarıçaplar arasındaki farkın neden olduğu düşünülmektedir [5, 6, 16].

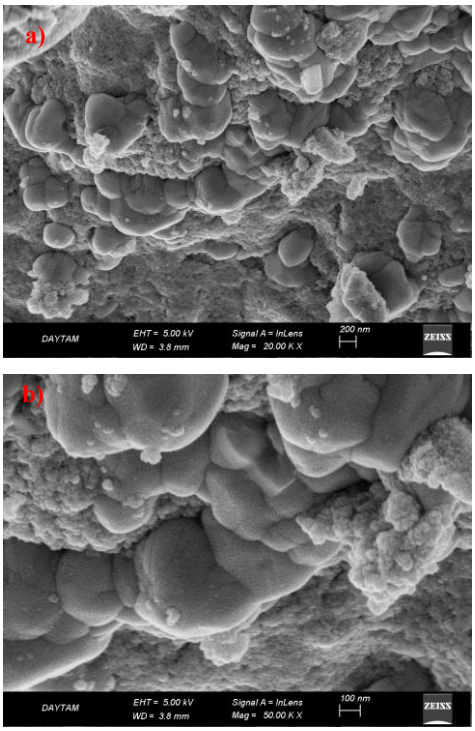
Tablo 3. XRD kırınım desenleri kullanılarak hesaplanan a, V ve D değerleri.

Numune	**a (Å)**	**V (Å^3)**	**D_{111} (nm)**	**D_{200} (nm)**	**$D_{ort.}$ (nm)**
NiO	4.1749	72.76727	16.1550	16.1587	16.15682
NiO-Eu1	4.1778	72.91909	9.0054	8.9900	8.997705
NiO-Eu5	4.1803	73.05198	8.1280	7.7656	7.946782
NiO-Eu10	4.1870	73.40404	7.4810	6.2646	6.872787

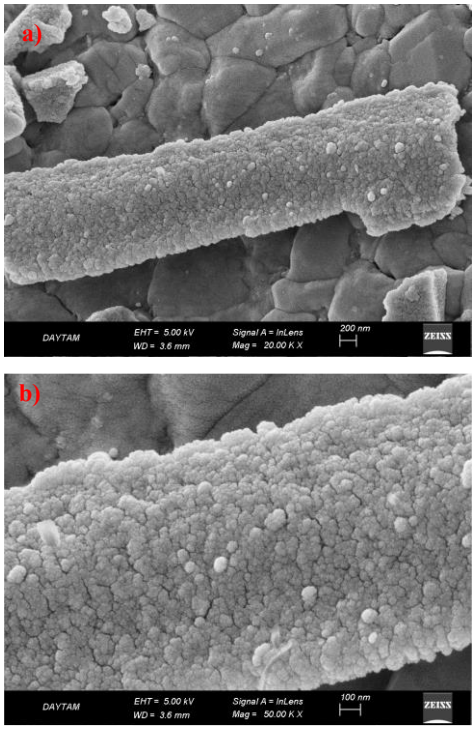
Şekil 2-5'de sentezlenen nanoparçacıkların FE-SEM görüntüleri verilmiştir. Görüldüğü gibi tüm tozlar nanoboyuttadırlar ve Eu katkısı ile morfolojilerinde değişimler gözlenmiştir. Katkısız numunede nanoçubukların yanında üst üste istiflenmiş ince nanotanecikli yapılar görülmektedir. Eu katkılı numuneler ise üst üste istiflenmiş nanoboyutlu neredeyse küresel yapılardan meydana gelmekle beraber Eu katkısı arttıkça bu nanoparçacıklar daha fazla topaklanmaya başlamış ve hekzagonal benzeri yapılar görülmüştür. Nanoparçacıkların morfolojilerinin değişmesi Eu katkısının NiO'ya başarıyla gerçekleştirildiğini göstermektedir [16].



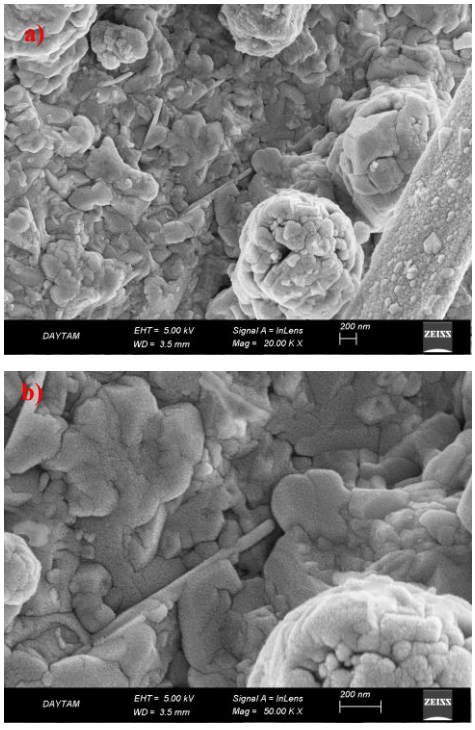
Şekil 2. NiO numunesinin farklı büyütmelerde FE-SEM görüntüleri a) 20 kX ve b) 50 kX.



Şekil 3. NiO-Eu1 numunesinin farklı büyütmelerde FE-SEM görüntüleri a) 20 kX ve b) 50 kX.

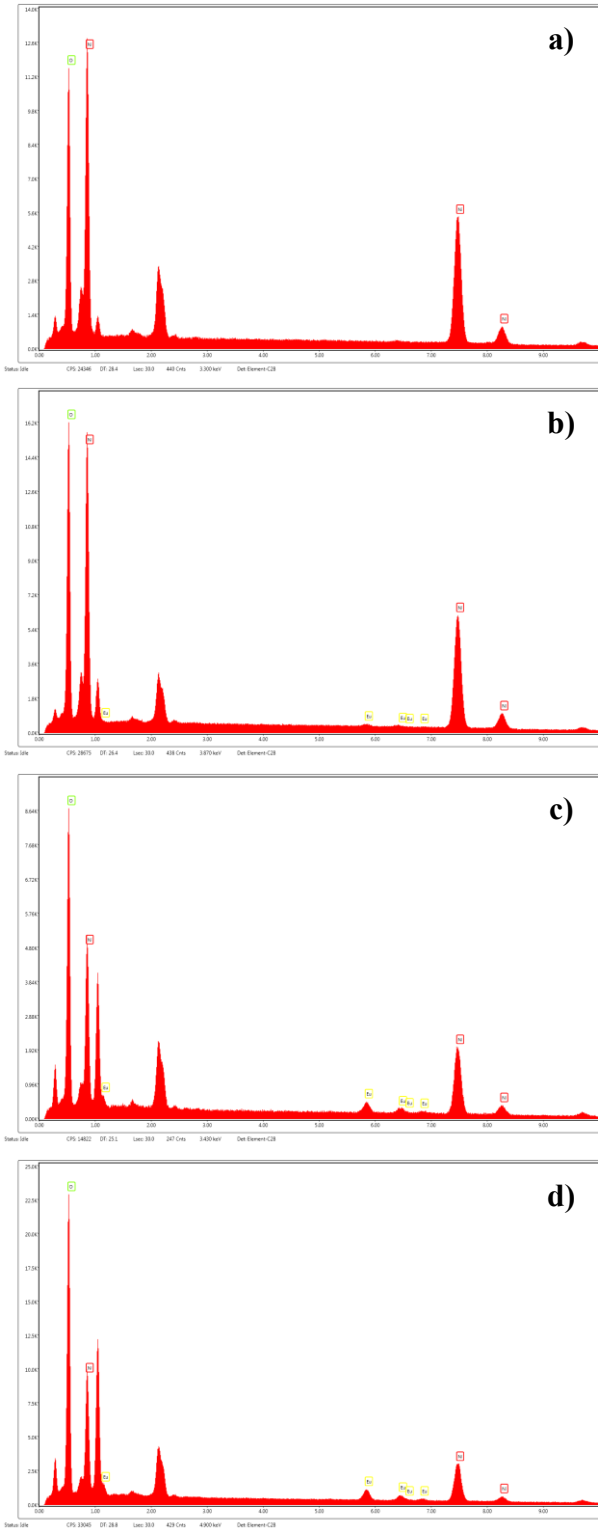


Şekil 4. NiO-Eu5 numunesinin farklı büyütmelerde FE-SEM görüntüleri a) 20 kX ve b) 50 kX.



Şekil 5. NiO-Eu10 numunesinin farklı büyütmelerde FE-SEM görüntüleri a) 20 kX ve b) 50 kX.

Şekil 6 ve Tablo 4'de sırasıyla sentezlenen nanoparçacıkların EDX analiz grafikleri ve EDX analiz sonuçları verilmiştir. Eu katkı oranı artıkça nanoparçacıklardaki Eu oranın artması Eu'nun NiO'ya farklı oranlarda başarılı bir şekilde katkılandığını göstermektedir.



Şekil 6. EDX analiz grafikleri a) NiO, b) NiO-Eu1, c) NiO-Eu5 ve d) NiO-Eu10.

Tablo 4. Sentezlenen nanoparçacıkların EDX analiz sonuçları.

Numune/Element (at.%)	O	Ni	Eu
NiO	38.24	61.76	-
NiO-Eu1	43.21	56.25	0.55
NiO-Eu5	54.34	42.09	3.57
NiO-Eu10	65.51	30.26	4.22

4. Sonuçlar

Eu katkılı NiO nanoparçacıklar sol-jel yöntemi ile başarı bir şeklide üretilmiştir. Üretilen nanoparçacıklar nanoboyutlu yapılardan meydana gelmiştir. Nanoparçacıkların yapısal ve morfolojik özellikleri Eu katkısından etkilenmiştir. Eu katkı miktarı arttıkça kafes parametreleri ve birim hücre hacminde genişleme meydana gelmiştir. Eu katkısı arttıkça kristalite boyutları azalmıştır. Sentezlenen nanoparçacıkların elektronik endüstrisinde kullanılan cihazlarda yarıiletken olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Yazar Ezgi GÜRGENÇ 100/2000 doktora burs programı ile verdiği burs desteği için Yüksek Öğretim Kuruluna (YÖK) teşekkür eder. E.G. fikir sahibi. E.G. nanoparçacıkları sentezledi. E.G. yapısal ve morfolojik özelikleri yorumladı.

Kaynaklar

[1] Rahman M A, Radhakrishnan R, Gopalakrishnan R. Structural, optical, magnetic and antibacterial properties of Nd doped NiO nanoparticles prepared by co-precipitation method. J. Alloys Compd. 2018; 742: 421-429.

[2] Zargouni S, El Whibi S, Tessarolo E, Rigon M, Martucci A, Ezzaouia H. Structural properties and defect related luminescence of Yb-doped NiO sol-gel thin films. Superlattices Microstruct. 2020; 138: 106361.

[3] Chtouki T, El Mrabet M, Tarbi A, Goncharova I, Erguig H. Comprehensive review of the morphological, linear and nonlinear optical characterization of spin-coated NiO thin films for optoelectronic applications. Opt. Mater. 2021; 118: 111294.

[4] Chen X, Xu L, Chen C, Wu Y, Bi W, Song Z, Zhuang X, Yang S, Zhu S, Song H. Rare earth ions doped NiOx hole transport layer for efficient and stable inverted perovskite solar cells. J. Power Sources 2019; 444: 227267.

[5] Javar H A, Garkani-Nejad Z, Dehghannoudeh G, Mahmoudi-Moghaddam H. Development of a new electrochemical DNA biosensor based on Eu3+– doped NiO for determination of amsacrine as an anti-cancer drug: Electrochemical, spectroscopic and docking studies. Anal. Chim. Acta 2020; 1133: 48-57.

[6] Goumri-Said S, Khan W, Boubaker K, Turgut G, Sönmez E, Minar J, Bououdina M, Kanoun M B. Europium incorporation dynamics within NiO films deposited by sol-gel spin coating: experimental and theoretical studies. Mater. Res. Bull. 2019; 118: 110525.

[7] Al Boukhari J, Khalaf A, Sayed Hassan R, Awad R. Structural, optical and magnetic properties of pure and rare earth-doped NiO nanoparticles. Appl. Phys. A 2020; 126(5): 1-13.

[8] Al Boukhari J, Khalaf A, Awad R. Structural analysis and dielectric investigations of pure and rare earth elements (Y and Gd) doped NiO nanoparticles. J. Alloys Compd. 2020; 820: 153381.

[9] Al Boukhari J, Khalaf A, Awad R. Structural and electrical investigations of pure and rare earth (Er and Pr)-doped NiO nanoparticles. Appl. Phys. A 2020; 126(1): 1-16.

[10] Agrawal S, Parveen A, Azam A. Microwave assisted synthesis of Co doped NiO nanoparticles and its fluorescence properties. J. Lumin. 2017; 184: 250-255.

[11] Al Boukhari J, Zeidan L, Khalaf A, Awad R. Synthesis, characterization, optical and magnetic properties of pure and Mn, Fe and Zn doped NiO nanoparticles. Chem. Phys. 2019; 516: 116-124.

[12] Ponnusamy P, Agilan S, Muthukumarasamy N, Senthil T, Rajesh G, Venkatraman M, Velauthapillai D. Structural, optical and magnetic properties of undoped NiO and Fe-doped NiO nanoparticles synthesized by wet-chemical process. Mater. Charact. 2016; 114: 166-171.

[13] Rakibuddin M, Shinde M A, Kim H. Sol-gel fabrication of NiO and NiO/WO3 based electrochromic device on ITO and flexible substrate. Ceram. Int. 2020; 46(7): 8631-8639.

[14] Ganesan V, Hariram M, Vivekanandhan S, Muthuramkumar S. Periconium sp.(endophytic fungi) extract mediated sol-gel synthesis of ZnO nanoparticles for antimicrobial and antioxidant applications. Mater. Sci. Semicond. Process. 2020; 105: 104739.

[15] Manikandan B, Endo T, Kaneko S, Murali K, John R. Properties of sol gel synthesized ZnO nanoparticles. J. Mater. Sci.: Mater. Electron. 2018; 29(11): 9474-9485.
[16] Mokoena T P, Swart H C, Hillie K T, Motaung D E. Engineering of rare-earth Eu3+ ions doping on p-type NiO for selective detection of toluene gas sensing and luminescence properties. Sens. Actuators B Chem. 2021; 347: 130530.
[17] Tilley R J, Crystals and crystal structures: John Wiley & Sons, 2020.
[18] Shkir M, Chandekar K V, Khan A, Alshahrani T, El-Toni A M, Sayed M, Singh A, Ansari A A, Muthumareeswaran M, Aldalbahi A. Tailoring the structure-morphology-vibrational-optical-dielectric and electrical characteristics of Ce@ NiO NPs produced by facile combustion route for optoelectronics. Mater. Sci. Semicond. Process. 2021; 126: 105647.
[19] Joshi U, Matsumoto Y, Itaka K, Sumiya M, Koinuma H. Combinatorial synthesis of Li-doped NiO thin films and their transparent conducting properties. Appl. Surf. Sci. 2006; 252(7): 2524-2528.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 677-686, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1118732

Çok Katmanlı Algılayıcı Algoritması, Korelasyon Tabanlı Özellik Seçme Yöntemi ve Eğri Uydurma Tekniği ile Türkiye' de Toplam Elektrik Tüketiminin Tahmin Edilmesi

Düzgün AKMAZ[1*]
[1] Elektrik Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Munzur Üniversitesi, Tunceli, Türkiye
[*1] dakmaz@munzur.edu.tr

(Geliş/Received: 19/05/2022; Kabul/Accepted: 07/08/2022)

Öz: Elektrik tüketiminin tahmin edilmesi, güç sistemlerinin planlanması ve işletilmesinde önemli bir rol oynar. Bu yüzden bu çalışmada Çok Katmanlı Algılayıcı Algoritması (ÇKAA), Korelasyon Tabanlı Özellik Seçme Yöntemi (KTÖSY) ve Eğri Uydurma (EU) teknikleri ile Türkiye' de toplam elektrik tüketimini tahmin eden bir model geliştirilmiştir. 2013-2018 yılları arası veriler ÇKAA, KTÖSY ve EU modelini oluşturmak için kullanılırken 2019-2020 yıllarındaki veriler ise modelin başarısını test etmek için kullanılmıştır. Yazılım sonuçları yöntemin geçmiş yıllardaki toplam elektrik tüketimini tahmin etmede başarılı olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda oluşturulan model ile 2024 yılına kadar Türkiye' deki toplam elektrik tüketimi de tahmin edilmiştir. Önerilen yöntem ile tahmin edilen toplam elektrik tüketimi değerlerinin farklı çalışma sonuçları ile tutarlı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Elektrik tüketimi, çok katmanlı algılayıcı algoritması, korelasyon tabanlı özellik seçme yöntemi, eğri uydurma.

Estimation of Total Electricity Consumption of Turkey with Multilayer Perceptron Algorithm, Correlation Based Feature Selection Method and Curve Fitting Technique

Abstract: Estimating electricity consumption plays an important role in the planning and operation of power systems. Therefore, in this study, a model that predicts total electricity consumption of Turkey has been developed with Multilayer Perceptron Algorithm (MPA), Correlation Based Feature Selection Method (CBFSM) and Curve Fitting (CF) techniques. While the data between 2013-2018 years was used to create the MPA, CBFSM and CF model, the data for 2019-2020 years was used to test the success of the model. The software results showed that the method was successful in estimating the total electricity consumption in the past years. At the same time, with the model created, the total electricity consumption in Turkey until 2024 has been estimated. It has been determined that the total electricity consumption values estimated by the proposed method are consistent with the different study results.

Key words: Electricity consumption, multilayer perceptron algorithm, correlation based feature selection method, curve fitting.

1. Giriş

Enerji, bir ülkenin ilerlemesinde ve sosyo-ekonomik gelişmesinde önemli bir rol oynar. Çeşitli araştırmalar enerji tüketimini ülkenin ekonomik, teknolojik ve sosyal büyümesi ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir [1] Günümüzde elektrik enerjisine olan talep giderek artmakta ve mevcut kaynaklar endişe verici bir hızla tükenmektedir [1]. Bu nedenle enerji kaynaklarını doğru bir şekilde yönetmek ve Yük Tahmini (YT) ile enerji kullanımını optimize etmek, üretim maliyetini ve çevresel tehlikeleri en aza indirmek için gereklidir [1].

YT ile bir sistemin gelecekteki enerji gereksinimleri önceki veriler kullanılarak belirlenmeye çalışılır. Planlama çabalarının ilk yapı taşı olarak kabul edilmektedir. Enerji arz ve talebi arasındaki dengeyi sağlar. Literatürde birçok farklı YT tekniği uygulanmıştır.

YT teknikleri genellikle istatiksel ve Yapay Zeka (YZ) tabanlı tahmin modelleri olmak üzere iki kategoriye ayrılır [1-3]. Doğrusal regresyon [4], otoregresif hareketli ortalama yöntemi [5], genel üstel tekniği [6] ve stokastik zaman serisi [7] gibi teknikler istatiksel yöntem olarak uygulanmıştır. Yapay Sinir Ağları (YSA) [8], Destek Vektör Makineleri (DVM) [9] ve Bulanık Mantık (BM) [10] gibi yöntemler ise YZ tabanlı yöntemler olarak uygulanmıştır. Son olarak bazı çalışmalarda ise birden fazla yaklaşım uygulanarak hibrit yöntemler geliştirilmiştir. YSA/BM'ye dayalı [11] ve genelleştirilmiş regresyon/olasılıksal sinir ağlarına dayalı [12]

* Sorumlu yazar: dakmaz@munzur.edu.tr Yazarın ORCID Numarası: 0000-0002-4183-6424

yöntemler hibrit yöntem olarak uygulanmıştır. Literatürdeki YT ile ilgili birçok farklı yöntemin detaylı açıklamaları [1-3]' te bulunabilir.

Türkiye' deki elektrik tüketimini/enerji talebini tahmin etmeye yönelik de birçok çalışma bulunmaktadır. Kesirsel matematik kullanılarak Türkiye' de net elektrik tüketimini tahmin eden bir yöntem geliştirilmiştir [13]. YSA ile Türkiye'nin net enerji talebini tahmin eden bir yöntem geliştirilmiştir [14]. Gri Tahmin ile Türkiye' deki toplam enerji talebi tahmin edilmiştir [15]. Türkiye'deki elektrik tüketim verileri doğrultusunda, regresyon analizi ve zaman serisi tekniklerinden faydalanılarak talep tahmini analizi yapılmıştır [16]. Genetik Algoritma (GA) ile eğitilmiş Destek Vektör Regresyon (DVR) ile bir tahmin uygulaması yapılmıştır [17]. Türkiye'nin elektrik tüketimini modellemek ve tahmin etmek için DVR yöntemi kullanılmıştır [18]. Türkiye'nin elektrik tüketimini modellemek ve tahmin etmek için YSA kullanan bir yöntem geliştirilmiştir [19]. Türkiye'nin gelecekteki enerji talebini tahmin etmek için Tulumlular Sürü Algoritması (TSA) tabanlı doğrusal bir yöntem geliştirilmiştir [20]. Tablo 1'de Türkiye' deki elektrik tüketimini/enerji talebini tahmin etmeye yönelik bazı çalışmalar karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Türkiye elektrik tüketimi/enerji tahmini ile ilgili yapılmış bazı çalışmalar

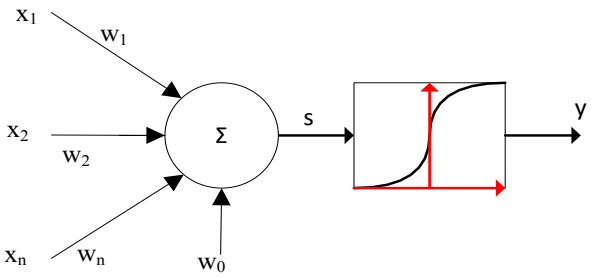
Ref	Yöntem	Bağımsız değişkenler	Bağımlı değişken	Veri yılları	Tahmin dönemi
[13]	Kesirsel matematik	Net elektrik tüketimi verileri	Elektrik tüketimi	1975-2015	1991-2015 2016-2037
[14]	YSA	Gayrisafi Yurtiçi Hâsıla (GSYİH), Nüfus, İthalat, İhracat, Bina yüz ölçümü, Taşıt sayısı	Enerji talebi	1970-2010	2011-2025
[15]	Gri Tahmin Modelleri	GSYİH, Nüfus, İthalat, İhracat, Bina Yüzölçümü	Enerji talebi	1994-2011	2012-2018 2019-2025
[16]	Regresyon ve zaman serisi	Nüfus, Kişi başı gelir, Satılan konut sayısı, Beyaz eşya sayısı, İş yeri sayısı	Elektrik tüketimi	2007-2019 Regresyon için 1970-2019 Normal	2007-2035
[17]	GA ile eğitilmiş DVR	GSYİH, Nüfus, İthalat ve İhracat	Elektrik tüketimi	1975-2014	1975-2014
[18]	DVR	Yıl, Nüfus, Gayrisafi Milli Hasıla (GSMH), İthalat, İhracat	Elektrik tüketimi	1975-2006	2007-2026
[19]	YSA	Yıl, Nüfus, GSMH, İthalat, İhracat	Elektrik tüketimi	1975-2006	2007-2027
[20]	Tulumlular sürü algoritması	GSYİH, Nüfus, İthalat ve İhracat	Enerji talebi	1979-2011	2012-2030
Bu çalışma	KTÖS, EU ÇKAA	Nüfus, Konut satışı	Elektrik tüketimi	2013-2018	2018-2024

Bu çalışmada Çok Katmanlı Algılayıcı Algoritması (ÇKAA), Korelasyon Tabanlı Özellik Seçim Yöntemi (KTÖSY) ve Eğri Uydurma (EU) teknikleri ile Türkiye' de toplam elektrik tüketimini tahmin eden bir model geliştirilmiştir. Bu modelde TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu/Turkish Statistical Institute)'in resmi sitesinden alınan nüfus, ihracat, ithalat, konut satışı ve yapı ruhsatı toplam bina yüz ölçümü gibi farklı bağımsız değişkenler değerlendirilmiştir. KTÖSY çalışmada özellik sayısını azaltmak için kullanılırken, EU ise farklı yıllar için nüfus ve konut satışı gibi bağımsız değişkenleri tahmin etmek için kullanılmıştır. ÇKAA ise nüfus ve konut satışı gibi bağımsız değişken bilgileri ile bağımlı değişken olan toplam elektrik tüketimini tahmin etmek için kullanılmıştır.

2013-2018 yılları arası veriler ÇKAA, KTÖSY ve EU modelini oluşturmak için kullanılırken 2019-2020 yıllarındaki veriler ise modelin başarısını test etmek için kullanılmıştır. Son olarak oluşturulan model ile 2024 yılına kadar Türkiye' deki toplam elektrik tüketimi tahmin edilmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, ÇKAA, KTÖSY ve EU modeli birlikte kullanılmış ve güncel veriler değerlendirilmiştir. Çalışmada ilk olarak ÇKAA, KTÖSY ve EU ile ilgili bilgiler verilmiştir. Daha sonra ise uygulama için seçilen parametreler ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

2. Çok Katmanlı Algılayıcı Algoritması (ÇKAA)

ÇKAA, giriş ve çıkış katmanı arasında bir veya daha fazla katman içeren ileri beslemeli bir sinir ağıdır. Katmanlarda yer alan her bir nöron, bitişik katmanlardaki her bir nöronla bağlantılıdır. Yapay bir nörona ait yapı Şekil 1' de gösterilmiştir [21].



Şekil 1. Yapay nöron

Nöron, n girdinin ağırlıklı toplamını hesaplar, bir eşik değeri ekler ve ardından çıktıyı hesaplamak için sonuca bir aktivasyon fonksiyonu uygular [22].

$$S = \sum_{i=1}^{n} x_i w_i + w_0 \quad (1)$$

$$Y=f(S) \quad (2)$$

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu olarak en çok kullanılan fonksiyonudur ve Denklem 3 ile tanımlanmaktadır.

$$sigmoid(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (3)$$

Bu fonksiyonun doğrusal olmaması, sinir ağları modelinin gücü için esastır. Ayrıca işlev, çıkışı [0-1] aralığına ölçeklendirir [22].

3. Eğri Uydurma (Polinom)

Polinomlar, regresyonda en sık kullanılan eğri türlerinden biridir. Polinom eğri uydurma, verileri uydururken en küçük kareler yöntemini kullanır. Uydurma işlemi, yanıt verilerini bir veya daha fazla katsayılı tahmin verileriyle ilişkilendiren bir model gerektirir. Uydurma işleminin sonucunda modelin katsayıları tahmin edilir. Katsayı tahminlerini elde etmek için en küçük kareler yöntemi ile kalanların toplam karesi en aza indirilir. [23].

En küçük kareler j^{th} dereceden polinomlar yöntemi, $y=a_0+a_1x+a_2x^2+\ldots+a_jx^j$ ile $(x_1,y_1),(x_2,y_2),\ldots(x_k,y_k)$ verilen veri kümesine yaklaşmak için j^{th}' inci dereceden polinomları kullanır. Burada $k\geq j+1$ olmalıdır. En uygun eğri, E için hataların karelerinin toplamının minimum olduğu eğridir. Bu, en küçük kareler ilkesi olarak bilinir ve Legendre tarafından önerilmiştir. En iyi uydurma eğrisi için en küçük kare hatası vardır.

$$E = \sum_{i=1}^{k}[y_i - f(x_i)]^2 = \sum_{i=1}^{k}\left[y_i - (a_{0+}a_1x_i + a_2{x_i}^2 + \cdots a_j x_i^j)\right]^2 = min \quad (4)$$

4. Korelasyon Tabanlı Özellik Seçme Yöntemi

KTÖSY, öznitelik alt kümelerini sıralayan ve öznitelik ya da öznitelik alt kümesinin değerini bir korelasyona dayalı buluşsal değerlendirme işlevine göre keşfeden bir filtre algoritmasıdır. KTÖS' nin amacı, sınıfla yüksek düzeyde ilişkili ve birbiriyle ilişkisiz özellikleri içeren alt kümeleri bulmaktır. Geri kalan özellikler göz ardı edilmelidir. Bir özelliğin kabulü, diğer özellikler tarafından önceden tahmin edilmeyen örnek

uzay alanlarındaki sınıfları ne ölçüde tahmin ettiğine bağlı olacaktır. KTÖS' nin öznitelik altkümesi değerlendirme fonksiyonu aşağıdaki gibi gösterilmektedir [24].

$$M_s = \frac{k\bar{r}_{ci}}{\sqrt{k+k(k-1)\bar{r}_{ij}}} \quad (5)$$

Formüldeki, k altkümedeki özellik sayısı, $\bar{r}_{ci}$ Y ile özellik arasındaki ortalama korelasyonu, $\bar{r}_{ij}$ özelliklerin birbirleri arasındaki ortalama iç korelasyonunu göstermektedir [25].

5. Uygulama

Bu çalışmadaki uygulama için 2013-2020 yılları arasında nüfus, ihracat, ithalat, konut satışı ve yapı ruhsatı toplam bina yüz ölçümü verileri değerlendirilmiştir. Bu veriler Tablo 2'de gösterilmiştir. KTÖSY ve ÇKAA için WEKA programı kullanılırken, eğri uydurma için ise MATLAB programı kullanılmıştır.

Tablo 2. TÜİK verileri

Yıl	Nüfus	İhracat (Bin $)	İthalat (Bin $)	Konut satışları (Toplam)	Yapı ruhsatı toplam bina yüz ölçümü (m^2)	Toplam elektrik tüketimi (MWh)
2013	76667864	161480915	260822803	1157190	175807606	198045181
2014	77695904	166504862	251142429	1165381	220653829	207375078
2015	78741053	150982114	213619211	1289320	189674525	217312250
2016	79814871	149246999	202189242	1341453	206971538	231203746
2017	80810525	164494619	238715128	1409314	287333966	249022646
2018	82003882	177168756	231152483	1375398	149438529	258232177
2019	83154997	180832722	210345203	1348729	73351564	257273130
2020	83614362	169637755	219516807	1499316	112343460	261192783

5.1. Korelasyon tabanlı özellik seçimi yöntemi ile özellik sayısı azaltma

Bağımlı değişken olan toplam enerji tüketimi ile bu çalışmada bağımsız değişken olarak kullanılan nüfus, ihracat, ithalat, konut satışı ve yapı ruhsatlı toplam bina yüz ölçümü verileri ile arasındaki bağlantılarını belirlemek için WEKA programı kullanılmıştır. Burada 2013-2018 yılları arasındaki veriler WEKA programı ile değerlendirilmiştir. Bu veriler doğrultusunda KTÖSY yönteminin program sonuçları Tablo 3' te gösterilmiştir.

Tablo 3. Toplam elektrik tüketiminin nüfus, ihracat, ithalat, konut satışı ve yapı ruhsatlı toplam bina yüz ölçümü verileri ile bağlantıları

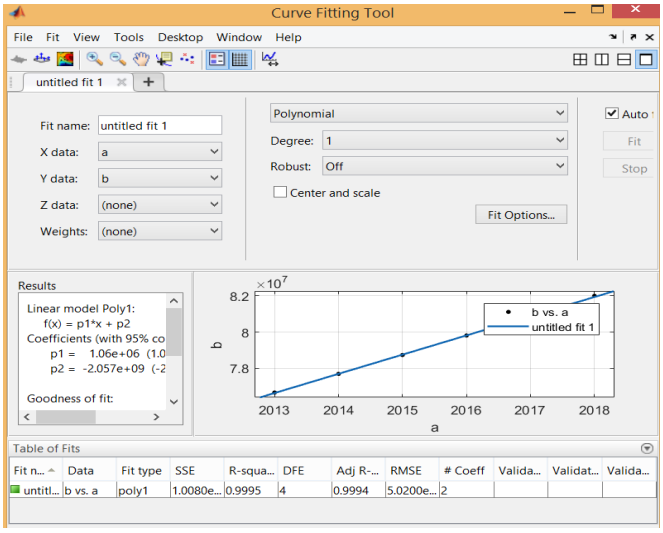
Özellik	Bağımsız değişken	Korelasyon tabanlı özellik seçimi değerleri
1	Nüfus	0.994
2	Konut satışı	0.933
3	İhracat	0.414
4	Yapı ruhsatlı toplam bina yüz ölçümü	0.138
5	İthalat	-0.394

Tablo 3' ten görüldüğü gibi KTÖSY yöntemine göre 2013-2018 verileri için toplam elektrik tüketiminde en bağlantılı olan bağımsız değişken nüfus olmuştur. KTÖS yöntemine göre toplam elektrik tüketimi ile daha az

ilişkili olan bağımsız değişkenler ise ihracat, yapı ruhsatlı toplam bina yüz ölçümü ve ithalat olmuştur. WEKA programında Relieff özellik seçme yöntemi için de ithalat, ihracat ve yapı ruhsatlı toplam bina yüz ölçümü gibi bağımsız değişkenlerin toplam elektrik tüketimi ile ilişkisinin çok düşük olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda Tablo 2' deki veriler incelendiğinde Türkiye' deki toplam elektrik tüketiminin genel olarak arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşın ithalat, ihracat ve yapı ruhsatlı toplam bina yüz ölçümü gibi verilerde ciddi değişiklikler olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum ilerleyen yıllarda ithalat, ihracat ve yapı ruhsatlı toplam bina yüz ölçümü gibi verileri tahmin etmeyi oldukça zor hale getirmektedir. Bu yüzden bu çalışmada toplam elektrik tüketimini tahmin etmek için bağımsız değişken olarak yalnızca nüfus ve konut satışı verileri kullanılmıştır.

5.2. Eğri uydurma ile farklı yıllar için nüfus ve konut satış sayılarının tahmin edilmesi

Nüfus ve konut satışı verilerinin ilerleyen yıllardaki değerlerini tahmin etmek için EU tekniği bu çalışmada kullanılmıştır. 2013-2018 yılları arasında nüfus ve konut satışı verileri MATLAB eğri uydurma (curve fitting) programı ile eğitilmiştir. Şekil 2' de MATLAB eğri uydurma aracı gösterilmektedir.



Şekil 2. MATLAB eğri uydurma aracı

Daha sonra nüfus ve konut satışı verileri için matematiksel denklemler elde edilmiştir. Bu denklemler sayesinde nüfus ve konut satışı değerleri farklı yıllar için de tahmin edilmektedir. Bu eğri uydurma sonucunda farklı yıllara ait nüfus ve konut satışı değerleri, Denklem 6 ve Denklem 7 ile bulunabilmektedir. Denklem 6 ve Denklem 7 ile tahmin edilen 2013-2020 yılları arasındaki nüfus ve konut satışı değerleri Tablo 4' te gösterilmiştir.

$$Nüfus = 1.06 * 10^6 * Yıl - 2.057 * 10^9 \quad (6)$$

$$Konut\ satışı = 5.357 * 10^4 * Yıl - 1.067 * 10^8 \quad (7)$$

Tablo 4. Eğri uydurma tekniği ile 2013-2020 yılları arası tahmin edilen nüfus ve konut satışı değerleri

	Yıl	Nüfus	Konut satışları
EU Eğitim	2013	76780000	1136410
	2014	77840000	1189980
	2015	78900000	1243550
	2016	79960000	1297120

	2017	81020000	1350690
	2018	82080000	1404260
EU Test	2019	83140000	1457830
	2020	84200000	1511400

Tablo 5' te ise Tablo 1' de yer alan nüfus/konut satışı gerçek değerleri ve Tablo 4' te EU tekniği ile elde edilen nüfus/konut satışı verilerinin Mutlak Yüzde Hata (MYH) değerleri gösterilmiştir. MYH değeri Denklem 8 ile elde edilmektedir.

$$MYH(\%) = \left|\frac{Gerçek\ değer - Tahmindeğeri}{Gerçek\ değer}\right| \text{x}100 \quad (8)$$

Tablo 5. 2013-2020 yılları arası TÜİK nüfus/konut satışı gerçek verileri ve EU ile tahmin edilen nüfus/konut satışı verilerinin MYH değerleri (%)

	Yıl	**Nüfus**	**Konut satışları**
	2013	0,15	1,80
	2014	0,19	2,11
EU	2015	0,20	3,55
Eğitim	2016	0,18	3,30
	2017	0,26	4,16
	2018	0,09	2,10
	2019	0,02	8,09
EU Test	2020	0,70	0,81
	Ortalama	0,22	3,24

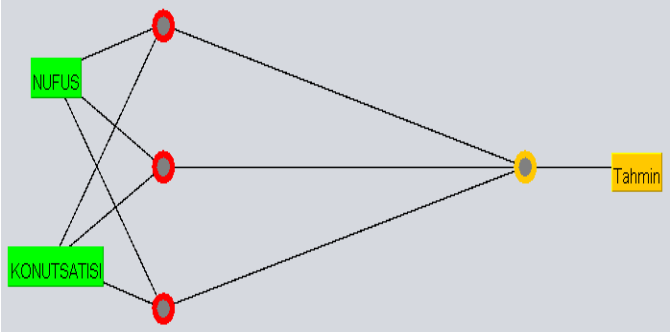
Tablo 5' ten görüldüğü gibi EU ile başarılı nüfus ve konut satışı tahminleri yapılmıştır. EU tekniğinin geliştirilmesi için 2013-2018 verileri kullanılmıştır. Bu yöntemin doğruluğunu göstermek ve başarısını test etmek için 2019-2020 yıllarındaki veriler değerlendirilmelidir. Çünkü 2019-2020 yıllarındaki veriler EU tekniğinin geliştirilmesinde kullanılmamıştır. Tablo 5' ten görüldüğü gibi 2019-2020 TÜİK ve EU verileri karşılaştırıldığında EU tekniğinin özellikle 2020 yılı için nüfus ve konut satışı değerlerinin tahmin edilmesinde oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Elde edilen veriler EU yönteminin kabul edilebilir bir doğruluk sağladığını göstermiştir.

5.3. Çok katmanlı algılayıcı algoritması ile eğitim/test

ÇKAA bu çalışmada nüfus/konut sayısı gibi bağımsız değişenleri kullanarak toplam elektrik tüketimini tahmin etmek için kullanılmıştır. İlk olarak 2013-2018 yılları arası TÜİK nüfus/konut satışı ve toplam elektrik tüketimi resmi verileri ile ÇKAA eğitilmiştir. Daha sonra 2019-2020 yılları için EU' nun nüfus/konut satışı verileri ÇKAA' ya uygulanarak önerilen model test edilmiştir. Eğitim ve test için tahmin edilen toplam elektrik tüketimi değerleri ile TÜİK verileri karşılaştırılarak modelin başarılı olduğu belirlenmiştir. En son olarak ise EU tekniği ile tahmin edilen 2021-2024 yıllarındaki nüfus ve konut satışları verileri ÇKAA' ya uygulanarak ileriye dönük toplam elektrik tüketimi tahmin edilmiştir.

5.4. Çok katmanlı algılayıcı algoritmasının modelini oluşturma (2013-2018 yılı verileri/eğitim)

Bu çalışmada ÇKAA yapısı için sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmış ve tek katmanlı ileri beslemeli sinir ağı seçilmiştir. Birçok deneme sonucunda nöron sayısı ise 3 olarak belirlenmiştir. Bu ÇKAA yapısı Şekil 3' te gösterilmiştir.



Şekil 3. ÇKAA yapısı

Eğitim için 2013-2018 yılları arasındaki nüfus ve konut satışı verileri bağımsız değişken olarak kullanılırken, toplam elektrik tüketimi ise bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Eğitim sonrası 2013-2018 yılları için TÜİK' in gerçek değerleri ve ÇKAA' nın tahmin değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. ÇKAA yöntemi ile 2013-2018 yılları için tahmin edilen toplam elektrik tüketimi değerleri ve TÜİK değerleri

Yıl	TÜİK gerçek değer (MWh)	ÇKAA tahmin Değeri (MWh)	Mutlak yüzdelik hata (%)
2013	198045181	198501211	0,23
2014	207375078	203729392	1,76
2015	217312250	214638670	1,23
2016	231203746	229787809	0,61
2017	249022646	247315116	0,69
2018	258232177	256515758	0,66

Tablo 6' daki veriler önerilen ÇKAA parametrelerinin toplam elektrik tüketimini tahmin etmede başarılı olduğunu göstermiştir.

5.5. Çok katmanlı algılayıcı algoritması ve EU tekniği ile geliştirilen modeli test etme (2019-2020 yıl verileri)

Tablo 6' daki sonuçlar ÇKAA ile eğitimin başarılı olduğunu göstermektedir. EU ve ÇKAA yöntemini test etmek için ise 2019-2020 yıllarındaki EU ile tahmin edilen nüfus ve konut sayısı verileri, eğitilen ÇKAA' ya uygulanmıştır. ÇKAA bu verileri kullanarak 2019-2020 yılları için toplam elektrik tüketimini tahmin etmiştir. Tablo 7' de 2019-2020 yıllarındaki gerçek toplam elektrik tüketim verileri ve EU/ÇKAA ile tahmin edilen toplam elektrik tüketim verileri gösterilmiştir. Tablo 7, EU/ ÇKAA yönteminin 2019-2020 yılları için toplam elektrik tüketimini tahmin etmede başarılı olduğunu göstermiştir.

Tablo 7. EU/ÇKAA yöntemleri ile 2019-2020 yılları için tahmin edilen toplam elektrik tüketimi değerleri ve TÜİK değerleri

Yıl	TÜİK gerçek değer (MWh)	EU ve ÇKAA tahmin değeri (MWh)	Mutlak yüzdelik hata (%)
2019	257273130	264150468	2,67
2020	261192783	271297960	3,87

5.6. Çok katmanlı algılayıcı algoritması ve EU tekniği ile 2021-2024 yılları için toplam elektrik tüketimini tahmin etme

Bu çalışmada 2013-2018 yılları arasındaki veriler eğitim için kullanılırken, 2019-2020 yılları arasındaki veriler ise modeli test etmek için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar modelin geçmiş yıllar için toplam elektrik

tüketimini tahmin etmede başarılı olduğunu göstermiştir. Ancak ilerleyen yıllar için de model ile toplam elektrik tüketiminin tahmin edilmesi gereklidir. Bu yüzden modelin doğruluğu test edildikten sonra 2021-2024 yılları için de toplam elektrik tüketimi tahmin edilmiştir. İlk olarak 2021-2024 yılları arasında EU tekniği ile nüfus ve konut satışı verilerinin belirlenmesi gereklidir. Denklem 6 ve 7 ile 2021-2024 yılları için nüfus ve konut satışı verileri tahmin edilmiş ve bu veriler Tablo 8' de gösterilmiştir.

Tablo 8. EU tekniği ile 2021-2024 yılları arası tahmin edilen nüfus ve konut satışı değerleri

Yıl	Nüfus	Konut satışı
2021	85260000	1564970
2022	86320000	1618540
2023	87380000	1672110
2024	88440000	1725680

Daha sonra Tablo 8' deki nüfus ve konut satışı verileri ÇKAA' ya uygulanarak 2021-2024 yılları için toplam elektrik tüketimi tahmin edilmiştir. Bu değerler Tablo 9' da gösterilmiştir.

Tablo 9. EU/ÇKAA yöntemleri ile 2021-2024 yıllarında tahmin edilen toplam elektrik tüketimi değerleri

Yıl	EU/ÇKAA Tahmin değeri
2021	276782114
2022	278800633
2023	280205211
2024	281225884

5.7. Önerilen yöntem sonuçlarının farklı çalışmalar ile karşılaştırılması

Bu bölümde 2013-2020 ve 2021-2024 yılları için önerilen yöntemin ve farklı çalışmaların Türkiye' deki toplam elektrik tüketimi tahminleri karşılaştırılmıştır. 2013-2020 yılları için elde edilen sonuçlar Tablo 10' da gösterilmiştir. Aynı zamanda bu çalışma ve farklı çalışmaların MYH değerleri Tablo 11' de gösterilmiştir. Tablo 11' den görüldüğü gibi bu çalışmadaki ortalama MYH değeri %1.47 olmuştur. Tablo 11 önerilen yöntemin 2013-2020 yılları için kabul edilebilir bir başarı sağladığını göstermektedir.

Tablo 10. Farklı çalışmaların Türkiye' deki toplam elektrik tüketimi tahminleri

Yıl	Gerçek Değer (TUİK)	[18]	[19]	[13]	[16]	Önerilen
2013	198045181	177630000	201090000	198190000	201960000	198501211
2014	207375078	179180000	206670000	207555000	208822000	203729392
2015	217312250	184100000	212170000	217164000	218245000	214638670
2016	231203746	193200000	217670000	227019000	226590000	229787809
2017	249022646	199630000	223170000	237121000	251071000	247315116
2018	258232177	207560000	228700000	247470000	255184000	256515758
2019	257273130	215960000	234250000	258070000	259651000	264150468
2020	261192783	224440000	239830000	268921000	269484000	271297960

Tablo 11. Farklı çalışmaların MYH değerleri (%)

Yıl	[18]	[19]	[13]	[16]	Önerilen
2013	10,30	1,53	0,07	1,97	0,23
2014	13,59	0,34	0,08	0,69	1,76
2015	15,28	2,36	0,06	0,42	1,23
2016	16,43	5,85	1,80	1,99	0,61
2017	19,83	10,38	4,77	0,82	0,69
2018	19,62	11,43	4,16	1,18	0,66
2019	16,05	8,94	0,30	0,92	2,67
2020	14,07	8,17	2,95	3,17	3,87
Ortalama	15,65	6,13	1,78	1,40	1,47

2021-2024 yılları arası bu ve farklı çalışmaların toplam elektrik tüketimi tahmin değerleri de Tablo 12' de gösterilmiştir. Tablo 12'den görüldüğü gibi genel olarak bu çalışmadaki yöntem ile matematiksel model [13] ve zaman serisi/regresyon analizi [16] yöntemlerinden biraz daha küçük ancak DVR [18] ve YSA [19] yöntemlerinden ise biraz daha yüksek toplam elektrik tüketim değerleri tahmin edilmiştir. Bu sonuçlar önerilen yöntemin 2021-2024 yılları için literatürdeki çalışmalar ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

Tablo 12. Önerilen yöntemin ve farklı çalışmaların 2021-2024 yılları için tahmin edilen toplam elektrik tüketimi değerleri

Yıl	[18]	[19]	Önerilen	[13]	[16]
2021	233200000	245440000	276782114	278901000	280024000
2022	242520000	251060000	278800633	288329000	291382000
2023	252450000	256700000	280205211	298091000	302994000
2024	262870000	262360000	281225884	307902000	314864000

6. Sonuçlar

Bu çalışmada Türkiye' deki toplam elektrik tüketimini tahmin etmeye yönelik bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemde Korelasyon Tabanlı Özellik Seçimi Yöntemi, Eğri Uydurma tekniği ve Çok Katmanlı Algılayıcı Algoritması kullanılmıştır. Uygulama sonuçları yöntemin geçmiş veriler için başarılı olduğunu göstermiştir. 2013-2020 yılları için yöntemin ortalama mutlak yüzde hata değeri %1.47 olmuştur. Aynı zamanda bu çalışma ile 2024 yılına kadar toplam elektrik tüketimi de tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçların literatürde var olan çalışmalar ile tutarlı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte önerilen yöntemin ilerleyen yıllarda daha başarılı sonuçlar vermesi için her yıl, açıklanan TÜİK verileri doğrultusunda güncel veriler ile revize edilmesi önerilmektedir.

Kaynaklar

[1] Khan AR, Mahmood A, Safdar A, Khan ZA, Khan NA. Load forecasting, dynamic pricing and DSM in smart grid: A review. Renewable Sustainable Energy Rev 2016; 54: 1311-1322.

[2] Hong T, Fan S. Probabilistic electric load forecasting: A tutorial review. International Journal of Forecasting 2016; 32(3): 914-938.

[3] Raza MQ, Khosravi A. A review on artificial intelligence based load demand forecasting techniques for smart grid and buildings. Renewable Sustainable Energy Rev 2015; 50: 1352-1372.

[4] Amral N, Ozveren CS, King D. Short term load forecasting using multiple linear regression. In 2007 42nd International universities power engineering conference 2007; Brighton, UK:1192-1198.

[5] Chen JF, Wang WM, Huang CM. Analysis of an adaptive time-series autoregressive moving-average (ARMA) model for short-term load forecasting. Electr. Power Syst. Res 1995; 34(3): 187-196.

[6] Christiaanse WR. Short-term load forecasting using general exponential smoothing. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems 1971; (2): 900-911.

[7] Chakhchoukh Y, Panciatici P, Mili L. Electric load forecasting based on statistical robust methods. IEEE Transactions on Power Systems 2010; 26(3): 982-991.

[8] Khotanzad A, Afkhami-Rohani R. ANNSTLF—Artificial neural network short-term load forecaster generation three. IEEE Transactions on Power Systems 1998; 13(4): 1413–1422.

[9] Chen B.-J, Chang M-W, Lin C-J. Load forecasting using support vector machines: a study on EUNITE competition 2001. IEEE Transactions on Power Systems 2004; 19: 1821–1830.

[10] Hong T, Wang P. Fuzzy interaction regression for short term load forecasting. Fuzzy Optimization and Decision Making 2014; 13(1): 91–103.

[11] Khotanzad A, Zhou E, Elragal H. A neuro-fuzzy approach to short-term load forecasting in a price-sensitive environment. IEEE Transactions On Power Systems 2002; 17(4): 1273-1282.

[12] Tripathi MM, Upadhyay KG, Singh SN. Short-term load forecasting using generalized regression and probabilistic neural networks in the electricity market. The Electricity Journal, 2008; 21(9): 24-34.

[13] Çalık AE, Şirin H. Türkiye'deki elektrik enerji ihtiyacının matematiksel bir modellemesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2017; 21(6): 1475-1482.

[14] ES HA, Kalender FY, Hamzaçebi C. Yapay sinir ağlari ile Türkiye net enerji talep tahmini. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 2014; 29(3): 495-504.

[15] ES HA. Gri tahmin modelleri ile toplam enerji talep tahmini: Türkiye örneği. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2020; 10(3): 771-782.

[16] Nebati EE, Murat TAŞ, Ertaş G. Türkiye'de Elektrik Tüketiminde Talep Tahmini: Zaman Serisi Ve Regresyon Analizi ile Karşılaştırma. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2021; 31: 348-357.
[17] Kaynar O, Yüksek AG, Demirkoparan F. Genetik Algoritma ile Eğitilmiş Destek Vektör Regresyon Kullanilarak Türkiye'nin Elektrik Tüketim Tahmini. Journal of the Faculty of Economics/Iktisat Fakültesi Mecmuasi 2016; 66(2): 45-60.
[18] Kavaklioglu K. Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Support Vector Regression. Applied Energy 2011; 88(1): 368-375.
[19] Kavaklioglu K, Ceylan H, Ozturk HK, Canyurt OE. Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using artificial neural networks. Energy Conversion and Management 2009; 50(11): 2719-2727.
[20] Aslan M. Türkiye'nin Enerji Talebini Tahmin Etmek İçin Tulumlular Sürü Algoritmasina Dayali Bir Uygulama. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2021; 8(14): 34-46.
[21] Area S, Mesra R. Analysis of Bayes, neural network and tree classifier of classification technique in data mining using WEKA. Computer Science & Information Technology 2012.
[22] Morariu D, Crețulescu R, Breazu M. The weka multilayer perceptron classifier. International Journal of Advanced Statistics and IT&C for Economics and Life Sciences 2017; 7(1).
[23] Kumar A, Singh AP. Neural network based fault diagnosis in analog electronic circuit using polynomial curve fitting. International Journal of Computer Applications 2013; 61(16).
[24] Yildirim P. Filter based feature selection methods for prediction of risks in hepatitis disease. International Journal of Machine Learning and Computing 2015; 5(4): 258.
[25] Budak, H. Özellik seçim yöntemleri ve yeni bir yaklaşım. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2018; 22: 21-31.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 687-697, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1122197

Trivium Algoritması Kaynaklı Rastgele Permutasyon Üretimiyle Görüntü Şifreleme Uygulaması

Taha ETEM[1*], Turgay KAYA[2]
[1] Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Muş, Türkiye
[2] Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elazığ, Türkiye
[*1] t.etem@alparslan.edu.tr, [2] tkaya@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 27/05/2022; Kabul/Accepted: 10/08/2022)

Öz: Görüntü şifreleme sistemlerinin popülerliği gün geçtikçe katlanarak artmaktadır. Farklı algoritmalar ve sistemler yardımıyla yeni şifreleme sistemleri tasarlansa da literatürdeki ihtiyacın doldurulması mümkün olmamıştır. Görüntü iletiminin gün geçtikçe yaygınlaşması yeni şifreleme sistemlerine olan ihtiyacı arttırmaktadır. Ayrıca görüntü iletimindeki mahremiyet ihtiyacı diğer veri türlerinden daha fazladır. Yapılan bu çalışmada Trivium algoritması yardımıyla üretilen rastgele sayı dizileri öncelikle permutasyon oluşturularak piksel karıştırma işlemlerinde kullanılmıştır. Ayrıca üretilen bitler şifreleme işleminde kullanılmak için anahtar üretiminde kullanılmıştır. Üretilen bitlerin rastgelelik koşullarını sağlayıp sağlamadığı NIST testleri yardımıyla başarılı olarak sonuçlandırıldıktan sonra tasarlanan sistemin güvenlik analizleri farklı teknikler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Histogram analizi sonuçlarına göre sadece piksel karıştırma işlemiyle kriptolojik işlem yapan sistemlerin güvenlik açıkları gösterilmiştir. Tüm sistemin uygulanması durumunda başarılı bir görüntü şifreleme işleminin gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir

Anahtar kelimeler: Rastgele Sayı Üreteci, Trivium Algoritması, Görüntü Şifreleme, Piksel Karıştırma, Kriptanaliz.

Image Encryption Application with Random Permutation Generation Based on Trivium Algorithm

Abstract: The popularity of image encryption systems is increasing exponentially day by day. Although new encryption systems have been designed with the help of different algorithms and systems, it has not been possible to fill the need in the literature The widespread use of image transmission increases the need for new encryption systems. In addition, the need for privacy in image transmission is more than other data types. In this study, random number sequences produced with the help of the Trivium algorithm were first used in pixel mixing processes by creating permutations. In addition, the generated bits are used in key generation for use in encryption. Whether the generated bits meet the randomness conditions or not has been successfully concluded with the help of NIST tests, and the security analyzes of the designed system have been carried out with the help of different techniques. According to the results of the histogram analysis, the security vulnerabilities of the systems that perform cryptographic operations only with pixel scrambling are shown. It has been determined that a successful image encryption process can be performed if the entire system is implemented.

Key words: Random Number Generator, Trivium Algorithm, Image Encryption, Pixel Scrambling, Cryptanalysis.

1. Giriş

Şifreleme sistemleriyle ilgili günümüzde birçok çalışma yapılmaktadır. Belirli bir düzene dayalı şifreleme algoritmalarının geliştirilmesi de oldukça önemli bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Bu amaçlarla rastgele sayı üreteçlerinin şifreleme algoritmaları içerisinde yer aldığı roller de giderek artmaktadır [1–8]. Şifreleme sistemlerinde güvenliği sağlamak için farklı parametreler mevcuttur. Güvenli bir şifreleme sisteminin tasarlandığından bahsedebilmek için belirli güvenlik testlerinden başarılı olma şartı aranmaktadır [9–14]. Bununla birlikte kaos tabanlı uygulamaların rastgele sayı üreteçlerinin tasarımında ve şifreleme algoritmalarının temelinde kullanılması bu alandaki çalışmaların yaygınlaşmasını sağlayarak önemini arttırmıştır [15–19].

Şifreleme sistemleri kullanılırken farklı yöntemlere başvurulabilir. En temel şifreleme sistem farklılığı anahtar kullanımına dayalı olandır. Şifreleme ve şifre çözme işlemleri için aynı anahtarın kullanıldığı durumlarda simetrik şifreleme yöntemi, farklı anahtarların kullanıldığı durumlarda is asimetrik şifreleme yöntemi kullanılmış olur. Şifreleme algoritmasının yapısı da bu tercih doğrultusunda temelden değişiklik gösterecektir.

[*] Sorumlu yazar: t.etem@alparslan.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0003-1419-5008, [2] 0000-0002-7732-6194

Literatürdeki şifreleme uygulamaları ise genellikle görüntü şifreleme sistemleri üzerine yoğunlaşmıştır. Görüntü şifreleme sistemlerinin yaygınlaşmasındaki en önemli faktör görüntü iletiminin yaygın olması ve bu veri türünde mahremiyete daha fazla ihtiyaç duyulması gelmektedir. Ayrıca görüntü şifreleme uygulamalarının çıktılarını akademik makalelerde incelemenin daha kolay olması da bu alandaki çalışmaları arttırmaktadır. Örneğin, karmaşık bir veri grubunun şifrelenmesi sonucunda ortaya çıkan çıktılar o veri türüne hakim olmayan bir araştırmacı için orijinal veriden ayırt edilemeyebilir. Ancak bir görüntü şifrelendiğinde bu görüntünün temel olarak başarılı bir şekilde şifrelenip şifrelenmediğini gözlemlemek daha kolaydır [20–24].

Farklı rastgele sayı üreteci tasarımlarıyla şifreleme sistemlerinin tasarımı literatürde oldukça yaygındır. Rastgele sayı üreteci tasarımları için gerçek kaynaklı sinyaller ya da tamamen algoritma temelli tasarımlar kullanılabilir. Doğal olarak, bu iki yöntemle üretilen rastgele sayıların çeşitli avantaj ve dezavantajları olacaktır. İstenilen tasarım türüne göre tercih yapılması ve rastgele sayı üreteci türünün seçilmesi gerekir. [25–29].

Rastgele sayı üreteçlerinin değerlendirilmesi yapılırken DIEHARD, TestU01, NIST testleri gibi farklı testler mevcuttur. Genellikle farklı testler sonucunda rastgele sayı üretecinin değerlendirilme süreci farklı olsa da çoğu test benzer parametreleri inceleyerek değerlendirme yapmaktadır.

Bu çalışmada Trivium tabanlı bir sözde rastgele sayı üreteci tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarım görüntü şifreleme işlemlerinde kullanılmak üzere bir permutasyon üreteci olarak kullanılarak görüntü karıştırma uygulaması yapılmıştır. Yine rastgele sayı üreteci çıktıları kullanılarak gerçekleştirilen şifreleme işlemi üzerinde çeşitli güvenlik testleri yardımıyla değerlendirmeler yapılmıştır.

2. Trivium Algoritması

Trivium algoritmasının rastgele sayı üreteci uygulamalarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Aynı zamanda üretilen rastgele sayılara son-işlem algoritması olarak kullanıldığında rastgele sayı dizisinin istatistiksel özelliklerini geliştirmiştir. Trivium algoritması istatistiksel özellikler açısından kullanılabilir olmasının yanı sıra hızlı işleyen algoritma yapısı ve kolay uygulanabilirlik gibi parametrelerle de öne çıkmaktadır. Düşük gereksinimlere sahip ve mikro ölçeklerdeki sistemlerde bile kullanılabilmektedir. Tablo 1'de Trivium algoritmasının temel parametreleri gösterilmiştir [30–32].

Tablo 1. Trivium için Oluşturulan Parametler

Değişkenler	**Boyut**
Anahtar Uzunluğu	80 bit
Başlangıç Değerinin Uzunluğu	80 bit
İç Durumu Uzunluğu	288 bit

Tablo 1'de gösterilen parametrelerin yanı sıra aşağıda Tablo 2 ve Tablo 3'te verilen sözde kodlar Trivium algoritmasının temel işleyiş düzenini göstermektedir. [30].

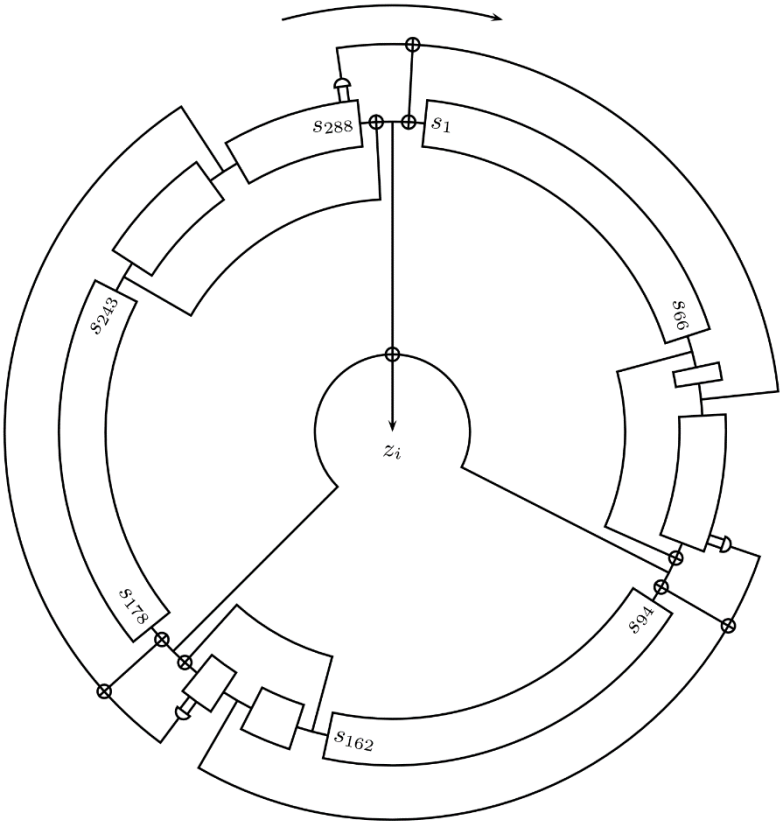
Tablo 2. Trivium Algoritması İç Durum Değişkenlerine İlişkin Sözde Kodlar

$(s_1, s_2, \ldots, s_{93}) \leftarrow (K_1, \ldots, K_{80}, 0, \ldots, 0)$
$(s_{94}, s_{95}, \ldots, s_{177}) \leftarrow (IV_1, \ldots, IV_{80}, 0, \ldots, 0)$
$(s_{178}, s_{179}, \ldots, s_{288}) \leftarrow (0, \ldots, 0, 1, 1, 1)$
for i = 1 to 4 * 288 do
$t_1 \leftarrow s_{66} \oplus s_{91} . s_{92} \oplus s_{93} \oplus s_{171}$
$t_2 \leftarrow s_{162} \oplus s_{175} . s_{176} \oplus s_{177} \oplus s_{264}$
$t_3 \leftarrow s_{243} \oplus s_{286} . s_{287} \oplus s_{288} \oplus s_{69}$
$(s_1, s_2, \ldots, s_{93}) \leftarrow (t_3, s_1, \ldots, s_{92})$
$(s_{94}, s_{95}, \ldots, s_{177}) \leftarrow (t_1, s_{94}, \ldots, s_{176})$
$(s_{178}, s_{179}, \ldots, s_{288}) \leftarrow (t_2, s_{178}, \ldots, s_{287})$
end for

Tablo 3. Trivium Algoritması Bit Üretme Döngüsüne İlişkin Sözde Kodlar

for i=1 to n
$t_1 \leftarrow s_{66} \oplus s_{93}$
$t_2 \leftarrow s_{162} \oplus s_{177}$
$t_3 \leftarrow s_{243} \oplus s_{288}$
$z_i \leftarrow t_1 \oplus t_2 \oplus t_3$
$t_1 \leftarrow t_1 \oplus s_{91} \cdot s_{92} \oplus s_{171}$
$t_2 \leftarrow t_2 \oplus s_{175} \cdot s_{176} \oplus s_{264}$
$t_3 \leftarrow t_3 \oplus s_{286} \cdot s_{287} \oplus s_{69}$
$(s_1, s_2, \ldots\ldots, s_{93}) \leftarrow (t_3, s_1, \ldots.., s_{92})$
$(s_{94}, s_{95}, \ldots.., s_{177}) \leftarrow (t_1, s_{94}, \ldots.., s_{176})$
$(s_{178}, s_{179}, \ldots.., s_{288}) \leftarrow (t_2, s_{178}, \ldots.., s_{287})$
end for

Trivium algoritması bir akış şifreleme projesi kapsamında ortaya çıkmıştır. Bit tabanlı çalışan algoritmanın ortaya çıkış amacı en hızlı ve esnek akış şifreleme algoritmasının güvenlik gereksinimlerinden ödün vermeden geliştirilmesi temeline dayanmaktadır. Aynı yarışmada seçilen diğer algoritmalar ise Grain ve MICKEY'dir. Bu algoritmalarla kıyaslandığınca Trivium yapısı daha basit tasarımı sayesinde minimum düzeyde devre elemanı kullanmaktadır. Ayrıca çıkış bit oranı daha yüksek olan Trivium daha az güç tüketmektedir [33]. Şekil 1'de Trivium algoritmasının genel çalışma yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1. Trivium algoritmasının genel çalışma yapısı [34]

Trivium algoritmasının çalışma mantığı LFSR (Doğrusal Geri Beslemeli Kaydırmalı Kaydedici) mantığına dayanmaktadır. Algoritma içerisinde üç farklı bit uzunluğunda LFSR yapısı mevcuttur. Bu kaydediciler birbirine bağlandığı için dairesel bir yapıdaymış gibi düşünülebilir. Toplamda 288 bit uzunluğuna sahip yapı özel anahtar ve başlangıç vektörüyle işlemlerini başlatır. 80 bitlik başlangıç vektörü ve 80 bitlik gizli işleme sokulduğunda döngüler sonucunda toplamda 2^{64} bit çıkış elde edilebilir.

3. İstatistiksel NIST 800-22 Testi

NIST istatistiksel rastgelelik testleri dünyanın birçok yerinde kabul gören bu alandaki en kapsamlı testlerden biridir. Dünyada bu alandaki standartları belirleyen kurum olan NIST, mevcut şifreleme algoritmalarının standartlarını, güncel kullanım çeşitlerini ve güvenlik açıklarını değerlendiren resmi olarak kabul görmüş bir değerlendirme kuruluşudur. NIST 800-22 istatistiksel rastgelelik testi temelde 15 farklı testten meydana gelmektedir. Tablo 4'de gerçekleştirilen rastgele sayı üreteci tasarımı çıktılarına ilişkin istatistiksel test sonuçları verilmiştir. Her bir test gerçekleştirilirken bir P-değeri hesaplanmaktadır. Bu değer hesaplanırken istatistiksel olarak sıfır hipotez ve eldeki hipotez karşılaştırılarak bir değer elde edilir. İstatistiksel olarak kullanımı farklı olsa da NIST testleri için 0,01 ya 0,001'den büyük değerler başarılı kabul edilmektedir [35].

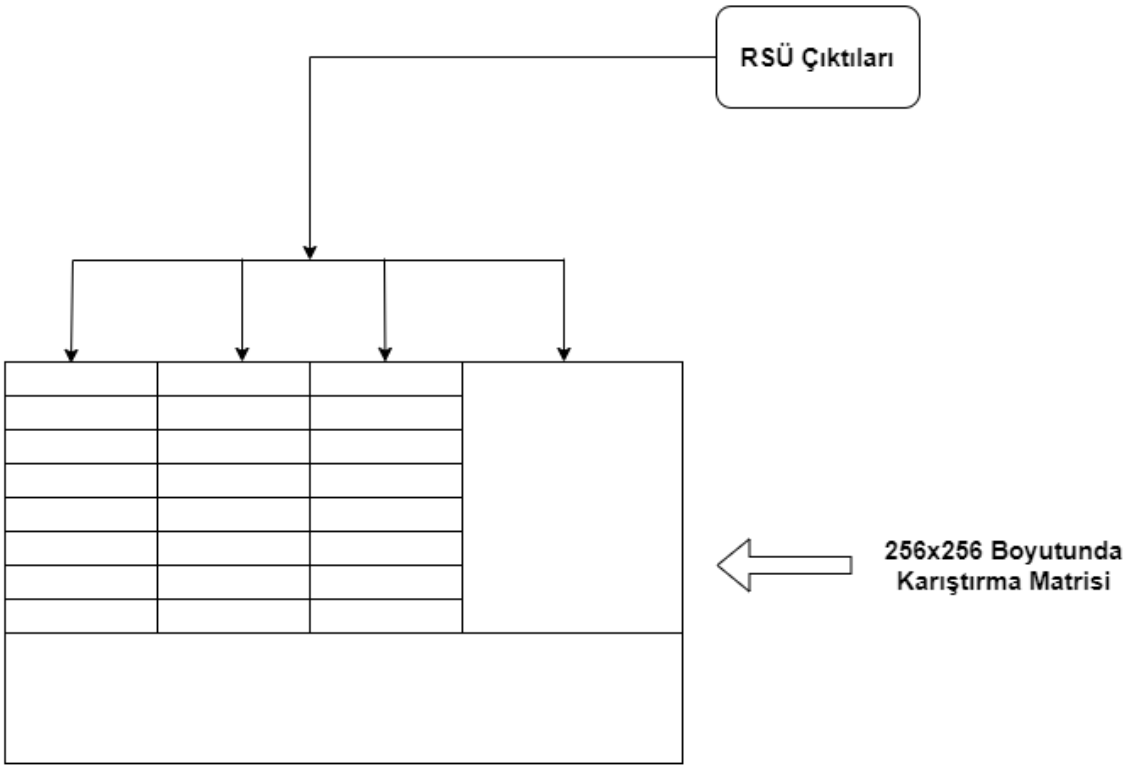
Tablo 4. NIST 800-22 Test Sonuçları

NIST Testleri	Rastgele Sayı Üretecinin Başarımı	Rastgele Sayı Üretecine İlişkin P-Değerleri
Frekans Testi	Başarılı	0,29
Bir Blok içerisinde Frekans Testi	Başarılı	0,51
Akış Testi	Başarılı	0,52
Bir Blok içerisinde en Uzun Akış Testi	Başarılı	0,43
İkili Matris Derece Testi	Başarılı	0,37
Ayrık Zamanlık Fourier Dönüşüm Testi	Başarılı	0,11
Örtüşmeyen Şablon Testi	Başarılı	0,23
Örtüşen Şablon Testi	Başarılı	0,42
Evrensel Test (Maurer Testi)	Başarılı	0,51
Doğrusal Karmaşıklık Testi	Başarılı	0,49
Seri Testi	Başarılı	0,72/0,64
Yaklaşık Entropi Testi	Başarılı	0,33
Birikimli Toplamlar Testi	Başarılı	0,29
Rastgele Gezinimler Testi (Ortalama)	Başarılı	0,42
Rastgele Gezinimler Değişken Testi (Ortalama)	Başarılı	0,37

Tabloya göre NIST 800-22 testlerinden tasarlanan rastgele sayı üreteci başarılı bulunmuştur. Ancak, sadece istatistiksel testlerden başarılı olan rastgele sayı dizilerinin kriptografik uygulamalarda kullanılması uygun olmaz [36]. İstatistiksel başarının yanı sıra rastgele sayı dizileri tahmin edilemez olması ve belirli parametrelere göre geçmiş ya da gelecek sayı dizilerinin başkaları tarafından üretilememesi gerekmektedir [37,38].

4. Piksel Karıştırma ve Görüntü Şifrelemesi Uygulamaları

Şifreleme işlem basamakları bu bölüm altında açıklanacaktır. Öncelikle şifreleme işlemi için 256x256 örnek gri tonlamalı görüntüler kullanılmıştır. Farklı boyuttaki ve nitelikteki görüntüler için geliştirilen algoritmanın uyarlanması mümkündür. Şekil 2'de rastgele permutasyon matrisinin oluşturulma mantığı gösterilmiştir.



Şekil 2. Rastgele permutasyon matrisinin oluşturulması

Burada RSÜ çıktıları alınarak karıştırılmak istenen görüntüyle aynı piksel sayısına sahip bir matris oluşturulur. 256x256 boyutunda yani 1 ile 65536 arasındaki sayılar bu matris içerisine yerleştirilir. Bu işlem için RSÜ çıktıları 16 bitlik sayılara dönüştürülmelidir. Böylece istenilen değer aralığında sayılar üretilmiş olur. Farklı piksel boyutları için buradaki bit sayısının değiştirilmesi yeterli olacaktır. Daha sonra görüntü piksellerine sırasıyla numara verilerek her bir piksel karıştırma matrisi içerisindeki değerle değiştirilir. Örneğin, 1. satır ve 1. sütundaki karıştırma matrisi değeri 256 olsun. Karıştırma işlemi uygulanacak olan görüntüde 1. satır ve 1. sütundaki piksel 256. satır ve 1. sütuna taşınmış olur. Bu şekilde tüm piksellerin yerinin değiştirilmesiyle piksel karıştırma işlemi tamamlanır.

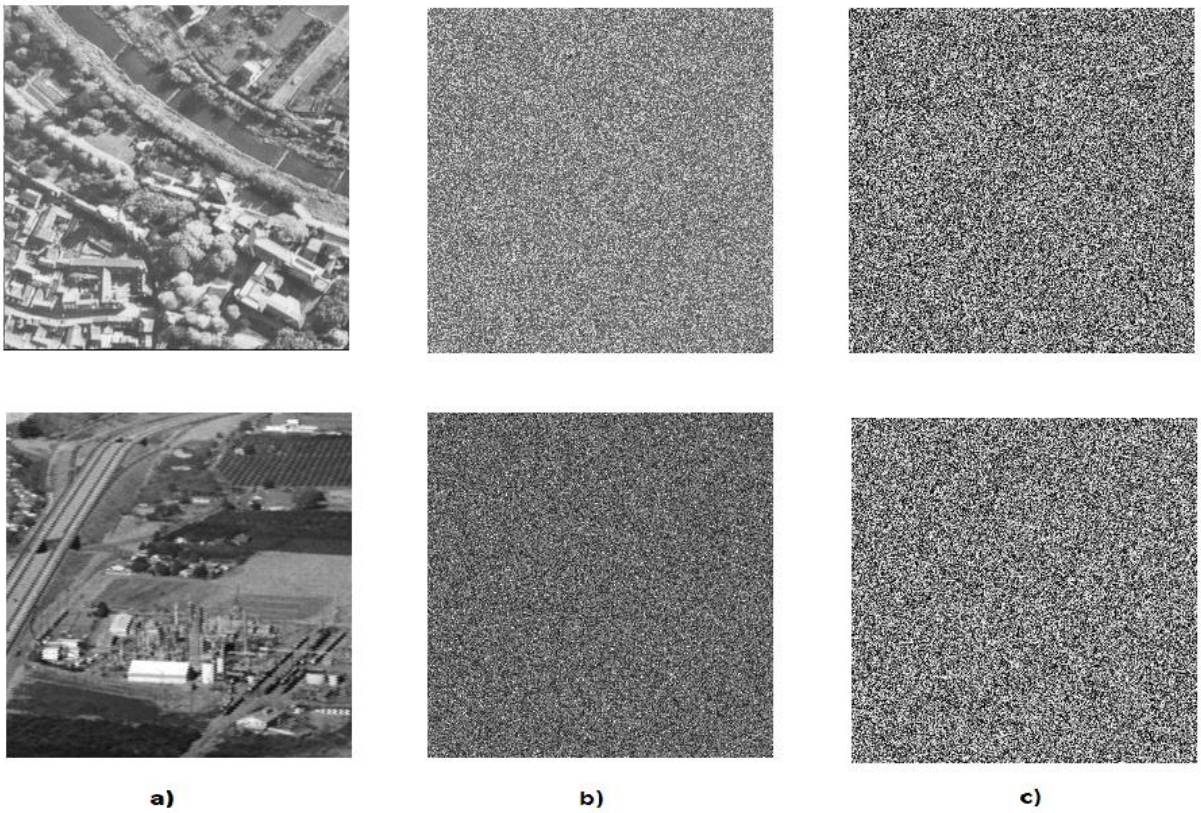
Örnek şifreleme uygulamaları için Vernam Şifreleyicisi kullanılmıştır. En eski şifreleme yöntemlerinden olan Vernam şifreleme yöntemi modern kriptografide güvenilir kabul edilmese de şifreleme için tek kullanımlık orijinal veri boyutunda rastgele sayı dizileri kullanıldığında bu şifreleme sisteminin kırılması mümkün olmamaktadır [39].

Sistemin çalışma sistemi aşağıdaki denklemde gösterilmiştir. Temel olarak şifrelenecek olan verinin her bir bitinin anahtar bitleriyle XOR işlemine tabi tutulmasıyla şifreleme işlemini gerçekleştirmektedir.

$$CipherText = PlainText \oplus Key \tag{1}$$

Burada en önemli nokta şifreleme işlemi için şifrelenecek olan veri ile anahtar olarak kullanılacak RSÜ çıktılarının aynı boyutta olması gerekliliğidir. Ayrıca bu yöntemde kullanılacak olan anahtarın tek kullanımlık olması gerekir. Yüksek boyutlu olmayan veri tiplerinde bu yöntem kullanılabilse de veri boyutu büyüdüğünde şifreleme işlemi için yüksek sistem gereksinimlerine ihtiyaç duyulacaktır. Sistemimizde düşük boyutlu görüntüler kullanıldığı için Vernam şifreleyicisinin kolay uygulanabilir yapısı da göz önüne alınarak bu yöntem tercih edilmiştir.

Yapılan şifreleme uygulaması sonucunda elde edilen çıktılar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Piksel karıştırma işlemi ve şifreleme işlemleri sonucunda elde edilen görüntüler ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 3. Görüntü şifreleme uygulaması sırasıyla, kuş bakışı şehir manzarası ve kimyasal tesis: **a)** Orijinal görüntü **b)** Piksel karıştırma uygulanan görüntü **c)** Şifrelenmiş görüntü

Görüntü işleme uygulamaları için literatürde sunulan görüntülerden seçilen kuş bakışı şehir manzarası ve kimyasal tesis görüntüleri üzerine başarılı bir şekilde piksel karıştırma ve ardından şifreleme işlemleri uygulanmıştır. Şekilden de anlaşılacağı üzere piksel karıştırma işlemi sonucunda görüntüyü ayırt etmek mümkün olmasa da başta şifrelenen görüntünün piksel yoğunluklarına göre görüntülerde farklılıklar oluşabilmektedir. Ancak şifrelenmiş görüntüler arasında herhangi bir yapısal farklılık gözlemlemek mümkün olmayacaktır.

5. Güvenlik Analizleri

Görüntü şifreleme algoritmalarının güvenilirliğini test etmek için literatürde birçok güvenlik analizi mevcuttur. Güvenlik analizleri yapılmayan bir kriptolojik sistemin saldırılara karşı güvenilir olup olmadığını belirlemek oldukça güçtür.

Anahtar hassasiyeti analizinde şifrelenmiş metin ve şifreleme anahtarı üzerindeki bit oranlarının incelenmesiyle yapılabilir. Aşağıda gösterilen denklem yardımıyla hesaplamaların yapılması mümkündür.

$$T = \frac{n^a}{n^b}\% \tag{2}$$

Burada n^a değeri bit serisi içerisindeki Lojik-1 ve ya Lojik-0 sayılarını göstermektedir. n^b ise toplam bit sayısını göstermektedir. T değeri ise bu değerlerin birbirine yüzdelik olarak oranını vermektedir. Burada bit dizisi içerisindeki Lojik-1 ve Lojik-0 oranları hesaplandığında %50 civarında bir değer bulunması sistemin ideal oranda çalıştığını göstermektedir. Bu oranın %1 oranında değişmesi şifrelenecek metine göre mümkün olabileceği için hesaplanan T değerlerinin %49,5 ile %50,5 arasında olması mantıklı kabul edilir. Mevcut sistem için yapılan hesaplamalarda %49,8 ile %50,2 arasında değerler en yüksek olarak elde edildiği için bu analize göre tasarlanan şifreleme sisteminin başarılı olduğu söylenebilir.

Bilgi entropisi değeri özellikle görüntü şifreleme sistemleri için önemli bir parametre olarak görülmektedir. Aşağıdaki denklem yardımıyla bilgi entropisi değerini hesaplamak mümkündür [40].

$$H_m = \sum_{i=0}^{n} p(m_i) \log \frac{1}{p(m_i)} \tag{3}$$

Formülde hesaplanan H_m entropi değerini $p(m_i)$ ise bir değerin bulunma olasılığını ifade etmektedir. Buradan hesaplanacak olan H_m bilgi entropisi değeri 8 bitlik bir gri tonlamalı resim için ideal şartlarda 8'dir. Bizim geliştirdiğimiz sistemin bilgi entropisi değeri ise 7,99581 olarak hesaplanmış olup ideal değere çok çok yakın olması sebebiyle başarılı olduğu söylenebilir.

Korelasyon katsayıları yine görüntü şifreleme sistemlerinde önemli bir parametredir. Komşu piksellerin korelasyon katsayılarının düşük olması bu görüntünün orijinalinin tespit edilememesini sağlar. Hesaplamalar aşağıdaki formüller yardımıyla yapılabilir [41].

$$r_{x,y} = \frac{E((x - E(x))(y - E(y)))}{\sqrt{D(x)D(y)}} \tag{4}$$

$$E(x) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i \tag{5}$$

$$D(x) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} (x_i - E(x))^2 \tag{6}$$

Burada x ve y değerleri komşu piksellerin yoğunluk değerlerini N ise piksel numaralarını belirtmektedir. Yatay, dikey ve diyagonal korelasyon katsayıları hesaplanırken sadece dikkate alınan piksellerin yönü değişmiş olur. Bu formüller yardımıyla kuş bakışı şehir manzarası görüntüsü için değerler yatay dikey ve diyagonal pikseller yönünde hesaplandığında sırasıyla 0,0064, 0,0198 ve 0,0072 değerleri elde edilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre çok düşük bir korelasyonun olduğu görüldüğünden sistemin başarılı olduğu söylenebilir.

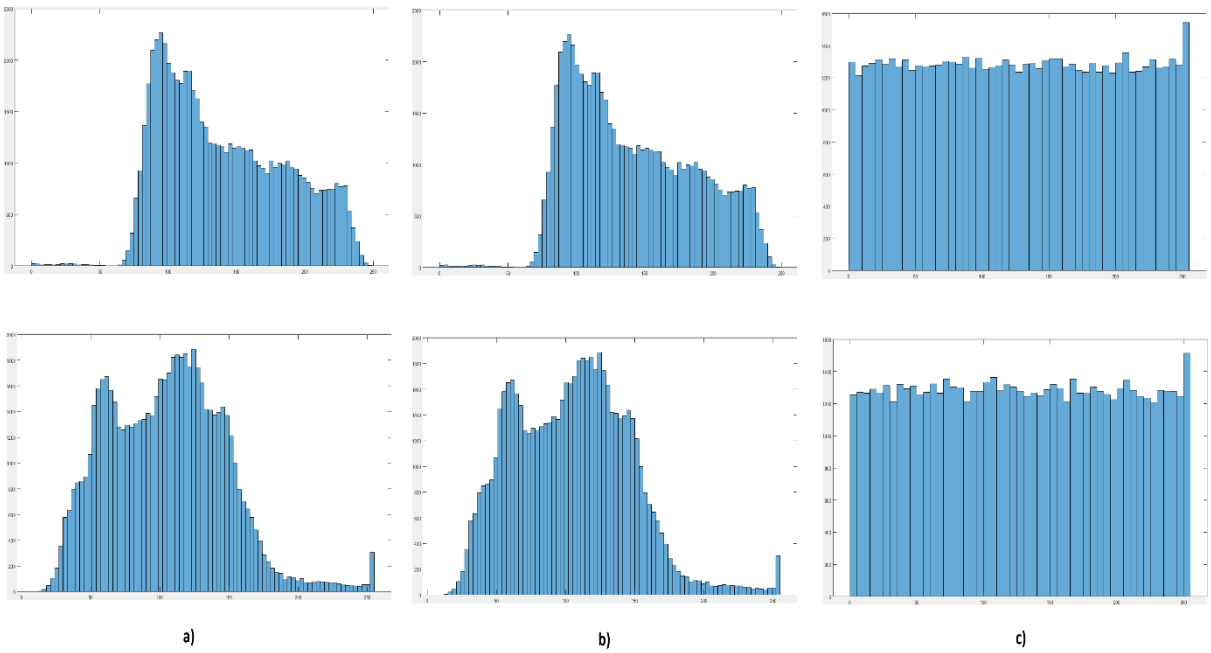
Tablo 5'te yapılan analizlerin literatür ile karşılaştırılması verilmiştir. Önerilen sistemin analizleri yapılırken on farklı şifreleme işlemi sonucunda elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.

Tablo 5. Test Sonuçlarının Karşılaştırılması

Referans	NIST Testleri	Bit Oranı	Bilgi Entropisi	Korelasyon Katsayıları		
				Yatay	Dikey	Diyagonal
Önerilen	Başarılı	%50,0728	7,99195	0,00174	0,00871	0,00483
[42]	Başarılı	~%50	7,9999	0,022	0,019	0,020
[43]	Başarılı	~%50	7,9973	0,00132	0,00209	-
[44]	Başarılı	~%50	7,99154	0,00186	-0,0015	0,00185
[45]	Başarılı	~%50	7,9973	-0,0029	-0,0032	0,0040

Tabloya göre önerilen sistem ile literatürdeki çalışmaların sobuçları benzerlik göstermektedir. Bu analize göre önerilen sistemin başarılı olduğu söylenebilir.

Aşağıdaki Şekil 4'de şifreleme ve piksel karıştırma işlemleri esnasındaki histogram dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 4. Görüntü şifreleme uygulamasındaki histogram dağılımları sırasıyla, kuş bakışı şehir manzarası ve kimyasal tesis: **a)** Orijinal görüntü **b)** Piksel karıştırma uygulanan görüntü **c)** Şifrelenmiş görüntü

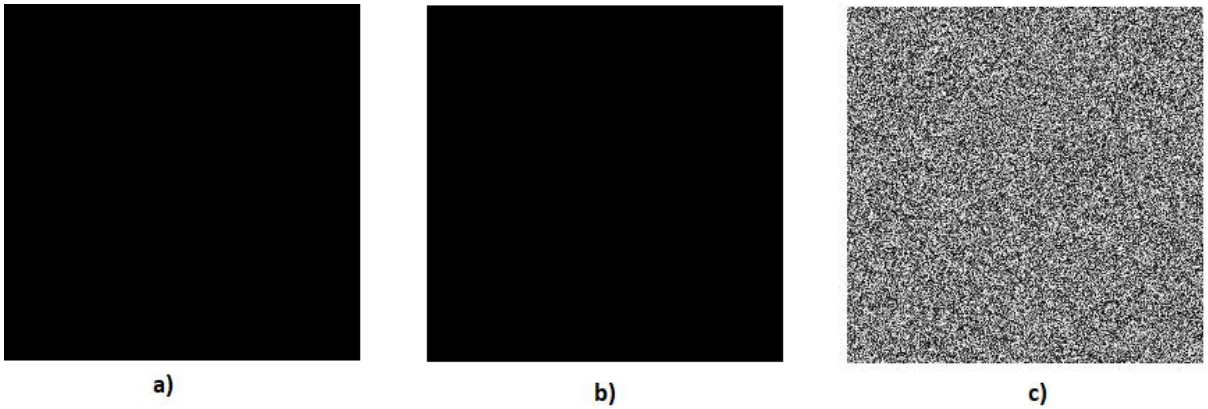
Şekil üzerinde net bir şekilde görüneceği üzere piksel karıştırma işlemi uygulanan görüntülerde orijinal resmi görüntü üzerinden seçmek mümkün olmasa da histogram dağılımı orijinal görüntünün birebir aynısı olduğu için yapılacak analizler yardımıyla görüntünün içeriği hakkında fikir sahibi olunabilir. Bu durum şifreleme işlemi sonrasından ortadan kalktığı için ve şifrelenen her görüntünün benzer bir histogram dağılımına sahip olduğu bilindiği için bu işlemin gerekliliği elzemdir.

Önceki bölümde gösterilen Şekil 3'te piksel karıştırma işlemi uygulanmış ve şifrelenmiş görüntüler gösterilmişti. Piksel karıştırma işlemi sonrasında sadece pikseller yer değiştirdiği için aynı yoğunluklara sahip piksellerin sayısı tamamen aynı kalmaktadır. Bu durum Şekil 4'teki histogram görüntülerinde gösterilmektedir. Tüm şifrelenmiş görüntülerde histogram dağılımları düzgün olduğu için burada orijinal görüntüye ait bir bilgi edinilmesi mümkün olmamaktadır. Piksel karıştırma işleminde ise histogram dağılımları orijinal görüntüyle aynı olduğu için kriptolojik saldırılar neticesinde iletilmek istenen görüntü hakkında fikir sahibi olunabilir.

6. Sonuçlar

Yapılan analizler neticesinde tasarlanan sistemin başarılı bir şekilde görüntü şifreleme uygulamalarında kullanılabileceği ve temel güvenlik gereksinimlerini sağladığı söylenebilir. Piksel karıştırma işleminin sisteme kattığı avantajlar olsa da tek başına yeterli olmadığı sadece piksel karıştırma uygulaması gerçekleştiren çalışmalarda da görülmektedir [46,47]. Tüm şifreleme sisteminin histogram analizinde ve önceki bölümde bahsedilen birçok parametre üzerinde başarılı bir sistem olduğu söylenebilir.

Piksel karıştırma işleminin detaylarının daha iyi anlaşılması için 256x256 piksel boyutundan tamamen siyah bir görüntüye ait veriler piksel karıştırma ve şifreleme işlemine tabi tutularak Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Piksel karıştırma ve şifreleme uygulanan siyah görüntü: **a)** Orijinal görüntü **b)** Piksel karıştırma uygulanan görüntü **c)** Şifrelenmiş görüntü

Tamamen siyah piksellerden oluşan bir görüntüye piksel karıştırma işlemi uygulandığında herhangi bir değişim olmadığı şekil üzerinde gösterilmiştir. Ancak şifreleme işlemi uygulandığında görüntünün orijinalinin ne olduğu fark etmeksizin uniform yapıda histogram özellikleri birbirine çok benzeyen görüntüler elde edilmektedir. Böylece piksel karıştırma işlemlerinin tek başına yeterli olmadığı gösterilmiştir.

7. Değerlendirme

Bu çalışmada Trivium algoritması yardımıyla üretilen rastgele sayı dizileri hem permutasyon oluşturularak piksel karıştırma işlemlerinde hem de şifreleme işleminde kullanılmak üzere anahtar üretiminde kullanılmıştır. Üretilen bitlerin rastgelelik koşullarını sağlayıp sağlamadığı NIST testleri yardımıyla başarılı olarak sonuçlandırıldıktan sonra piksel karıştırma ve şifreleme işlemleri uygulanmıştır. Tasarlanan sistemin anahtar hassasiyeti analizi, bilgi entropisi analizi ve korelasyon katsayısı analizlerinde başarılı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca histogram analizleri incelendiğinde sadece piksel karıştırmaya dayalı kriptolojik sistemlerin güvenlik açıklarının olduğu, şifreleme işlemlerine olan gereklilik belirtilmiştir.

Yapılan bu çalışmada literatürden farklı olarak Trivium algoritması yardımıyla elde edilen rastgele bir dizileri bir rastgele permutasyon üretmek için kullanılmış ve rastgele permutasyon yardımıyla piksel karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistem, karıştırma adımını içermeyen görüntü şifreleme sistemlerine göre bu bağlamda avantaj sağlamaktadır. Karıştırma işlemi sonrası gerçekleştirilen şifreleme işlemiyle önerilen sistemin güvenlik testlerinden başarı sağlaması amaçlanmıştır. Ayrıca karıştırma uygulandığı için şifreleme aşamasının daha esnek şekilde gerçekleştirilebilmesi mümkün olmaktadır.

Yaptığımız çalışmada amaç olarak piksel karıştırma uygulamalarıyla şifreleme işlemlerinin sonucunda oluşan farkları araştırmak hedeflendiği için temel bir şifreleme sisteminin kullanılmasında bir sakınca görülmemiştir. Piksel karıştırma işlemiyle basit düzeyde bir şifreleme sisteminin aralarındaki fark incelenerek şifreleme işlemlerinin gerekliliği gösterilmiştir.

Teşekkür

T. E. fikir sahibi ve deneyleri gerçekleştirdi T. K. sonuçları yorumladı ve düzeltmeleri gerçekleştirdi, T. E. makaleyi yazdı.

Bu çalışma Taha ETEM'in doktora tezinden türetilmiştir.

Kaynaklar

[1] Coşkun S, Pehlivan İ, Akgül A, Gürevin B. A new computer-controlled platform for ADC-based true random number generator and its applications 2019; 27: 847–60.
[2] Etem T, Kaya T. Trivium-Linear Congruential Generator Based Bit Generation For Image Encryption 2020; 32: 287–94.
[3] Moosavi SR, Nigussie E, Virtanen S, Isoaho J. Cryptographic key generation using ECG signal 2017: 1024–31.
[4] Akçay L, Cil E, Vardar A, Yaman I, Yeniceri R, Yalcin ME. Implementation of a chaotic time-delay RNG based secure communication system on FPGA. 2017 10th Int. Conf. Electr. Electron. Eng. ELECO 2017. 2017; 1277–80.

[5] Ayubi P, Setayeshi S, Rahmani AM. Deterministic chaos game: A new fractal based pseudo-random number generator and its cryptographic application 2020; 52: 102472.
[6] Khan JS, Ahmad J. Chaos based efficient selective image encryption 2019; 30: 943–61.
[7] Akgul A, Arslan C, Aricioglu B. Design of an Interface for Random Number Generators Based on Integer and Fractional Order Chaotic Systems 2019; 1: 1–18.
[8] Tuncer T. Implementation of duplicate TRNG on FPGA by using two different randomness source 2015; 21: 35–39.
[9] Kaya T. A true random number generator based on a Chua and RO-PUF: design, implementation and statistical analysis 2020; 102: 415–26.
[10] Li C, Liu Y, Xie T, Chen MZQ. Breaking a novel image encryption scheme based on improved hyperchaotic sequences 2013; 73: 2083–89.
[11] Ceyhan M, Yolaçan EN. Görüntü Dosyalarının Şifrelenerek Güvenli Şekilde Saklanması 2021; 29: 28–42.
[12] Türk S, Şamlı R. Yapay Sinir Ağları İle Klasik Kriptografi Algoritmalarının Şifreli Veriler Üzerinden Sınıflandırılması 2020; 25: 651–64.
[13] Atalay NS, Doğan Ş, Tuncer T, Akbal E. İmge Şifreleme Yöntem ve Algoritmaları 2019; 10: 815–31.
[14] Baykara M, Daş R, Tuna G. A Novel Symmetric Encryption Algorithm and its Implementation 2017: 5–9.
[15] Tuna M, Karthikeyan A, Rajagopal K, Alcin M, Koyuncu İ. Hyperjerk multiscroll oscillators with megastability: Analysis, FPGA implementation and a novel ANN-ring-based True Random Number Generator 2019; 112.
[16] Çimen ME, Kaçar S, Güleryüz E, Gürevin B, Akgül A. Kaotik bir hareket videosunun yapay sinir ağları ile modellenmesi 2018; 20: 23–35.
[17] Çelik H, Doğan N. K-En Az Anlamlı Bitlere Dayalı Kaotik Bir Harita Kullanan Renkli Görüntü Steganografisi 2021: 1–1.
[18] Çavuşoğlu Ü, Akgül A, Kaçar S, Pehlivan İ, Zengin A. A novel chaos-based encryption algorithm over TCP data packet for secure communication 2016; 9: 1285–96.
[19] Akgul A, Kaçar S, Pehlivan I. An Audio Data Encryption with Single and Double Dimension Discrete-Time Chaotic Systems 2015; 5: 14–23.
[20] Zhu L, Song H, Zhang X, Yan M, Zhang T, Wang X, et al. A robust meaningful image encryption scheme based on block compressive sensing and SVD embedding 2020; 175: 107629.
[21] Tiken C, Şamli R. A Comprehensive Review About Image Encryption Methods 2022; 7: 27–49.
[22] Demirtaş M. A Color Image Scrambling Method Based on Zigzag Transform and Cross-channel Permutation 2022; 36: 91–95.
[23] Doğan N, Çelik H. Tarama Modeli Kullanan Karma Bir Görüntü Şifreleme Yöntemi 2021: 1–1.
[24] Balkesn C, Kocer HE. Embedding Encrypted Data into an Image with a Random Pixel Layout Approach 2020: 123–30.
[25] Avaroglu E. Pseudorandom number generator based on Arnold cat map and statistical analysis 2017; 25: 633–43.
[26] Etem T, Kaya T. A novel True Random Bit Generator design for image encryption 2020; 540.
[27] Özkaynak F. Cryptographically secure random number generator with chaotic additional input 2014; 78: 2015–20.
[28] Akgul A, Calgan H, Koyuncu I, Pehlivan I, Istanbullu A. Chaos-based engineering applications with a 3D chaotic system without equilibrium points 2016; 84: 481–95.
[29] Etem T, Kaya T. Self-generated encryption model of acoustics 2020; 170: 107481.
[30] Kaya T. Memristor and Trivium-based true random number generator 2020; 542: 124071.
[31] İnce C, İnce K, Hanbay D. SecureRandom Kütüphanesi Kullanarak Yazılımsal Trivium Oluşturma 2022; 34: 639–44.
[32] Garipcan AM, Erdem E, Tuncer T. Donanım Tabanlı Trivium Akış Şifreleme Algoritmasının FPGA Ortamında Gerçekleştirilmesi 2017; 29: 119–30.
[33] Yun J, Park K-W, Shin Y, Kim H-D. An efficient stream cipher for resistive RAM 2017; 14.
[34] De Canniere C, Preneel B. Trivium Specifications [homepage on the Internet]. n.d. [cited 2022 Jul 1] Available from: (https://www.ecrypt.eu.org/stream/ciphers/trivium/trivium.pdf).
[35] Akkaya S, Pehlivan İ, Akgül A, Varan M. The design and application of bank authenticator device with a novel chaos based random number generator 2018; 33: 1171–82.
[36] Koç ÇK. Cryptographic Engineering. Springer US 2009.
[37] Yakut S, Tuncer T, Ozer AB. Secure and efficient hybrid random number generator based on sponge constructionsfor cryptographic applications 2019; 25: 40–46.
[38] Yakut S, Tuncer T, Özer AB. A New Secure and Efficient Approach for TRNG and Its Post-Processing Algorithms 2020; 29.
[39] Özkaynak F. Kriptolojik Rasgele Sayı Üreteçleri 2015; 8: 37–44.
[40] Chen X, Qian S, Yu F, Zhang Z, Shen H, Huang Y, et al. Pseudorandom Number Generator Based on Three Kinds of Four-Wing Memristive Hyperchaotic System and Its Application in Image Encryption 2020; 2020.
[41] Sang Y, Sang J, Alam MS. Image encryption based on logistic chaotic systems and deep autoencoder 2022; 153: 59–66.
[42] Abutaha M, Amar I, Alqahtani S. Parallel and Practical Approach of Efficient Image Chaotic Encryption Based on Message Passing Interface (MPI) 2022; 24: 566.
[43] Gürevin B, Yıldız M, Güleryüz E, Ç Kutlu M, Sorgun Ö. A Chaos Based Image Encryption On LabVIEW 2020; 2.
[44] Kadir A, Aili M, Sattar M. Color image encryption scheme using coupled hyper chaotic system with multiple impulse injections 2017; 129: 231–38.

[45] Chai X, Fu X, Gan Z, Lu Y, Chen Y. A color image cryptosystem based on dynamic DNA encryption and chaos 2019; 155: 44–62.
[46] Dursun G, Özer F, Özkaya U. A new and secure digital image scrambling algorithm based on 2D cellular automata 2017; 25: 3515–27.
[47] Diaconu AV, Costea A, Costea MA. Color image scrambling technique based on transposition of pixels between RGB channels using Knight's moving rules and digital chaotic map 2014; 2014.
[48] Tanyıldızı E, Orhan A. An introduction to variable and feature selection. Comput Appl Eeng Educ 2009; 17(2): 187-195.
[49] Duman M, Gürbüz AC. 3D imaging for ground-penetrating radars via dictionarydimension reduction. Turk J Elec Eng & Comp Sci 2015; 23(5): 1242-1256.
[50] Haupt RL, Haupt SE. Practical Genetic Algorithms. 2nd ed. New York, NY, USA: Wiley, 2004.
[51] Kennedy J, Eberhart R. Swarm Intelligence. San Diego, CA, USA: Academic Press, 2001.
[52] Poore JH, Lin L, Eschbach R, Bauer T. Automated statistical testing for embedded systems. In: Zander J, Schieferdecker I, Mosterman PJ, editors. Model-Based Testing for Embedded Systems. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2012. pp. 111-146.
[53] Li RTH, Chung SH. Digital boundary controller for single-phase grid-connected CSI. In: IEEE 2008 Power Electronics Specialists Conference; 15-19 June 2008; Rhodes, Greece. New York, NY, USA: IEEE. pp. 4562-4568.
[54] Boynukalın Z. Emotion analysis of Turkish texts by using machine learning methods. MSc, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2012.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 699-707, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1122947

Derin Takviyeli Öğrenme Tabanlı Bilinmeyen Ortamda Çoklu Robot Navigasyonu

Niyazi Furkan BAR[1*], Mehmet KARAKÖSE[2]
[1,2] Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[*1] nfbar@firat.edu.tr, [2] mkarakose@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 30/05/2022; Kabul/Accepted: 03/09/2022)

Öz: Günümüzde mobil robotların navigasyon problemini derin takviyeli öğrenme (DRL) ile çözmeye çalışmak ilgi çekici konulardan birisi haline gelmiştir. Tekli mobil robotlarda DRL yüksek başarı oranlarına ulaşmıştır. Çoklu robot sistemlerinde ise, problemin karmaşıklığı üstel bir şekilde arttığı için maliyeti yüksek ve daha zorlu iş haline gelmektedir. Bu çalışmada ise DRL ile çoklu robot navigasyonu problemine çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Önerilen yaklaşımdaki sistemde eşzamanlı bir ortam, bu ortamda birden fazla robot, hedef, engel bulunmaktadır. Ortamda robotlar sırasıyla eylem seçerek, hareket ederler. Aynı zamanda robotlar kendilerinden başka robotlar için dinamik bir engel işlevi görmektedir. Robotlar kendi hedeflerine en kısa yoldan herhangi bir çarpışma yaşamadan ulaşmaya çalışırlar. Aynı zamanda robotlar bir başka robotla çarpışmayacak şekilde veya bir başka robotun rotasını uzatmayacak şekilde yol planlaması yapmaya çalışırlar. Bunları sağlayabilmek için çok ajanlı deep q-network (DQN) algoritması, hedefe yönelik bir durum verisi, güçlendirilmiş adaptif ödül mekanizması kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım doğrultusunda oluşturulan sistem tek bir robotun navigasyon başarısı, çoklu robot sisteminin navigasyon başarısı, birim-kare başına düşen robot sayısına göre başarı oranı olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler önerilen yaklaşımın performansını doğrulamıştır.

Anahtar kelimeler: bilinmeyen ortamda navigasyon, çoklu robot navigasyonu, çok ajanlı derin takviyeli öğrenme.

Multi-Robot Navigation in Unknown Environment Based on Deep Reinforcement Learning

Abstract: Nowadays, trying to solve the navigation problem of mobile robots with deep reinforcement learning (DRL) has become one of the interesting topics. DRL has achieved high success rates in single mobile robots. In multi-robot systems, the complexity of the problem increases exponentially, making it a costly and more demanding task. In this study, it has been tried to solve the multi-robot navigation problem with DRL. In the system in the proposed approach, there is a synchronous environment and more than one robot, target and obstacle in this environment. The robots in the environment move by selecting an action, respectively. At the same time, the robots as a dynamic obstacle for other robots. The robots try to reach their targets in the shortest path without any collision. At the same time, the robots try to plan paths so that they do not collide with another robot or extend the path of another robot. In order to provide these, multi-agent deep q-network (DQN) algorithms, target-oriented state data, and reinforced adaptive reward mechanism were used. The system in the proposed approach was evaluated as the navigation success of a single robot, the navigation success of the multi-robot system, and the success rate according to the number of robots per unit square. These evaluations confirmed the performance of the proposed approach.

Key words: navigation in unknown environment, navigation for multi-robots, multi-agent deep reinforcement learning.

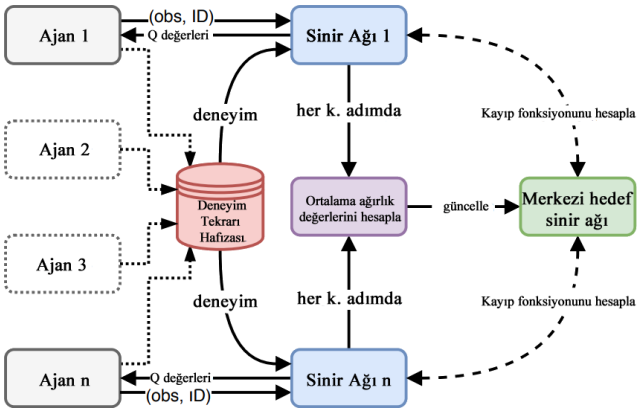
1. Giriş

Günümüzde çoklu robot sistemlerinde navigasyon için geleneksel yöntemler yetersiz kalmaya başlamıştır. Bu yüzden alternatif olarak yeni yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Çoklu robot sistemleri savunma sanayiden depo otomasyonlarına kadar geniş bir kullanım alanının olması bu konuyu yapay zeka ve robotik alanlardaki ilgi çekici konulardan birisi haline getirmiştir. Navigasyon problemi, robotların hedeflerine herhangi bir engelle çarpışmadan en kısa yoldan ulaşmasıyla ilgilenirken, çoklu robotlardaki navigasyon problemi buna ek olarak robotların birbirleriyle işbirliği içerisinde ulaşmasıyla ilgilenir [1]. Bu problem tekli robot sistemlerinde, derin takviyeli öğrenmeyle çözülme konusunda yüksek başarı oranlarına ulaşmıştır [2-6]. Hatta bu çalışmalar gerçek hayatta uygulanmaya başlanmıştır [7]. Yeni eğilim ise bu problemin çoklu robot sistemleri üzerinde çözülmeye çalışılmasıdır. Çoklu robot sistemlerinde, problemin karmaşıklığının üstel bir biçimde artması, maliyet ve kaynak ihtiyacı artışını beraberinde getirmektedir. Çoklu robot sistemlerinde maliyeti azaltmak için başarılı bir öğrenme sürecini daha hızlı gerçekleştirecek ve kaynak ihtiyacını minimize edecek yaklaşımlara ihtiyaç vardır.

[*] Sorumlu yazar: nfbar@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0002-3393-004X, [2] 0000-0002-3276-3788

Bu çalışmada derin takviyeli öğrenme ile bilinmeyen bir ortamda birden fazla robotun navigasyon problemine çözüm getirilmeye çalışıldı. Bu probleme çözüm getirilmeye çalışılırken sadece navigasyon problemi değil, robotların işbirliği sağlayarak rota oluşturması gibi çoklu robot sistemleri için önemli noktalar da göz önüne alınmıştır. Bu çalışmayı gerçekleştirmek için değer tabanlı bir derin takviyeli öğrenme algoritması olan DQN algoritması kullanıldı. İlk defa 2015 yılında V. Mnih ve arkadaşları [8] tarafından sunulan DQN algoritması, yapılan değişiklikler ile çok ajanlı hale getirildi. Birden fazla robotun, hedefin ve engellerin bulunacağı 2-boyutlu senkron çalışan bir ortam tasarlandı. Ortam görüntüsü ajana durum verisi olarak verilerek, evrişimsel sinir ağı (CNN) ile öğrenme sağlandı. Bu sayede robot herhangi bir pozisyon bilgisine sahip olmadan, bilinmeyen bir ortamda navigasyon gerçekleştirdi. Bunlara ek olarak önceki çalışmalarımızdan [2] ve literatürdeki diğer çalışmalardan gözlemlediğimiz üzere durum verisinin çeşitlendirilerek ödül mekanizmasında kullanılması ve adaptif ödül mekanizmalarının daha hızlı ve başarılı bir öğrenme gerçekleştirmektedir. Bu bilgiyle ortam görüntüsü 4-katmanlı bir görüntü olarak verilerek, adaptif bir ödül mekanizması kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımla çoklu robot sistemlerinin getirdiği zorluklar olan maliyet ve kaynak ihtiyacı artışı, hız düşüklüğü çözülerek başarılı sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar şeklinde verilerek detaylı bir şekilde açıklanarak, bazı noktalarda yorumlara yer verilmiştir.

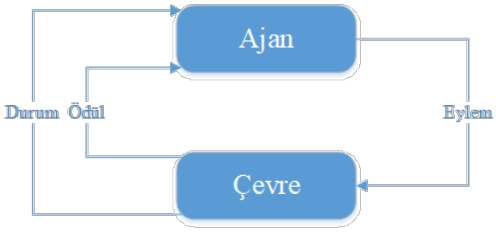
Çoklu robot sistemleri konusunda yapılmış çalışmalardan birisi olan [9]'daki çalışmada DQN algoritması kullanılarak, ortak bir deneyim tekrarı hafızası oluşturulmuş ve her ajan için ayrı bir yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Her ajan için ayrı oluşturulan yapay sinir ağlarının belirlenen adım sayısına ulaşınca hedef ağ tarafından ağırlıkları eşitlenmektedir. [9]'daki sistemin blok diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. [4]'teki çalışmada ajanlar toplu halde bir görseli oluşturmaya çalışırlar. Bu sayede hem navigasyon hem de işbirliği gerçekleştirmiş olurlar. Bu çalışmayla benzer olarak 2-boyutlu bir ortam ve yapay sinir ağlarında CNN, FFNN katmanlar kullanmışlardır. [9]'daki çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde tek bir robotun navigasyon başarısı ~95%, çoklu robotların navigasyon başarısı ~90% olmuştur. Bu çalışmada 10.000 eğitim bölümü gerçekleştilmiştir ve DQN hiperparametreleri deneyim tekrarı hafızası 1.000.000, mini-batch sayısı ise 128 olarak belirlenmiştir. [9]'daki çalışma, bu çalışmadan tekli robotların navigasyon başarısından daha az, çoklu robotların navigasyon başarısından daha yüksek başarıya ulaşmıştır eğitim sayısı, mini-batch sayısı ve deneyim tekrarı hafızası boyutumuz göz önüne alındığında aradaki farkın kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. [9]'daki çalışmada önerilen yaklaşımın blok diyagramı

2. Derin Takviyeli Öğrenme

Takviyeli öğrenme, kümülatif bir ödülü en üst düzeye çıkarmak için ajanın ortamda belirlenen eylemler arasından en uygun olanını seçmesini sağlamak için kullanılan bir makine öğrenmesi yöntemidir [10-11]. Bunu yapabilmek için Markov Karar Sürecini kullanır [11]. Markov Karar Süreci temel olarak şu şekilde çalışır: Ajan eylem kümesinden bir eylem seçer ve bunu ortama gönderir. Ortam da seçilen eylem karşılığında geri dönüt olarak yeni durumu ve ödül değerini ajana gönderir. Markov Karar Süreci Şekil 2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Markov Karar Süreci

Derin takviyeli öğrenme ise takviyeli öğrenmede kullanılan algoritmaların derin sinir ağlarıyla güçlendirilmiş halidir. Derin takviyeli öğrenme, takviyeli öğrenme ile çözülmesi zor olan problemlerin veya zor optimizasyon problemlerinin çözülmesini derin öğrenmenin prensiplerini kullanarak daha basit hale getirir [10]. Derin takviyeli öğrenmede yapılan eylem sonucu geri dönüt olarak alınan sayısal ödül değeri sinir ağının ağırlıklarını güncellemek için kullanılır. Bu sayede sonraki eylemlerini seçerken en yüksek ödül değerini getirecek eylemi seçer. Sinir ağı güncellenirken Q-fonksiyonu adı verilen bir fonksiyon ile güncellenir [12]. Bu fonksiyon Denklem 1'de verilmiştir. Bu fonksiyonda indirim faktörü adı verilen bir parametre vardır. Bu parametre (0,1] aralığında değer alır [10-11] ve bu parametrenin Q-fonksiyonuna dahil edilmesiyle ajanın gelecekte alabileceği ödül değerinin etkisi arttırılabilir veya azaltılabilir. Bu sayede ajan uzun-kısa vadeli planlar yapabilir veya hiç plan yapmaz. İndirim faktörü parametresinin 0'a yaklaşmasıyla ajanın kısa vadeli planlar, 1'e yaklaşmasıyla ajanın uzun vadeli planlar yapabilmesini sağlar, 0 olmasıyla plan yapmamasını sağlar.

$$Q(s,a) = Q(s,a) + \alpha[R_t + \gamma * max[Q(s_{t+1},a)] - Q(s,a)] \quad (1)$$

Denklem 1'de belirtilen s durumu, a eylemi, α öğrenme oranını, R_t t zamanındaki ödül değerini, γ: indirim faktörünü, $max[Q(s_{t+1},a)]$ t+1 zamanındaki durum ve aynı eylemde alınabilecek en yüksek Q değerini temsil eder.

2.1. Keşif-Sömürü

Derin takviyeli öğrenmede ortaya çıkan büyük problemlerden birisidir. Bu problem özünde bir ikilemdir. Keşif, ajanın yeni eylemler deneyerek, yeni durum-eylem çiftleri öğrenmesidir. Sömürü ise ajanın durum için sinir ağından en yüksek ödülü getirecek eylemi seçmesidir. Bu problemin ikilem olmasındaki ana nokta şudur; Ajan daha yüksek ödül elde etmek için daha önce deneyerek öğrendiği en yüksek ödüllü eylemi seçmelidir yani "sömürü" işlemi yapmalıdır fakat yüksek ödül değeri getirecek eylemleri öğrenebilmesi için de bu eylemleri denemesi gerekmektedir yani "keşif" işlemi yapmalıdır. Bu ikilemi çözmek için geliştirilmiş Epsilon-Greedy, Upper Confidence Bounds, Boltzmann Exploration gibi birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı ise Epsilon-Greedy yöntemidir [13].

2.1.1. Epsilon-Greedy yöntemi

Bu yöntemde bir keşif sömürü oranı belirlenir ve bu oran doğrultusunda toplam eğitim sayısında kaç bölüm keşif odaklı, kaç bölüm sömürü odaklı bir seçim yapılır. Ayrıca ε ile gösterilen (0,1) aralığında değer alan, her bölümde keşif sömürü oranına göre yeniden hesaplanan bir değişken vardır. Bu değişken eylem seçerken kullanılır. Eylem seçimi sırasında rastgele bir sayı üretilerek, bu değişken ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda değişken, rastgele üretilen sayıdan büyükse eylem kümesinden rastgele bir eylem seçilerek keşif odaklı bir seçim yapılmış olur ve böylece ajan yeni bir durum-eylem çifti öğrenir. Karşılaştırma sonucunda değişkenin rastgele üretilen sayıdan büyük olmaması durumunda sinir ağı kullanılarak en yüksek ödül değerini getirecek olan eylem seçilerek sömürü odaklı bir seçim yapılmış olur. Bu yöntemin eylem seçimi Denklem 2'deki gibidir.

$$a_t = \begin{cases} rand\ action\ from\ A(s) & ,eğer\ rastgele\_sayi < \varepsilon \\ argmax_{a \epsilon A(s)} Q(s,a), & aksi\ durumda \end{cases} \quad (2)$$

Denklem 2'de belirtilen ε keşif sömürü oranına göre hesaplanan değişkeni, $A(s)$ eylem kümesini, $Q(s,a)$ öğrenilen durum-eylem çiftlerinin Q değerleri kümesini temsil eder.

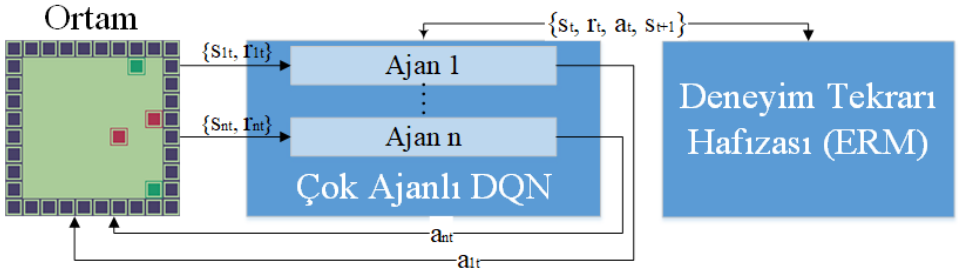
2.2. DQN algoritması

Takviyeli öğrenmedeki Q-learning algoritmasının derin takviyeli öğrenmedeki karşılığıdır. Bu yüzden Deep Q-learning algoritması olarak da bilinir. Takviyeli öğrenmedeki karşılığı olan Q-learning algoritmasında durum-eylem çiftlerine göre verilecek Q değerleri, önceden hazırlanan bir tabloda tutulur ve ajan bu tabloyu kullanarak eylem seçimi gerçekleştirir. Fakat Q değerlerini barından ve Q-tablo olarak adlandırılan bu tablonun kapasite, maliyet ve her durumu önceden bilerek Q-tablosunu hazırlama gibi sorunları vardır. Bu sorunları ortadan kaldırmak için Q değerlerini tahmin eden, durumları genelleştirerek önceden bilme ve tablo hazırlama zorunluluklarını ortadan kaldıran sinir ağı kullanan DQN algoritması ortaya çıkmıştır [12].

DQN algoritmasında Q değerlerini tahmin etmek için bir sinir ağı ile yakınsamaya çalışılan doğrusal olmayan Q-fonksiyonu, sadece son deneyimi öğrenmesiyle aradaki korelasyondan büyük derecede etkilenme riski taşır [14]. Bu riskin bir sonucu olarak da kararlılık sorunu ortaya çıkar [15]. Bu sorunu çözmek için deneyim tekrarı hafızası (ERM) adı verilen bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde ajanın deneyimleri (durum, eylem, ödül, sonraki durum) depolanır. Her bir eğitim bölümünde bu hafızadan rastgele deneyimler seçilerek, mini-batchler şeklinde öğrenme işlemi gerçekleştirilir. Bu sayede sadece o anki deneyim ile değil geçmişteki deneyimler de kullanılarak daha kararlı bir şekilde sinir ağının ağırlıkları güncellenir.

3. Önerilen Yaklaşım

Derin takviyeli öğrenmeyle bilinmeyen bir ortamda navigasyon işlemi yapmanın birçok zorluğu olduğu gibi bu işi çoklu robot sistemlerinde yapmanın getirdiği başka zorluklar da vardır [16-17]. Bunlar yanlış hedefe ulaşmama, diğer robotlarla çarpışmama, diğer robotlarla işbirliği içerisinde en uygun yol planlamasının yapılması gibi zorluklardır. Diğer robotlarla çarpışmama zorluğu, sabit bir engelle çarpışmamadan daha zorludur çünkü diğer robotlar da hedefine ulaşmak için hareket etmektedir. Bu doğrultuda çözmek istenilen navigasyon problemi, çoklu robot sistemleri için ele alınınca problemin karmaşıklık derecesi üstel olarak artmaktadır. Bu zorlu problemi çözebilmek için DQN algoritması çok ajanlı hale getirilerek, durum verisi, ödül mekanizması ve sinir ağı güçlendirildi. Önerilen yaklaşımda aynı ortam içerisinde birden fazla ajan bulunur. Bu ajanlar eylemleri seçmek için ortak bir sinir ağı, deneyimlerini depolamak için ortak bir deneyim tekrarı hafızası kullanırlar. Önerilen yaklaşımda klasik ödül mekanizması yerine performansı doğrulanmış çok durumlu adaptif ödül mekanizması kullanılır. Ödül mekanizması en az adımda, ajanın kendisini tekrarlamayacağı şekilde tasarlanmıştır. Durum verileri hem ödül sistemindeki adaptifliği sağlamak hem de ajanların kendilerini ve hedeflerini görebilmeleri için özelleştirilmiştir. Bütün bunların sayesinde çoklu robot sistemlerinde karmaşıklığı üstel artan navigasyon probleminin, daha hızlı ve başarılı bir öğrenme gerçekleştirilerek çözülmesi hedeflendi. Önerilen yaklaşım Şekil 3'teki gibidir.

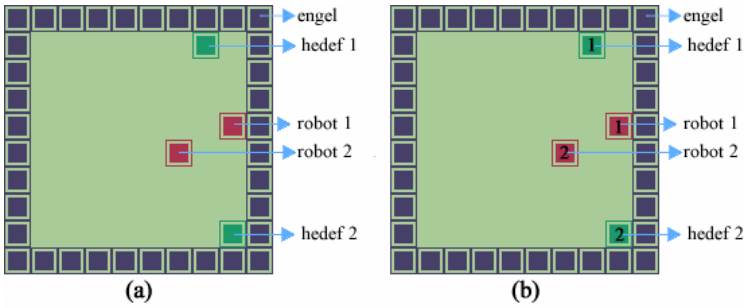


Şekil 3. Önerilen yaklaşımın blok diyagramı, burada s_{1t} birinci ajanın t zamanındaki durum verisini, r_{1t} birinci ajanın t zamanındaki ödül değerini, a_{1t} birinci ajanın t zamanındaki seçtiği eylemi, s_{nt} n-inci ajanın t zamanındaki durum verisini, r_{nt} n-inci ajanın t zamanındaki ödül değerini, a_{nt} n-inci ajanın t zamanındaki seçtiği eylemi, s_t herhangi bir ajanın t zamanındaki durum verisini, r_t herhangi bir ajanın t zamanındaki ödül değerini, a_t herhangi bir ajanın t zamanındaki seçtiği eylemi, s_{t+1} herhangi bir ajanın t+1 zamanındaki durum verisini temsil eder.

3.1. Simülasyon

3.1.1. Ortam

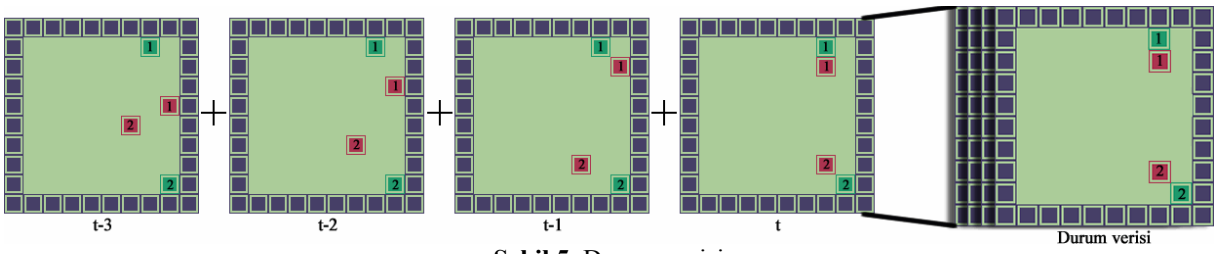
Önerilen yaklaşım için 10×10 boyutunda 2-boyutlu bir ortam oluşturulmuştur. Ortamda 2 robot ve 2 hedef bulunmaktadır. Her bölüm başlangıcında robotlar ve hedefler rastgele boş pozisyonlarda oluşturulur ve robotlara hedefleri tanımlanır. Bir robot için bölüm herhangi bir engelle veya bir diğer robot ile çarpışması durumunda sonlandırılır. Durum verisi başlığı altında bahsedilen ortamın robot için manipüle edilmiş haliyle beraber ortam Şekil 4'te verildiği gibidir.



Şekil 4. (a) simülasyon ortamı, (b) robotun gördüğü ortam

3.1.2. Durum verisi

Problemin çözümünde DQN ajanlarına durum verisi olarak ortamın o anki görüntüsü ve 3 adım önceki görüntüleri birleştirilerek 4-katmanlı bir görüntü olarak verildi. Bu görüntü Şekil 5'te verilmiştir. Ortamın önceki görüntüleri de durum verisine eklenerek, ajanın aynı eylemleri tekrarladığında ceza verilebilmesi sağlandı. Bu sayede ajan aynı eylemleri tekrarlayarak, aynı durumları elde edip bir çıkmaza girmesi engellendi ve daha verimli bir eğitim süreci yapılması hedeflendi. Ajanlara ortam görüntüsü verildiğinden ve ortamın çok ajanlı bir ortam olmasından kaynaklı ajanlara verilen durum verisinde robot ve hedeflere ID verilerek ayırt edilebilmesi sağlandı. Bu sayede robotun hedefe ulaşmasındaki performansın arttırılması ve robotlar arasında yol planlaması yaparken işbirliği sağlanması hedeflendi.



Şekil 5. Durum verisi

3.1.3. Eylem Kümesi

Robotun navigasyonu için yukarı git, aşağı git, sağa git, sola git olmak üzere dört farklı eylem tanımlanmıştır. Ortam 2-boyutlu tasarlandığı için X ve Y koordinatlarında mevcut koordinatlarla toplama işlemi yapılarak hareket sağlanmıştır. Yukarı için (0,1), aşağı için (0,-1), sağ için (1,0), sol için (-1,0) koordinatlarıyla işlem gerçekleştirilmiştir.

3.1.4 Ödül Mekanizması

Ödül mekanizması tasarlanırken 4 farklı duruma odaklanılmıştır. Bu durumlar, robotun kendi hedefine ulaşması, hedefine ulaşmaya çalışırken en kısa yoldan ulaşması, herhangi bir engel veya bir diğer robotla çarpışması ve tekrarlı eylemler gerçekleştirmesidir. Robotun bir diğer robotun hedefine ulaşması durumu istenilmeyen bir durum olduğu için o durumda çarpışma yaşamış gibi bir ödül değeri verildi. Çoğu derin takviyeli öğrenme çalışmasında kullanılan istenilen gerçekleşince +1, istenmeyen gerçekleşince -1 ödül değeri verilen ödül mekanizması geliştirilip, güçlendirilerek farklı durumlar ve hassasiyete sahip ödül değerleri eklenerek adaptif ödül mekanizması elde edildi. Bu ödül mekanizması Denklem 3'teki gibidir.

$$odul = \begin{cases} \mathbf{+1} & ,hedefe\ ulaşma\ için \\ \mathbf{-1} & ,çarpışma\ için \\ \boldsymbol{(d_{t-1} - d_t)/10} & ,her\ adım\ için \\ \mathbf{-0.5} & ,tekrarlı\ eylem\ için \end{cases} \tag{3}$$

Denklem 3'te belirtilen d_{t-1} t-1 zamanındaki robot ile hedef arasındaki uzaklığı, d_t t zamanındaki robot ile hedef arasındaki uzaklığı temsil eder.

3.2. Çok ajanlı DQN ve mimarisi

Aynı ortamda birden fazla ajan bulunacağı için DQN algoritması geliştirilerek birden fazla ajanın aynı ortamda bulunabilmesi sağlandı. DQN algoritmasındaki bölümler içerisindeki adımların işletildiği döngünün içerisine ajanlar için bir döngü eklendi. Bu döngü sayesinde bölüm içerisindeki her bir adımda ajanlar sırayla eylemlerini seçerler ve bunu ortak deneyim tekrarı hafızasına gönderirler. Ortak deneyim tekrarı hafızası sayesinde ajanlar sadece kendi deneyimlerini değil, diğer ajanların deneyimlerini de öğrenerek genel bir öğrenme gerçekleştirirler. Çok ajanlı hale getirilen DQN algoritmasının sözde kodu Tablo 1'de verilmiştir.

	Algoritma 1: Çok ajanlı DQN
1.	Initialize replay memory D with capacity N
2.	Initialize Q network with random weights θ
3.	Initialize target Q network with weights θ - = θ
4.	repeat (for each episode):
5.	Observe initial state s0
6.	repeat (for each step of episode):
7.	repeat (for each agent in step):
8.	select action a_t by $a_t = \begin{cases} rand\ action\ from\ A(s)\ ,if\ rand < \varepsilon \\ argmax_{a \epsilon A(s)} Q(s,a) \quad ,otherwise \end{cases}$
9.	Execute action a_t
10.	Observe reward $r_t$and new state s_{t+1}
11.	Store transition (s_t, a_t, r_t, s_{t+1}) in D
12.	until agent
13.	Sample mini-batch of transitions from D
14.	Calculate target for each transition: $y_j = \begin{cases} r_j & ,is\ terminal \\ r_j + \gamma max Q(s_{j+1}, a') & ,is\ nonterminal \end{cases}$
15.	Perform a descent step on $\left(y_j - Q(s_j, a_j; \theta)\right)^2$ with respect to the Q network parameters θ
16.	until step
17.	until episode

DQN algoritmasında Q-değerlerini tahmin etmek için kullanılan sinir ağı tasarlanırken giriş katmanı olarak evrişimsel katman kullanıldı. Bunun sebebi evrişimsel katmanların matrislerle, görüntülerle daha başarılı sonuçlar elde etmesidir. Bu sinir ağında 2 tane evrişimsel [18], 3 tane tam bağlantılı[19] katman olmak üzere toplam 5 katman vardır. Bu sinir ağının giriş katmanına 4 katmanlı 2-boyutlu matris verilmiştir, çıkış katmanına eylem kümesi boyutu olan 4 nöron tanımlanmıştır. Bu katmanlarda aktivasyon fonksiyonu olarak ReLU [18] fonksiyonu,

optimizasyon yöntemi olarak RMSprop [19], kayıp fonksiyonu olarak ise MSE [20] kullanılmıştır. Tasarlanan sinir ağının mimarisi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Sinir ağının mimarisi

	Katman Tipi	**Giriş**	**Çıkış**
Giriş	Conv2D	(4,10,10)	(16,8,8)
Gizli	Conv2D	(16,8,8)	(32,6,6)
Gizli	Dense (FC)	(32,6,6)	(1,1152)
Gizli	Dense (FC)	(1,1152)	(1,256)
Çıkış	Dense (FC)	(1,256)	(1,4)

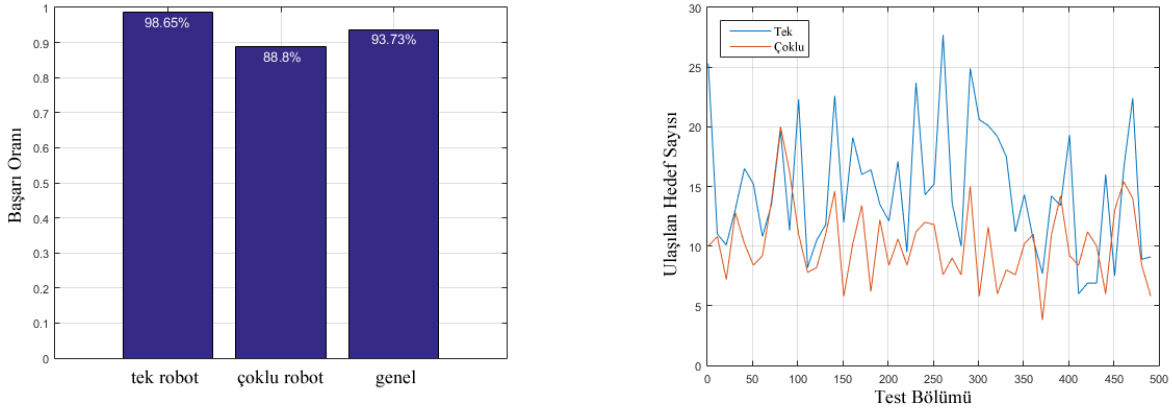
4. Simülasyon Sonuçları

Önerilen yaklaşım başlığı altında detaylı bir şekilde anlatılan sistem, Tablo 2'deki parametrelerle 1000 bölüm eğitilmiştir. Bu eğitim sonucu elde edilen sinir ağı modelleri 500 bölüm test edilmiştir. Bu parametrelerin sistem üzerindeki etkilerine değinecek olursak; belirlenen keşif sömürü oranı, ilk ve son epsilon değerleri doğrultusunda belirlenen eğitim bölüm sayısının yarısına kadar ilk epsilon değerinden, son epsilon değerine azalarak devam edecek ve eğitim bölüm sayısının yarısından sonra sürekli son epsilon değeriyle devam edecektir. İndirim faktörünün 1'e yakın şekilde belirlenmesiyle ajanın uzun vadeli planlar yapabilmesine imkan tanınmıştır. Çünkü navigasyon probleminde robotun hedefe ulaşana kadar birden fazla adım sayısı gereklidir. Bu yüzden uzun vadeli plan yapmalıdır. Maksimum adım sayısı kısıtıyla bölüm içerisindeki eğitim sayısı 64×1000 olarak kısıtlansa da sistemin tıkanmasını engelleyerek, daha verimli bir eğitim gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda bu kısıt ile ortamda tek bir ajan kaldığında sadece onun başarısının artması yerine, işbirliğinin başarısının artması hedeflenmiştir.

Tablo 1. Sistem parametreleri

Parametre Adı	**Değer**	**Parametre Adı**	**Değer**
İlk $\boldsymbol{\varepsilon}$	1.0	Öğrenme oranı	0.001
Son $\boldsymbol{\varepsilon}$	0.1	Keşif-sömürü oranı	50%
mini-batch boyutu	64	ERM boyutu	1000
$\boldsymbol{\gamma}$:indirim faktörü	0.95	Maksimum adım sayısı	1000

Eğitim sonucu elde edilip 500 bölüm test uygulanan model, hedefe ulaşma başarı oranı ve artarda ulaştığı hedef sayısı olarak değerlendirilmiştir. Robotun en az 1 hedefe ulaşması, robot için başarı olarak adlandırılır. Yapılan test için başarı oranları, tek bir robotun başarısı, çoklu robotların başarısı ve genel başarı oranı olarak Şekil 6 (a)'da verilmiştir. Robotların artarda ulaştığı hedef sayısının grafiği ise Şekil 6 (b)'de, tek bir robotun ve çoklu robotların artarda ulaştığı hedef sayısı olarak verilmiştir.



(a) **(b)**

Şekil 6. (a) başarı oranları, (b) ulaşılan hedef sayısı

Önerilen yaklaşım ile eğitilen sinir ağı modeli Şekil 6 (a)'dan görülebileceği üzere ortamda tek başınayken 98.65%'lik bir başarı oranı, ortamda birden fazla robot varken 88.8%'lik bir başarı elde etmiştir. Önerilen yaklaşım hem tek bir robot için hem de çoklu robot sistemleri için yeterli ölçüde başarı oranına ulaşmış olup, yaklaşımın genel başarı oranı 93.73% olmuştur. Önerilen yaklaşım ile eğitilen sinir ağlarının artarda görev tamamlama grafiği Şekil 6 (b)'de verilmiştir. Buradaki grafikten de görülebileceği üzere başarı oranlarıyla paralel olarak, görev tamamlama sayılarında da farklar vardır. Ortamda tek bir robot varken artarda görev tamamlama sayısı ortalama olarak 19.76 olurken, ortamda birden fazla robot olduğunda bu sayı 5.08 olmaktadır. Önerilen yaklaşımın başarılı olduğu görüldükten sonra ortam boyutu ve ortamdaki robot-hedef yoğunluğunun sistem başarısını nasıl etkilediğini gözlemlemek için bir dizi daha test gerçekleştirildi. Bu testlerde ideal robot sayısına göre ideal ortam boyutu ve ideal robot-hedef yoğunluğu ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu test ortamdaki ajan sayısı arttırılarak gerçekleştirilmiştir. Testin sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2. Ortamdaki robot yoğunluğu test sonuçları

Robot Sayısı	1	2	3	4
Boş alan boyutu	79 br^2	77 br^2	75 br^2	73 br^2
Robot başına düşen boş alan boyutu	79 br^2	38.5 br^2	25 br^2	18.25 br^2
Başarı oranı	98.65%	88.8%	67.85%	48.26%
Ortalama gerçekleştirilen görev sayısı	13.73	9.21	4.51	2.84

Not: Toplam alan 10×10 ortamdan dolayı 100 birim-karedir. Robotlar, hedefler, engeller 1 birim-karelik yer kaplamaktadır.

Tablo 3'te görüleceği üzere robot başına düşen boş alan boyutu azaldıkça başarı oranı ve artarda ulaşılan hedef sayısı azalmaktadır. Bu oranlara etki eden bir diğer faktör ise robot sayısının çoğalmasıyla problemin karmaşıklığının artması ve yeni daha önce deneyimlenmeyip, genelleştirilemeyen durum verilerinin oluşmasıdır. Çoklu robot sistemleri kurarken ortamdaki robot yoğunluğunun hesaplanarak bu yaklaşım uygulandığında yüksek başarı elde eden, verimli çoklu robot sistemlerinin kurulabileceği gözlenmiştir.

5. Sonuç

Bu çalışmada derin takviyeli öğrenme tabanlı çoklu robot sistemlerinde navigasyon için bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşımda klasik DQN algoritması geliştirilerek, çok ajanlı bir yapı haline getirilmiştir. Daha kısa eğitim süresinde daha iyi başarılar elde etmek için sadece o anki değil önceki anların görüntülerini de içeren ve bu robota göre manipüle edilmiş bir durum verisi, güçlendirilmiş ödül mekanizması kullanılmıştır. Bu durum verisiyle ajana adeta hafıza kazandırılmış olup, sürekli aynı durum ve eylemleri tekrar ettiğinde ceza verilmiş ve böylece daha verimli eğitim süreci gerçekleştirilmiştir. Güçlendirilmiş ödül mekanizmasında, ortamla bağlantılı ödül verilerek robotun her hareket yaptığında hedefe yaklaşmasıyla pozitif, uzaklaşmasıyla negatif ödül değeri verilerek en kısa yoldan hedefine ulaşması sağlanmıştır. Sistemde kullanılan parametrelerle, özellikle de maksimum adım kısıtı parametresiyle eğitim sürecinin verimi arttırıldığı gibi, tek bir robotun başarısının artması yerine robotları arasındaki işbirliğinin artırılması sağlanmıştır.

Kaynaklar

[1] J. Yu and S. M. LaValle, "Optimal Multirobot path planning on graphs: Complete algorithms and effective heuristics," IEEE Transactions on Robotics, vol. 32, no. 5, pp. 1163–1177, 2016.

[2] N. F. Bar, H. Yetis, and M. Karakose, "Deep Reinforcement Learning Approach with adaptive reward system for robot navigation in Dynamic Environments," Interdisciplinary Research in Technology and Management, pp. 349–355, 2021.

[3] M. Pfeiffer et al., "Reinforced Imitation: Sample Efficient Deep Reinforcement Learning for Map-less Navigation by Leveraging Prior Demonstrations." arXiv, 2018. doi: 10.48550/ARXIV.1805.07095.

[4] T. Xuan Tung and T. Dung Ngo, "Socially Aware Robot Navigation Using Deep Reinforcement Learning," 2018 IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering (CCECE), 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/CCECE.2018.8447854.

[5] S. -H. Han, H. -J. Choi, P. Benz and J. Loaiciga, "Sensor-Based Mobile Robot Navigation via Deep Reinforcement Learning," 2018 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp), 2018, pp. 147-154, doi: 10.1109/BigComp.2018.00030.

[6] X. Qiu, K. Wan and F. Li, "Autonomous Robot Navigation in Dynamic Environment Using Deep Reinforcement Learning," 2019 IEEE 2nd International Conference on Automation, Electronics and Electrical Engineering (AUTEEE), 2019, pp. 338-342, doi: 10.1109/AUTEEE48671.2019.9033166.

[7] H. Surmann, C. Jestel, R. Marchel, F. Musberg, H. Elhadj, and M. Ardani, "Deep Reinforcement learning for real autonomous mobile robot navigation in indoor environments." arXiv, 2020. doi: 10.48550/ARXIV.2005.13857.

[8] V. Mnih et al., "Human-level control through deep reinforcement learning," Nature, vol. 518, no. 7540. Springer Science and Business Media LLC, pp. 529–533, Feb. 25, 2015. doi: 10.1038/nature14236.

[9] E. A. Oury Diallo and T. Sugawara, "Multi-Agent Pattern Formation: a Distributed Model-Free Deep Reinforcement Learning Approach, " 2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2020, pp. 1-8.

[10] R. S. Sutton and A. G. Barto, Reinforcement Learning: An Introduction. MIT Press, 2018.

[11] V. François-Lavet, P. Henderson, R. Islam, M. G. Bellemare, and J. Pineau, "An Introduction to Deep Reinforcement Learning," Foundations and Trends® in Machine Learning, vol. 11, no. 3–4. Now Publishers, pp. 219–354, 2018. doi: 10.1561/2200000071.

[12] O. Anschel, N. Baram, and N. Shimkin, "Averaged-DQN: Variance Reduction and Stabilization for Deep Reinforcement Learning." arXiv, 2016. doi: 10.48550/ARXIV.1611.01929.

[13] M. Tokic, "Adaptive ε-Greedy Exploration in Reinforcement Learning Based on Value Differences," KI 2010: Advances in Artificial Intelligence. Springer Berlin Heidelberg, pp. 203–210, 2010. doi: 10.1007/978-3-642-16111-7_23.

[14] L.-J. Lin, "Self-improving reactive agents based on reinforcement learning, planning and teaching," Machine Learning, vol. 8, no. 3–4. Springer Science and Business Media LLC, pp. 293–321, May 1992. doi: 10.1007/bf00992699.

[15] T. Schaul, J. Quan, I. Antonoglou, and D. Silver, "Prioritized Experience Replay." arXiv, 2015. doi: 10.48550/ARXIV.1511.05952.

[16] Z. Tan and M. Karakose, "On-policy deep reinforcement learning approach to multi agent problems," Interdisciplinary Research in Technology and Management, pp. 369–376, 2021.

[17] Z. Tan and M. Karaköse, "Proximal Policy Based Deep Reinforcement Learning Approach for Swarm Robots," 2021 Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), 2021, pp. 166-170, doi: 10.1109/ZINC52049.2021.9499288.

[18] A. Shrestha and A. Mahmood, "Review of Deep Learning Algorithms and Architectures", IEEE Access, vol. 7, pp. 53040-53065, 2019.

[19] E. Bochinski, T. Senst and T. Sikora, "Hyper-parameter optimization for convolutional neural network committees based on evolutionary algorithms," 2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Beijing, 2017, pp. 3924-3928.

[20] J. Brownlee, "Loss and Loss Functions for Training Deep Learning Neural Networks", Machine Learning Mastery, 2019. [Online]. Available: https://machinelearningmastery.com/loss-and-loss-functions-for-training-deep-learning-neural-networks/. [Accessed: 12-May- 2022].

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 709-717, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1125609

Covid-19'un Yayılım Tahminine Yönelik Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Tabanlı Karşılaştırmalı Bir Analiz: Türkiye İçin Örnek Bir Çalışma

Anıl UTKU[1*], Ümit CAN[2]
[1,2] Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Munzur Üniversitesi, Tunceli, Türkiye

[*1] anilutku@munzur.edu.tr, [2] ucan@munzur.edu.tr

(Geliş/Received: 03/06/2022; Kabul/Accepted: 08/08/2022)

Öz: Salgınlar tarih boyunca çeşitli zaman dilimlerinde ortaya çıkmış ve insan topluluklarına ciddi zararlar vermiştir. Günümüzde ise bu salgınların modern versiyonu Covid-19 milyonlarca insanın hayatını kaybetmesine ve bir o kadarının da sağlık sorunları yaşamasına yol açmıştır. Tüm dünya, altyapı, finans, veri kaynakları, koruyucu donanımlar, hayati risk tedavileri ve diğer birçok kaynak açısından bu ölümcül hastalığın yayılmasına karşı mücadele etmek için inanılmaz çaba sarf etmektedir. Araştırmacılar ülke çapında paylaşılan verileri kullanarak bu salgın durumunu analiz etmek için matematiksel modeller geliştirmektedirler. Ülkeler salgın hızına bağlı olarak bu salgınla mücadele etmeye çalışmaktadırlar. Bu çalışmada Türkiye özelinde vaka ve ölüm sayılarının tahmin edilmesi için LSTM tabanlı bir tahmin modeli oluşturulmuştur. Bu modelin tahmin başarısını ölçmek için RF, SVM, XGBoost, MLP, CNN ve RNN olmak üzere popüler derin öğrenme yöntemleri dâhil altı makine öğrenmesi yöntemi kullanılmıştır. LSTM modeli vaka sayılarının tahmininde, MSE: 16670823,040 RMSE: 4082,991 MAE: 2543,651 R2: 0,975 sonuçlarını ve ölüm sayılarının tahmininde ise MSE: 331,351 RMSE: 18,203 MAE: 14,891 R2: 0,740 sonuçlarını alarak en başarılı model olmuştur.

Anahtar kelimeler: Covid-19, makine öğrenmesi, derin öğrenme, vaka tahmini.

A Comparative Analysis for the Spread Prediction of Covid-19 Based on Machine Learning and Deep Learning: A Case Study for Turkey

Abstract: Epidemics have occurred in various time periods throughout history and have caused serious damage to human communities. Today, the modern version of these epidemics, Covid-19, has caused millions of people to die and have health problems as well. The entire world is making incredible efforts to combat the spread of this deadly disease in terms of infrastructure, finance, data resources, protective equipment, life-threatening treatments, and many other resources. Researchers are developing mathematical models to analyze this epidemic situation using data shared across the country. Countries are trying to fight this epidemic depending on the speed of the epidemic. In this study, an LSTM-based prediction model was created to predict the number of cases and deaths in Turkey. Six machine learning methods, including popular deep learning methods, RF, SVM, XGBoost, MLP, CNN, and RNN, were used to measure the prediction success of this model. The LSTM model has been the most successful model in predicting the number of cases, with MSE: 16670823,040 RMSE: 4082,991 MAE: 2543,651 R^2: 0.975, and in predicting the number of deaths, MSE: 331,351 RMSE: 18,203 MAE: 14,891 R^2: 0.740.

Key words: Covid-19, machine learning, deep learning, case prediction.

1. Giriş

Çin'in Wuhan şehrinde Aralık 2019 itibariyle ortaya çıkan ve genetik yapısı henüz belirlenemeyen Covid-19, enfekte insanların sağlıklı kişilerle temas etmeye başlaması ve farklı bölgelere seyahat etmesiyle birlikte dünyadaki tüm ülkelere yayılmıştır. Covid-19, 10 Ocak 2020'de bildirilen ilk ölüm ile tüm dünya için bir pandemi haline gelmiştir [1]. Covid-19, akciğerleri ve solunum sistemini ciddi bir şekilde etkilemektedir. Korona virüsün insan sağlığını önemli ölçüde etkilediği ve önceden var olan sağlık sorunlarını şiddetlendirerek ölümlere neden olduğu belirtilmektedir [2, 3].

Tüm ülkeler, seyahat kısıtlamaları, karantinalar, etkinlik ertelemeleri ve iptalleri, sosyal mesafe uygulamaları ile karantina gibi önlemleri uygulayarak Covid-19'un yayılımına azaltmaya çalışmıştır. Virüsün hastalık ve ölüm boyutunun yanı sıra ekonomik ve sosyal boyutu da ülkeleri zor duruma düşürmektedir [4-6] . 15 Aralık 2021 itibariyle, 500 milyona yakın doğrulanmış vaka ve 6 milyona yakın Covid-19 kaynaklı ölüm tespit edilmiştir. Covid-19 için geliştirilen aşılama çalışmaları devam ederken, virüs mutasyona uğradığı için aşının etkinliği ve

[*] anilutku@munzur.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0002-7240-8713, [2] 0000-0002-8832-6317

koruma süresi gibi konular ön plana çıkmaktadır. Virüsün yayılmasını yavaşlatmak, artan hasta yüküyle mücadele etmek, tıbbi müdahale sistemleri hazırlamak ve sağlık personellerinin yükünü hafifletmek pandemi sürecinde oldukça önemlidir [7, 8]. Dünya genelinde Covid-19 pandemisinden çok sayıda insan etkilendiğinden ve hastalığın tedavisi bulunmadığından, mevcut veriler kullanılarak oluşabilecek potansiyel vakaların sayısının tahmin edilmesi önem kazanmaktadır. Covid-19'un yayılımının tahminine yönelik literatürdeki çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Punn ve diğerleri [9] makine öğrenimi ve derin öğrenme modellerini, Covid-19'un günlük üstel davranışını anlamak ve COVID-19'un uluslararasında gelecekte erişilebileceği seviyeyi tahmin etmek amacıyla Johns Hopkins panosundan gerçek zamanlı bilgilerden faydalanarak kullanmayı önermişlerdir. Alazab ve diğerleri [10] Covid-19 hastalarını belirlemek için göğüs röntgeni görüntülerini makine öğrenmesi yöntemleri ile analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar X-ışınlarının hızlı ve düşük maliyetle kolayca elde edilebildiği için COVID-19 tanısında önemli olduğunu göstermiştir. Gerçek hastaların 1000 röntgen görüntüsünden elde edilen ampirik bulgular, önerilen sistemin COVID-19'u tespit etmede faydalı olduğunu doğrulamıştır. Bu çalışmada ayrıca Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (Autoregressive İntegrated Moving Average) (ARIMA) ve Uzun Kısa Süreli Bellek Sinir Ağı (Long Short-Term Memory Neural Network) (LSTM) gibi yöntemler kullanılarak bir haftalık periyot için başarılı vaka sayısı tahmini yapılmıştır. Malki ve diğerleri [11] birçok ülkedeki Covid-19 vakalarının yayılımını tahmin etmek için makine öğrenmesi yöntemi kullanmış ve önerdikleri yaklaşım Rastgele Orman (Random Forest) (RF) ve ARIMA gibi yöntemlerle karşılaştırılmış ve 0.99 R2 başarı oranını yakalamıştır. Macaristan özelinde yapılan bir çalışmada ise hibrit bir yöntem kullanılarak Covid-19 tahmini yapılmış ve yeni önerilen yöntem başarılı sonuçlar elde etmiştir [12]. Bir diğer çalışmada ise teyit edilen vaka sayısı ile belirli bölgelerdeki hava durumu değişkenleri arasındaki ilişki çıkartılarak, sıcaklık ve nem gibi hava değişkenlerinin COVID-19'un bulaşması üzerindeki etkisi tahmin edilmiştir. Deneysel sonuçlardan, nüfus, yaş ve kentleşme gibi diğer nüfus sayımı değişkenleriyle karşılaştırıldığında, hava durumu değişkenlerinin ölüm oranını tahmin etmede daha alakalı olduğu gösterilmiştir [13]. Shadid ve diğerleri [14] tarafından yapılan çalışmada ise COVID-19'dan etkilenen on büyük ülkede doğrulanmış vakaların, ölümlerin ve iyileşmelerin zaman serisi tahmini için ARIMA, Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machines) (SVM), LSTM ve Bi-LSTM modelleri kullanılmış ve COVID-19 nedeniyle etkilenen on büyük ülkede ölümler ve iyileşmeler tahmin edilmiştir. Çoğunlukla Bi-LSTM modeli en başarılı sonuçları elde etmiştir. Pakash ve diğerleri [15] yaptıkları çalışmada hangi yaş gruplarının Covid-19 salgınından daha fazla etkilendiğini bulmak için makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak çalışma yapmışlardır. Satu ve diğerleri [16] ise yaptıkları başka bir çalışmada Bangladeş için bir tahmin modeli geliştirmişlerdir. Bu model çeşitli regresyon yöntemleri kullanarak bir haftalık bir periyot için Covid-19 hastalığı bulaşan insanları tahmin etmeye çalışmışlardır.

Bu çalışmada, geliştirilen LSTM tabanlı derin öğrenme modeli ile Türkiye için Covid-19 vaka ve ölüm sayılarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. LSTM, zaman serisi verilerinin analizinde gösterdiği başarı ile gelecekteki eğilimlerin doğru bir şekilde tahmin edilmesindeki başarısı sebebiyle seçilmiştir. Geliştirilen LSTM tabanlı model RF, SVM, Aşırı Gradyan Artırma (Extreme Gradient Boosting) (XGBoost), Çok Katmanlı Algılayıcılar (Multi-layer perceptrons) (MLP), Evrişimsel Sinir Ağı (Convolutional Neural Network) (CNN) ve Yinelemeli Sinir Ağı (Recurrent Neural Network) (RNN) modelleri ile uygulamalı olarak karşılaştırılmıştır. MSE, RMSE, MAE ve R2 metrikleri kullanılarak yapılan deneysel çalışmalar LSTM'in karşılaştırılan diğer modellere göre vaka ve ölüm sayısı tahmininde daha başarılı olduğunu göstermiştir. Ayrıca literatürde genelde vaka sayılarının tahminine dönük çalışmalar çoğunlukla yapılmıştır. Bu çalışma vaka sayılarına ek olarak ölüm sayısını da başarılı bir şekilde tahmin ederek literatüre katkı sunmuştur. Böylece Türkiye özelinde başarı oranı yüksek derin öğrenme tabanlı bir model geliştirilmiştir.

2. Tahmin Modelleri

Bu çalışma çerçevesinde oluşturulan LSTM tabanlı model RF, SVM, XGBoost, MLP, CNN ve RNN ile uygulamalı olarak karşılaştırılmıştır. Bu modellerden bu bölümde kısa bahsedilmiştir

- *RF*: Topluluk denetimli bir makine öğrenimi tekniğidir. Torbalama (Bagging) ve rastgele öznitelik seçimine dayalı olarak, karar ağacı sayısı (temel sınıflandırıcılar) oluşturulur ve sınıflandırma için çoğunluk oylaması yapılır [17]. RF birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır. Örneğin ağa izinsiz giriş tespiti, E-posta spam tespiti, gen sınıflandırması, kredi kartı sahtekârlığı tespiti, metin sınıflandırması ve olayların tahmin edilmesi gibi problemlerin çözümünde başarı ile kullanılmaktadır [18-20].
- *SVM*: Vapnik, sınıflandırma ve regresyon problemlerini çözmek için Vektör Makinelerini önermiştir [21]. Support Vector Regresyon (SVR) ise denetimli bir makine öğrenmesi yöntemidir ve SVM'nin regresyon problemlerinde kullanılan versiyonu olarak adlandırılabilir [22]. SVR, girdi tahmin değerlerini, gözlemlenen çıkış değerlerine eşleyen bir regresyon fonksiyonunu öğrenmek için bir optimizasyon

problemini formüle eder. SVR, model karmaşıklığı ile tahmin hatasını dengeler ve yüksek boyutlu verileri işlemek için iyi bir performansa sahiptir [23].

- *XGBoost*: Chen ve Guestrin [24] tarafından önerilmiştir ve gradyan arttırma algoritmasına dayanmaktadır. XGBoost, enerji, finans, sağlık vb. alanlarda uygulama alanı bulan popüler ve başarılı bir algoritmadır ve XGBoost hız ve performans açısından diğer algoritmalara göre çok avantajlı bir konumdadır [25]. XGBoost, hastalık teşhisi, görüntü tanıma, trafik akış tahmini, spor analitiği, güç sistemleri, kişisel kredi, hava tahmini kamu güvenliği, arıza tespiti vb. gibi birçok alanda kullanılmıştır ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [26].
- *MLP*: Tipik bir parametrik olmayan sinir ağı sınıflandırıcısıdır ve diğer sınıflandırıcılara kıyasla üstün performans sağlayabilen güçlü sınıflandırıcılardır [27]. Bu yöntemde parametreler bir doğrulama seti veya çapraz doğrulama teknikleri yardımıyla ayarlanır [28]. Temel bir MLP modelinin yapısı üç farklı katmandan oluşur: girdi, gizli ve çıktı. Girdi katmanı, verilerin okunduğu katmandır. Her nöron bir özelliği temsil ettiğinden, özellik sayısı kadar nöron içerir. Çıktı katmanında sınıflandırma yapılır. Gizli katman, giriş ve çıkış katmanları arasındaki verilerin ara işlemeye maruz kaldığı yerdir. Gizli katman sayısı ve gizli katmandaki nöron sayısı kesin olmasa da eğitimin kalitesini etkileyen iki önemli faktördür [29, 30].
- *CNN*: MLP'nin bir versiyonudur. Derin öğrenme ağlarının en popüler ve en çok kullanılanlarından biridir. CNN'nin diğer derin öğrenme modellerine göre ana avantajı, herhangi bir insan denetimi olmadan önemli özellikleri otomatik olarak algılamasıdır [31,32]. İleriye dönük bir sinir ağı olan CNN algoritması, insanların görsel algısından esinlenen araştırmacıların, görsel alanda bilgisayar uygulamalarında ortaya çıkan problemlerin üstesinden gelmeye çalışmasıyla ortaya çıkmıştır [33].
- *RNN*: Sıralı ve zaman serisi verilerden özellikleri ve uzun vadeli bağımlılıkları öğrenme yeteneğine sahip bir yapay sinir ağı modelidir. RNN'ler, birimler arasında en az bir bağlantının yönlendirilmiş bir döngü oluşturduğu bir doğrusal olmayan birimler yığınına sahiptir. İyi eğitimli bir RNN herhangi bir dinamik sistemi modelleyebilir. RNN'nin temel özelliği, ağın en az bir geri besleme bağlantısı içermesidir, böylece aktivasyonlar bir döngü içinde akabilir. Bu, ağların zamansal işleme yapmasını ve dizileri öğrenmesini sağlar [34, 35].

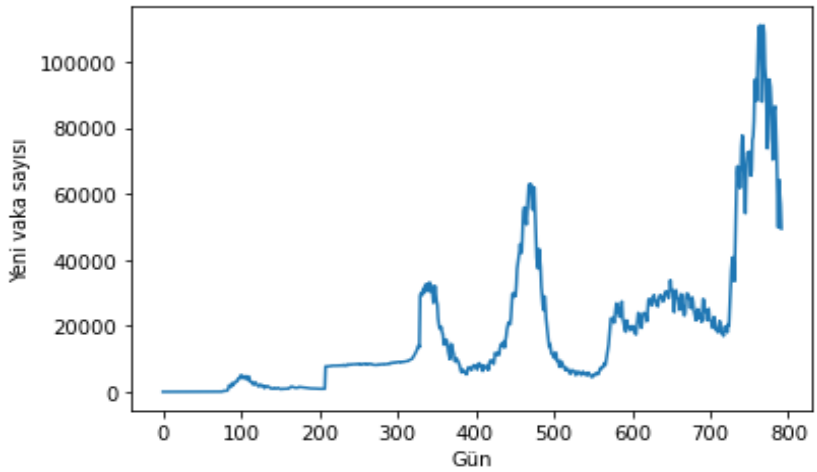
3. Geliştirilen Derin Öğrenme Tabanlı Tahmin Modeli

Teknolojik gelişmelerle birlikte makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknolojileri birçok araştırma alanında uygulanmaktadır. Bu teknolojiler, Covid-19'un tahmin edilmesi araştırmalarında da büyük rol oynamaktadır. Günümüzde salgın sürecinin devam etmesi sebebiyle, hastalığın epidemiyolojik özellikleri konusunda ve Covid-19'un radyolojik görüntülerden tahmini konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Etkili ve zamanında izleme, hastalığın tahmini ve ayrıca hastalık etkilerinin önlenmesi stratejilerinin temel bileşenleridir. Derin öğrenme, özellikle zamana bağımlı verilerde diğer modellere kıyasla daha başarı olan bir analiz yöntemidir.

Bu çalışmada, Covid-19'un yayılım dağılımının tahminine yönelik LSTM tabanlı bir derin öğrenme modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile Covid-19'un ortaya çıktığı ilk tarihten 8 Nisan 2022'ye kadar olan günlük vaka ve ölüm sayılarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen LSTM tabanlı model RF, SVM, XGBoost, MLP, CNN ve RNN ile uygulamalı olarak karşılaştırılmıştır.

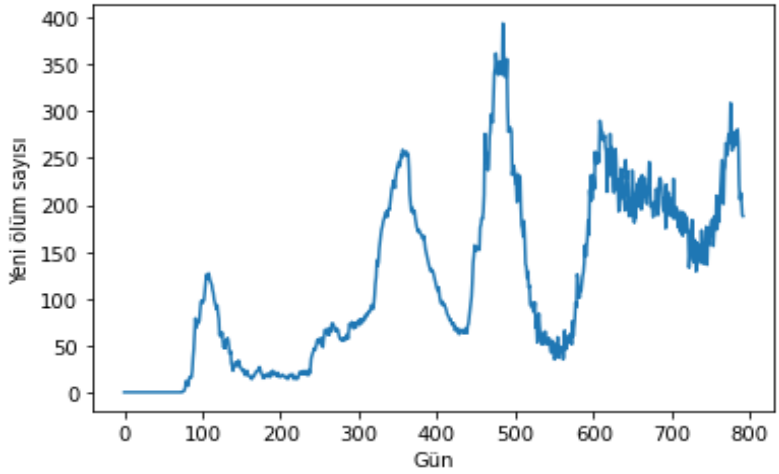
3.1. Veriseti

Bu çalışmada Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından sunulan, Türkiye'nin günlük resmi Covid-19 vaka ve ölüm sayıları veriseti olarak kullanılmıştır. Kullanılan veriseti Date_reported, Country_code, Country, WHO_region, New_cases, Cumulative_cases, New_deaths ve Cumulative_deaths olmak üzere 8 sütundan oluşmaktadır. Date_reported, günlük verilerin DSÖ'ye bildirildiği zamanı ifade eder. Ülke_kodu, ISO Alpha-2 ülke kodunu ifade eder. Country, ülke adını ifade etmektedir. WHO_region, Afrika, Amerika, Güneydoğu Asya, Avrupa, Doğu Akdeniz ve Batı Pasifik olmak üzere DSÖ tarafından tahsis edilen bölge ofislerini ifade eder. New_cases, doğrulanmış günlük yeni vaka sayısını ifade eder. Cumulative_cases, belirli bir tarihe kadar rapor edilen doğrulanmış toplam vaka sayısını ifade eder. New_deaths, doğrulanmış Covid-19 kaynaklı yeni ölümlerin sayısını ifade eder. Cumulative_deaths, belirli bir tarihe kadar bildirilen Covid-19 kaynaklı toplam ölüm sayısını ifade eder. Şekil 1'de 8 Nisan 2022'ye kadar olan günlük vaka sayıları görülmektedir.



Şekil 1. Günlük vaka sayıları

Şekil 2'de ise 8 Nisan 2022'ye kadar olan Covid-19 kaynaklı günlük ölüm sayıları görülmektedir.



Şekil 2. Günlük ölüm sayıları

3.2. Veri Ön-İşleme

Bu çalışmada kullanılan veriseti zaman serisi verilerinden oluşmaktadır. Zaman serisi verileri, belirli bir zaman değişkenine bağımlı olarak değer alan verilerdir. Makine öğrenmesi ve derin öğrenme modellerinin genel itibariyle işlediği problemler ise denetimli öğrenme problemleridir. Denetimli öğrenme problemleri, bir algoritmanın girdi değişkenlerinden çıktı değişkenlerini bir fonksiyon yardımıyla nasıl tahmin edeceğini öğrenebildiği problemlerdir. Zaman serisi verileri, bir sonraki zaman adımındaki değeri tahmin etmek için önceki zaman adımındaki değerler kullanılarak kayan pencere yöntemi ile denetimli öğrenme problemi şeklinde yapılandırılabilir. Kayan pencere yöntemi, bir sonraki zaman adımını tahmin etmek için önceki zaman adımlarının kullanılmasına dayanan bir yöntemdir. Kayan pencerenin boyutu, önceki zaman adımlarının sayısına göre belirlenir. Bu çalışmada sürgülü pencere boyutu 3 olarak seçilmiştir. Bu sayede t-3, t-2 ve t-1 zaman adımlarındaki veriler girdi, t zaman adımındaki veri ise çıktı olacak şekilde zaman serisi verileri denetimli öğrenme problemine dönüştürülmüştür.

Daha sonra vaka ve ölüm sayılarından oluşan veriler normalize edilmiştir. Normalizasyon, genellikle bir veri ön-işleme süreci olarak uygulanan bir makine öğrenmesi tekniğidir. Normalizasyonun amacı, verisetindeki sayısal sütunların değerlerini, değer aralığındaki farklılıkları bozmadan ortak bir ölçeğe değiştirmektir. Veriler 0-1 aralığında normalize edilmiştir. Normalizasyon adımından sonra veriler %80 eğitim ve %20 test olarak ayrılmıştır. Eğitim verilerinin %10'u doğrulama için ayrılmıştır. Model parametrelerinin optimizasyonu için doğrulama

verileri kullanılmıştır. Karşılaştırılan modellerin en iyi sonuçları vermesi için GridSearchCV kütüphanesi kullanılarak parametre optimizasyonu yapılmıştır. GridSearch yönteminde, modelde test edilecek hiperparametreler ve değerleri için tüm kombinasyonlarla ayrı ayrı bir model kurulur ve belirlenen metriğe göre en başarılı hiperparametre seti belirlenir. Parametre optimizasyonu ile MSE değerleri en düşük olan parametreler belirlenmiş ve modeller oluşturulmuştur.

3.3. Değerlendirme Metrikler

Regresyon problemlerinde yapılan tahminler ile gerçek veriler arasındaki hata oranını ölçmek için yaygın olarak MSE, RMSE, MAE ve R^2 metrikleri kullanılmaktadır. MSE, verisetindeki gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkların karelerinin ortalamasını ifade eder. MSE, *y* gerçek değerleri, $\hat{y}$ tahmin edilen değerleri ve *n* ise örnek sayısını ifade etmek üzere Denklem 1 kullanılarak hesaplanır.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y - \hat{y})^2 \tag{1}$$

Hataların standart sapmasını ölçen RMSE ise MSE'nin karekökü alınarak Denklem 2'de görüldüğü gibi hesaplanır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(|y - \hat{y}|)^2} \tag{2}$$

MAE, verisetindeki gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkların mutlak değerlerinin ortalamasını ifade eder. Verisetindeki hataların ortalamasını hesaplar. MAE, Denklem 3 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y - \hat{y}\,| \tag{3}$$

R^2, modellerin verisetine gösterdiği uyumun bir ölçüsüdür. R^2, veri noktalarının regresyon çizgisi etrafındaki dağılımını değerlendirir. Aynı veriseti için daha yüksek R^2 değerleri, gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki daha düşük hataları ifade eder. R^2, $\hat{y}$ tahmin edilen y değerlerini, $\bar{y}$ ise y değerlerinin ortalamasını ifade etmek üzere Denklem 4 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$R^2 = \frac{\sum(y-\hat{y})^2}{(y-\bar{y})^2} \tag{4}$$

3.4. Geliştirilen LSTM Tabanlı Tahmin Modeli

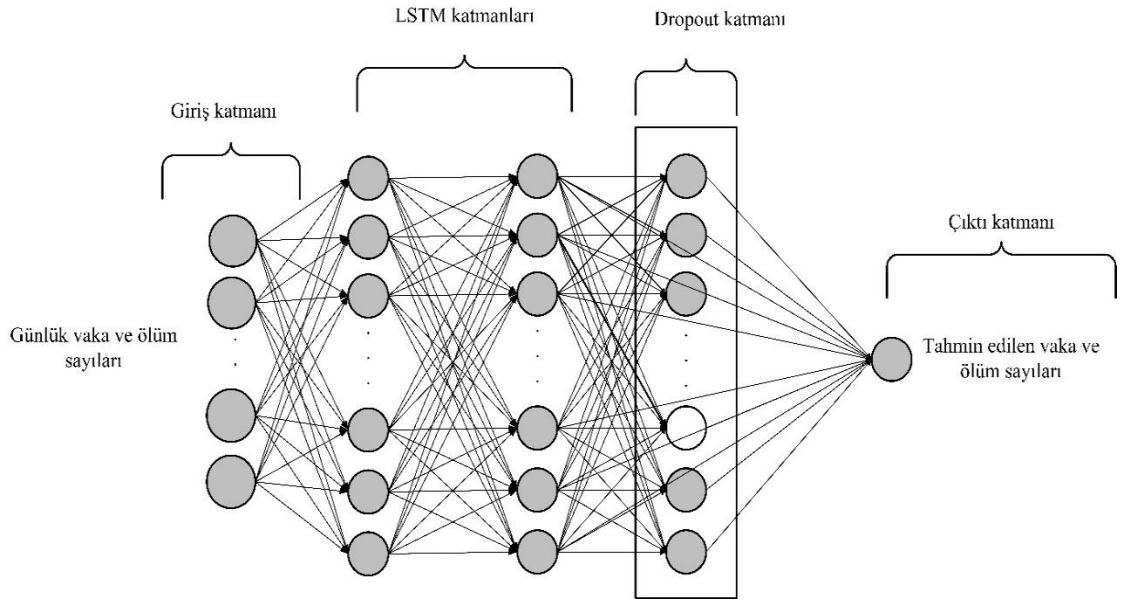
Derin öğrenme modelleri, girdi verisinden çıktı verisine doğrusal olmayan dönüşümler yaparak karmaşık fonksiyonları yüksek boyutlarda öğrenmeyi amaçlayan karmaşık mimarilere sahip yapay sinir ağı modelleridir. Derin öğrenme modelleri, görüntü işleme, ses ve konuşma tanıma ve doğal dil işleme gibi birçok uygulama alanında başarıyla kullanılmaktadır. Derin öğrenme modelleri, karmaşık işlevleri çözmek için insan beyninin faaliyetlerini taklit eden sinir ağı mimarileridir. Yapay sinir ağları temel olarak giriş katmanı, gizli katmanlar ve çıkış katmanı olmak üzere üç temel katmandan oluşur. Giriş katmanı, sinir ağında işlenecek giriş verilerini okur. Girdi katmanı ile çıktı katmanı arasındaki tüm katmanlara gizli katmanlar denir. Gizli katmanlardaki nöronlar, ağırlıklı girdileri ve aktivasyon fonksiyonlarını kullanarak bir çıktı üretir. Çıktı katmanı, sistemin çıktısını veren son sinir ağı katmanıdır.

CNN, görüntüleri girdi olarak alan ve görüntülerin çeşitli bölümlerine ağırlıklar ve önyargılar atayan bir derin öğrenme modelidir. CNN, görüntü tanıma, görüntü sınıflandırma, zaman serisi analizi ve regresyon problemlerine başarıyla uygulanabilir. CNN'ler, görüntülerde mevcut olan uzamsal bilgileri işleyebilen evrişim işlemlerini kullanırken RNN'ler, zaman serisi verilerinde mevcut olan zamansal bilgileri depolayabilen belleğe sahiptir. MLP, genellikle klasik bir sinir ağı olarak kullanılan temel bir modeldir. CNN'nin evrişim katmanları, metin verileri ve zaman serisi verileri gibi 1 boyutlu veriler üzerinde de başarılı bir şekilde çalışır.

LSTM, RNN'nin gelişmiş bir versiyonudur. RNN ve LSTM arasındaki temel fark, bilginin saklanma süresidir. LSTM, bilgileri RNN'den daha uzun süre hafızada işleyebildiği için RNN'den daha avantajlıdır. LSTM

hücreleri, okunan ve kendilerine yazılan hücre durumlarını korur. Giriş ve hücre durumu değerlerine bağlı olarak, 4 kapı okuma, yazma ve hücre durumu çıkışını düzenler. Birinci kapı, gizli durumun neyi unuttuğunu belirler. İkinci kapı, hücre durumunun hangi kısmına yazıldığını belirlemekten sorumludur. Üçüncü kapı, yazılan içeriğe karar verir. Son kapı, çıktı üretmek için hücre durumundan okur. LSTM, uzun vadeli bağımlılıkları hatırlamadaki başarısı nedeniyle diğer derin öğrenme modellerine göre öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada, geliştirilen LSTM tabanlı derin öğrenme modeli, günlük Covid-19 vaka ve ölüm sayılarını girdi olarak almakta ve çıktı olarak ölüm ve vaka tahminleri üretmektedir. Geliştirilen LSTM tabanlı modelin mimarisi Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Geliştirilen LSTM tabanlı modelin mimarisi

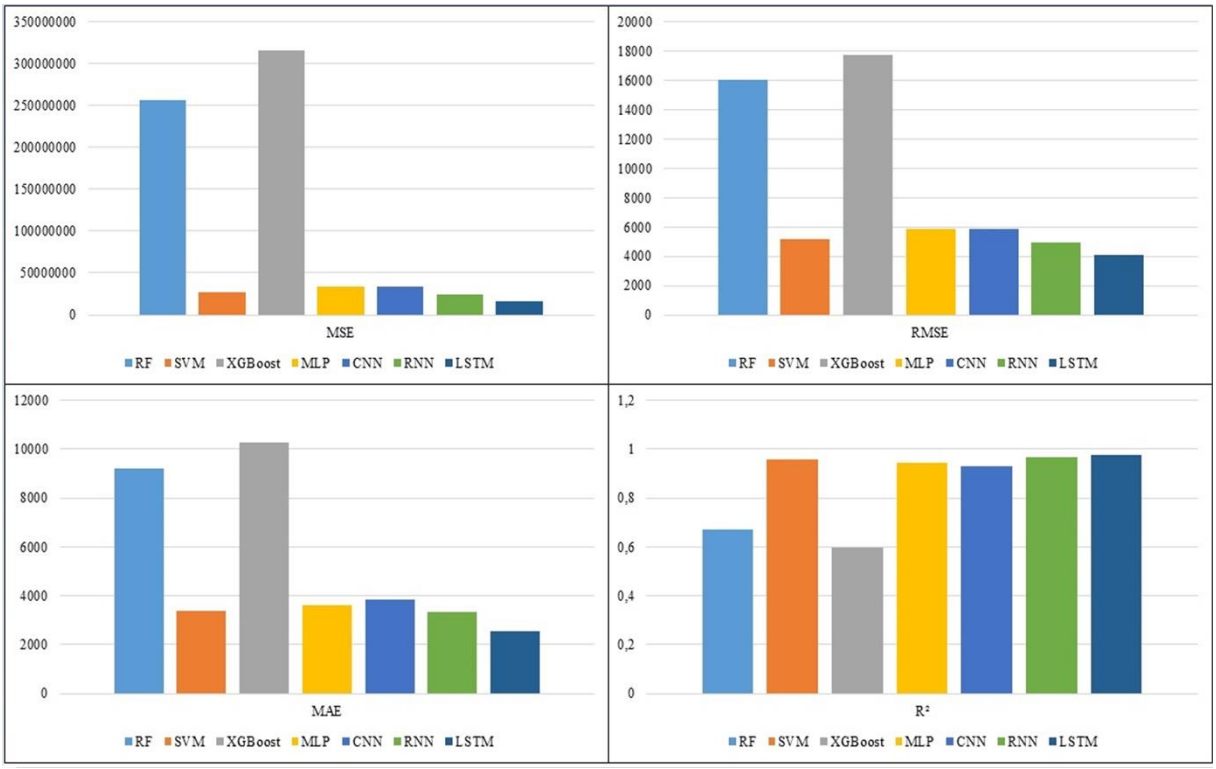
4. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada, Covid-19'un Türkiye'deki yayılım dağılımının tahminine yönelik RF, SVM, XGBoost, MLP, CNN, RNN ve LSTM modellerinin karşılaştırmalı bir analizi sunulmuştur. Uygulanan her bir algoritma ve model için MSE, RMSE, MAE ve R2 metriklerine göre elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Tablo 1 ve Şekil 4'te vaka sayısı tahmine yönelik karşılaştırmalı deneysel sonuçlar görülmektedir.

Tablo 1. Vaka sayısını tahminine yönelik deneysel sonuçlar

	Metrikler			
Modeller	**MSE**	**RMSE**	**MAE**	**R^2**
RF	256806715,004	16025,190	9202,189	0,672
SVM	27080635,618	5203,906	3371,091	0,956
XGBoost	315752073,903	17769,414	10293,180	0,597
MLP	34066400,819	5836,642	3607,475	0,946
CNN	34253568,270	5852,655	3820,487	0,931
RNN	24346133,217	4934,180	3317,174	0,968
LSTM	16670823,040	4082,991	2543,651	0,975

Vaka sayısına sayısı tahminine yönelik deneysel sonuçlar LSTM'in karşılaştırılan modellerden daha başarılı olduğunu göstermiştir. LSTM'in ardından RNN, SVM, MLP, CNN, RF ve XGBoost modelleri sırasıyla başarılı olmuştur.



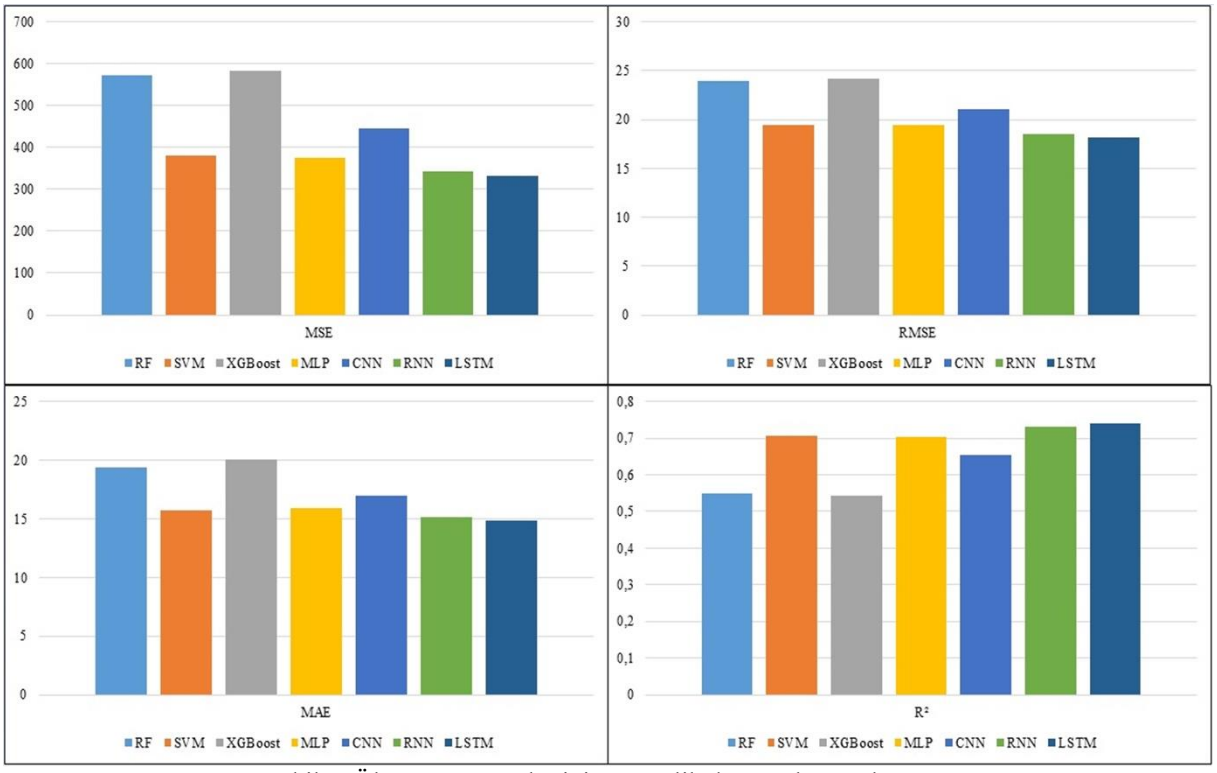
Şekil 4. Vaka sayısını tahminine yönelik deneysel sonuçlar

Tablo 2 ve Şekil 5'te ölüm sayısı tahmine yönelik karşılaştırmalı deneysel sonuçlar görülmektedir.

Tablo 2. Ölüm sayısını tahminine yönelik deneysel sonuçlar

	Metrikler			
Modeller	**MSE**	**RMSE**	**MAE**	**R^2**
RF	572,090	23,918	19,371	0,550
SVM	379,332	19,476	15,690	0,705
XGBoost	582,543	24,135	20,032	0,542
MLP	375,899	19,388	15,883	0,704
CNN	444,557	21,084	16,938	0,653
RNN	342,931	18,518	15,141	0,731
LSTM	331,351	18,203	14,891	0,740

Ölüm sayısına sayısı tahminine yönelik deneysel sonuçlar LSTM'in karşılaştırılan modellerden daha başarılı olduğunu göstermiştir. LSTM'in ardından RNN, SVM, MLP, CNN, RF ve XGBoost modelleri sırasıyla başarılı olmuştur.



Şekil 5. Ölüm sayısını tahminine yönelik deneysel sonuçlar

5. Sonuçlar

Covid-19 pandemisi, dünyanın her ülkesindeki insanların yaşamlarını ciddi şekilde etkilemiştir. Henüz kesin bir tedavisi olmayan bu pandeminin ciddiyeti gün geçtikçe artmaktadır. Virüsün dünya çapında yayılmasını kontrol altına almak için karantina uygulamaları gibi önlemler alınmaktadır. Ancak, enfeksiyonun hızlı ve öngörülemeyen yayılımı, sağlık kurumları ve çalışanları üzerinde ağır bir yük oluşturmuştur. Salgınla mücadele, kişisel hijyen ve sağlık kurumlarının belirlediği çeşitli kurallara uymayı, sağlık çalışanlarının fedakarlığını, toplumsal örgütlenmeyi ve teknolojik çözümleri gerektirir. Pandemi sürecinde hastanelerde yapılacak olan kapasite planlama çalışmaları, test miktarı ve kişisel koruyucu ekipman sayısı gibi pek çok problem ön plana çıkmaktadır. Bu sebeple pandemi sürecinde bu tür planlamaların yapılması ve ilgili tahmin modellerin oluşturulması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Covid-19 vaka ve ölüm sayılarının tahmini için makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı karşılaştırmalı bir analiz sunulmuştur. RF, SVM, XGBoost, MLP, CNN, RNN gibi popüler makine öğrenmesi ve derin öğrenme modelleri ile geliştirilen LSTM tabanlı derin öğrenme modeli karşılaştırılmıştır. Veri seti olarak 8 Nisan 2022 tarihine kadar olan ve DSÖ tarafından onaylanmış Türkiye'deki vaka ve ölüm sayıları kullanılmıştır. MSE, RMSE, MAE ve R2 metrikleri kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, uygulanan tüm hata metriklerine göre vaka ve ölüm sayıları için geliştirilen LSTM tabanlı modelin, karşılaştırılan diğer modellere göre daha iyi bir tahmin performansına sahip olduğunu göstermiştir.

Kaynaklar

[1] John CC, Ponnusamy V, Chandrasekaran SK, Nandakumar R. A survey on mathematical, machine learning and deep learning models for COVID-19 transmission and diagnosis. IEEE Rev. Biomed. Eng 2021; 15: 325-340.

[2] Kreutz R ve diğerler. Hypertension, the renin–angiotensin system, and the risk of lower respiratory tract infections and lung injury: implications for COVID-19: European Society of Hypertension COVID-19 Task Force Review of Evidence. Cardiovasc. Res. 2020; 116(10): 1688-99.

[3] Aguiar D, Lobrinus JA, Schibler M, Fracasso T, Lardi C. Inside the lungs of COVID-19 disease. Int. J. Legal Med 2020; 134(4): 1271-4.

[4] Ebrahim SH, Ahmed QA, Gozzer E, Schlagenhauf P, Memish ZA. Covid-19 and community mitigation strategies in a pandemic. Bmj. 2020; 368.

[5] Courtemanche C, Garuccio J, Le A, Pinkston J, Yelowitz A. Strong Social Distancing Measures In The United States Reduced The COVID-19 Growth Rate: Study evaluates the impact of social distancing measures on the growth rate of confirmed COVID-19 cases across the United States. Health Aff 2020; 39(7): 1237-46.
[6] Aleta A, Martin-Corral D, Pastore y Piontti A, Ajelli M, Litvinova M, Chinazzi M, Dean NE, Halloran ME, Longini Jr IM, Merler S, Pentland A. Modelling the impact of testing, contact tracing and household quarantine on second waves of COVID-19. Nat. Hum. Behav 2020; 4(9): 964-71.
[7] Heath C, Sommerfield A, von Ungern-Sternberg BS. Resilience strategies to manage psychological distress among healthcare workers during the COVID-19 pandemic: a narrative review. Anaesthesia. 2020; 75(10): 1364-71.
[8] Melnick ER, Ioannidis JP. Should governments continue lockdown to slow the spread of covid-19?. BMJ 2020;369.
[9] Punn NS, Sonbhadra SK, Agarwal S. COVID-19 epidemic analysis using machine learning and deep learning algorithms. MedRxiv. 2020 Jan 1.
[10] Alazab M, Awajan A, Mesleh A, Abraham A, Jatana V, Alhyari S. COVID-19 prediction and detection using deep learning. Int. J. Comput. Inf. Syst. Ind. Manage. Appl 2020; 12:168-81.
[11] Malki Z, Atlam ES, Ewis A, Dagnew G, Ghoneim OA, Mohamed AA, Abdel-Daim MM, Gad I. The COVID-19 pandemic: prediction study based on machine learning models. Environ. Sci. Pollut. Res 2021; 28(30): 40496-506.
[12] Pinter G, Felde I, Mosavi A, Ghamisi P, Gloaguen R. COVID-19 pandemic prediction for Hungary; a hybrid machine learning approach. Math 2020; 8(6): 890.
[13] Malki Z, Atlam ES, Hassanien AE, Dagnew G, Elhosseini MA, Gad I. Association between weather data and COVID-19 pandemic predicting mortality rate: Machine learning approaches. Chaos, Solitons Fractals. 2020; 138: 110137.
[14] Shahid F, Zameer A, Muneeb M. Predictions for COVID-19 with deep learning models of LSTM, GRU and Bi-LSTM. Chaos, Solitons Fractals. 2020; 140: 110212.
[15] Prakash KB, Imambi SS, Ismail M, Kumar TP, Pawan YN. Analysis, prediction and evaluation of covid-19 datasets using machine learning algorithms. Int. J. Emerging Trends Eng. Res. 2020; 8(5), 2199-2204.
[16] Satu M, Howlader KC, Mahmud M, Kaiser MS, Shariful Islam SM, Quinn JM., Moni, MA. Short-term prediction of COVID-19 cases using machine learning models. Appl. Sci, 2021; 11(9), 4266.
[17] Kulkarni VY, Sinha PK. Pruning of random forest classifiers: A survey and future directions. In: 2012 International Conference on Data Science & Engineering (ICDSE); 18-20 July 2012; Cochin, India: IEEE. pp. 64-68.
[18] Jiang P, Wu H, Wang W, Ma W, Sun X, Lu Z. MiPred: classification of real and pseudo microRNA precursors using random forest prediction model with combined features. Nucleic Acids Res 2007; 35(suppl_2): W339-44.
[19] Wang Z, Wang Y, Zeng R, Srinivasan RS, Ahrentzen S. Random Forest based hourly building energy prediction. Energy Build 2018; 171: 11-25.
[20] Zakariah M. Classification of large datasets using Random Forest Algorithm in various applications: Survey. Int. J. Eng. Innovative Technol 2014;4(3).
[21] Drucker, H., Burges, C. J., Kaufman, L., Smola, A., & Vapnik, V. Support vector regression machines. Adv. Neural İnf. Process. Syst 1997; 9: 155-161.
[22] Smola AJ, Schölkopf B. A tutorial on support vector regression. Stat. Comput 2004; 14(3): 199-222.
[23] Zhang F, O'Donnell LJ. Support vector regression. Machine Learning, Academic Press, 2020.
[24] Chen T, Guestrin C. Xgboost: A scalable tree boosting system. In: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining; 13-17 August 2016; San Francisco California USA, pp. 785-794.
[25] Bentéjac C, Csörgő A, Martínez-Muñoz G. A comparative analysis of gradient boosting algorithms. Artif. Intell. Rev 2021; 54(3): 1937-67.
[26] Zhang Y, Chen L. A study on forecasting the default risk of bond based on XGBoost algorithm and over-sampling method. Theor. Econ. Lett 202; 11(02): 258.
[27] Zhang C, Pan X, Li H, Gardiner A, Sargent I, Hare J, Atkinson PM. A hybrid MLP-CNN classifier for very fine resolution remotely sensed image classification. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens 2018; 140: 133-44.
[28] Windeatt T. Ensemble MLP classifier design. Computational Intelligence Paradigms, 2008: 133-147, Springer, Berlin, Heidelberg.
[29] Car Z, Baressi Šegota S, Anđelić N, Lorencin I, Mrzljak V. Modeling the spread of COVID-19 infection using a multilayer perceptron. Comput. Math. Methods Med 2020.
[30] Delashmit WH, Manry MT. Recent developments in multilayer perceptron neural networks. In Proceedings of the seventh Annual Memphis Area Engineering and Science Conference, MAESC 2005 May.
[31] Yao G, Lei T, Zhong J. A review of convolutional-neural-network-based action recognition. Pattern Recognit. Lett 2019; 118: 14-22.
[32] Dhillon A, Verma GK. Convolutional neural network: a review of models, methodologies and applications to object detection. Prog Artif. Intell 2020; 9(2): 85-112.
[33] Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton GE. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. Adv. Neural Inf. Process. Syst 2012; 25.
[34] Bengio Y, Simard P, Frasconi P. Learning long-term dependencies with gradient descent is difficult. IEEE Trans 1994; 5(2): 157-66.
[35] Sutskever I, Martens J, Hinton GE. Generating text with recurrent neural networks. InICML 2011 Jan 1.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 719-731, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1126606

Nem Kontrollü Bir Kamarada Depolanan Baklanın (*Vicia faba* L.) Sorpsiyon İzotermlerinin Modellenmesi ve Termodinamik Özelliklerinin Belirlenmesi

Mukaddes KARATAŞ[1*], Nurhan ARSLAN[1]
[1] Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[1*] mkozturk@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 06/06/2022; Kabul/Accepted: 02/09/2022)

Öz: Sabit sıcaklık ve bağıl nem ortamı sağlayan bir kamarada baklanın (*Vicia faba* L.), nem sorpsiyon özellikleri; üç farklı sıcaklıkta (25, 35 ve 45 °C) ve bağıl nemi atomizer nemlendirici ile ayarlanarak farklı su aktivitesi değerlerinde (0.1-0.9 aw) incelenmiştir. Elde edilen deneysel verilerden baklanın sorpsiyon izoterm eğrilerinin, BET su buharı sorpsiyon izotermleri sınıflandırmasına göre Tip III (J şekilli) özelliğe sahip olduğu bulunmuştur. Belirli bir su aktivitesinde sıcaklığın artması ile denge nem içeriği değerlerinde azalma gözlenmiştir. Baklanın sorpsiyon izotermleri tüm su aktivitesi aralığında histeresis etki göstermiştir. Sorpsiyon verilerinin matematik modellere uygunluklarının belirlenmesi amacıyla 12 farklı izoterm modeli (*GAB, BET, Henderson, Oswin, Peleg, Smith, Caurie, Halsey, Ferro-Fontan, Kuhn, Chung-Pfost* ve *White-Eiring*) kullanılmıştır. En iyi uyumu; adsorpsiyon izotermleri için Peleg modelinin, desorpsiyon izotermleri için ise Chung-Pfost modelinin gösterdiği belirlenmiştir. Sorpsiyon izosterik ısısı, sorpsiyon entropisi, yüzey potansiyeli, net integral entalpi ve net integral entropi gibi enerji gereksiniminin anlaşılmasını sağlayan termodinamik fonksiyonlar sorpsiyon izoterm verileri kullanılarak belirlenmiştir. Sorpsiyon izosterik ısısı ve net integral entalpi nem içeriğindeki artış ile azalmış ve saf suyun buharlaşma gizli ısısı değerine yaklaşmıştır.

Anahtar kelimeler: Atomizer nemlendirici, bakla, nem sorpsiyon izotermi, termodinamik yaklaşım.

Modeling of Sorption Isotherms and Determination of Thermodynamic Properties of Broad Bean (*Vicia faba* L.) Stored in a Humidity-Controlled Chamber

Abstract: Moisture sorption properties of broad bean (*Vicia faba* L.) in a chamber providing constant temperature and relative humidity; It was investigated at three different temperatures (25, 35 and 45 °C) and at different water activity values (0.1-0.9 aw) by adjusting the relative humidity with an atomizer humidifier. From the experimental data obtained, it was found that the sorption isotherm curves of broad beans have Type III (J-shaped) properties according to the BET water vapor sorption isotherms classification. It was observed that the equilibrium moisture content values decreased with the increase in temperature in a given water activity. The sorption isotherms of broad bean showed a hysteresis effect over the entire water activity range. 12 different isotherm models (GAB, BET, Henderson, Oswin, Peleg, Smith, Caurie, Halsey, Ferro-Fontan, Kuhn, Chung-Pfost and White-Eiring) were used to determine the compatibility of sorption data with mathematical models. Best fit; it was determined that the Peleg model for adsorption isotherms and the Chung-Pfost model for desorption isotherms showed. Thermodynamic functions such as isosteric heat of sorption, sorption entropy, surface potential, net integral enthalpy and net integral entropy were determined using sorption isotherm data. The isosteric heat of sorption and the net integral enthalpy decreased with the increase in moisture content and approached the latent heat of evaporation of pure water.

Keywords: Atomizer humidifier, broad beans, moisture sorption isotherm, thermodynamic approach.

1. Giriş

Gıdalarda bulunan su, depolama sırasında mikrobiyal, fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal olayların gelişimine etki eder. Gıdaların mikrobiyal ve kimyasal olarak bozulmasını önlemek için nem içeriğinin kontrol edilmesi gerekir. Depolama sıcaklığı, gıda bileşimi, bağıl nem ve gıdaların iyi kurutulması depolamada önemli rol oynar ve bu değişkenler gıdaların nem sorpsiyon özelliklerini etkiler [1,2].

Su aktivitesi (a_w) gıdadaki suyun buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranı olarak tarif edilir. Sabit sıcaklıkta bir gıdanın su aktivitesi ile denge nem içeriği arasındaki ilişkiyi gösteren nem sorpsiyon izotermlerinin bilinmesi; gıdaların raf ömrünün tahmin edilmesi, ekipman tasarımı, kurutma, karıştırma, deriştirme, paketleme ve depolama işlemleri gibi gıda işleme ve mühendislik problemlerinin çözümünde oldukça önemlidir [3-6]. Nem sorpsiyon izotermlerini oluştururken, sorpsiyon izotermlerinin sıcaklıkla değişiminin ortaya konulması sorpsiyonu modellemek ve optimize etmek için gereklidir. Sıcaklık, su hareketliliğini ve nem-gıda dengesini etkilediği için önemli bir parametredir [7,8].

Gıdalarda sorpsiyon izotermlerinin belirlenmesinde higrometrik ve gravimetrik yöntem kullanılmaktadır. Gravimetrik yöntemlerden biri olan doymuş tuz çözeltileri yönteminde, özellikle yüksek su aktivitelerinde dengeye ulaşmak oldukça uzun sürdüğünden bozulma ve mikrobiyal faaliyetler ortaya çıkar. Gerçek depolama

* Sorumlu yazar: mkozturk@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1*] 0000-0001-5803-6821, [1] 0000-0003-0051-0118

koşullarını sağladığından dolayı, dinamik sistem statik sisteme göre daha avantajlıdır. Dinamik bir sistem olan bağıl nemi atomizer nemlendirme sistemi ile kontrol edilen bir kamarada depolanan gıdaların dengedeki nem içeriklerinin belirlenmesiyle de nem sorpsiyon verileri elde edilebilir. Bu veriler ile sorpsiyon izotermleri modellenebilir [9,10].

Sorpsiyon izotermleri, fiziksel ve kimyasal değişmelerin bir sonucu olarak farklılık göstermektedir. Bu nedenle, farklı gıdalarda ve farklı su aktivitesi aralıklarında kuramsal ya da deneysel tek bir matematiksel model uygulamak zordur. Bu nedenle gıdaların sorpsiyon izotermlerini tanımlamak amacıyla yaygın olarak kullanılan çeşitli modeller (BET, GAB, Ferro-Fontan, Henderson, Halsey, Smith, Chung-Pfost vb.) tanımlanmıştır [11,12]. Sorpsiyon proseslerinin tasarımında önemli parametreler olan termodinamik özellikler (sorpsiyon izosterik ısı ve entropi, net integral entalpi ve entropi, Gibbs serbest enerjisi) yüzey suyunun durumunu bilmek ve ısı-kütle transferine ilişkin enerji hesaplamalarına yardımcı olmak için gereklidir [13]. Net izosterik sorpsiyon ısısının suyun gizli buharlaşma ısısına yaklaştığı nem içeriği değeri, genellikle gıdada bulunan 'bağlı su' miktarının bir göstergesi olarak kabul edilir [14].

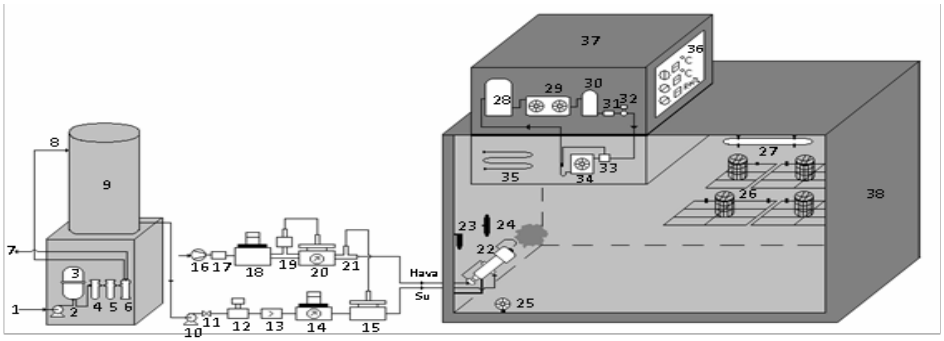
Bakla (*Vicia faba* L.) esansiyel amino asitler ile yüksek bitkisel protein içeriği nedeniyle değerli bir gıda maddesidir. Baklanın yapısındaki nişasta, mikroorganizmalar için iyi bir besin kaynağı olduğundan, bakla tanelerinin küflenerek böceklenmesine ve yapısının bozulmasına neden olacaktır. Depolama sırasında besin değerlerinin korunabilmesi için su aktivitesinin sınır değerin üzerine çıkmaması gerekmektedir. Baklanın nem sorpsiyonunun izopiestik yöntem kullanılarak incelendiği çalışmalar literatürde mevcuttur [15-17]. Ancak atomizer nemlendirme sistemi kullanılarak baklanın nem sorpsiyonunu araştıran bir çalışmaya rastlanmamıştır.
Bu çalışma; 25, 35, 45 °C sıcaklıklarda adsorpsiyon ve desorpsiyon işlemi üzerine sıcaklığın etkisini araştırmayı, deneysel sorpsiyon verilerine 12 sorpsiyon modelini uygulayarak en uygun modeli belirlemeyi ve sorpsiyon prosesinin termodinamik analizini gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Ticari çeşidi 'Seville' olan bakla (*Vicia faba* L.), yerel bir satıcıdan temin edilmiştir ve polietilen torbalarda 4 °C'de saklanmıştır. Çalışmalarda kullanılan baklanın karbonhidrat, protein ve yağ içerikleri üretici firmadan alınmıştır. Başlangıç nem içeriği gravimetrik yöntemle belirlenmiş ve kül içeriği 600 °C'de sabit tartıma gelene kadar bir fırında bekletilerek bulunmuştur [18]. Selüloz içeriği ise aradaki farktan hesaplanmıştır.

2.1. Deney sistemi

Sorpsiyon izotermlerinin belirlenmek için kullanılan atomizer nemlendirme sisteminin şematik gösterimi Şekil 1'de, sistemin ana ekipmanlarının resimleri ise Şekil 2'de verilmiştir.. Kamarayı ısıtmak ya da soğutmak için 3 kW'lık kuru hava ısıtıcıları ve ısı pompası içeren bir soğutma ünitesi kullanılmıştır. % bağıl nem ve sıcaklık sırasıyla bir bağıl nem probu ve sıcaklık sensörü aracılığıyla ölçülmüştür. Kamara içinde pülverize buharı sirküle etmek için radyal fan kullanılmıştır. Mikrobiyal bozulmayı önlemek için kamara içerisine 30 W'lık UV lamba (Philips, TUV G30T8, Hollanda) yerleştirilmiştir. Voltaj değişimlerinden kaynaklanan çok kısa süreli elektrik kesintilerinden etkilenmemek için 3000 VA'lık kesintisiz güç kaynağı (Inform, Guard 1600, Türkiye) kullanılmıştır. Deney sisteminin detaylı anlatımı daha önceki çalışmalarda ifade edilmiştir [19].



Şekil 1. Nemlendirme sisteminin şematik gösterimi (1: su girişi, 2: pompa, 3: hava basınç tankı, 4: filtre, 5: iyon değiştirici, 6: membran, 7: drenaj, 8: arıtılmış su, 9: su tankı, 10: pompa, 11: vana, 12: su vanası, 13: su geri dönüşünü önleyici, 14: su basınç regülatörü, 15: hava basıncı ile açılan su vanası, 16: kompresör, 17: hava filtresi, 18: hava basınç regülatörü, 19: elektrik valfi, 20: hava vanası, 21: bağlantı elemanı, 22: atomizer nemlendirici, 23: sıcaklık probları, 24: % bağıl nem probu, 25: üfleç, 26:

örnek kapları, 27: UV lamba, 28: tam sızdırmaz kompresör, 29: yoğunlaştırıcı, 30: sıvı tankı, 31: filtre kurutucu, 32: manyetik ventil, 33: kısma vanası, 34: buharlaştırıcı, 35: kuru hava ısıtıcısı, 36: sıcaklık ve % bağıl nem kontrol paneli, 37: soğutma ünitesi, 38: sabit sıcaklık ve bağıl nem kamarası)



Şekil 2. Nemlendirme sisteminin ana ekipmanları (1: su arıtma sistemi, 2: su tankı, 3: hava filtresi, 4: soğutma sistemi, 5: pülverize buhar oluşturma sistemi, 6: atomizer, 7: atomizer nemlendirme sistemi, 8: sıcaklık ve % bağıl nem kontrol paneli, 9: kuru hava ısıtıcısı, sıcaklık ve % bağıl nem probu, 10: sabit sıcaklık ve bağıl nem kamarası)

Belirli bir miktardaki kurutulmuş bakla örneği (10 ± 0.001 g) delikli bir sepet içerisinde konularak, su aktivitesi (silikajel kullanılarak) 0.1'e kadar düşürülen bir depolama kamarası içerisine yerleştirilmiştir. Nem kontrollü kamaradaki bağıl nem değerleri %10-90 ve sıcaklık değerleri 25, 35, 45 °C'de tutulmuştur. %10 bağıl nem, silika jel (Crosfield Chemicals, UK) kullanılarak elde edilmiştir. %10 ile %90 arasında farklı bağıl nem değerlerini sağlamak amacıyla, basınçlı hava ve arıtılmış su atomizer nemlendiriciye gönderilmiş ve buradan pülverize buhar olarak depolama kamarasına verilmiştir. Örnekler, incelenen % bağıl nem ve sıcaklık değerlerinde sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiş ve örnekleri içeren sepetler düzenli zaman aralıklarında 0.001 g duyarlılıkta elektronik terazide (Shimadzu Şirketi, BX 300, Japonya) tartılarak ağırlık değişimi izlenmiştir. Ardışık iki benzer ölçüm elde edildiğinde baklanın içerisindeki su oranının bulunduğu ortamın bağıl nemi ile dengeye ulaştığı kabul edilerek denge nem içeriği belirlenmiş ve ortamın % bağıl neminin 100'e bölünmesi ile su aktiviteleri bulunmuştur. Desorpsiyon çalışmaları için; bakla sabit ağırlığa gelinceye kadar %97 bağıl nemde tutulmuş ve sonra kamaradaki nem silikajel vasıtasıyla adsorplanarak, kamaranın su aktivitesi çalışılan bağıl nem değerlerine düşürülmüştür. Her deney için iki paralel örnek kullanılmış ve ortalama değerler alınmıştır. Ortalama değerlerden sapmalar ± 0.003 g olarak belirlenmiştir.

2.2. Matematiksel modelleme

Deneysel denge nem içeriği verilerine farklı model eşitliklerin uyumunu belirlemek ve sorpsiyon izotermlerini tanımlamak için kullanılan 12 matematiksel model Tablo 1'de gösterilmiştir. 0-0.9 su aktivitesi aralığındaki deneysel veriler kullanılarak non-lineer regresyon analizi [20] ile model katsayıları belirlenmiştir. Bu katsayılar kullanılarak hesaplanan değerler ile deneysel değerler arasındaki uyum r^2 (belirlilik katsayısı), E (ortalama bağıl yüzde sapma modülü), e_{ort} (ortalama hata), RMSE (hata karelerinin ortalama karekökü) ve Khi-kare ($\chi 2$) istatistiksel testleri ile belirlenmiştir:

$$E = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{|X_{di}-X_{hi}|}{X_{di}} \quad (1)$$

$$e_{ort} = \sum_{i=1}^{N}\frac{(X_{di}-X_{hi})}{N} \quad (2)$$

$$\mathrm{RMSE} = \left[\frac{1}{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{N}}(\mathrm{X_{di}} - \mathrm{X_{hi}})^2\right]^{1/2} \quad (3)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{N}}(\mathrm{X_{di}} - \mathrm{X_{hi}})^2}{N-n} \quad (4)$$

Burada; X_{di} deneysel değer, X_{hi} modelden hesaplanmış değer, N ölçüm sayısı ve n modeldeki parametre sayısıdır. E değerlerinin %10'un altında olduğu modellerin, deneysel verilere iyi bir uyum gösterdiği söylenebilir [21].

Tablo 1. Baklanın sorpsiyon izotermlerini tanımlamak için kullanılan modeller

Model	Matematiksel ifade
GAB [22]	$X=X_mCKa_w/[(1-Ka_w)(1-Ka_w+CKa_w)]$
BET [23]	$X= X_mCa_w/[(1-a_w)(1-a_w+Ca_w)]$
Henderson [24]	$X=[-\ln(1-a_w)/A]^{1/B}$
Oswin [25]	$X=A[a_w/(1-a_w)]^B$
Peleg [26]	$X=m_1a_w^{n1}+ m_2a_w^{n2}$
Smith [27]	$X=c_1-c_2 \ln(1-a_w)$
Caurie [28]	$X= \exp(a+ba_w)$
Halsey [29]	$X=[-a/(\ln a_w)]^{1/b}$
Ferro-Fontan [30]	$X=[A/\ln(B/a_w)]^{1/C}$
Kuhn [31]	$X=a+b(1/\ln a_w)$
Chung-Pfost [32]	$X=(\ln(\ln a_w/A))/(-B)$
White-Eiring [33]	$X=1/(A+Ba_w)$

2.3. Termodinamik fonksiyonlar

Spesifik bir nem içeriği için net sorpsiyon izosterik ısısı, Eşitlik (5)'deki Clausius-Clapeyron eşitliğinden elde edilmiştir [34]:

$$\mathrm{q_{st}} = -\mathrm{R}\left[\frac{\mathrm{d}(\ln \mathrm{a_w})}{\mathrm{d}(\frac{1}{\mathrm{T}})}\right]_{\mathrm{x}} \quad (5)$$

Burada: q_{st} net sorpsiyon izosterik ısısı (kJ/mol); a_w su aktivitesi; R ideal gaz sabiti (8.314 J/molK); T sıcaklıktır (K). Net sorpsiyon izosterik ısısı (q_{st}), 1/T'ye karşı ln a_w'nin grafiğe geçirilmesiyle elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanmıştır. Hesaplanan eğim değeri $-q_{st}/R$'ye eşittir. Sorpsiyon izosterik ısısı (Q_{st}), net sorpsiyon izosterik ısısına (q_{st}) suyun buharlaşma ısısı eklenerek bulunmuştur (Eşitlik (6)):

$$\mathrm{Q_{st}} = \mathrm{q_{st}} + \mathrm{H_L} \quad (6)$$

Q_{st} sorpsiyon izosterik ısısı (kJ/mol) ve H_L, incelenen sıcaklıkların ortalaması olan 35 °C'deki su buharlaşma gizli ısısıdır (43.53 $kJmol^{-1}$).

Belirli bir enerji seviyesinde uygun sorpsiyon merkezlerinin sayısıyla orantılı olan sorpsiyon entropisinin (ΔS) Q_{st} ile ilişkisi Eşitlik (7)'de verilmiştir [35]:

$$-\ln(\mathrm{a_w}) = \frac{\mathrm{Q_{st}}}{\mathrm{RT}} - \frac{\Delta \mathrm{S}}{\mathrm{R}} \quad (7)$$

Eşitlik (7)'deki denklem kullanılarak belirli bir nem içeriği için oluşturulan grafikteki doğrunun kaymasından ($-\Delta S/R$) sorpsiyon entropisi (ΔS) bulunmuştur.

Nem içeriğindeki değişme nedeniyle Gibbs serbest enerjisindeki değişim meydana gelmiştir. Gibbs serbest enerjisi (ΔG) her bir sıcaklık için deneysel verileri en iyi temsil eden eşitlik kullanılarak elde edilen su aktivitesi verileri ile hesaplanmıştır (Eşitlik (8)).

$$\Delta G = -RTlna_w \tag{8}$$

Katıdaki boş sorpsiyon merkezleri ile adsorbe edilmiş moleküllerin bulunduğu merkezler arasındaki yüzey gerilimi farkı olarak kabul edilebilen yayılma basıncı (ϕ) Eşitlik (9) kullanılarak analitik olarak belirlenmiştir [36]:

$$\phi = \frac{K_B T}{A_m} \ln[\frac{1+b_0 a_w - b a_w}{1-b a_w}] \tag{9}$$

Eşitlik (9)'daki b v b_0 sabitlerini bulmak için Eşitlik (10)'daki Dent modeline non-lineer regrasyon analizi uygulanmıştır [37]:

$$\frac{a_w}{X} = \frac{1}{b_0 X_m} + \frac{b_0 - 2b}{b_0 X_m} a_w - \frac{b(b_0 - b)}{b_0 X_m} a_w^2 \tag{10}$$

Katı yapıya bağlanma kuvveti ve su moleküllerinin afinitesinin bir göstergesi olan net integral entalpinin (q_{in}), kurutma ve dondurma proseslerinin enerji dengesi üzerinde etkisi bulunmaktadır [38]. Net integral entalpiyi (q_{in}) izosterik ısı için kullanılana benzer bir teknikle, ancak sabit yayılma basıncı değerlerinde (Eşitlik (11)) termodinamiğin birinci yasasından türetilmiştir [39]:

$$q_{in} = -R\left[\frac{d(lna_w)}{d(\frac{1}{T})}\right]_{\phi} \tag{11}$$

Sabit yüzey potansiyelinde 1/T'ye karşı ln a_w'nin grafiğe geçirilmesiyle elde edilen doğrunun eğiminden q_{in} değeri hesaplanmıştır.

Düzensizliğin derecesini ve su moleküllerinin gelişigüzel hareketlerini tarif eden net integral entropi aşağıdaki eşitlik ile bulunmuştur [40]:

$$\Delta S_{in} = \frac{-q_{in}}{T^*} - Rln(a_w)^* \tag{12}$$

3. Bulgular ve Tartışma

Baklanın bileşimi yaş temel üzerinden % olarak Tablo 2'de gösterilmiştir.

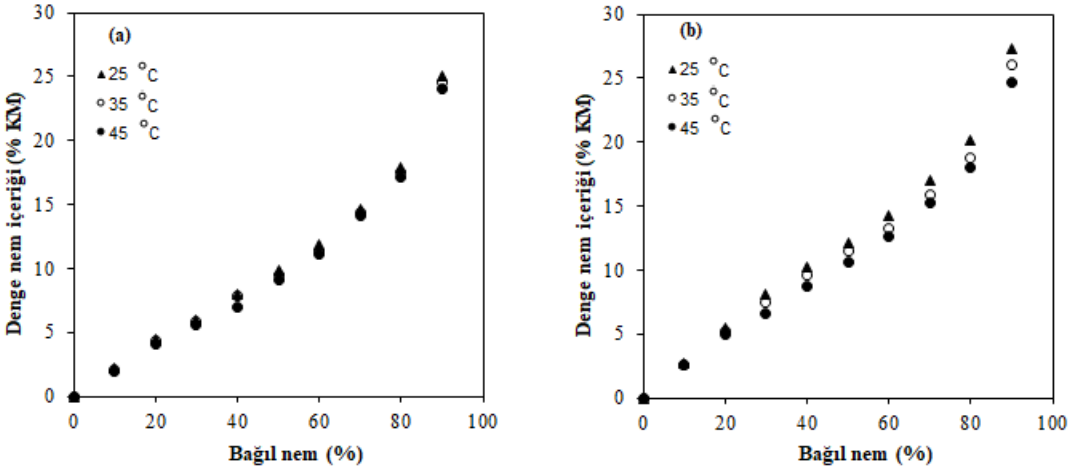
Tablo 2. Baklanın bileşimleri

	% Bileşim
Karbonhidrat	53.7
Protein	27.7
Yağ	1.8
Selüloz	2.9
Kül	3.0
Nem	10.9

Ulusal gıda kompozisyon very tabanı, baklanın karbonhidrat içeriğini %42-57 aralığında, protein içeriğini %15-28 aralığında, yağ içeriğini %1.3-1.6 aralığında, kül içeriğini %3.2-3.5 aralığında ve nem içeriğini %10-12 aralığında olduğunu belirtmiştir [41]. Bulunan bileşim değerlerinin de bu verilerle uyumlu olduğu görülmektedir.

3.1. Baklanın adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermleri

% bağıl nem değerlerine karşı farklı denge nem içeriği (kuru temel) değerlerine erişen baklanın sorpsiyon izotermleri Şekil 3'de gösterilmiştir. İzotermin tipik şekli suyun katıya bağlanma şekliyle bağlantılıdır. Aynı sıcaklıklar için artan su aktivitesi değeri ile denge nem içeriği değeri artmıştır. Yüksek su aktivitesi değerlerinde sorpsiyon uçlarının sayısındaki artıştan dolayı denge nem içeriği artmıştır. İzotermin BET sınıflandırmasına göre J şekilli Tip III izoterm olduğunu görülmektedir [23]. J şekilli Tip III izotermi genellikle çözünebilir bileşenlerce zengin gıdaların sorpsiyonunda ortaya çıkmaktadır. BET teorisine göre, Tip III izoterm birinci tabakanın bağ enerjisi su molekülleri arasındaki bağ enerjisinden daha düşük olduğu zaman ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3. Baklanın deneysel a) adsorpsiyon ve b) desorpsiyon verileri.

Sıcaklığın artması ile birlikte moleküller artan bir uyarılma haline gelir. Bundan dolayı moleküllerin birbirlerine olan uzaklıkları artar ve moleküllerarası çekim kuvvetleri azalır. Belirli bir su aktivitesinde artan sıcaklık ile su sorpsiyon derecesinde bir azalma meydana gelir [8]. Sıcaklıktaki artış, suyun bağlandıkları uçlardan uzaklaşmasına neden olur ve böylece denge nem içeriği azalır [42]. Ancak sıcaklıktaki artma ile sorbe edilen suyun miktarlarında çok fazla olmayan bir azalış meydana gelmiştir ve bu etki çoğu gıda maddesinde olduğu gibi kayda değer değildir. Varyans analizi (ANOVA) ile yapılan istatistiksel değerlendirmede, nem içeriğine sıcaklığın etkisinin istatistiksel olarak anlamsız ($p>0.05$) olduğu bulunmuştur.

Histeresis etkinin 0.3-0.7 su aktivitesi aralığında daha belirgin olduğu görülmüştür. Histeresis etkinin durumu gıda maddesindeki bileşenlerin yapısı, sıcaklık, depolama zamanı ve adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsünün sayısı ile ilgilidir [43].

3.2. Matematiksel modelin belirlenmesi

Deneysel sorpsiyon verilerine Tablo 2'de verilen 12 izoterm eşitliğin uygunluğu araştırılmış ve bu model eşitliklerin sabitleri, Statistica 5.0 yazılımı kullanılarak non-lineer regresyon analizi ile tahmin edilmiştir [20]. Bulunan model katsayıları ve modelleri karşılaştırmak için her bir modelin performansını gösteren r^2, E, e_{ort}, RMSE ve χ^2 değerleri Tablo 3'de verilmiştir. E, e_{ort}, RMSE ve χ^2 değerleri sıfıra nekadar yakın ve r^2 değerleri 1'e nekadar yakın ise, deneysel verilerin modellere uyumu da o kadar iyi olacaktır. Bu sonuçlara göre; tüm sıcaklıklarda Peleg, Smith, Ferro-Fontan ve Chung-Pfost modelleri baklanın adsorpsiyon izotermlerini, GAB, Henderson ve Chung-Pfost modelleri ise baklanın desorpsiyon izotermlerini temsil edebilmiştir. Tüm bağıl nem değerlerinde ve sıcaklıklarda bu modeller içinde baklanın adsorpsiyon izotermlerine en iyi uyumu Peleg modelinin, desorpsiyon izotermlerine en iyi uyumu ise Chung-Pfost modelinin gösterdiği bulunmuştur. Peleg modeli adsorpsiyon deneysel değerlerini, Chung-Pfost modeli desorpsiyon deneysel değerlerini modellemek için kullanılabilir. Literatürde de bazı gıda maddeleri için benzer sonuçlar bulumuştur [44, 45].

Tablo 3. Baklanın sorpsiyon verilerine uydurulan farklı modellerin katsayıları.

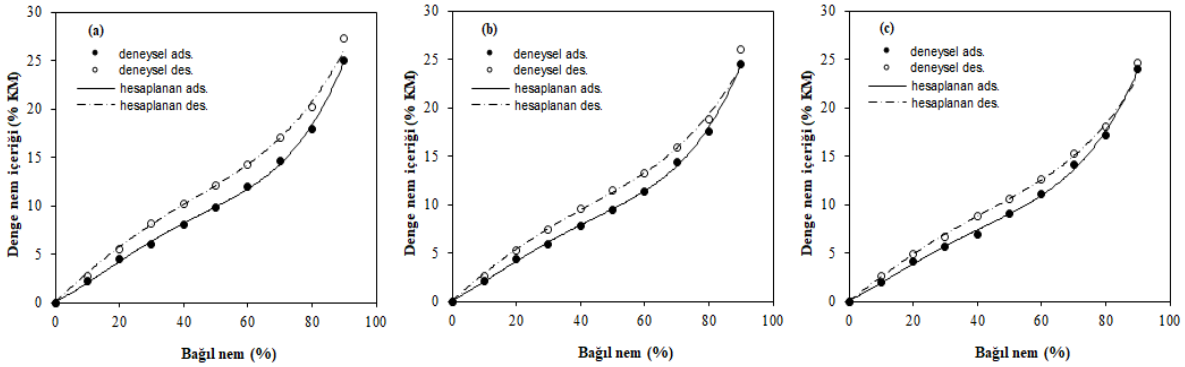
Model	Sabitler	Adsorpsiyon			Desorpsiyon		
		25 °C	**35** °C	**45** °C	**25** °C	**35** °C	**45** °C
GAB	X_m	7.154	6.957	4.581	9.198	8.272	7.939
	C	5.674	5.563	$-1x10^9$	6.304	6.798	6.086
	K	0.810	0.813	0.904	0.757	0.773	0.773
	r^2	0.9984	0.9985	0.9657	0.9963	0.9953	0.9975
	E	3.647	3.832	26.49	5.642	5.570	3.542
	e_{ort}	-0.0060	-0.0116	-0.2349	-0.0307	-0.0181	-0.0216
	RMSE	0.3088	0.2870	1.364	0.5043	0.5380	0.3783
	χ^2	0,2860	0.2471	5.583	0.7570	0.8684	0.4294
BET*	X_m	6.417	6.358	5.442	8.501	7.863	6.941
	C	4.554	4.386	5.417	4.154	4.304	4.767

	r^2	0.9974	0.9970	0.9936	0.9963	0.9985	0.9989
	E	3.723	4.504	6.379	4.529	3.223	2.509
	e_{ort}	-0.0094	-0.0341	-0.0132	-0.0180	0.0114	-0.0064
	RMSE	0.1528	0.1692	0.2219	0.2482	0.1493	0.1162
	χ^2	0.0467	0.0573	0.0984	0.1232	0.0446	0.0270
Henderson	A	0.031	0.033	0.039	0.016	0.017	0.022
	B	1.374	1.351	1.302	1.528	1.526	1.467
	r^2	0.9990	0.9986	0.9986	0.9973	0.9972	0.9988
	E	3.069	33.98	3.593	5.666	15.59	3.206
	e_{ort}	0.1703	2.589	0.0680	0.2068	1.4343	-0.0089
	RMSE	0.5332	2.660	0.4079	0.6194	1.552	0.3927
	χ^2	1.279	31.84	0.7485	1.697	10.84	0.6939
Oswin	A	9.453	9.193	8.788	11.451	10.726	10.05
	B	0.454	0.457	0.468	0.407	0.412	0.420
	r^2	0.9935	0.9934	0.9929	0.9883	0.9900	0.9905
	E	10.38	10.71	10.85	12.70	11.83	11.23
	e_{ort}	-0.0564	-0.0910	-0.0925	-0.1089	-0.0927	-0.0933
	RMSE	0.6192	0.6112	0.6213	0.8987	0.7868	0.7330
	χ^2	1.725	1.681	1.737	3.648	2.786	2.418
Peleg	**m_1**	**18.80**	**19.26**	**18.08**	13.91	13.16	12.66
	n_1	**0.926**	**8.017**	**7.133**	1.144	1.158	1.204
	m_2	**20.65**	**17.85**	**16.94**	13.91	13.16	12.66
	n_2	**9.033**	**0.908**	**0.921**	1.144	1.158	1.204
	r^2	**0.9996**	**0.9993**	**0.9988**	0.9739	0.9691	0.9736
	E	**1.583**	**2.352**	**2.365**	11.38	12.29	12.84
	e_{ort}	**0.0030**	**-0.0034**	**0.0048**	0.1450	0.1526	0.1652
	RMSE	**0.1542**	**0.2009**	**0.2512**	1.344	1.381	1.220
	χ^2	**0.0535**	**0.0908**	**0.1420**	4.035	4.290	3.350
Smith	c_1	1.804	1.702	1.471	2.898	2.671	2.378
	c_2	10.35	10.16	10.00	11.15	10.56	10.11
	r^2	0.9869	0.9879	0.9908	0.9674	0.9698	0.9751
	E	9.014	9.064	7.338	12.83	11.98	10.61
	e_{ort}	0.1989	0.1911	-0.1100	0.3209	0.2925	0.2655
	RMSE	0.6326	0.5984	0.4919	1.148	1.036	0.8790
	χ^2	1.801	1.611	1.089	5.960	4.833	3.477
Caurie	A	0.952	0.882	0.803	1.241	1.165	1.076
	B	2.534	2.557	2.622	2.286	2.308	2.353
	r^2	0.9777	0.9788	0.9822	0.9637	0.9636	0.9702
	E	11.15	11.12	10.54	11.82	12.38	10.84
	e_{ort}	0.1514	0.1440	0.1272	0.1953	0.1906	0.1770
	RMSE	0.7747	0.7379	0.6434	1.086	1.051	0.8519
	χ^2	2.701	2.450	1.863	5.299	4.974	3.266
Halsey	A	36.44	33.70	28.72	70.12	66.72	54.94
	B	1.792	1.779	1.741	1.960	1.955	1.925
	r^2	0.9680	0.9681	0.9679	0.9610	0.9588	0.9593
	E	20.48	20.98	21.24	21.69	20.69	20.36
	e_{ort}	-0.1473	-0.1443	-0.1500	0.3996	-0.1419	-0.1388
	RMSE	1.213	1.191	1.180	1.660	1.388	1.324
	χ^2	6.617	6.377	6.269	12.41	8.668	7.888
Ferro-Fontan	A	7.254	6.951	6.157	8.654	7.540	7.731
	B	1.400	1.399	1.428	1.657	1.652	1.570
	C	0.873	0.866	0.819	0.808	0.760	0.827
	r^2	0.9939	0.9944	0.9958	0.9884	0.9882	0.9918
	E	7.410	7.510	6.767	9.507	10.40	7.014
	e_{ort}	-0.0369	-0.0154	-0.0179	-0.0424	-0.7805	-0.0198
	RMSE	0.5305	0.5014	0.4290	0.7776	1.350	0.5926
	χ^2	0.8443	0.7542	0.5515	1.805	5.465	1.053
Kuhn	A	5.083	4.903	4.571	6.748	6.265	5.791
	B	-2.344	-2.306	-2.281	-2.443	-2.330	-2.236
	r^2	0.8876	0.8886	0.8909	0.8511	0.8678	0.8627
	E	35.31	35.73	35.35	36.75	35.23	34.67
	e_{ort}	-0.0008	-0.0001	-0.0006	-0.0004	-0.0014	-0.0016
	RMSE	2.273	2.225	2.175	2.784	2.531	2.431
	χ^2	23.25	22.27	21.28	34.94	28.83	26.58
Chung-Pfost	**A**	-3.127	-3.102	-2.980	**-3.515**	**-3.519**	**-3.361**
	B	0.151	0.154	0.157	**0.134**	**0.144**	**0.149**

	r^2	0.9957	0.9949	0.9926	**0.9980**	**0.9976**	**0.9977**
	E	3.778	4.316	6.234	**3.779**	**3.467**	**1.700**
	e_{ort}	0.3164	0.3018	0.3618	**-0.0061**	**0.1168**	**0.1165**
	RMSE	0.8943	0.9021	0.9732	**0.4565**	**0.6041**	**0.4960**
	χ^2	3.599	3.662	4.262	**0.9152**	**1.642**	**1.107**
White-Eiring	A	0.215	0.222	0.232	0.175	0.187	0.200
	B	-0.196	-0.203	-0.213	-0.155	-0.167	-0.179
	r^2	0.9223	0.9233	0.9253	0.9007	0.9053	0.9086
	E	24.37	24.82	24.68	24.70	23.05	22.56
	e_{ort}	0.0809	0.0080	0.0540	0.2425	0.0992	0.1248
	RMSE	1.457	1.432	1.410	1.798	1.640	1.541
	χ^2	9.558	9.233	8.945	14.56	12.11	10.68

* BET eşitliği için a_w 0-0.4 aralığındadır.

Baklanın adsorpsiyonu için Peleg modeli, desorpsiyonu için ise Chung-Pfost modeli kullanılarak hesaplanan denge nem içeriği değerlerinin farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermleri deneysel verilerle karşılaştırmalı olarak Şekil 4'de gösterilmiştir.



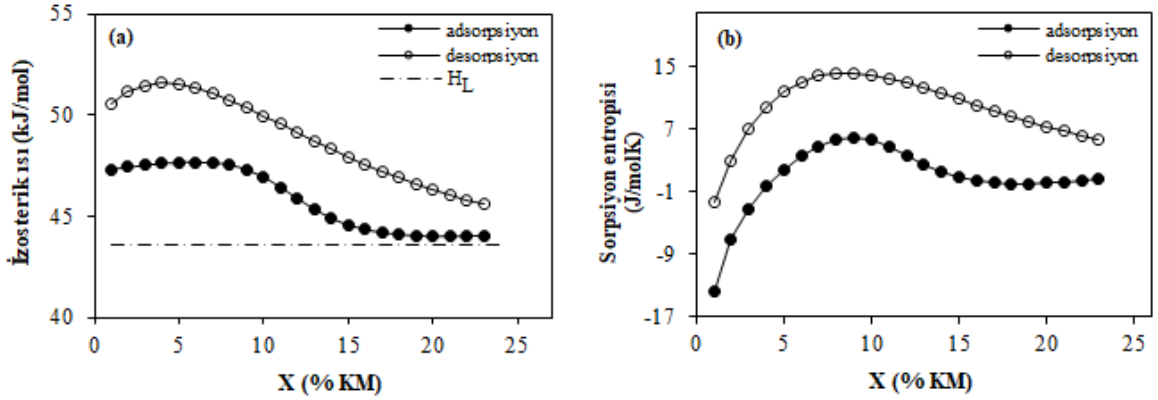
Şekil 4. Baklanın a) 25 °C, b) 35 °C ve c) 45 °C sıcaklıklardaki deneysel ve hesaplanmış adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermleri.

3.3. Sorpsiyon izosterik ısısı, sorpsiyon entropisi ve Gibbs serbest enerjisi

Keyfi olarak seçilen spesifik nem içeriklerinde baklanın su aktivitesini belirlemek için, deneysel verileri en iyi temsil eden model kullanılmıştır. Eşitlik (5)'in integrali alınarak düzenlenmesiyle elde edilen doğru denkleminde 1/T'ye karşı $\ln a_w$'nin grafiğe geçirilmesiyle elde edilen doğrunun eğiminden ($-q_{st}/R$) net sorpsiyon izosterik ısısı (q_{st}), Eşitlik (6)'dan da sorpsiyon izosterik ısısı (Q_{st}) bulundu. Adsorpsiyon ve desorpsiyon izosterik ısıları (Q_{st}) denge nem içeriğinin (% KM) fonksiyonu olarak grafiğe geçirilmiştir (Şekil 5a). Bu yöntemin hesaplanabilmesi için sorpsiyon izotermlerinin en az üç farklı sıcaklıkta belirlenmesi gerekmektedir [46].

Düşük nem içeriklerinde, sorpsiyon izosterik ısısının suyun buharlaşma gizli ısısından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, su molekülleri ve sorpsiyon polar uçları arasındaki bağ enerjilerinin sıvı fazda saf su moleküllerini bir arada tutan enerjiden daha yüksek olduğunu gösterir [47]. Nem içeriğindeki artma ile sorpsiyon izosterik ısısının saf suyun buharlaşma gizli ısısına (ortalama sıcaklık 35ºC'de 43.53 kJ/mol) yakın bir değere azaldığı gözlenmiştir. Bu durum, suyun bağlanma kuvvetinin daha yüksek nem seviyelerinde azaldığını göstermektedir. Tüm nem içeriklerinde desorpsiyon izosterik ısısının adsorpsiyon izosterik ısısından oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yüzeydeki daha polar bölgelerin ve su moleküllerinin daha az hareketliliğinin bir göstergesi olarak desorpsiyon enerji ihtiyacı arttığı söylenebilir [21, 48, 49]. İrmiğin nem adsorpsiyonunun incelendiği bir çalışmada da benzer şekilde izosterik sorpsiyon ısısının artan denge nem içeriği ile azaldığı ortaya koyulmuştur [50].

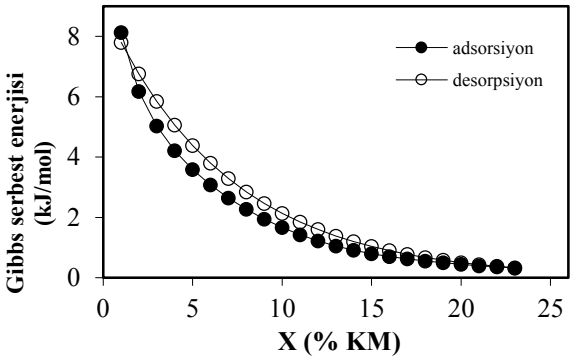
Eşitlik (7) kullanılarak 1/T'ye karşı $-\ln a_w$ değerlerinin grafiğe geçirilmesiyle elde edilen doğrunun kaymasından ($-\Delta S/R$) sorpsiyon entropisi bulunmuş ve denge nemi ile değişimi Şekil 5b'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5. Baklanın a) sorpsiyon izosterik ısısının ve b) sorpsiyon entropisinin nem içeriği ile değişimi.

Baklanın desorpsiyon entropisinin adsorpsiyon entropisinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu davranış, su moleküllerinin desorpsiyon sırasında adsorpsiyondan daha hareketli olduğunu göstermektedir. Sorpsiyon entropisi %10 nem içeriğine kadar artmış, daha sonra nem içeriğindeki artış ile azalmıştır. Baklanın düşük nem içeriklerinde adsorpsiyon entropisinin negatif olması kimyasal adsorpsiyonun varlığından ve/veya adsorbentteki yapısal değişikliklerden kaynaklanabileceği ifade edilmiştir [36].

Baklanın Gibbs serbest enerjisi Eşitlik (8) kullanılarak hesaplanmış ve 35 °C sıcaklık için nem içeriği ile değişimi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Baklanın Gibbs serbest enerjisinin 35 °C 'de nem içeriği ile değişimi

Şekilden de görüldüğü gibi nem içeriğinin artmasıyla baklanın Gibbs serbest enerjisi üstel bir şekilde azalmıştır. Desorpsiyon için Gibbs serbest enerjisi değerleri absorpsiyon için Gibbs serbest enerjisi değerlerinden büyüktür.

Gibbs serbest enerjisi sorpsiyonun gerçekleşeceği polar uçları meydana getirmek için gerekli enerjiyle ilgilidir. Bu nedenle denge nem içeriğindeki artış ile azalır. Düşük nem içeriklerinde, Gibbs serbest enerjisindeki değişim daha fazla olmuştur. Nem içeriği artarken sorpsiyon yapacak boş uçlar daha zayıf olduğundan dolayı sorpsiyon enerji yüzeyi azalır ve sorpsiyon daha zor olur, böylece yüksek nem içeriklerinde Gibbs serbest enerjisi giderek sıfıra yaklaşır ve sorpsiyon neredeyse imkansız olur [51]. Çeşitli gıda maddeleri için benzer sonuçlar elde edilmiştir [52, 53].

3.4. Yüzey potansiyeli

Eşitlik (9)'daki b ve bo sabitlerini belirlemek için Eşitlik (10)'a nonlineer regresyon analizi uygulanmıştır. Bunun için BET eşitliğinden elde edilen monotabaka nem içeriği ve deneysel denge nem içeriği değerleri kullanılmıştır. Bulunan değerlerin Eşitlik (9)'da yerine konulmasıyla farklı su aktivitesi ve sıcaklıklarda baklanın yüzey potansiyeli (yayılma basıncı) değerleri belirlenmiştir (Tablo 4).

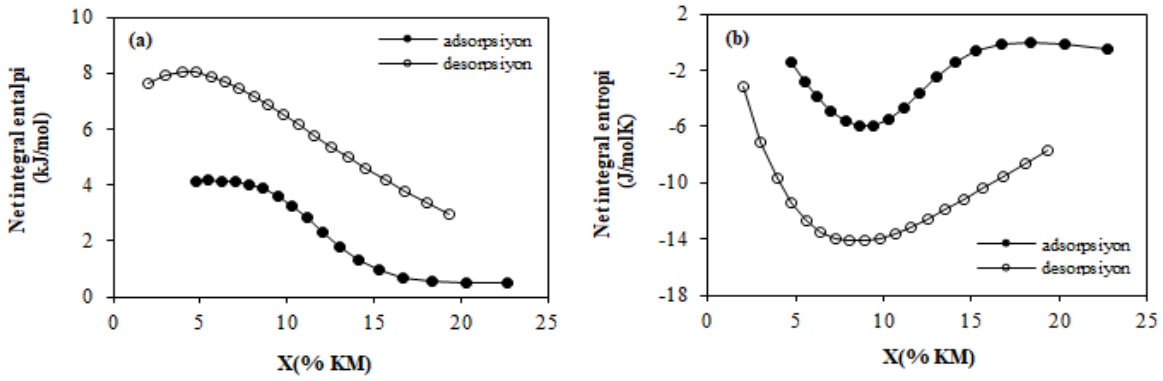
Tablo 4. Farklı su aktivitesi ve sıcaklıklarda baklanın yüzey potansiyeli.

		Yüzey potansiyeli (J/m^2)		
	a_w	**25** °C	**35** °C	**45**°C
Adsorpsiyon	0.1	0.0206	0.0201	0.0268
	0.2	0.0363	0.0356	0.0457
	0.3	0.0495	0.0489	0.0611
	0.4	0.0614	0.0610	0.0749
	0.5	0.0729	0.0726	0.0879
	0.6	0.0843	0.0842	0.1009
	0.7	0.0961	0.0963	0.1145
	0.8	0.1091	0.1096	0.1296
	0.9	0.1243	0.1251	0.1478
Desorpsiyon	0.1	0.0193	0.0204	0.0235
	0.2	0.0341	0.0359	0.0408
	0.3	0.0467	0.0490	0.0552
	0.4	0.0580	0.0609	0.0680
	0.5	0.0687	0.0721	0.0801
	0.6	0.0793	0.0831	0.0920
	0.7	0.0900	0.0944	0.1042
	0.8	0.1015	0.1064	0.1174
	0.9	0.1142	0.1199	0.1324

Baklanın yüzey potansiyeli, tüm sıcaklıklarda su aktivitesinin artması ile artmıştır. Su aktivitesinin daha yüksek değerlerinde bu artışın ivmesinin daha fazla olduğu görülmektedir. Belirli bir su aktivitesinde yüzey potansiyeline sıcaklığın çok fazla bir etkisi olmamıştır. Literatürde benzer sonuçların rapor edildiği çalışmalar mevcuttur [19, 21].

3.5. Net integral entalpi ve entropi

Herhangi bir spesifik yüzey potansiyelindeki net integral sorpsiyon entalpisi (q_{in}), deneysel verileri en iyi temsil eden modelden elde edilen denge verilerine Eşitlik (11)'un uygulanmasıyla elde edilmiştir. Su moleküllerinin gelişigüzel hareketlerini tanımlayan net integral entropi Eşitlik (12) yardımıyla hesaplanmıştır Adsorpsiyon ve desorpsiyon net integral entalpi ve entropileri nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Baklanın a) net integral entalpi ve b) net integral entropisinin nem içeriği ile değişimi.

Hem adsorpsiyon hem de desorpsiyon için nem içeriğindeki artış ile net integral entalpi azalmıştır. Nem içeriğinin artmasıyla net integral entalpinin değişmesi; su-bakla etkileşiminin su molekülleri arasındaki etkileşimden daha büyük olduğunu gösterir. Bu termodinamik davranış, gıda maddelerinin monotabakasından ileri

gelebilir [54]. Aspir yaprakları ve tarhun [55], yenidünya ve ayva meyveleri [56], susam tohumu [57] ve soya fasulyesi [58] için de net integral entalpilerinde benzer eğilimler gözlenmiştir. Desorpsiyon için net integral entalpi değerleri, adsorpsiyon için net integral entalpi değerlerinden daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bu durum, katı-sıvı etkileşiminin su molekülleri arasındaki etkileşimden daha büyük olduğunu gösterir.

Baklada adsorpsiyon net integral entropisi nem içeriğinin artmasıyla %8'lik nem içeriğine kadar azalmış daha sonra nem içeriğinin artmasıyla artmıştır. Rizvi ve Benado, gıdalarda suyun lokalleşmesi nedeniyle entropi kaybı ve çözünürleştirme ve şişme nedeniyle ortaya çıkan yapısal değişim nedeniyle entropideki artış gibi nem adsorpsiyonuna iki zıt entropik katkının var olduğunu açıklamıştır [39]. Net integral entropi değerleri negatif olması yine bu durumun kimyasal adsorpsiyondan ve/veya adsorbentte meydana gelen yapısal değişikliklerden ileri gelebileceğini şeklinde ifade edilebilir.

4. Sonuç

Baklanın deneysel sorpsiyon verilerinden BET sınıflandırmasına göre tipik J şekilli Tip III sorpsiyon eğrileri elde edilmiştir. Denge nem içeriği; sabit bir sıcaklıkta su aktivitesindeki artış ile artmış, sabit su aktivitesinde ise sıcaklıktaki artış ile azalmıştır. Bu durum daha yüksek sıcaklıklarda baklanın daha az higroskopik olduğunu göstermektedir. Tüm sıcaklıklarda, baklanın adsorpsiyon ve desorpsiyon davranışının farklı olduğu belirlenmiş ve tüm su aktivitesi aralığında histeresis gözlenmiştir.

25, 35 ve 45 °C sıcaklıklar ve % 10-% 90 aralığındaki bağıl nemlerde; baklanın adsorpsiyon izotermlerini tarif etmek için Peleg, Smith, Ferro-Fontan ve Chung-Pfost modellerinin, baklanın desorpsiyon izotermlerini tarif etmek için ise GAB, Henderson ve Chung-Pfost modelleri modellerinin uygun olduğu bulunmuştur. Sorpsiyon modellerinin r^2, E, e_{ort}, RMSE ve χ^2 değerleri incelendiğinde tüm bağıl nem değerlerinde ve sıcaklıklarda bu modeller içinde baklanın adsorpsiyon izotermlerine en iyi uyumu Peleg modelinin, desorpsiyon izotermlerine en iyi uyumu Chung-Pfost modelinin gösterdiği bulunmuştur.

Clausius-Clapeyron eşitliğini kullanarak hesaplanan ve baklanın kurutulması ve depolanması ile ilgili hesaplamalar için faydalı bilgiler veren sorpsiyon izosterik ısısı, nem içeriğinin artması ile azalmıştır. Desorpsiyon izosterik ısısı adsorpsiyon izosterik ısısından daha yüksek bulunmuştur. Baklanın tüm sıcaklıklarda su aktivitesindeki artış ile yüzey potansiyeli artmıştır.

Kaynaklar

[1] Lasekan OO, Lasekan WO. Moisture sorption and the degree of starch polymer degradation on flours of popped and malted sorghum (sorghum bicolor). Journal of Cereal Science 2000; 31(1): 55-61.

[2] Jung J, Wang W, McGorrin RJ, Zhao Y. Moisture adsorption isotherm and storability of hazelnut inshells and kernels produced in Oregon, USA. Journal of Food Science 2018; 83(2): 340-348.

[3] Sun DW, Woods J L. Deep bed simulation of the cooling of stored grain with ambient air: a test bed for ventilation control strategies. Journal of Stored Products Research 1998; 33: 299-312.

[4] Arogba SS. Effect of temperature on the moisture sorption isotherm of a biscuit containing processed mango (Mangifera indica) kernel flour. Journal of Food Engineering 2001; 48: 121-125.

[5] Aguirre-Loredo RY, Rodriguez-Hernandez AI, Velazquez G. Modelling the effect of temperature on the water sorption isotherms of chitosan films. Food Science and Technology 2017; 37(1): 112-118.

[6] Yang Z, Zhu E, and Zhu Z. Water desorption isotherm and drying characteristics of green soybean. Journal of Stored Products Research 2015; 60: 25–30.

[7] Nascimento A, Cavalcanti-Mata ME, Martins Duarte ME, Pasquali M, Lisboa HM. Construction of a design space for goat milk powder production using moisture sorption isotherms. Journal of Food Process Engineering 2019; 42(6): e13228.

[8] Al-Muhtaseb AH, McMinn WAM, Magee TRA. Water sorption isotherms of starch powders Part 1: mathematical description of experimental data. Journal of Food Engineering 2004a; 61: 297-307.

[9] Sandoval AJ, Guilarte D, Barreiro JA, Lucci E, Müller AJ. Determination of moisture sorption characteristics of oat flour by static and dynamic techniques with and without thymol as an antimicrobial agent. Food Biophysics 2011; 6(3): 424–432.

[10] Zhang L, Sun DW, Zhang Z. Methods for measuring water activity (aw) of foods and its applications to moisture sorption isotherm studies. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 2017; 57(5): 1052-1058.

[11] Al-Muhtaseb AH, McMinn WAM, Magee TRA. Moisture sorption characteristics of food products a review. Food and Bioproducts Processing 2002; 80(2): 118-128.

[12] Peleg M. Models of sigmoid equilibrium moisture sorption isotherms with and without the monolayer hypothesis. Food Engineering Reviews 2020; 12: 1–13.

[13] Oliveira GHH, Correa PC, Santos ES, Treto PC, Diniz MDMS. Evaluation of thermodynamic properties using GAB model to describe the desorption process of cocoa beans. International Journal of Food Science and Technology 2011; 46: 2077-2084.

[14] Yazdani M, Sazandehchi P, Azizi M, Ghobadi P. Moisture sorption isotherms and isosteric heat for pistachio. European Food Research and Technology 2006; 223: 577–584.
[15] Menkov ND. Moisture sorption isotherms of broad bean seeds at different temperatures. Food/Nahrung 2000; 44(6): 443-446.
[16] Garvín A, Augusto PED, Ibarz R, Ibarz A. Kinetic and thermodynamic compensation study of the hydration of faba beans (*Vicia faba* L.). Food Research International 2019; 119: 390-397.
[17] Alpizar-Reyes E, Castaño J, Carrillo-Navas H, Alvarez-Ramírez J, Gallardo-Rivera R, Pérez-Alonso C, Guadarrama-Lezama AY. Thermodynamic sorption analysis and glass transition temperature of faba bean (*Vicia faba* L.) protein. Journal of Food Science Technology 2018; 55: 935–943.
[18] AOAC. Official methods of analysis. DC: Association of Official Analytical Chemists Inc. 1980; Washington.
[19] Arslan N, Toğrul H. Modelling of water sorption isotherms of macaroni stored in a chamber under controlled humidity and thermodynamic approach. Journal of Food Engineering 2005; 69: 133-145.
[20] Statistica for Windows 5.0. Computer program manual. Tulsa: StatSoft Inc. 1995.
[21] McMinn WAM, Magee TRA. Thermodynamic properties of moisture sorption of potato. Journal of Food Engineering 2003; 60: 157-165.
[22] Van den Berg C, Bruin S. Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects. In:Water activity: Influences on Food Quality. Rockland LB, Stewart GF, (eds.). Academic Press, New York, 1981: pp. 1-61.
[23] Brunauer S, Emmett PH, Teller E. Adsorption of gases in multimolecular layers. Journal of the American Chemical Society 1938; 60: 309-319.
[24] Henderson SM. A basic concept of equilibrium moisture. Agricultural Engineering 1952; 33: 9-32.
[25] Oswin CR. The kinetics of package life III. The isotherm, Journal of Chemical Industry 1946; 65: 419-421.
[26] Peleg M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. J. Food Process Engineering 1993; 16: 21-37.
[27] Smith SE. The sorption of water vapour by proteins and high polymers. Journal of the American Chemical Society 1947; 69: 646-651.
[28] Caurie M. New model equation for predicting safe storage moisture levels for optimum stability of dehydrated foods. Journal of Food Technology 1970; 5: 301-307.
[29] Halsey G. Physical adsorption on non-uniform surfaces. The Journal of Chemical Physics 1948; 16: 931-937.
[30] Ferro-Fontan C, Chirife J, Sancho E, Iglesias HA. Analysis of a model for water sorption phenomena in foods. Journal of Food Science 1982; 47: 1590-1594.
[31] Kuhn I. A generalized potential theory of adsorption: I. The derivation of a general equation for adsorption isotherms. Journal of Colloid and Interface Science 1967; 23: 563-571.
[32] Chung DS, Pfost HB. Adsorption and desorption of water vapour by cereal grains and their products. Part II: development of the general isotherm equation, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 1967; 10: 552-555.
[33] Castillo E, Ruiz TE, Stuart R, Galindo J, Hernandez JL, Diaz H. Effect of the protein-energetic supplementation on the performance of male bovines grazing natural pastures associated with a mixture of creeping legumes. Cuban Journal of Agricultural Science 2003; 37(2): 143-147.
[34] Siripatrawan U, Jantawat P. Determination of Moisture Sorption Isotherms of Jasmine Rice Crackers Using BET and GAB Models. Food Science and Technology International 2006; 12(6): 459-465.
[35] Viganó J, Azuara E, Telis VRN, Beristain CI, Jiménez M, Telis-Romero J. Role of enthalpy and entropy in moisture sorption behavior of pineapple pulp powder produced by different drying methods. Thermochimica Acta 2012; 528: 63-71.
[36] Iglesias HA, Chirife J. Isosteric heats of water vapour sorption in dehydrated foods. Part 1. Analysis of differential heat curve. LWT-Food Sci.Technol. 1976; 9: 116-122.
[37] Dent RW. A multilayer theory for gas sorption. Part 1: Sorption of a single gas. Textile Research Journal 1977; 47: 145-152.
[38] Fakhfakh R, Mihoubi D, Kechaou N. Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of bovine leather. Heat Mass Transfer 2018; 54: 1163–1176.
[39] Rizvi RRH, Benado AL. Thermodynamic analysis of drying foods. Food Technology 1983; 2: 471-502.
[40] Mazza G, LeMaguer M. Water sorption properties of yellow globe onion (Allium cepa L.). Canadian Institute of Food Science and Technology Journal 1978; 11: 189–193
[41] TÜRKOMP (Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı). Baklanın besinsel içeriği. http://www.turkomp.gov.tr/food-bakla-216 (Erişim Tarihi:25.07.2022)
[42] Palipane KB, Driscoll RH. Moisture sorption characteristics of inshell macadamia nuts. Journal of Food Engineering 1992; 18: 63-76
[43] Benado AL, Rizvi SSH. Thermodynamic properties of water in rice as calculated from reversible and irreversible isotherms. Journal of Food Science 1985; 50: 101-105.
[44] Polatoğlu B, Beşe AV, Kaya M, Aktaş N. Moisture adsorption isotherms and thermodynamics properties of sucuk (Turkish dry-fermented sausage). Food and Bioproducts Processing 2011; 89:449-456.
[45] Polatoğlu B, Beşe AV, Kaya M, Aktaş N. Thermodynamic analysis of experimental adsorption isotherms of Pastirma (Turkish dry meat product). Journal of Food, Agriculture & Environment 2013; 11 (3&4): 20803 -2809.

[46] Rizvi SSH. Thermodynamic properties of foods in dehydratation. In: Engineering properties of foods (2nd. ed.*)*. Rao AM, Rizvi SSH (Eds.). Marcel Dekker, New York, 1995: pp. 239-307.
[47] Al-Muhtaseb AH, McMinn WAM ve Magee TRA. Water sorption isotherms of starch powders Part 2: Thermodynamic characteristics. Journal of Food Engineering 2004b; 62: 135-142.
[48] Haque MA, Shimizu N, Kimura T, Bala BK. Net Isosteric Heats of Adsorption and Desorption for Different Forms of Hybrid Rice, International Journal of Food Properties 2007; 10(1): 25-37.
[49] Lahsasni S, Kouhila M, Mahrouz M. Adsorption–Desorption Isotherms and Heat of Sorption of Prickly Pear Fruit (Opuntia ficus indica). Energy Conversion and Management 2004; 45(2): 249–261.
[50] Erbaş M, Ertugay MF, Certel M. Moisture adsorption behaviour of semolina and farina. Journal of Food Engineering 2005; 69 (2):191-198.
[51] Taitano LA, Singh RP, Lee JH, Kong F. Thermodynamic analysis of moisture adsorption isotherms of raw and blanched almonds. Journal of Food Process Engineering 2012; 35(6): 840-850.
[52] Aouaini F, Knani S, Ben Yahia M, Ben Lamine A. Statistical physics studies of multilayer adsorption isotherm in food materials and pore size distribution. Physica A 2015; 432: 373-390.
[53] Yogendrarajah P, Samapundo S, Devlieghere F, De Saeger S, De Meulenaer B. Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of whole black peppercorns (Piper nigrum L.). LWT-Food Science and Technology 2015; 64: 177-188.
[54] Fasina O, Ajibola O, Tyler R.Thermodynamics of moisture sorption in winged bean seed and gari. Journal of Food Process Engineering 1999; 22: 405-418.
[55] Kaya K, Kahyaoglu T. Moisture sorption and thermodynamic properties of safflower petals and tarragon. Journal of Food Engineering 2007; 78: 413-421.
[56] Moreira R, Chenlo F, Torres MD, Vallejo N. Thermodynamic analysis of experimental sorption isotherms of loquat and quince fruits. Journal of Food Engineering 2008; 88(4): 514-521.
[57] Aviara NA, Ajibola OO, Dairo UO. (2002). Thermodynamics of moisture sorption in sesame seed. Biosystems Engineering 2002; 83(4): 423-431.
[58] Aviara NA, Ajibola OO, Oni SA. (2004). Sorption equilibrium and thermodynamic characteristics of soya bean. Biosystems Engineering 2004; 87(2): 179-190.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 733-742, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1126688

Sahte Haber Tespiti için Derin Bağlamsal Kelime Gömülmeleri ve Sinirsel Ağların Performans Değerlendirmesi

Cengiz HARK[1*]
[1]Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Bilgisayar Bilimleri, Malatya, Türkiye
[*1]cengiz.hark@inonu.edu.tr

(Geliş/Received: 06/06/2022; Kabul/Accepted: 08/09/2022)

Öz: Artan internet ve sosyal medya kullanımı ile sosyal medya ve online haber siteleri bilgi içeriklerini oluşturmada ve yaymada önemli kaynaklar haline gelmişlerdir. Ancak online bilginin miktarı ve üretilme hızından ötürü insan eliyle doğrulanması mümkün olamamaktadır. Dahası rejimler, hükümetler ve etnik kökenler denetimden uzak sahte haberlerin yıkıcı etkisine maruz kalmakta ve bu olumsuz etkilerin minimuma indirgenmesi için yeni teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda farklı doğal dil işleme görevlerinde ön-eğitimli modeller başarı ile kullanılmaktadır. Derin sinir ağı ve kavramsal kelime gömülmelerinin birlikte kullanılması durumunda hangi sınıflandırıcının daha verimli olduğu hususu yeterince net değildir. Bu noktada kapsamlı ve karşılaştırmalı çalışmanın eksikliğinden ötürü Global Vektörler (GloVe) gömülme katmanının sağladığı bağlamsal temsiller ile dört farklı sınıflandırıcı deneysel sürece dahil edilmiştir. GLoVe katmanından sonra Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi-Layer Perceptron, MLP), Uzun Ömürlü Kısa Dönem Bellek Ağı (Long-Short Term Memory, LSTM), Yinelemeli Sinir Ağları (Recurrent Neural Network, RNN) ve Evrişimsel Sinir ağları kullanılmıştır (Convolutional Neural Network, CNN). Deneysel çalışmalarda açık erişimli COVID-19 isimli sahte haber tespit veri seti kullanılmış, başarımı çeşitli performans metrikleri ile hesaplanmıştır. En yüksek başarım %91 ile LSTM tarafından rapor edilmiştir. Ön-eğitimli kelime gömülmelerinin farklı sinirsel ağlardan bağımsız olarak yüksek bir hassasiyetle sahte haberlerin tespitinde kullanılabileceğini gösteren umut verici sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Doğal Dil İşleme, Kelime Gömülmeleri, Sahte Haber Tespiti, Kavramsallaştırılmış ön-eğitimli kelime Gömülmeleri, Yapay Zekâ.

Performance Evaluation of Deep Contextual Word Embeddings and Neural Networks for Fake News Detection

Abstract: With the increasing use of the internet and social media, social media and online news sites have become essential sources in creating and disseminating information content. However, due to the amount and production speed of online information, it is impossible to verify it with human hands. Moreover, regimes, governments, and ethnicities are exposed to the devastating effects of uncontrolled fake news, and new technologies are needed to minimize these harmful effects. Recently, pre-trained models have been used successfully in different natural language processing tasks. However, it is not clear enough which classifier is more efficient when deep neural networks and conceptual word embeddings are used together. At this point, due to the lack of comprehensive and comparative study, Global Vectors (GloVe) were included in the experimental process with four different classifiers with the contextual representations provided by the pre-trained word embedding layer. After the GLoVe layer, Multi-Layer Perceptron (MLP), Long-Short Term Memory Network (LSTM), Recurrent Neural Networks (RNN), and Convolutional Neural networks (CNN) are used. In experimental studies, an open access fake news detection dataset named COVID-19 was used, and its performance was calculated with various performance metrics. LSTM Network reported the highest performance of 91%. Promising results are presented, showing that pre-trained word embeddings can be used to detect fake news with a high sensitivity independent of different neural networks.

Key words: Natural Language Processing, Word Embeddings, Fake News Detection, Contextualized Pre-trained, Artificial Intelligence.

1.Giriş

Toplumlar günümüz bilgi çağında, çeşitli kaynaklardan anlık olarak bilgi alıp paylaşabilmektedir. İnternetin yaygınlaşmasıyla birlikte insanların internetten haber almaları diğer geleneksel mecralara göre daha kolay ve elverişli hale gelmiştir [1].

* Sorumlu yazar: cengiz.hark@inonu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0002-5190-3504

Ne yazık ki, açık internet, etkili bir denetim olmaksızın pek çok sahte haberin yayılmasını kolaylaştırmaktadır. Yalan haber Türk Dil Kurumu sözlüğünde "Gerçek olmayan, uydurma haber" olarak tanımlanmaktadır [2]. Bir başka tanımlamaya göre yalan haber kasıtlı bir biçimde okuyucuları yanlış yönlendiren haberlerdir [3]. [4] ise belirli finansal kazançlar için farklı hizmetler kullanan birden fazla sosyal ağ kullanıcısı aracılığıyla yayılan yanıltıcı bilgiler olarak tanımlamaktadır. Sahte haberler, kolay erişim ve hızlı yayılma özellikleriyle kamuoyunu kolayca yanıltabilmekte, toplumsal düzene zarar verebilmekte, sosyal medyanın güvenilirliğini azaltmaktadır. Ayrıca tarafların çıkarlarını zedeleyerek güven bunalımlarına neden olabilmektedir. Tüm bu nedenlerden ötürü son yıllarda sahte ve yalan haberlerin yayılması dünya çapında bir sorun haline gelmiştir. Yalan haberlerin tespitine yönelik yöntemlerin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Sahte haber tespit problemini en basit haliyle bir metin sınıflandırma problemine indirgemek mümkündür [5]. Sahte haberlerin tespiti için birçok çalışmada araştırmacılar yazım stillerine odaklanarak metinleri gerçek veya yalan haberler olarak sınıflandırmayı denemiş olsalar da [6] bu yaklaşımlar ile incelenen haberlerde tam bir netlik sağlayamamışlardır. Buna karşılık bilgi bazlı sahte haber tespit sistemleri stil ve biçimden ziyade içeriğe odaklandıkları için daha umut verici neticelere ulaşmışlardır [7]. Son zamanlarda donanım, veri setleri ve algoritmalardaki iyileştirmeler gibi üç teknik noktada büyük ilerleme kaydedilmiştir. Bu nedenlerden ötürü, araştırmacılar farklı doğal dil işleme (DDİ) görevlerinde metin içeriklerinden değerli bilgileri çıkarmak için derin sinir ağlarına yönelebilmişlerdir [8]. Sahte haber tespitinde araştırmacılar, oldukça popülerleşen kavramsallaştırılmış ön-eğitimli kelime gömülme yöntemlerini kullanarak, denetimli veya denetimsiz öğrenme yöntemlerini uygulamaktadırlar. 2017 yılında önerilen Transformer mimarisinin [9] temellerini oluşturduğu ön-eğitimli kelime gömülmeleri dikkatleri üzerine toplamıştır. Ek olarak bu yükseliş dizi kodlama ve kod çözme mimarisinin oluşmasında da önemli bir rol oynamıştır. Ön eğitimli modellerin farklı özelliklere sahip olan sinir ağları ile beraberce kullanılarak yalan haber tespiti gibi güncel ve zorlu bir görevde ortaya konulan performansların ayrı ayrı değerlendirilmesi yazarları motive etmiştir. Çalışma kapsamında yalan haber tespiti amacı ile farklı sinirsel sınıflandırıcıların kullanılmasına yönelik kapsamlı ve karşılaştırmalı çalışmanın eksikliği yazarların bir başka motivasyonu olmuştur.

Sahte haber tespiti görevi için kelime gömülme modelleri ve derin sinirsel ağların beraberce kullanılması hususunda; önceden eğitilmiş modellerin hangi sinir ağı türleri ile daha verimli olduğunun araştırılması oldukça önemlidir.

Bu çalışma kapsamında MLP, LSTM, RNN ve CNN gibi dört farklı sinir ağı mimarisi etkili bir kavramsallaştırılmış metin temsil modeli olan GloVe ile beraber kullanılmaktadır. Kavramsallaştırılmış metin temsiline ve derin sinir ağlarına dayalı sahte haber tespiti için bir dizi deneysel süreç gerçekleştirilmiştir. Ön eğitimli kelime gömülmelerinin ve sinir ağlarının farklı kombinasyonlarını detaylı bir şekilde rapor eden bir dizi deneysel süreç gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın sonraki bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: ikinci bölüm sahte haber tespiti ile ilgili literatürdeki mevcut çalışmaların bir incelemesin sunulduğu, üçüncü bölüm ise kullanılan materyal ve metotların açıklandığı bölümdür, deneysel süreçlere dair detaylı bulgular dördüncü bölümde yer alırken beşinci bölümde çalışmaların sonuçları yorumlanmıştır.

2. İlişkili Çalışmalar

Sahte haberlerin tespit edilebilmesi oldukça yeni bir çalışma alanı olmasına rağmen araştırmacıların oldukça yoğun ilgisi söz konusudur. Sahte haber biçimindeki kötü niyetli içeriğin tespiti, araştırmacılar için oldukça zorlayıcı bir süreçtir. Çeşitli veri türlerinde sahte haberleri tespit etmek için çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir. Bu bölümde sahte haber tespiti ile ilgili literatürdeki mevcut çalışmaların bir incelemesi sunulmuştur.

Araştırmacılar genelde, sahte haberlerdeki kalıpları belirlemek için denetimli makine öğrenimi (MÖ) algoritmalarını kullanmaya odaklanarak yalan haberleri yayılmadan önce tespit etmeye çalışırlar. Bu yaklaşım ile doğru ve yalan haberlerden oluşan etiketli veri setleri belirli algoritmalar ile kullanılmaktadır. Sonraki aşamada sunulan model daha önce karşılaşılmayan haber metinlerinin doğru veya yanlış olduğuna yönelik olarak çıkarımlarda bulunabilmektedir [10]. Dünya çapında araştırmacılar tarafından sahte haberleri sınıflandırmak için Denetimli öğrenme kapsamında CNN, destek vektör makineleri, karar ağaçları gibi algoritmalar kullanılmaktadırlar [4][11]. Bu bağlamda gerçekleştirilen çalışmalara özellik seçme ve özellik çıkarma gibi birçok DDİ teknikleri eşlik etmektedir. Bahsedilen teknikler Terim frekansı, kelime çantası, Word2Vec vb.. metin işleme teknikleridir. Ancak bu sayede metinler algoritmalar tarafından kullanılabilen sayısal temsillere dönüştürülerek metinlere ait özellik alt kümeleri elde edilebilmektedir [4]. Denetimli öğrenme mimarileriler arasında CNN mimarileri en yaygın kullanılan yöntem olarak kabul görmektedir. Sahte haberlerin sınıflandırılmasında da hayati bir rol oynamaktadır. Kaliyar ve ark. [5] FNDNet adını verdikleri modellerinde kullanıcı tarafından belirlenen özelliklere bağlı kalmadan parametre optimizasyonu ile derin öğrenmeyi beraber kullanmışlardır. Ahmed ve ark.

[12] Farklı MÖ algoritmalarını karşılaştırdıkları çalışmalarında karar ağaçlarını kullanmışlardır. Tanıttıkları modeli iyi bilinen üç farklı veri seti ile test etmişlerdir.

Bir kısım araştırmacı ise denetimsiz öğrenme algoritmalarını kullanarak, etiketlenmemiş girdi verilerindeki anlamlı ve faydalı kümeleri tespit etmek ve ardından yalan haberleri tespit etmek yoluna gitmiştirler. Sahte haberlerin tespiti için mevcut en modern denetimsiz öğrenme algoritmalarından birisi Zhang ve ark. [13] tarafından tanıtılmıştır. İlgili çalışmada araştırmacılar, metodolojiler ve algoritmalar üzerinde çalışarak sahte haberler, sahte haberlerin yazarları ve sahte haber konularını belirlemeye çalışmışlardır. Yine aynı çalışma kapsamında haberlerin, haber yazarlarının ve haber konularının arasındaki çeşitli ilişkilere ve sahte haberlerin bilinmeyen karakteristiklerine odaklanmışlardır.

Denetimli ve denetimsiz öğrenmeye ilaveten bir grup araştırmacı pekiştirmeli öğrenme metotlarını kullanarak sahte haberlerin tespitine yönelik araştırmalar yapmışlardır. Pekiştirmeli öğrenmenin her adımda uygulandığı sistemden geri bildirim alarak çıkış veriyor olması sahte haber tespiti noktasında verimli olabilmesine olanak tanımaktadır. [14]'de araştırmacılar blockchain ve Bi-LSTM tabanlı bir sınıflandırıcı model sunmuşlar ve sahte haber sınıflandırma problemine katkı sunmuşlardır.

Araştırmacıların bir grubu yarı denetimli öğrenme çerçevesinde sahte haber tespiti görevine odaklanmışlardır. Mansouri ve ark. [15] hem etiketli hem de etiketsiz verileri kullandıkları bir CNN modeli önermişlerdir. Modellerinde resim ve metin verilerinin özelliklerini çıkarmışlardır. Sonraki aşamada ise etiketsiz verilerin sınıf bilgilerini tahmin etmek için olasılık tabanlı bir konu modelleme yöntemi kullanmışlardır.

Ayrıca çok sayıda deneysel çalışma topluluk yaklaşımlarının tek bir modele göre daha başarılı olabileceğini ortaya koymuştur. Belirtilen görev kapsamında topluluk öğrenme yöntemleri ile başarılı sonuçların rapor edildiği çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Böyle bir topluluk yaklaşımı Mahabub ve ark. [16] tarafından tanıtılmıştır. Yaygın olarak kullanılan on bir MÖ yaklaşımını çalışmalarına dahil ederek en iyi üç MÖ yöntemini çalışmalarında kullanmışlardır. Doğruluk açısından yüksek değerler elde edebilmişlerdir.

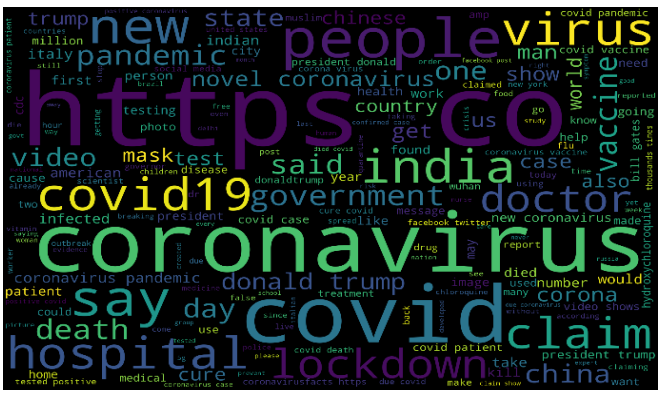
Bu çalışmada sahte haber tespiti gibi karmaşık ve zorlayıcı bir amaç için, sinirsel sınıflandırıcılar ve ön-eğitimli kelime gömülmelerinin hangi kombinasyonlarının daha iyi performans rapor ettiği araştırılmıştır. Çalışmada COVID-19 adlı sahte haber tespit veri seti [17] ve GloVe [18] ön eğitimli kelime gömülme katmanının sağladığı bağlamsal temsiller kullanılmıştır. Karşılaştırmalı performans değerlerinin elde edildiği bu kapsamlı çalışmada MLP, LSTM, RNN ve CNN kullanılarak haber metinleri sınıflandırılmıştır.

3. Materyal ve Metotlar

Bu çalışmada sahte haber tespiti için ön-eğitimli kelime gömülmeleri ve derin sinirsel sınıflandırıcılara dayalı bir model önerilmiştir.

3.1. Veri Seti

COVID-19 pandemisi tüm dünyayı etkisi altına aldığında teyide muhtaç haber ve bilgiler sosyal medya kullanıcıları tarafından büyük bir hızla yayılmaya başlamıştır. Bu zararlı ve yıkıcı etkinin motive ettiği bir araştırmacı grubu [17] twitter dan sahte ve gerçek haber sınıflarını içeren oldukça kapsamlı bir veri seti hazırlamıştır. Araştırmacıların COVID-19 adını verdikleri veri kümesi 10700 gönderiden oluşmaktadır. Sahte haberler, haber doğrulama internet sayfalarından elde edilirken gerçek haberler ise 14 resmi sosyal medya hesabı kullanılarak doğrulanmış ve bu bilgilere dayanarak iki sınıflı olacak biçimde etiketlenmişlerdir. Şekil 1, COVID-19 veri setinde yer alan kelimelerin sıklıklarını vurgulamaktadır.



Şekil 1. COVID-19 veri setine ait kelime bulutu

Real sınıfı COVID-19 hakkında resmi hesaplar tarafından doğrulanabilen Twitter gönderilerini içermektedir. Fake sınıfı ise doğrulanamayan dolayısı ile spekülasyon ve iddia olduğu düşünülen gönderilerden oluşmaktadır. Fake sınıfı kayıtları içinde Facebook ve Twitter'ında bulunduğu farklı sosyal medya platformlarından ve çeşitli internet sayfalarından toplanmışlardır. Kullanılan veri seti sınıf sayıları bakımından oldukça dengeli ve tutarlıdır. Tablo 1 veri seti hakkında bazı istatistiki bilgiler içermektedir.

Tablo 1. COVID-19 veri setine ait istatistiki bilgiler

Veri Kümeleri	Etiketler		Toplam
	Real	Fake	
Eğitim	3360	3060	6420
Doğrulama	1120	1020	2140
Test	1120	1020	2140

3.2. Metin Gömülmeleri

Sinir ağları ham metin verilerini girdi olarak alamazlar. Sadece sayısal tensörleri girdi olarak alabilirler. Metinleri vektörlerle temsil etmek için sayısal tensörlere dönüştürmek gerekmektedir. Sözü edilen dönüştürme işlemi kelime, karakter veya n-gram bazlı olarak yapılmaktadır. Nihai amaç metinleri tokenlarına (andıçlarına) ayırmaktır. Daha sonra her bir andıç sayısal tensörlerle ilişkilendirilir. Böylelikle metinlerden andıçlara, andıçlardan da vektörlere temsil gerçekleştirilir. Bu aşamada bir-eleman-bir kodlama sık kullanılan yöntemlerden birisidir. Ancak belirtilmelidir ki bir-eleman-bir kodlama ikili ifade şeklinden ötürü seyrek bilgi içerir ve kelime sayısı kadar boyuta sahiptir. Derin sinir ağları bu vektörlerle beslenebilmektedir. Metinleri vektörlerle temsil etme noktasında bir başka tercih ise oldukça güncel bir temsil şekli olan kelime gömülmeleridir. Bir-eleman-bir kodlamadan farklı olarak vektörler küçük boyutlu ondalık değerlerden oluşmaktadır. Çok boyutlu bir temsil söz konusu değildir [19].

Kelime gömülmeleri ile çok büyük miktarlara sahip veri havuzları sıkıştırılarak daha kabul edilebilir boyutlara indirgenebilmektedir. Kelime veya andıç sayısından farklı olarak 256-512 gibi sabit uzunlukta vektörler ile çalışılabilir. Kelime gömülmeleri ile temsil deki en büyük yenilik vektörlerin metinlerden öğrenilmesidir. Belirtilen tüm bu yenilik ve avantajlarından ötürü bu çalışma kapsamında sabit uzunluklu, sıkıştırılmış kelime vektörleri kullanılmaktadır. Kelime gömülmeleri ile üç boyutlu uzayda geometrik yakınlığın anlamsal yakınlık ile uyumlu olduğu bir ilişki kümesi elde edilmektedir (zıt anlamlı kelimelerin kelime vektör uzayında da uzak noktalarda konumlandırılması beklenmektedir) [4],[18].

Kelime gömülmeleri elde edilirken rastgele değerlerin atandığı vektörler ile çalışılarak ağın bu başlangıç değerlerini süreç içinde öğrenmesi ile vektörler elde edilebilmektedir. Tasarlanan model öğrenme sürecinde alacağı geri besleme ile vektörleri güncelleyecek, modele ve/veya eğitim verisine bağlı olarak kelime gömülme uzayını oluşturacaktır. Bu yaklaşım biçimi ile görev ve eğitim verisine en uygun kelime uzayı elde edebilmek mümkün olmaktadır (yeterli eğitim verisi mevcut olması koşulu ile). Bu durum göreve özel gömülmelerin elde edilmesini sağlamaktadır. Ağın ne denli iyi tasarlandığından bağımsız olarak yeterli eğitim verisi bulunmadığında ise yüksek temsil gücüne sahip başarılı kelime gömülmeleri elde edilememektedir. Yeterli eğitim verisinin mevcut olmaması durumunda ön eğitimli metin gömülmelerini kullanmak yerinde bir yaklaşımdır. Göreve özel olarak önceden oluşturulmuş gömülmeler dilin ve görevin genel yapısına ait nitelik ve özellikler taşıyabilmektedir. Farklı ön eğitimli kelime gömülmelerini farklı görevlerde kullanabilmek mümkündür. Kelime gömülmelerinin araştırma alanlarında kullanılarak yaygınlaşması ise Mikolov ve ark. [20] nın geliştirdiği word2vec algoritmasından sonra mümkün olmuştur. Akabinde araştırmacılar ve endüstri tarafından farklı kelime gömülme çalışmaları sunulmuştur ve yaygınlaşmıştır.

Çalışma kapsamında sahte haber tespiti için GloVe kelime gömülme tekniği kullanılmıştır. GloVe ön eğitimli modeli paralel çalışma prensibinden ötürü kolaylıkla eğitilebilmektedir. Wikipedia verileri kullanılarak oluşturulan GloVe ile anlamsal ilişkilerin tespiti mümkün olabilmektedir. Çalışma kapsamında 400000 kelimelik bir kütüphane üzerinde hazırlanan ve 100 boyutlu gömülmeler içeren GloVe kelime gömülme modeli kullanılmıştır.

GloVe modeline ait amaç fonksiyonu X_{ij} matrisi için;

$$J = \sum_{i,j=1}^{n} f(X_{ij})\left(w_i^T w_j + b_i + b_j - \log x_{ij}\right)^2 \quad (1)$$

Denklem 1'deki f ağırlık fonksiyonu, w_i ve w_j GloVe modelinin minimize ederek öğrendiği iki vektördür.b_i ve b_j ağırlık değerleridir.

3.3. Sınıflandırıcılar

3.3.1 Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı

Farklı uygulama alanlarındaki sınıflandırma ve regresyon problemlerini çözmek için kullanılan en yaygın mimarilerden birisi MLP sinir Ağlarıdır. Bir girdi katmanından, bir veya daha fazla katmanlardan oluşan ara katmanlardan ve son olarak bir çıktı katmanından oluşmaktadır. Gizli katmandaki nöronlar, önceki ve sonraki katmanların nöronlarına tamamen bağlıdır. Kabaca girdi katmanına yakın olan katmanlar alt katmanlar, çıktı katmanına yakın olan katmanlar ise üst katmanlar olarak adlandırılmaktadır. MLP sinir ağları ileri beslemeli sinir ağlarına bir örnektir [21]. Deneysel süreçler boyunca 128 birimden oluşan 1 gizli katman kullanılmıştır. Tam bağlı gizli katmanda Relu aktivasyon fonksiyonu kullanılırken çıkış katmanında ise sigmoid aktivasyon fonksiyonuna yer verilmiştir.

3.3.2 Yinelemeli Sinir Ağları

RNN'ler daha önce öğrendiği bilgiyi korurken aynı anda yeni bilgiler geldikçe arttırımlı olarak öğrenme sürecini sürdürme prensibinden yola çıkılarak tasarlanmış sinir ağlarıdır. Öğrenme sürecinde o ana kadar öğrenilen bilgiyi durum bilgisi olarak saklarlar. Özetle yapısında döngü bulunduran bir sinir ağıdır. CNN'lerden farklı olarak veriyi bir defa da değil sıralı olarak iç döngüsü içinde işlerler [22]. Girdi boyutu ile uyumlu olacak biçimde kurulan model 32 birimli RNN'de Relu aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Çıkış katmanında ise sigmoid aktivasyon fonksiyonu tercih edilmiştir.

3.3.3 Uzun Ömürlü Kısa Dönem Bellek

RNN mimarilerinde her bir dönüşüm anında sisteme yeni ihmaller katılmakta ve verinin bir kısmı kaybedilmektedir. Bu durum uzun veri dizilerinde başarımın düşmesine neden olmaktadır. Kısa dönemli bellek problemlerinin aşılması amacı ile uzun ömürlü bellekler içeren farklı hücrelerden oluşan yeni sinir ağı mimarileri tanıtılmıştır. Bu geliştirim zaman içinde aşamalar halinde gerçekleştirilmiştir. Bu tarz uzun ömürlü bellek hücrelerinden birisi LSTM hücreleridir. Çalışma prensibi bakımından RNN'lerin gelişmiş bir versiyonudur. Geçmiş bilginin unutulmaması ve sonraki adımlara aktarılabilmesi durumu mümkün olmaktadır [23]. Çalışma kapsamında LSTM katmanlarından oluşan bir ağ oluşturulmuş ve 128 birimli hücre kullanılmıştır. RNN ile uyumlu olacak şekilde aktivasyon fonksiyonları seçilmiştir.

3.3.4 Evrişimsel Sinir Ağları

CNN mimarileri bilgisayarlı görü uygulamalarında özellikle resim sınıflandırma uygulamalarında oldukça verimli bir biçimde kullanılmaktadır. Ayrıca CNN'ler dizi işleme problemlerinde de kullanılabilmektedir. Bu durunda tek boyutlu dizilere ilaveten zamanı ikinci boyut olarak düşünmek gerekmektedir. Güncel çalışmalar incelendiğinde metin sınıflandırma çalışmalarında CNN mimarileri RNN mimarilerini geride bırakabilmektedir. CNN'ler resimlerde olduğu gibi bir boyutlu diziler üzerinde de bölgesel dizileri öğrenebilmektedir. Metinler içerisinde özel bir kısımda öğrenilen örüntü ve ilişkiler metnin farklı noktalarında da tekrar tanınabilir. Böylelikle CNN modelleri metinlerin morfolojisini öğrenebilmektedir [24]–[28].

Çalışma kapsamında metinleri oluşturan andıçların ilişki ve örüntülerini keşfetmek için modellenen evrişimsel sinir ağımızın giriş katmanına ön-eğitimli GloVe modelinin çıktısı bağlanmıştır. Modellenen CNN, boyutları 3, 4 ve 5 olan üç adet paralel evrişim katmanından oluşturulmuştur. Oluşturulan paralel katmanların her biri ayrı ayrı max-pooling katmanında birleştirilerek ayrı ayrı çıkarılan özelliklerin oluşturduğu bir öz nitelik

vektör elde edilir. Haberlerin sahte veya doğru şeklinde iki etiket ile sınıflandırılması görevi için binary cross-entropi kayıp fonksiyonu kullanılmıştır.

Tablo 2. Kullanılan Sinir ağları ve bazı parametreleri

Sinir Ağı Mimarisi	Optimizer	Kayıp Fonksiyonu	Çıkış Katmanı Aktivasyon Fonksiyonu
MLP	adam	binary crossentropy	sigmoid
RNN	adam	binary_crossentropy	sigmoid
LSTM	adam	binary_crossentropy	sigmoid
CNN	adam	binary_crossentropy	sigmoid

Tablo 2 kullanılan algoritmaları ve parametrelerini içermektedir.

3.4. Performans Metrikleri

Bu çalışmada sahte haber tespiti için derin bağlamsal kelime gömülmeleri ve derin sinir ağlarının performanslarını değerlendirmek için hata matrisi ve alıcı-işletim karakteristiği (AİK) eğrilerinden yararlanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Temel olarak dört değerden oluşturulan hata matrisi sınıflandırma sonucunda var olan durumlar için sınıflandırmanın doğru ve yanlış tahmin sayılarının verildiği tablodur. Bu dört değer doğru pozitif (DP), doğru negatif (DN), yanlış pozitif (YP) ve yanlış negatif (YN) değerleridir. Karışıklık matrisi değerlerine göre sınıflandırma işlemi performans değerlendirmesi için tanımlanmış bazı önemli metrikler Tablo 3'de özetlenmiştir. Hata matrisinden türetilen doğruluk, duyarlılık ve özgüllük metrikleri ilgili tabloda yer almaktadır.

Tablo 3. COVID-19 veri setine ait istatistiki bilgiler

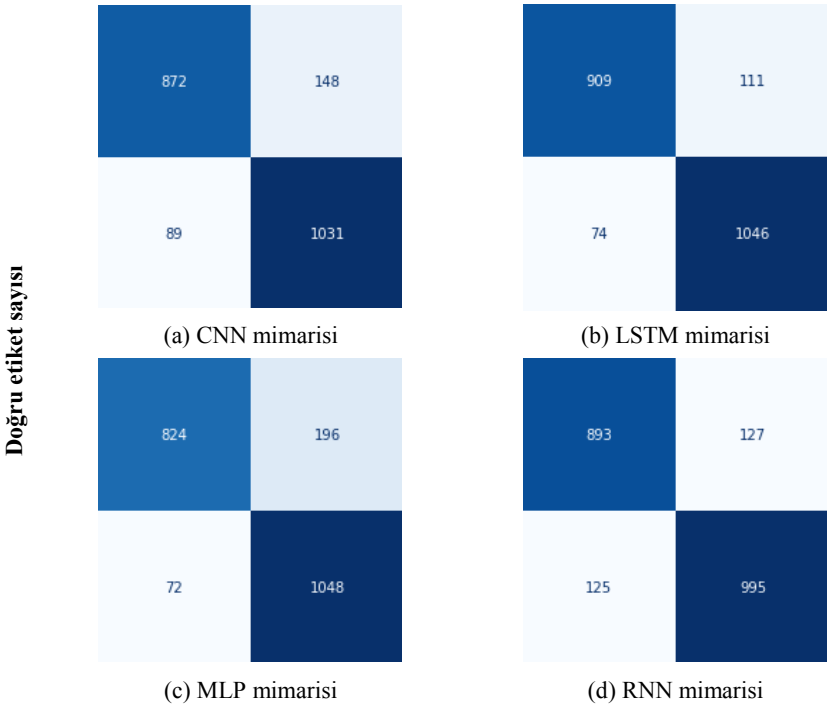
Değerlendirme Metriği	Formül	Tanım
Doğruluk	$\frac{DP + DN}{\mathrm{DP} + \mathrm{DN} + \mathrm{YP} + \mathrm{YN}}$	Tüm örnekler bazında doğru gerçekleşen tahmin oranıdır.
Duyarlılık	$\frac{\mathrm{DP}}{\mathrm{DP} + \mathrm{YN}}$	Pozitif örnekler içinde doğru pozitif tahmin oranıdır.
Özgünlük	$\frac{\mathrm{DN}}{\mathrm{DN} + \mathrm{YP}}$	Negatif örnekler içinde doğru negatif tahmin oranıdır.

AİK eğrileri ikili sınıflandırıcılar için yaygın olarak kullanılan araçlardan biridir. Gerçek pozitif oranı yanlış pozitif oranına göre elde edilen bu eğri deneysel çalışma boyunca başvurulan bir başka araçtır. Bu araç ile yanlış pozitifleri azaltma doğru pozitiflerin tespit edilme kabiliyeti değerlendirilir. AİK değerinin artması sistemin tespit performansının iyileştiğini göstermektedir.

4. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada kapsamında ön-eğitimli kelime gömülmelerinin sahte haber tespiti gibi zorlayıcı bir görev üzerindeki başarımı farklı derin öğrenme mimarileri üzerinde incelenmiştir. Bu kapsamda önerilen tüm modeller üst düzey yapay sinir ağları oluşturmak için imkan sağlayan keras kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ek olarak sklearn, numpy gibi programlama kütüphaneleri de kullanılmıştır. Kullanılan ön-eğitimli kelime modeli GloVe, 6 milyon andıç, 400000 kelime ve 100 boyutlu gömülme vektörü olacak biçimde seçilmiştir.

Sahte haber tespiti için ikili sınıflandırma görevi biçiminde modellenen çalışmayı değerlendirmek için, sınıf sayıları bakımından oldukça dengeli veriler içeren COVID-19 [17] veri seti kullanılmıştır. Şekil 2 ve Tablo 4 GLoVe kelime gömülmeleri kullanılarak farklı sinir ağı mimarileri üzerinde sunulan modelin sınıf düzeyinde performanslarını sunmaktadır. Gerçekleştirilen deneysel süreçler neticesinde Şekil 2'de sunulan hata matrisleri elde edilmiştir. Tablo 4'de ise Şekil 2'deki hata matrislerinden elde edilen f-puan metrikleri rapor edilmiştir. Hata matrislerini oluşturan satır ve sütunlar sırasıyla doğru ve yanlış sınıflarını temsil etmektedirler. Tablo 4, COVID-19 veri seti üzerinde GloVe kelime gömülmeleri ile farklı modellerin sınıflandırma düzeyinde elde ettikleri başarımı göstermektedir.



(a) CNN mimarisi (b) LSTM mimarisi

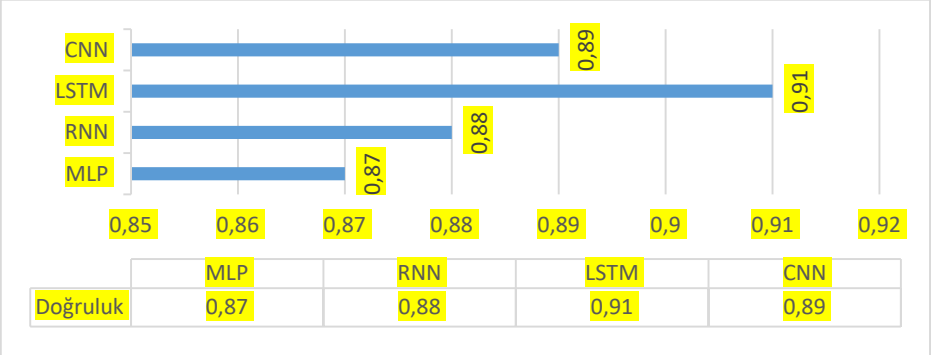
(c) MLP mimarisi (d) RNN mimarisi

Şekil 2. Modellere ait hata matrisleri

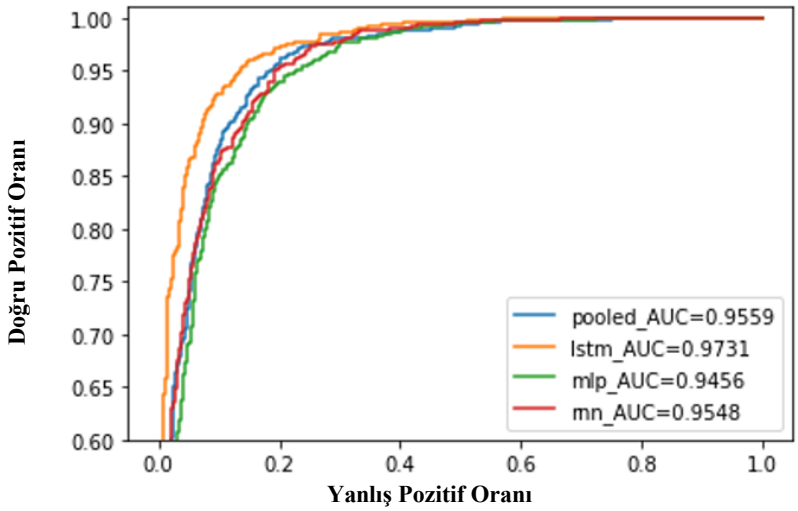
Tablo 4. Farklı mimarilerin, COVID-19 veri seti'nin test kümesinde ki her sınıf için hesaplanan f1-puanı

Mimari	F-puanı	
	Doğru Haber	Yanlış haber
MLP	0,89	0,86
RNN	0.89	0.88
LSTM	0.92	0.91
CNN	0.90	0.88

Tablo 4 incelendiğinde her iki sınıf için (doğru ve yanlış sınıfları) LSTM mimarisinin diğer yöntemleri geride bıraktığı gözlemlenmektedir. Ayrıca CNN'in ikinci en yüksek f-puan değerlerini elde ettiği görülmektedir. MLP ve RNN ağları birbirlerine oldukça yakın, 0.89 f-puanı elde edebilmişlerdir. Sınıflar bazında rapor edilen f-puanlarının birbirlerine oldukça yakın olduğu gözlemlenmektedir. Farklı sinirsel sınıflandırıcıların kavramsallaştırılmış ön-eğitimli kelime gömülmeleri ile birlikte kullanılması durumunda elde edilen performans değerlerine Şekil 3'de yer verilmiştir. Sunulan görsel ve raporlanan sonuçlar incelendiğinde en yüksek performansı 0.91 sınıflandırma doğruluğu ile LSTM modelinin elde ettiği ve en düşük sonuçların ise 0.87 sınıflandırma doğruluğu ile MLP tarafından üretildiği görülmüştür. Raporlanan doğruluk performans değeri açısından yaklaşımlar arasında çok büyük farklılıklar söz konusu değildir. Her ne kadar veri setini oluşturan sınıfların kayıt sayıları son derece dengeli olsa da bulguları netleştirmek adına modellerin AİK eğrilerine Şekil 4' de yer verilmiştir. Buna göre, göre en başarılı sınıflandırma işlemi LSTM modeli tarafından gerçekleştirilmiştir. AİK eğrisinin altında kalan alan değeri 0.9731 olarak elde edilmiştir. AİK değerleri bakımından RNN ve CNN'ler yakın değerler elde etmişlerdir. AİK eğrisinin altında kalan alan bakımından en düşük başarımı MLP sinir ağı elde etmiştir.



Şekil 3. Modellere ait performans sonuçları



Şekil 4. Modellere ait AİK eğrileri

5. Sonuç

Sahte haber tespit problemi sosyal medya ve iletişim araçlarının yaygınlaşması ile oldukça önemli ve zorlayıcı bir görev haline gelmiştir. COVID-19 salgını sırasında sahte haberlerin yıkıcı ve olumsuz etkileri ile mücadele etmek çok daha önemli hale gelmiştir. Katlanarak artan bilgi akış trafiği, sahte haberlerin tespiti için makine öğrenmesi metotlarının kullanılmasını kaçınılmaz kılmıştır. Yapay zeka temelli modellerin sahte haber tespiti görevinde yüksek başarımı yakalaması modellerin kapsamlı veriler ile eğitilmesini gerektirir. Bu pratikte oldukça zorlayıcı bir iştir. Yeterli eğitim verisinin mevcut olmaması durumunda önceden oluşturulmuş ön eğitimli metin gömülmelerini kullanmak oldukça avantajlıdır. Son yıllarda, farklı DDİ görevlerinde Göreve özel olarak oluşturulan dilin ve görevin genel yapısını bilen ön-eğitimli modeller kullanılmaktadır. Ancak Derin sinir ağı ve kavramsal kelime gömülmelerinin birlikte kullanılması durumunda hangi sınıflandırıcı ile daha yüksek başarımlar elde edildiği hususu yeterince açık değildir. Çalışma kapsamında GloVe ön eğitimli kelime gömülme katmanının sağladığı bağlamsal temsiller kullanılmış ve farklı sınıflandırıcılar deneysel sürece dahil edilmiştir. Deneysel çalışma ile sunulan modellerin hangi kombinasyonlarının daha verimli olduğunu ortaya koymak için çeşitli performans değerlendirme metrikleri kullanılmıştır. Ayrıca deneysel çalışmalarda açık erişimli ve oldukça yaygın olarak kullanılan COVID-19 sahte haber tespit veri seti kullanılmıştır. Veri seti ikili sınıflar içermektedir. Sınıflar bazında karşılaştırmaların rapor edildiği ilgili tabloda f-puanlarının birbirlerine oldukça yakın olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumun veri setinin dengeli yapısı ile ilişkilendirmek mümkündür. İlgili veri setinde bulunan sınıflar Tablo 1'de görüldüğü üzere eşit sayıda ve eşit dağılımdadır. Çalışma kapsamında ön-eğitimli modellerin farklı özelliklere ve çalışma prensiplerine sahip olan sinir ağlarının hangileri ile daha verimli çalışarak yalan haber tespiti gibi güncel ve zorlu bir görevde ortaya konulan performansların ayrı ayrı değerlendirilmesi mümkün olmuştur. Sonuçlara göre kavramsallaştırılmış kelime gömülme dil modeli kısa haber metinlerinin başarılı bir şekilde sınıflandırılmasında oldukça büyük paya sahip olduğu değerlendirilmektedir. Haberlerin

içeriklerini ve bazı kavramları keşfetmek için kısa metinlerden özelliklerin çıkarılması büyük bir zorluktur ancak sonuçlara göre içerik bazlı dil modeli performans üzerinde olumlu etkiler oluşturmaktadır. Ayrıca ilgili tablo ve grafiklerden de görüleceği üzere LSTM mimarileri en yüksek sınıflandırma başarımına sahip olmuşlardır. Bu bağlamda bir dizi deneysel süreç yürütülerek metin gömülmeleri ve farklı sinirsel sınıflandırıcıların başarımlarına yönelik kapsamlı ve karşılaştırmalı bir çalışma ile alandaki eksiklik giderilmeye çalışılmıştır.

Kaynaklar

[1] Hark C, Karcı A. Karcı summarization: A simple and effective approach for automatic text summarization using Karcı entropy. *Information processing & management* 2020; vol. 57, no. 3: 102187.

[2] Türk Dil Kurumu. Türk Dil Kurumu Sözlükleri., *Tdk*, 2021. https://sozluk.gov.tr/ (accessed Nov. 01, 2021).

[3] Pan JZ, Pavlova S, Li C, Li N, Li Y, Liu J. Content Based Fake News Detection Using Knowledge Graphs., 2018 669–683.

[4] Gravanis G, Vakali A, Diamantaras K, Karadais P. Behind the cues: A benchmarking study for fake news detection. *Expert Syst. Appl.* 2019; vol. 128 201–213.

[5] Kaliyar RK, Goswami A, Narang P, Sinha S. FNDNet – A deep convolutional neural network for fake news detection. *Cogn. Syst. Res.* 2020; vol. 61 32–44.

[6] ShuKai, SlivaAmy, WangSuhang, TangJiliang, LiuHuan. Fake News Detection on Social Media. *ACM SIGKDD Explor. Newsl.* 2017; vol. 19, no. 1: 22–36.

[7] Gilda S. Notice of Violation of IEEE Publication Principles: Evaluating machine learning algorithms for fake news detection.,in *2017 IEEE 15th Student Conference on Research and Development (SCOReD)*,Dec. 2017,110–115.

[8] Chollet F*Deep Learning with Python*. Buzdağı Yayınevi,2021.

[9] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez AN. Attention is all you need. *Adv. neural Inf. Process. Syst.* 2017; 5998–6008..

[10] Kaur S, Kumar P, Kumaraguru P. Automating fake news detection system using multi-level voting model. *Soft Comput.* 2020; vol. 24, no. 12: 9049–9069.

[11] Verma C, Stoffova V, Illes Z, Tanwar S, Kumar N. Machine Learning-Based Student's Native Place Identification for Real-Time. *IEEE Access* 2020; vol. 8 130840–130854.

[12] Ahmed H, Traore I, Saad S. Detecting opinion spams and fake news using text classification. *Secur. Priv.* 2018; vol. 1, no. 1: e9.

[13] Zhang J, Dong B, Yu PS. FakeDetector: Effective Fake News Detection with Deep Diffusive Neural Network.,in *2020 IEEE 36th International Conference on Data Engineering (ICDE)*,Apr. 2020,1826–1829.

[14] Bhattacharya P, Patel SB, Gupta R, Tanwar S, Rodrigues JJPC. SaTYa: Trusted Bi-LSTM-Based Fake News Classification Scheme for Smart Community. *IEEE Trans. Comput. Soc. Syst.* 2021; 1–10.

[15] Mansouri R, Naderan-Tahan M, Rashti MJ. A Semi-supervised Learning Method for Fake News Detection in Social Media.,in *2020 28th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*,Aug. 2020,1–5.

[16] Mahabub A. A robust technique of fake news detection using Ensemble Voting Classifier and comparison with other classifiers. *SN Appl. Sci.* 2020; vol. 2, no. 4: 525.

[17] Patwa P *et al.* Fighting an Infodemic: COVID-19 Fake News Dataset., 2021 21–29.

[18] Fu X, Liu W, Xu Y, Cui L. Combine HowNet lexicon to train phrase recursive autoencoder for sentence-level sentiment analysis. *Neurocomputing* 2017; vol. 241 18–27.

[19] Zhou X, Zafarani R. A Survey of Fake News. *ACM Comput. Surv.* 2020; vol. 53, no. 5:

[20] Mikolov T, Chen K, Corrado G, Dean J. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space. 2013; [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/1301.3781

[21] Samadi M, Mousavian M, Momtazi S. Deep contextualized text representation and learning for fake news detection. *Information processing & management* 2021; vol. 58, no. 6: 102723.

[22] Aydoğan M, Kocaman V. TRSAv1: A new benchmark dataset for classifying user reviews on Turkish e-commerce websites. *J. Inf. Sci.* 2022; 016555152210743.

[23] KARACA YE, ASLAN S. Sentiment Analysis of Covid-19 Tweets by using LSTM Learning Model. *Comput. Sci.* 2021; no. Special: 366–374.

[24] Seyyarer E, Uckan T, Hark C, Ayata F, Inan T, Karci A. Applications and Comparisons of Optimization Algorithms Used in Convolutional Neural Networks.,in *2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*,Sep. 2019,1–6.

[25] KARACA YE, ASLAN S, HARK C. SEPARATION OF DOMESTIC WASTE WITH DEEP LEARNING TECHNIQUES. *Comput. Sci.* 2022; vol. 7, no. 1: 10–19.

[26] SEYYARER E, KARCİ A, ATEŞ A. Stokastik ve deterministik hareketlerin optimizasyon süreçlerindeki etkileri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg.* 2021; vol. 37, no. 2: 949–966.

[27] SÖYLEMEZ ÖF, ERGEN B. Farklı Evrişimsel Sinir Ağı Mimarilerinin Yüz İfade Analizi Alanındaki Başarımlarının

İncelenmesi. *DÜMF Mühendislik Derg.* 2020; vol. 11, no. 1: 123–133.

[28] Tumen V, Soylemez OF, Ergen B. Facial emotion recognition on a dataset using convolutional neural network.,in *2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*,Sep. 2017,1–5.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 743-750, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1131241

St37 Çeliğinin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Destek Vektör Regresyonu Kullanılarak Tahmini

Turan GÜRGENÇ[1*] ve Osman ALTAY[2]
[1]Otomotiv Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[2] Yazılım Mühendisliği, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye
[*1]tgurgenc@firat.edu.tr, [2]osman.altay@cbu.edu.tr

(Geliş/Received: 15/06/2022; Kabul/Accepted: 20/08/2022)

Öz: St37 çeliği birçok yapısal elemanda sıklıkla tercih edilen bir malzemedir. Düşük yüzey pürüzlülük değerine sahip parçalar yorulma, aşınma ve korozyon açısından tercih sebebidir. Yüzey pürüzlülüklerinin deneysel olarak belirlenmesi zaman alıcı ve maliyetli olduğundan makine öğrenmesi yöntemleri ile yüzey pürüzlülükleri tahmin edilerek bu durumlar elemine edilebilir. Bu çalışmada, St37 çeliği CNC torna tezgâhında farklı parametrelerde işlenmiştir. Deneysel numunelerin yüzey pürüzlülükleri (Ra, µm) farklı işlem parametreleri için ayrı ayrı profilometre ile ölçülmüş ve 72 adet veri elde edilmiştir. Elde edilen deneysel değerler destek vektör regresyon (DVR) kullanılarak modellenmiştir. DVR iki farklı çekirdek fonksiyon kullanarak modellenmiştir. Bunlar lineer ve Gauss çekirdek fonksiyonlarıdır. Modellerde giriş parametreleri olarak iki farklı koşul (kuru ve ıslak durum), iş mili hızı (dev/dak) ve ilerleme hızı (mm/dev) kullanılmıştır. Çıkış parametresi ise yüzey pürüzlülüğüdür (Ra, µm) Tasarlanan modellerin sonucunda Gauss çekirdek fonksiyonunun kullanıldığı DVR'nin daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Bu modelde R-kare değeri 0.8876 olarak elde edilirken lineer fonksiyona sahip DVR'de 0.7231 olarak elde edilmiştir. Gauss çekirdek fonksiyonuna sahip DVR'nin tornalama ile St37 çeliğinden parçalar üreten endüstrilerde kullanılmasıyla zaman, malzeme ve maliyet kayıplarının azaltılabileceği beklenmektedir.

Anahtar kelimeler: Destek vektör regresyon, Çekirdek fonksiyonları, Makine öğrenmesi, Yüzey pürüzlülüğü, Tornalama

Prediction of Surface Roughness in Turning of St37 Steel Using Support Vector Regression

Abstract: St37 steel is a frequently preferred material in many structural elements. Parts with low surface roughness values are preferred in terms of fatigue, wear, and corrosion. Since the experimental determination of surface roughness is time-consuming and costly, these situations can be eliminated by predicting the surface roughness with machine learning methods. In this study, St37 steel was machined in different parameters on a CNC lathe. The surface roughness (Ra, µm) of the experimental samples was measured separately for different process parameters with a profilometer, and 72 different data were obtained. The experimental values obtained were modeled using support vector regression (SVR). The SVR is modeled using two different core functions. These are linear and Gaussian kernel functions. Two different conditions (dry and wet conditions), spindle speed (rpm) and feed rate (mm/rev) were used as input parameters in the models. The output parameter is the surface roughness (Ra, µm). As a result of the designed models, it has been seen that the SVR using the Gaussian kernel function performs better. In this model, the R-square value was obtained as 0.8876, while it was obtained as 0.7231 in the DVR with linear function. Time, material, and cost losses can be reduced by using the SVR with Gaussian core function in industries producing parts from St37 steel by turning.

Keywords: Support vector regression, Kernel functions, Machine learning, Surface roughness, Turning.

1. Giriş

St37 çeliği yüksek mukavemetli bir malzemedir ve genellikle gemi, köprü, cıvata ve perçin gibi yüksek mukavemetli uygulamalarda tercih edilir [1]. Dönen bir parçanın yüzeyinden kuvvet uygulayarak talaş kaldırma işlemine tornalama denir. Tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametrelerden bazıları takım geometrisi, kesme derinliği, soğutma durumu, iş mili hızı, ilerleme hızı, takım malzemesi, iş parçası malzemesinin mekanik özellikleri vb.'dir. Yüzey pürüzlülüğü, işlenen malzemelerin yorulma mukavemeti, sürtünme katsayısı, aşınma ve korozyon direnci gibi önemli özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür [2, 3].

* Sorumlu yazar: tgurgenc@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1]0000-0002-7678-2673, [2]0000-0003-3989-2432.

Torna tezgâhında üretilen parçaların yüksek yüzey pürüzlülüğü yorulma mukavemetini, aşınma ve korozyon direncini azalttığından torna tezgâhında işlenen yüzeylerin yüzey pürüzlülüğünün kontrol edilmesi oldukça önemlidir. Bunun yanında düşük yüzey pürüzlülüğü, estetik olarak üretilmiş parçaların görünümünü iyileştirir [4]. Yüzey pürüzlülüğü, uzun yıllardır yeni bir parça tasarlanırken üzerinde durulan önemli bir tasarım faktörüdür. İşlem planlamasında kesme parametrelerinin seçiminde en önemli faktörlerden biri toleransların yanı sıra yüzey pürüzlülüğüdür [5]. Karmaşık bir süreç olan ve imalat sanayinde sıklıkla kullanılan talaşlı imalat işlemlerinin karmaşık dinamik mekanizmalarının modellenmesi ve makine öğrenmesi yöntemleri ile yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesi ile zamandan, işçilikten ve malzeme kaybından tasarruf etmek mümkündür [6, 7].

Makine öğrenmesi yöntemleri tıp [8], inşaat [9], otomotiv [10], enerji [11], malzeme araştırma ve üretim endüstrisi [12-15] gibi farklı alanlarda başarıyla kullanılmaktadır. Karayel [16], çalışmasında St 50.2 çeliğini CNC torna tezgâhında farklı kesme derinlikleri, kesme hızları ve ilerleme hızlarında işlemiştir. Yapay sinir ağlarını (YSA) kullanarak farklı parametrelerde deneysel olarak elde ettiği yüzey pürüzlülük değerlerini tahmin etmiştir. Pal ve Chakraborty [17], YSA kullanarak yumuşak çeliğin yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmişlerdir. Torna tezgâhında işlenen Ti-6Al-4V'nin yüzey pürüzlülüğü YSA tarafından tahmin edilmiştir [18]. Torna tezgâhında farklı parametrelerle işlenen AISI 4140 çeliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri YSA ve farklı makine öğrenmesi yöntemleri ile tahmin edilmiştir [19]. Çaydaş ve Ekici AISI 304 çeliğinin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünü destek vektör makinesi (DVM) ile tahmin etmişlerdir [20]. Wang vd. polimetil metakrilat iş parçasının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünü DVM ile tahmin etmişlerdir [21]. Bir başka çalışmada, torna ile işlenmiş AISI 4340 ve AISI D2 çeliklerinin yüzey pürüzlülükleri DVM ile tahmin edilmiştir [22].

Bu çalışmada St37 çeliği, CNC torna tezgâhında altı farklı iş mili hızında ve altı farklı ilerleme hızında kuru ve ıslak koşullarda işlenmiştir. Makine öğrenmesi yöntemlerinden biri olan destek vektör regresyon (DVR) yöntemi kullanılarak yüzey pürüzlülük değerleri tahmin edilmiştir. Farklı çekirdek fonksiyonlarına sahip DVR yöntemleri kullanılarak tahmin edilen yüzey pürüzlülük değerleri hedef değerlere yakındır. Tasarlanan modelin talaşlı imalat yöntemleri ile makine parçaları üreten endüstrilerde kullanılabileceği görülmüştür.

Yapılan çalışmanın ikinci bölümünde verilerin deneysel olarak elde edilişi, DVR yöntemi, çekirdek fonksiyonları, k-katlamalı çapraz doğrulama ve değerlendirme metrikleri ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Üçüncü bölümde ise elde sonuçlar verilmiş ve iki farklı yöntemin performansları karşılaştırılmıştır. Son olarak dördüncü bölümde sonuçlar kısmına yer verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

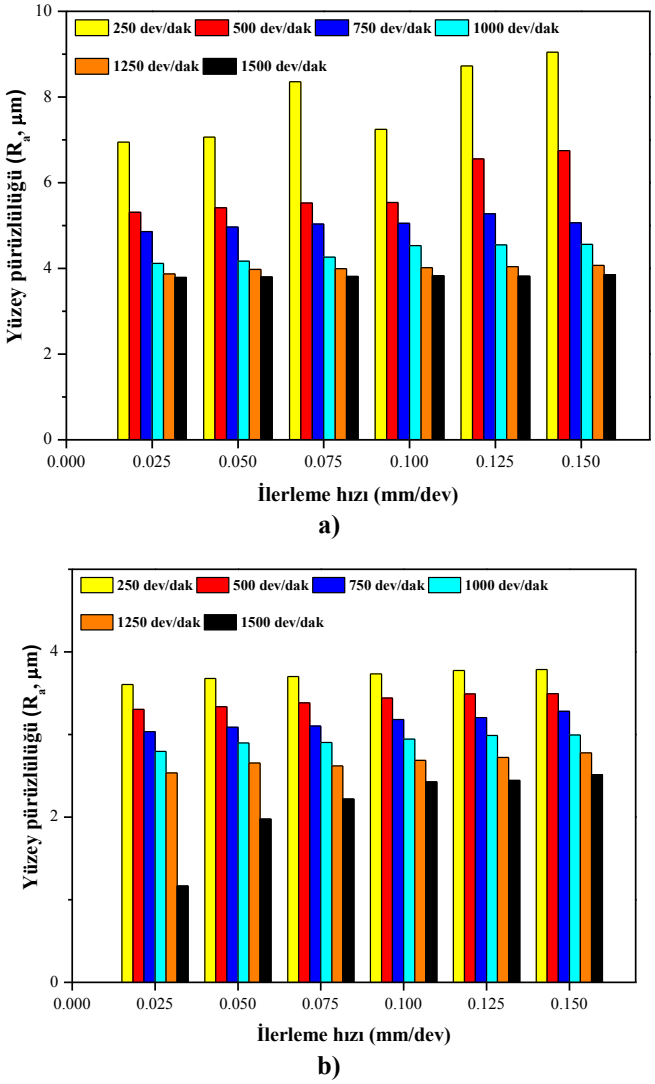
2.1. Veri Setinin Elde Edilişi

Bu çalışmada iş parçası olarak 20 mm çapında ve 120 mm uzunluğunda St37 çeliği kullanılmıştır. İş parçası, torna aynasında 35 mm iş parçası kalacak şekilde iş parçası tutucusuna bağlanmıştır. Tornalama işlemi Şekil 1'de gösterilen VOGUA CK6140S marka CNC torna tezgâhında altı farklı iş mili hızında (250, 500, 750, 1000, 1250 ve 1500 dev/dak), altı farklı ilerleme hızında (0.025, 0.05, 0.075, 0.100, 0.125 ve 0.150 mm/dev) ve iki farklı koşul (kuru ve ıslak) gerçekleştirilmiştir. Islak durumda CNC torna kesme sıvısı kullanılmıştır.

Yüzeyler 0.5 mm kesme derinliği ve 10 mm kesme uzunluğu ile işlenmiştir. Tornalama işlemi için 12 numune kullanılmış ve her numunede hız sabit tutularak farklı ilerleme hızlarında 6 adet talaş (0.5 mm kesme derinliği ve 10 mm kesme uzunluğu) uzaklaştırılmıştır. Her talaş kaldırma işlemi arasında 3 mm'lik bir mesafe bırakılmıştır. Her bir işlemden sonra iş parçasının soğuması için 10 dakika beklenmiştir. Numuneler işlendikten sonra yüzeyde kalan yağlar ve kirlerin uzaklaştırılması için ultrasonik banyoda sırasıyla aseton ve alkolle 5'er dakika yıkanmıştır. Daha sonra numuneler yine ultrasonik banyoda saf su ile durulanmıştır ve pası önlemek için hemen fırında 100 ℃' de 1 saat süreyle kurutulmuştur. Numuneler oda sıcaklığına geldikten sonra işlenen numunelerin yüzey pürüzlülüğü (Ra, µm) Mitutoyo SJ-201 profilometre ile işleme yönüne paralel olarak on farklı noktadan ölçüldü ve ardından ortalamaları alındı. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 1. VOGUA CK6140S marka CNC torna tezgâhına iş parçasının bağlanması.



Şekil 2. Torna ile işlenen numunelerin yüzey pürüzlülükleri a) kuru şartlar ve b) ıslak şartlar.

2.2. Destek Vektör Regresyon

Destek vektör makinesi, sınıflandırma ve regresyon problemlerini çözmede kullanılan istatiksel öğrenme teorisine dayanan genel bir yöntemdir. DVM, kayıp fonksiyonu uygulanarak regresyon problemlerinde başarı ile uygulanmaktadır [23, 24]. DVR, sınırlı sayıda öğrenme verisi kullandığı durumlarda bile, yapısal risk minimizasyonunu ilkesini kullanarak yüksek genelleme özelliği sayesinde etkili sonuçlar elde etmektedir [25, 26]. Doğrusal olmayan giriş ve çıkış değerleri arasındaki haritalama aşağıdaki Denklem 1'de verilmiştir.

$$k(z) = \langle v.\emptyset(z)\rangle + c \tag{1}$$

Burada z giriş değerini, $\emptyset(z)$ giriş verilerini yüksek değere atamak için düzensiz bir fonksiyonu göstermektedir. $v \in R$ olmak üzere ayırt edici düzlemi ve $c \in R$ skaler eşiği göstermektedir. Vapnik'in ε-duyarsız kayıp fonksiyonu Denklem 2'deki gibi tanımlanmıştır;

$$|y - k(z)|_\varepsilon = \max\{0, |y - k(z)| - \varepsilon\}, \varepsilon > 0 \tag{2}$$

Burada y çıkış değerlerini, temsil etmektedir. v değeri ne kadar küçük bir değer alırsa o kadar iyi bir denklem düzlüğü elde edilmektedir. Pratikte, ε değerinden küçük tüm veri noktaları için bir hata sağlamak bir fonksiyonda imkânsıza yakındır. Daha fazla hatayı elde edebilmek için slack değişken $\varepsilon_i, \varepsilon_i^*$ önerilmiştir. Böylece, DVR'deki optimizasyon fonksiyonu Denklem 3 ve Denklem 4'teki gibi tanımlanmaktadır;

$$minimizasyon: \frac{1}{2}\|v^2\| + C\sum_{i=1}^{n}(\varepsilon_i - \varepsilon_i^*) \tag{3}$$

$$kısıtlar: \begin{cases} y_i - \{v.\emptyset(z) + c\} \le \varepsilon + \varepsilon_i \\ \{v.\emptyset(z)\} + c - y_i \le \varepsilon + \varepsilon_i^* \\ \varepsilon_i, \varepsilon_i^* \ge 0 \end{cases} \tag{4}$$

burada n değeri eğitim verisinin boyutunu, C değeri düzenlileştirme sabitini ifade etmektedir. Optimizasyon probleminin çözümünün son hali Denklem 5 ve Denklem 6'da verilmiştir.

$$maksimizasyon: -\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(\alpha_i - \alpha_i^*)(\alpha_j - \alpha_j^*)K(z_i, z_j) - \varepsilon\sum_{i=1}^{n}(\alpha_i + \alpha_i^*) + \sum_{i=1}^{n}(\alpha_i - \alpha_i^*) \tag{5}$$

$$kısıtlar: \sum_{i=1}^{n}(\alpha_i - \alpha_i^*) = 0 \; and \; \alpha_j^* \in |0, t| \tag{6}$$

Burada $K(z_i, z_j)$ çekirdek fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. Bir üstteki denklem çözüldükten α_i, α_i^* değerleri için son hali Denklem 7'de verilmiştir.

$$k(z) = \sum_{i=1}^{n}(\alpha_i - \alpha_i^*)K(z_i, z_j) + c \tag{7}$$

Burada hesaplama maliyetlerini azaltmak için farklı çekirdek fonksiyonları kullanılmaktadır. Regresyonda yaygın olarak lineer çekirdek fonksiyonu ve Gauss çekirdek fonksiyonu kullanılmaktadır [27]. Denklemleri sırasıyla Denklem 8 ve Denklem 9'da verilmiştir.

$$K(z_i, z_j) = z_i^t z_j \tag{8}$$

$$K(z_i, z_j) = exp\left(-\frac{\|z_i - z_j\|^2}{2\sigma^2}\right) \tag{9}$$

Burada denklemde d çekirdek parametresinin derecesini, σ çekirdek parametresinin genişliğini ifade etmektedir.

2.3. K-katlamalı Çapraz Doğrulama

k-katlı çapraz doğrulama, veri seti rastgele olarak eğitim ve test veri kümesine bölen bir yöntemdir. Bu yöntemde, veri kümesi, bir örneğin test için kullanıldığı ve geri kalan $k-1$ veri kümesinin eğitim amacıyla kullanıldığı k alt örneklerine bölünür. k-kat çapraz doğrulama yönteminde, eğitim ve test veri setleri değiştirilerek tüm süreç k kez tekrarlanır.

2.4. Değerlendirme Metrikleri

Regresyon modellerinin tahmin başarısının ölçülmesinde literatürde farklı metrikler kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada 3 farklı metrik kullanılarak modellerin performansları karşılaştırılmıştır. Bunlar R-kare (R^2), ortalama kare hata (OKH) ve ortalama mutlak hata (OMH) metrikleridir. R^2 değeri 0 ile 1 arasında değer alırken 1'e ne kadar yakınsa model performansı o kadar iyidir. OKH ve OMH metriklerinin değerlerinin ise 0'a yakın olması beklenmektedir. Kullanılan metrikler R^2, OKH ve OMH'a ait denklemler sırasıyla Denklem 10, Denklem 11 ve Denklem 12'de verilmiştir.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{\sum_j (t_j - \hat{t})^2}\right) \tag{10}$$

$$MSE = \left(\frac{1}{n}\right) \times \sum_j \left|t_j - o_j\right|^2 \tag{11}$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} \left|t_j - o_j\right| \tag{12}$$

3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan çalışmada St37 çeliği, CNC torna tezgâhında altı farklı iş mili hızında ve altı farklı ilerleme hızında, kuru ve ıslak koşullarda işlenmiştir. Deneysel olarak 72 farklı örnek veri elde edilmiştir. Giriş parametreleri olarak iki farklı koşul (kuru ve ıslak durum), iş mili hızı (dev/dak) ve ilerleme hızı (mm/dev) alınmıştır. Çıkış parametresi olarak yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesi için iki farklı (lineer ve Gauss) çekirdek fonksiyona sahip DVR modelleri tasarlanmıştır. Tasarlanan modellerin test edilmesi için 5 katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. İki farklı modelin birbiri ile karşılaştırılmasının adil olması için eğitim ve test verileri rastgele olarak seçilirken her iki modelde aynı eğitim ve test verileri kullanılmıştır. Tablo 1'de DVR yöntemlerine parametreler verilmiştir.

Modellerin performanslarının karşılaştırılması için 3 farklı değerlendirme metriği kullanılmıştır. Bunlar R-kare, OKH ve OMH metrikleridir. Yapılan çalışmanın sonucunda metriklerden elde edilen değerler Tablo 2'de verilmiştir. Tablo incelendiği zaman Gauss çekirdek fonksiyonuna sahip DVR'nin, lineer çekirdek fonksiyonuna sahip DVR'ye göre çok daha iyi bir performans gösterdiği görülmektedir. DVR (lineer) ve DVR (Gauss) sırasıyla R-kare değerinde 0.7231 ve 0.8876 değerlerini elde etmiştir. DVR (Gauss), DVR (lineer)'e göre R-kare değerinde yüzde 22.7 oranında daha iyi performans göstermiştir. DVR (lineer) ve DVR (Gauss) sırasıyla OKH değerinde 0.6628 ve 0.2691 değerlerini elde etmiştir. DVR (Gauss), DVR (Lineer)'e göre OKH değerinde yüzde 59.3 oranında daha iyi performans göstermiştir. DVR (lineer) ve DVR (Gauss) sırasıyla OMH değerinde 0.4549 ve 0.2713 değerlerini elde etmiştir. DVR (Gauss), DVR (Lineer)'e göre OKH değerinde yüzde 40.4 oranında daha iyi performans göstermiştir.

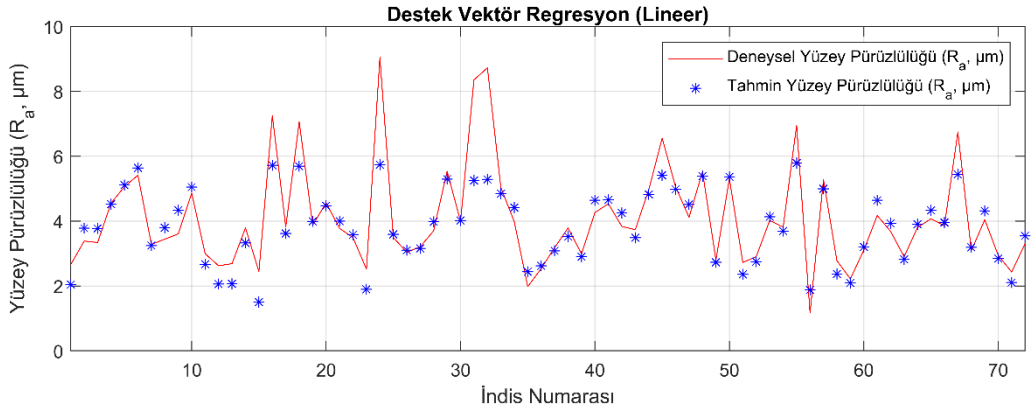
Tablo 1. DVR parametreleri.

DVR parametreleri		
Çekirdek fonksiyonu	Lineer	Gauss
Kutu kısıtlaması	1	1.4804
Epsilon	0.1480	0.1480
Çekirdek ölçeği	1	Otomatik

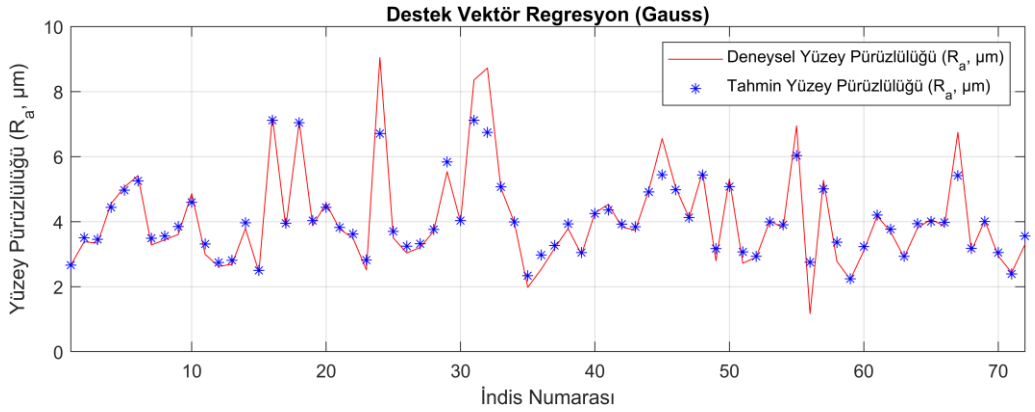
Tablo 2. Yüzey pürüzlülüğü için tasarlanan modellerin değerlendirme metrikleri sonucunda elde ettikleri performans.

	R^2	OKH	OMH
DVR (Lineer)	0.7231	0.6628	0.4549
DVR (Gauss)	0.8876	0.2691	0.2713

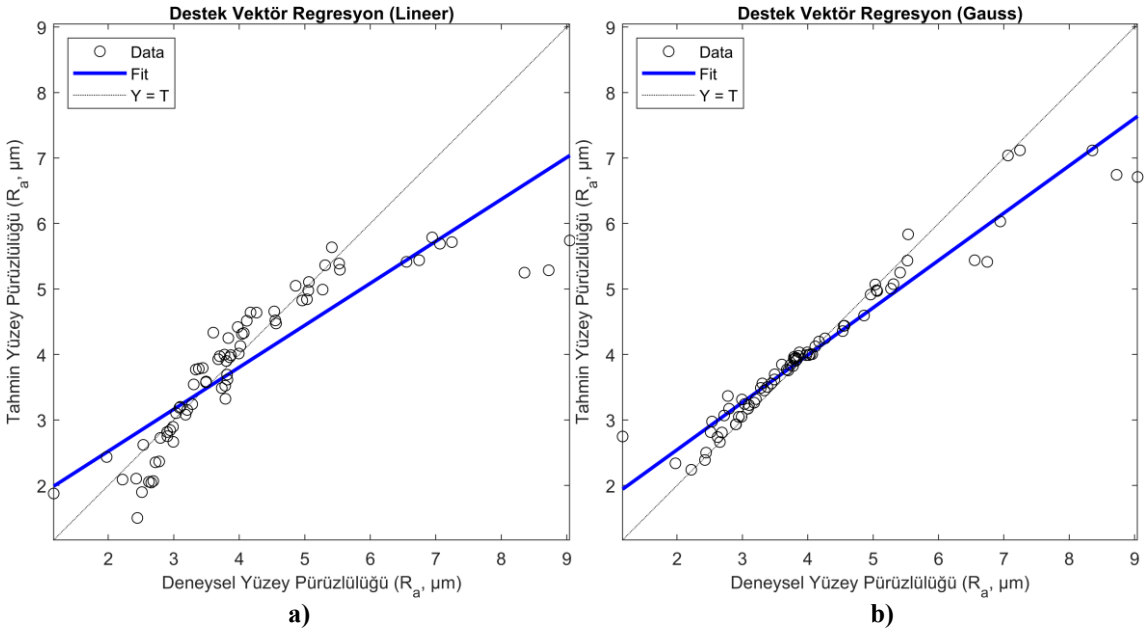
Şekil 3'te yüzey pürüzlülüğüne ait deneysel değerler ve lineer çekirdek fonksiyonuna sahip DVR'den elde edilen tahmin değerleri verilmiştir. Şekil 4'te yüzey pürüzlülüğüne ait deneysel değerler ve Gauss çekirdek fonksiyonuna sahip DVR'den elde edilen tahmin değerleri verilmiştir. Şekil 3 ve şekil 4 incelendiği zaman Gauss çekirdek fonksiyonuna sahip DVR yönteminin, lineer çekirdek fonksiyonuna sahip DVR yöntemine bariz bir üstünlük sağladığı görülmektedir. Şekilde 5'te tasarlanan iki modele ait serpilme grafikleri verilmiştir. Şekil incelendiği zaman Gauss çekirdek fonksiyonuna sahip DVR'nin, lineer çekirdek fonksiyonuna sahip DVR'ye göre uygunluk çizgisine daha yakın değerler elde ettiği ve daha az serpildiği rahatlıkla görülmektedir. Önerilen modellerden Gauss çekirdek fonksiyonuna sahip DVR'nin tornalama ile parça işleyen endüstrilerde kullanılmasıyla yeni bir parça tasarlanırken oluşan maliyet, zaman, malzeme ve iş gücü kayıpları azaltılabilir. Parçaların işlenmesinden önce en uygun işleme parametrelerinin önceden bilinmesi ile tasarım mühendislerine esneklik ve zaman kazandırılabilir.



Şekil 3. DVR (Gauss) tahmin ve deneysel yüzey pürüzlülüğü değerleri.



Şekil 4. DVR (Lineer) tahmin ve deneysel yüzey pürüzlülüğü değerleri.



Şekil 5. Serpilme grafikleri a) DVR (Lineer) b) DVR (Gauss).

4. Sonuçlar

St37 çeliğinin torna ile işlenmesinde farklı işlem parametrelerinden doğan yüzey pürüzlülükleri makine öğrenmesi yöntemleri ile tahmin edilmiştir. Regresyon için kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinden DVR lineer ve Gauss olmak üzere iki farklı çekirdek fonksiyonu ile uygulanmıştır. DVR'nin yüzey pürüzlülüklerini başarıyla tahmin edilebileceği yapılan çalışmanın sonucunda görülmüştür. Yapılan çalışmanın ışığında Gauss çekirdek fonksiyonuna sahip DVR'nin imalat endüstrisinde torna ile parça imalatı gerçekleştirilen endüstrisinde kullanılmasıyla, zaman, maliyet, iş gücü ve malzeme kayıplarının azaltılması açısından avantaj sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca işlem parametrelerine göre yüzey kalitelerinin önceden bilinmesi tasarım mühendislerine tasarım esnekliği sağlayabilir.

Teşekkür

T.G ve O.A., fikir sahibi, T.G. deneyleri gerçekleştirdi, T.G. ve O.A. modellemeyi gerçekleştirdi, T.G. ve O.A. sonuçları yorumladı, T.G. ve O.A. makaleyi yazdı.

Kaynaklar

[1] Solomon M M, Gerengi H, Kaya T, Kaya E, Umoren S A. Synergistic inhibition of St37 steel corrosion in 15% H2SO4 solution by chitosan and iodide ion additives. Cellulose 2017; 24(2): 931-950.

[2] Khalilpourazary S, Kashtiban P, Payam N. Optimizing turning operation of St37 steel using grey relational analysis. J. Comput. Appl. Res. Mech. Eng. 2014; 3(2): 135-144.

[3] Singh D, Rao P V. A surface roughness prediction model for hard turning process. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2007; 32(11): 1115-1124.

[4] Asiltürk I, Çunkaş M. Modeling and prediction of surface roughness in turning operations using artificial neural network and multiple regression method. Expert Syst. Appl. 2011; 38(5): 5826-5832.

[5] Wang X, Feng C. Development of empirical models for surface roughness prediction in finish turning. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2002; 20(5): 348-356.

[6] Barzani M M, Zalnezhad E, Sarhan A A, Farahany S, Ramesh S. Fuzzy logic based model for predicting surface roughness of machined Al–Si–Cu–Fe die casting alloy using different additives-turning. Measurement 2015; 61: 150-161.

[7] Khorasani A, Yazdi M R S. Development of a dynamic surface roughness monitoring system based on artificial neural networks (ANN) in milling operation. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2017; 93(1): 141-151.

[8] Garg A, Mago V. Role of machine learning in medical research: A survey. Comput. Sci. Rev. 2021; 40: 100370.
[9] Altay O, Ulas M, Alyamac K E. DCS-ELM: a novel method for extreme learning machine for regression problems and a new approach for the SFRSCC. PeerJ Comput. Sci. 2021; 7: e411.
[10] Okcu M, Fırat M, Varol Y, Altun Ş, Kamışlı F, Atila O. Combustion of high carbon (C7-C8) alcohol fuels in a reactivity controlled compression ignition (RCCI) engine as low reactivity fuels and ANN approach to predict RCCI emissions. Fuel 2022; 319: 123735.
[11] Altay E V, Gurgenc E, Altay O, Dikici A. Hybrid artificial neural network based on a metaheuristic optimization algorithm for the prediction of reservoir temperature using hydrogeochemical data of different geothermal areas in Anatolia (Turkey). Geothermics 2022; 104: 102476.
[12] Xia C, Pan Z, Polden J, Li H, Xu Y, Chen S. Modelling and prediction of surface roughness in wire arc additive manufacturing using machine learning. J. Intell. Manuf. 2022; 33(5): 1467-1482.
[13] Ramesh P, Mani K. Prediction of surface roughness using machine learning approach for abrasive waterjet milling of alumina ceramic. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2022; 119(1): 503-516.
[14] Ulas M, Altay O, Gurgenc T, Özel C. A new approach for prediction of the wear loss of PTA surface coatings using artificial neural network and basic, kernel-based, and weighted extreme learning machine. Friction 2020; 8: 1102-1116.
[15] Gurgenc T, Altay O. Surface roughness prediction of wire electric discharge machining (WEDM)-machined AZ91D magnesium alloy using multilayer perceptron, ensemble neural network, and evolving product-unit neural network. Mater. Test. 2022; 64(3): 350-362.
[16] Karayel D. Prediction and control of surface roughness in CNC lathe using artificial neural network. J. Mater. Process. Technol. 2009; 209(7): 3125-3137.
[17] Pal S K, Chakraborty D. Surface roughness prediction in turning using artificial neural network. Neural Computing & Applications 2005; 14(4): 319-324.
[18] Sahu N K, Andhare A B, Andhale S, Abraham R R, Prediction of surface roughness in turning of Ti-6Al-4V using cutting parameters, forces and tool vibration. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2018; 346(1): 012037.
[19] Meddour I, Yallese M A, Bensouilah H, Khellaf A, Elbah M. Prediction of surface roughness and cutting forces using RSM, ANN, and NSGA-II in finish turning of AISI 4140 hardened steel with mixed ceramic tool. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2018; 97(5): 1931-1949.
[20] Çaydaş U, Ekici S. Support vector machines models for surface roughness prediction in CNC turning of AISI 304 austenitic stainless steel. J. Intell. Manuf. 2012; 23(3): 639-650.
[21] Wang X, Kang M, Fu X, Li C. Predictive modeling of surface roughness in lenses precision turning using regression and support vector machines. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2016; 87(5): 1273-1281.
[22] Zhang N, Shetty D. An effective LS-SVM-based approach for surface roughness prediction in machined surfaces. Neurocomputing 2016; 198: 35-39.
[23] Cortes C. WSupport-vector network. Machine learning 1995; 20: 1-25.
[24] Drucker H, Burges C J, Kaufman L, Smola A J, Vapnik V, Support vector regression machines. Adv. Neural. Inf. Process. Syst. 1996; 9: 155-161.
[25] Dash R K, Nguyen T N, Cengiz K, Sharma A. Fine-tuned support vector regression model for stock predictions. Neural. Comput. Appl. 2021; 1-15.
[26] Gurgenc T, Altay O, Ulas M, Ozel C. Extreme learning machine and support vector regression wear loss predictions for magnesium alloys coated using various spray coating methods. J. Appl. Phys. 2020; 127(18): 185103.
[27] Tang Y, Guo W, Gao J. Efficient model selection for support vector machine with Gaussian kernel function. IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining. IEEE Nashville, TN 2009; 40-45.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 751-760, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1138128

Film Yorumları Kullanılarak Önerilen Yapay Zekâ Tabanlı Yöntemle Duygu Analizinin Gerçekleştirilmesi

Muhammed YILDIRIM[1*]
[1] Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Malatya, Türkiye
muhammed.yildirim@ozal.edu.tr

(Geliş/Received: 30/06/2022; Kabul/Accepted: 03/09/2022)

Öz: Gelişen teknoloji ile birlikte sosyal medya, forum siteleri ve bloklar yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. İnsanlar artık bu mecraları çok yaygın bir şekilde kullanmakta olup duygu ve düşüncelerini bu ortamlarda paylaşmaktadırlar. Bundan dolayı doğal dil işleme uygulamaları her geçen gün daha popüler bir konu haline gelmeye başlamıştır. Doğal dil işlemedeki en popüler konulardan birisi duygu analizidir. Duygu analizinde belirli kriterlere göre incelemeler yapılarak öznel bilgilerin çıkarılması sağlanmaktadır. Yapılan bu çalışmada duygu analizi yapmak için IMDB veri seti kullanılmıştır. IMDB veri seti, film yorumlarından oluşan bu konudaki en büyük veri setlerinden biridir. Bu veri seti kullanıcıların filmler hakkında ki yorumlarını içermektedir. Çalışmada, öncelikle veri önişleme adımı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra hazırlanan veri seti klasik makine öğrenmesi sınıflandırıcılarında ve önerilen Evrişimsel Sinir Ağı (ESA) tabanlı modelde sınıflandırılmıştır. Önerilen ESA tabanlı model IMDB veri setindeki metinleri analiz etme işleminde klasik makine öğrenmesi sınıflandırıcılarından daha başarılı olmuştur ve önerilen derin model %85.57 oranında bir doğruluk değeri elde etmiştir.

Anahtar kelimeler: IMDB, Sınıflandırma, ESA, Duygu Analizi, NLP

Performing Sentiment Analysis with the Proposed Artificial Intelligence-Based Method

Abstract: With the developing technology, social media, forum sites and blocks have been widely used. People are now using these channels very widely and they share their feelings and thoughts in these environments. Therefore, natural language processing applications have started to become a more popular topic with each passing day. One of the most popular topics in natural language processing is sentiment analysis. In sentiment analysis, subjective information is extracted by making examinations according to certain criteria. In this study, the IMDB data set was used to perform sentiment analysis. The IMDB dataset is one of the largest datasets on this subject, consisting of movie reviews. This dataset contains users' comments about movies. In the study, firstly, the data preprocessing step was carried out. Then, the prepared data set was classified in classical machine learning classifiers and the proposed Convolutional Neural Network (CNN) based model. The proposed CNN-based model was more successful than the classical machine learning classifiers in analyzing the texts in the IMDB dataset, and the proposed deep model achieved an accuracy of 85.57%.

Key words: IMDB, Classification, CNN, Sentiment Analysis, NLP

1. Giriş

Doğal dil işleme, doğal dillerin kurallı yapısının anlaşılması veya cümlelerin yeniden üretilmesi amacını taşımaktadır. Doğal dil işleme, insanların kendi aralarında anlaşmak için kullandıkları dili insan-bilgisayar etkileşimini en üst düzeye çıkarabilmek veya farklı doğal dilleri kullanan insanlar arasında iletişimi güçlendirmek üzere çözümler üreten bilim alanı olarak tanımlanabilir [1, 2]. Doğal dil işleme yöntemleri sayesinde farklı çıkarımlar yapılabilmektedir. Doğal dil işleme yöntemleri, yazılı dokümanların otomatik olarak çevrilmesi, otomatik konuşma, cümle üretme, soru-cevap makinelerinin geliştirilmesi, konuşma sentezi ve metin özetleme gibi birçok alanda kullanılabilmektedir [3]. Doğal dil işleme yapay zekânın en zor alanlarından biri olmakla birlikte araştırmacıların en çok çalıştığı konulardan biridir.

Gelişen teknolojiyle beraber kullanıcı tabanlı platformlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Hisse senedi tahmini, e-ticaret siteleri, politik yönelim analizleri, film yorumları gibi birçok konuda insanlar bilgi paylaşımı yapabilmektedir. Metin verilerinin bu kadar artması doğal dil işlemenin farklı alanlarda faklı amaçlar için kullanılmasının önünü açmaktadır [4, 5]. Duygu analizi de doğal dil işlemenin en yaygın kullanıldığı alanlardan

* Sorumlu yazar: muhammed.yildirim@ozal.edu.tr Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0003-1866-4721

biridir. Duygu analizi, kullanıcıların belirli bir ürün, şirket veya diğer herhangi bir fiziksel veya sanal varlık hakkındaki bakış açısını analiz etmede çok önemli bir rol oynamaktadır. Duygu analizi, bir varlık hakkındaki kullanıcı incelemesini analiz etmemize ve ardından bu incelemelerden bir sonuç çıkarmamıza yardımcı olur [6, 7]. Bu da gerçek hayatta insanlara yol gösterebilmekte ve insanların işini kolaylaştırmaktadır.

1.1. Literatür İncelemesi

Doğal dil işleme özellikle son yıllarda en popüler konulardan biri haline gelmiştir. Yapılan çalışmada film yorumları kullanılarak duygu analizi yapılmıştır. Literatürde konuyla ilgili yapılmış çalışmalar mevcuttur. Haque ve ark. yaptıkları çalışmada IMDB veri setini kullanmışlardır. IMDB veri seti kullanıcıların filmler hakkında yapmış oldukları yorumlardan oluşmaktadır. Araştırmacılar bu veri setinden duygu çıkarımı yapmak için ESA ve Long Short-Term Memory (LSTM) ağlarını kullanmışlardır. Önerilen modelde %91 oranında bir F1 değeri elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmada araştırmacılar ESA ağlarının LSTM ağlarından daha iyi sonuç ürettiğini belirtmişlerdir [8].

Rao ve ark. yaptıkları çalışmada duygu analizi yapmak için IMDB ve Yelp veri setlerini kullanmışlardır. Araştırmacılar bu veri setlerinden analiz sonuçları üretmek için LSTM tabanlı bir model önermişlerdir. Önerdikleri modeli aynı zamanda farklı makine öğrenmesi sınıflandırıcısı ile de kıyaslamışlardır. Araştırmacılar bu veri setlerinde sırasıyla %46.3 ve %65.3 oranında doğruluk değeri elde etmişlerdir [9]

Islam ve ark. yaptıkları çalışmada 2 farklı veri seti ve 6 farklı makine öğrenmesi sınıflandırıcısı kullandıklarını belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada kullanılan sınıflandırıcılar literatürde kabul görmüş sınıflandırıcılardır. IMDB ve Amazon veri setlerindeki veriler kullanılarak yapılan sınıflandırma işleminde ESA ve LSTM tabanlı herhangi bir model önerilmemiştir. Islam ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada Random Forest sınıflandırıcısında %83.66 oranında bir doğruluk değeri elde etmişlerdir [10].

Narayanan ve ark. duygu analizi yapmak için yapmış oldukları çalışmada Naive Bayes algoritmasını kullandıklarını belirtmişledir. IMDB veri seti kullanılarak yapılan bu çalışmada Naive Bayes algoritmasının farklı yönlerini araştırdıklarını ve yüksek bir doğruluk değeri elde ettiklerini belirtmişlerdir. Yazarlar, önerilen yöntemin hız ve doğruluğu geliştirmek için bir dizi metin sınıflandırma problemine genelleştirileceğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar Naive Bayes sınıflandırıcısında %88.80 oranında bir doğruluk değeri elde etmişlerdir [11].

Huang ve ark. yapmış oldukları bu çalışmada LSTM ve BiLSTM ağlarını kullanmışlar. Ayrıca LSTM ağlarının metin sınıflandırma sürecinde başarılı bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar önermiş oldukları BiLSTM tabanlı model sayesinde farklı anlamlara gelen kelimelerin de tespit edilebilmesinin mümkün olacağını ifade etmiştir [12].

Pang ve ark. duygu analizi yapmak için yaptıkları bu çalışmada IMDB veri setini kullanmışlardır. Araştırmacılar yöntem olarak farklı makine öğrenmesi sınıflandırıcıları ve n-gram yöntemini tercih etmişlerdir. Unigram SVM ile %82.9, Biagram ME ile %77.4 ve Unigram + Bigram SVM ile %82.7 oranında doğruluk değerleri elde etmişlerdir [13].

Matsumoto ve ark. yaptıkları çalışmada IMDB ve Polarity veri setlerini kullanarak duygu analizi yapmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları bu çalışmada SVM ve n-gram yöntemini tercih etmişlerdir. Unigram yönteminde %83.7, Bigram yönteminde %80.4 ve Unigram+Bigram yönteminde %84.6 oranında bir doğruluk değeri elde etmişlerdir [14].

Tang ve ark. duygu analizi yapabilmek için 3 farklı yapay sinir ağı modeli kullanmışlardır. Bu modellerde sırasıyla %83.37, %82.6 ve %77.33 oranında doğruluk değerleri elde etmişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları bu çalışmada SemEval veri setini kullandıklarını ifade etmişlerdir [15].

Liu ve ark. ise duygu analizi yapabilmek için 3 farklı veri seti kullanmışlardır. Önerdikleri model ile %75.5 oranında bir doğruluk değeri elde etmişlerdir. Yapılan bu çalışmada araştırmacılar duygu analizi için çok etiketli sınıflandırma tabanlı bir yöntem önerdiklerini ifade etmişlerdir [16].

1.2. Yenilik ve Katkılar

Bu çalışmada IMDB veri seti kullanılarak duygu analizi yapılmıştır. Metin verileri kullanılarak sınıflandırma işlemini gerçekleştirmek zor bir süreçtir. Yapılan çalışmada öncelikle veri ön işleme süreci gerçekleştirilmiştir.

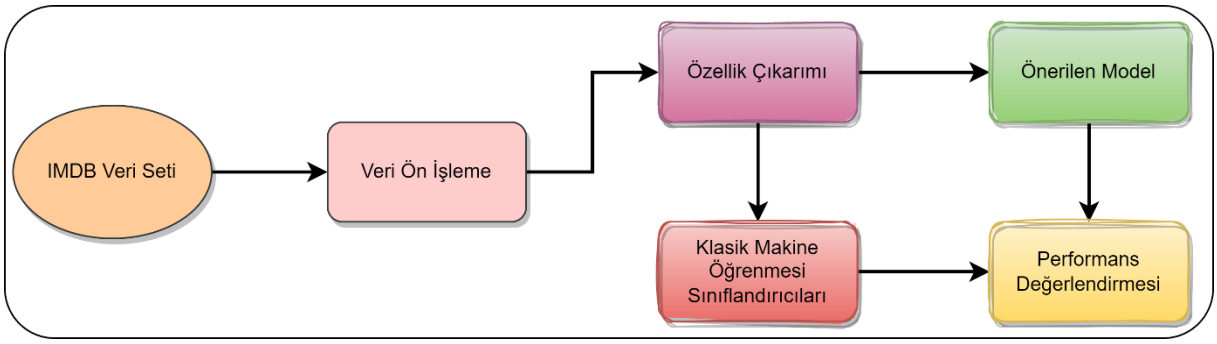
Daha sonra Bag of Words yöntemi kullanılarak doküman matrisi oluşturulmuştur. Bu çalışmada duygu analizi yapmak için ESA tabanlı yeni bir model önerilmiştir. Önerilen modelde elde edilen performans metrikleri literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında, önerilen modelin performans metriklerinin yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca önerilen modelin performansını değerlendirmek için hazırlanan veri seti 8 farklı makine öğrenmesi sınıflandırıcısında da sınıflandırılmıştır. Önerilen ESA tabanlı model, bu sınıflandırıcılar ile karşılaştırıldığında önerilen modelin daha başarılı olduğu görülmektedir. Önerilen modelin film yorumlarını sınıflandırırken elde ettiği doğruluk değeri %85.55'tir. Bu değer önerilen modelin duygu analizi problemlerinde kullanılabileceğini göstermektedir.

1.3. Makalenin Organizasyonu

Çalışmanın ilk bölümünde genel bilgiler verilmiş ve konuyla ilgili benzer çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın geri kalanının organizasyonu ise şu şekildedir. İkinci bölümde, çalışmada kullanılan materyal ve metot incelenmiştir. Bu bölümde, çalışmada kullanılan veri seti ve önerilen ESA tabanlı model detaylı bir şekilde incelenmiştir. Daha sonra üçüncü bölümde, uygulama sonuçları sunulmuştur. Son olarak sonuçlar bölümüne yer verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

IMDB veri setindeki verileri olumlu ve olumsuz olarak sınıflandırmak için ESA tabanlı bir model önerilmiştir. Literatürde klasik makine öğrenmesi sınıflandırıcıları kullanılarak yapılan çalışmalar mevcuttur. Fakat bu çalışmada önerilen model ESA tabanlı bir modeldir. Yapılan çalışmada verilerin %80'i eğitim için kullanılırken, geriye kalan %20'lik veriler ise modelin test edilmesi için ayrılmıştır. Ayrıca önerilen modelin performansını test etmek için 8 farklı makine öğrenmesi sınıflandırıcısında da sonuçlar alınmıştır. Önerilen modelin akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Geliştirilen modelin akış diyagramı

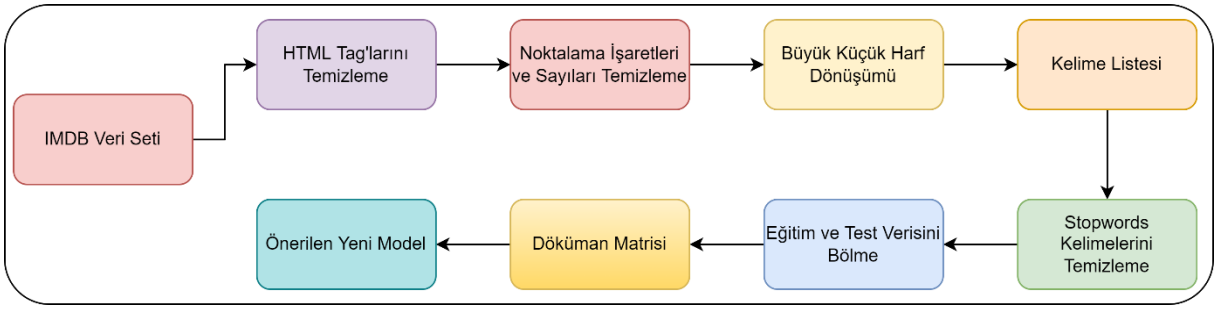
2.1. Veri Seti

Çalışmada kullanılan IMDB veri seti literatürde film yorumlarının incelemesi için kullanılan en büyük veri setlerinden birisidir [17, 18]. Veri seti, olumlu veya olumsuz iki kategoriye ait 50.000 film incelemesi içermektedir. Veri setinden örnek 3 yorum ve etiketleri Şekil 2'de verilmiştir.

index	review	sentiment
0	One of the other reviewers has mentioned that after watching just 1 Oz episode you'll be hooked. They are right, as this is exactly what happened with me. The first thing that struck me about Oz was its brutality and unflinching scenes of violence, which set in right from the word GO. Trust me, this is not a show for the faint hearted or timid. This show pulls no punches with regards to drugs, sex or violence. Its is hardcore, in the classic use of the word. It is called OZ as that is the nickname given to the Oswald Maximum Security State Penitentary. It focuses mainly on Emerald City, an experimental section of the prison where all the cells have glass fronts and face inwards, so privacy is not high on the agenda. Em City is home to many..Aryans, Muslims, gangstas, Latinos, Christians, Italians, Irish and more....so scuffles, death stares, dodgy dealings and shady agreements are never far away. I would say the main appeal of the show is due to the fact that it goes where other shows wouldn't dare. Forget pretty pictures painted for mainstream audiences, forget charm, forget romance...OZ doesn't mess around. The first episode I ever saw struck me as so nasty it was surreal, I couldn't say I was ready for it, but as I watched more, I developed a taste for Oz, and got accustomed to the high levels of graphic violence. Not just violence, but injustice (crooked guards who'll be sold out for a nickel, inmates who'll kill on order and get away with it, well mannered, middle class inmates being turned into prison bitches due to their lack of street skills or prison experience) Watching Oz, you may become comfortable with what is uncomfortable viewing....thats if you can get in touch with your darker side.	positive
1	A wonderful little production. The filming technique is very unassuming- very old-time-BBC fashion and gives a comforting, and sometimes discomforting, sense of realism to the entire piece. The actors are extremely well chosen- Michael Sheen not only "has got all the polari" but he has all the voices down pat too! You can truly see the seamless editing guided by the references to Williams' diary entries, not only is it well worth the watching but it is a terrifically written and performed piece. A masterful production about one of the great master's of comedy and his life. The realism really comes home with the little things: the fantasy of the guard which, rather than use the traditional 'dream' techniques remains solid then disappears. It plays on our knowledge and our senses, particularly with the scenes concerning Orton and Halliwell and the sets (particularly of their flat with Halliwell's murals decorating every surface) are terribly well done.	positive
2	I thought this was a wonderful way to spend time on a too hot summer weekend, sitting in the air conditioned theater and watching a light-hearted comedy. The plot is simplistic, but the dialogue is witty and the characters are likable (even the well bread suspected serial killer). While some may be disappointed when they realize this is not Match Point 2: Risk Addiction, I thought it was proof that Woody Allen is still fully in control of the style many of us have grown to love. This was the most I'd laughed at one of Woody's comedies in years (dare I say a decade?). While I've never been impressed with Scarlet Johanson, in this she managed to tone down her "sexy" image and jumped right into a average, but spirited young woman. This may not be the crown jewel of his career, but it was wittier than "Devil Wears Prada" and more interesting than "Superman" a great comedy to go see with friends.	positive

Şekil 2. Veri setinden örnek yorumlar

Yapay zekâ tabanlı modeller duygu analizini doğrudan metin üzerinde yapamamaktadır. Bundan dolayı öncelikle çalışmada kullanılan veri seti önerilen model için hazırlanmıştır. Bu süreç, Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Veri ön işleme süreci

Yapay zekâ tabanlı modeller metin verisi üzerinde doğrudan işlem yapamamaktadır. Bu verilerin hazırlanması sürecinde öncelikle html tag'ları temizlenir. Daha sonra modellerin performansı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olmayan noktalama işaretleri ve sayılar ayıklanır. Bu adım makinelere sözcüklerin öğretilmesi için en temel ön işleme adımlarından biridir [19]. Bir sonraki aşamada modelin aynı kelimeleri farklı algılamaması için büyük harfler küçük harfe dönüştürülmüştür. Veri ön işleme adımlarından sonra kelime listesi çıkartılmıştır. Bu kelime listesinde stopwords (the, he, she, at, with vb.) kelimeleri olduğundan dolayı bu kelimelerin temizlenmesi gerekmektedir [1]. Bundan sonraki süreçte ise eğitim ve test verileri ayrıştırılmıştır. Son olarak Bag of Words yöntemi kullanılarak döküman matrisi oluşturulmuş ve bu doküman matrisi önerilen modele girdi olarak verilmiştir. Şekil 4'te ön işleme yapılmamış orijinal bir yorum verilmiştir.

```
'Encouraged by the positive comments about this film on here I was looking forward to wa
tching this film. Bad mistake. I've seen 950+ films and this is truly one of the worst o
f them - it's awful in almost every way: editing, pacing, storyline, 'acting,' soundtrac
k (the film's only song - a lame country tune - is played no less than four times). The
film looks cheap and nasty and is boring in the extreme. Rarely have I been so happy to
see the end credits of a film. <br /><br />The only thing that prevents me giving this a
1-score is Harvey Keitel - while this is far from his best performance he at least seems
to be making a bit of an effort. One for Keitel obsessives only.'
```

Şekil 4. Orijinal Yorum

Şekil 4'teki orijinal yorum veri ön işleme sürecinden sonra Şekil 5'teki gibidir. Ön işleme adımından sonra html tag'ları, noktalama işaretleri ve sayılar kaldırılmıştır. Ayrıca büyük harfler küçük harfe dönüştürülmüştür.

```
'encouraged by the positive comments about this film on here i was looking forward to wa
tching this film  bad mistake  i ve seen      films and this is truly one of the worst o
f them   it s awful in almost every way  editing  pacing  storyline  acting  soundtrac
k  the film s only song   a lame country tune   is played no less than four times   the
film looks cheap and nasty and is boring in the extreme  rarely have i been so happy to
see the end credits of a film  the only thing that prevents me giving this a   score is
harvey keitel   while this is far from his best performance he at least seems to be maki
ng a bit of an effort  one for keitel obsessives only '
```

Şekil 5. Ön işleme adımı uygulanmış yorum örneği

Bu adımdan sonra kelime listesi çıkartılmıştır. Elde edilen kelime listesinden stopwords kelimeleri çıkartıldıktan sonra döküman matrisi [20] elde edilmiştir.

2.2. ESA Katmanları ve Sınıflandırıcılar

Evrişimsel Sinir Ağı (ESA), bilgisayarlı görü alanında yüksek başarımlar elde etmesinden dolayı görüntü tanıma, sinyal işleme, doğal dil işleme, duygu tanıma, bölütleme, sınıflandırma, nesne tanıma gibi çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Derin öğrenme mimarileri içerisinde en fazla kullanılan mimarilerden biridir [21]. ESA mimarilerinin klasik makine öğrenmesi yöntemlerinden farkı öğrenme işlemini doğrudan model üzerinde gerçekleştirmesidir. ESA mimarilerinde veriler giriş katmanı üzerinden modele verilmektedir. ESA modelleri öznitelik haritalarını otomatik çıkarabilmektedir [22]. Bundan dolayı ESA mimarilerinde öznitelik çıkarma işlemi uzman tarafından değil, model tarafından yapılmaktadır. Bu da uzman tarafından öznitelik çıkarma gereksinimini ortadan kaldırmaktadır. ESA'larda oluşturulan modeller genel olarak 2 kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda öznitelikler çıkarılmaktadır, ikinci kısımda ise sınıflandırma yapılmaktadır.

ESA modelleri oluşturulurken belirli katmanlar kullanılır. Bu katmanlar ileri yönlü çalışmaktadır. Bu modellerde kullanılan katmanların sayısının veya dizilişinin belirli bir standardı yoktur. Literatürde kabul görmüş modellerde de bu katmanların sayıları veya dizilişleri birbirilerinden farklıdır. Modeller tasarlanırken önemli olan katmanların dizilişlerinin ve parametre değerlerinin nasıl ayarlandığıdır. Yapılan çalışmada giriş, convolution, maxpooling, relu aktivasyon fonksiyonu, dropout, flatten ve dense katmanları kullanılmıştır.

Giriş katmanı üzerinden veri setindeki veriler okunduktan sonra convolution katmanına girdi olarak verilir. Convolution katmanı ESA mimarilerinin en temel katmanlarından biridir. Bu katmana gelen verilere filtreler uygulanmaktadır. Convolution katmanına uygulanan filtrelerle ağın derinliği artırılmış olunur ve bu sayede ağın daha doğru sonuçlar vermesi amaçlanır [23].

Convolution katmanlarında elde edilen özellik haritaları daha sonra pooling adı verilen işleme tabi tutulabilir. Pooling işleminde ki amaçlardan biri öznitelik haritalarının boyutunu düşürüp, çeşitliliği azaltmaktır. Bu sayede önemli özellikler korunmakla beraber, hesaplama maliyetleri ve bir sonraki katmanın girdi boyutları düşürülmüş olunur [24].

Relu aktivasyon fonksiyonu ise özellikle ESA mimarilerinde sıklıkla kullanılan bir aktivasyon fonksiyonudur. Relu aktivasyon fonksiyonu sayesinde negatif eksende fonksiyonun 0 değerini alması sağlanmış olunur. Buradaki amaç ağın daha hızlı bir şekilde çalışmasını sağlamaktır. Bunun dezavantajı ise bu bölgede türevin sıfır olmasından dolayı, öğrenmenin de engellenmesi anlamına gelmektedir [25].

Derin öğrenme ağlarında eğitim sırasında ezberleme olayı meydana gelebilmektedir. Bu ezberleme olayına aşırı öğrenme de denilebilmektedir. Bu durumda eğitim verilerinde modellerin başarımı yüksek gibi gözükse de test aşamasında aynı başarı oranı elde edilememektedir. Ağdaki bazı bağlantıların koparılması nöronların birbirleri hakkında daha az bilgiye sahip olmalarına yol açacaktır ve bundan dolayı nöronlar birbirlerinin ağırlık değişimlerinden daha az etkilenmiş olacaklardır [26]. Bu sayede ağın aşırı ezberlemesi de engellenmiş olacaktır.

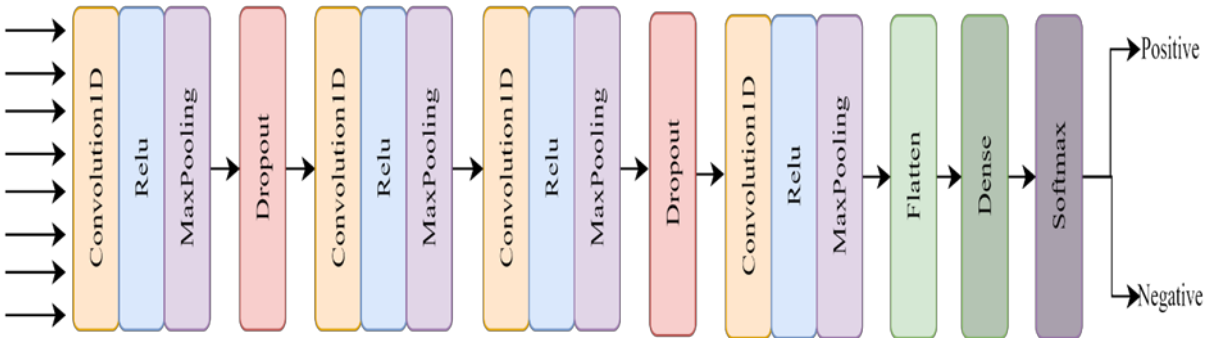
ESA ağlarında kullanılan bir diğer katman ise flatten katmanıdır. Bu katmanın görevi verileri Dense katmanına göre hazırlamaktır. Flatten katmanı kendisine matris olarak gelen verileri tek boyutlu diziye dönüştürür ve bu tek boyutlu dizi Dense katmanına giriş olarak verilir [27].

Dense katmanı kendisinden önceki katmanın tüm alanlarına bağlıdır. Sınıflandırma aşaması ESA ağlarında özellik çıkarımı aşamasından sonra gelmektedir. Dense katmanı özellik haritalarını girdi olarak almakta ve bu özellik haritalarını sınıflandırma işlemine hazırlamaktadır. [28].

Ayrıca çalışmada önerilen modelin performansını test etmek için 8 farklı klasik makine öğrenmesi sınıflandırıcılarından faydalanılmıştır. Bu sınıflandırıcılar literatürde kabul gören k-nearest neighbors(KNN) [29], Naive-bayes (NB) [30], Random Forest(RF) [31], Gradient Boosting (GB) [32], LightGBM [33], Discriminant Analysis [34], Adaboost [35] ve Xgboost [36] sınıflandırıcılarıdır.

2.3. Önerilen ESA Tabanlı Model

Bilgisayar destekli sistemler, özellikle teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yapay zeka temelli yöntemler farklı alanlarda kullanılmakla birlikte doğal dil işleme alanında da sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışmada duygu analizi yapmak için ESA temelli bir model önerilmiştir. Önerilen ESA tabanlı modelde 4 tane convolution katmanı, 4 tane relu aktivasyon fonksiyonu, 4 tane maxpooling, 2 tane dropout ve 1'er tane flatten, dense ve softmax kullanılmıştır. Önerilen modelin blok diyagramı Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Önerilen modelin blok diyagramı

Önerilen modelin parametre sayıları ve katman dizilişleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Önerilen modelin katman ve parametre dağılımları

Katmanlar	Çıktı Şekli	Aktivasyon	Parametre#
Conv1d	(None, 3000, 32)	Relu	96
Max_pooling1d	(None, 1500, 32)	-	0
Dropout	(None, 1500, 32)	-	0
Conv1d	(None, 750, 64)	Relu	4160
Max_pooling1d	(None, 375, 64)	-	0
Conv1d	(None, 188, 64)	Relu	8256
Max_pooling1d	(None, 94, 64)	-	0
Dropout	(None, 94, 64)	-	0
Conv1d	(None, 47, 32)	Relu	4128
Max_pooling1d	(None, 23, 32)	-	0
Flatten	(None, 736)	-	0
Dense	(None, 2)	-	1474

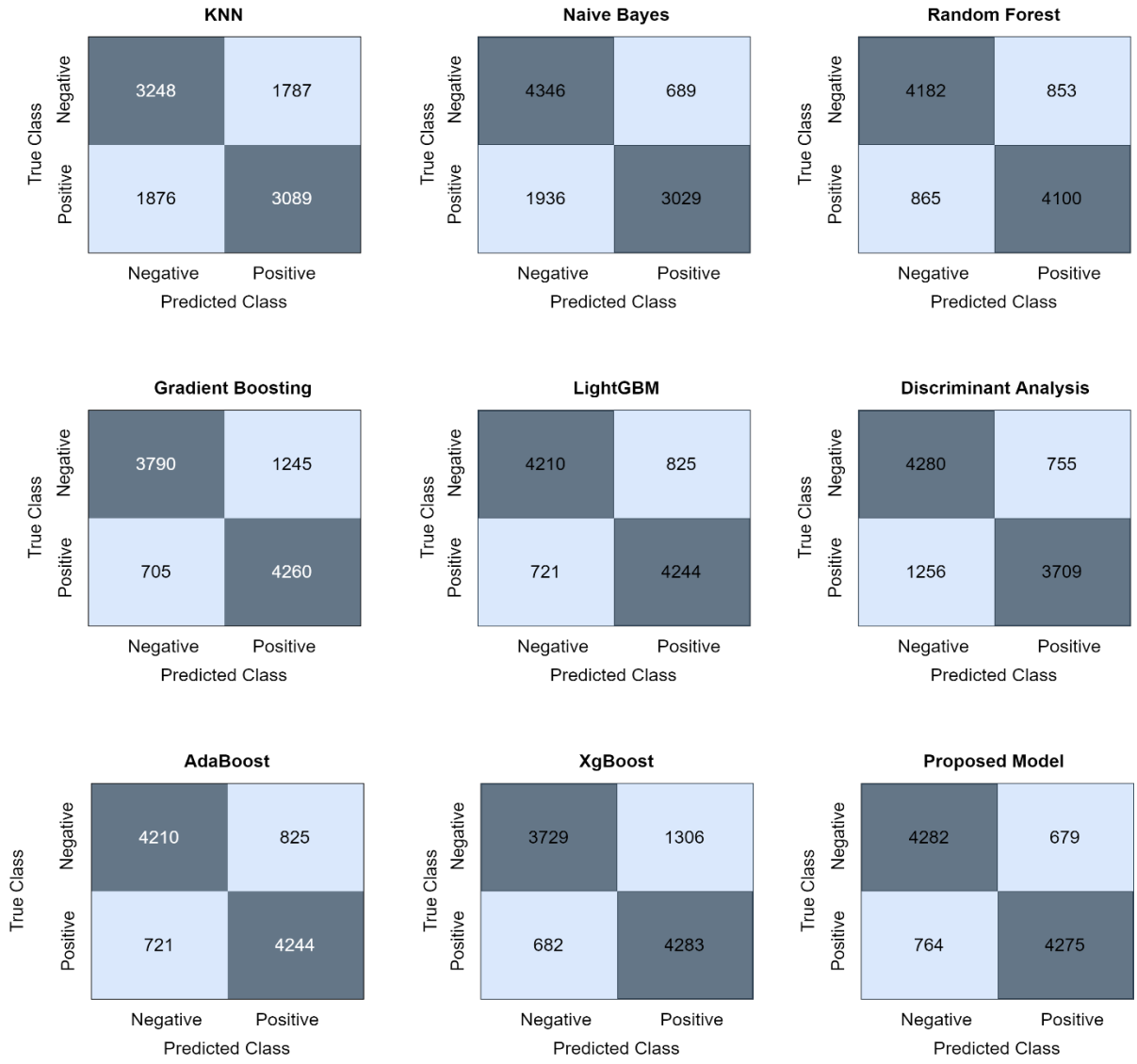
3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Duygu analizi yapmak için IMDB veri setini kullanarak yapılan bu çalışma Python ortamında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar 16 GB RAM belleğe, 8 GB ekran kartına ve i7 işlemciye sahip bir bilgisayar üzerinde alınmıştır.

Çalışmada, modellerin performansını test etmek için farklı performans değerlendirme metrikleri kullanılmıştır. Bu metriklerin çoğu, karmaşıklık matrisi [37] kullanılarak hesaplanır.

Şekil 7'de Positive değerler olumlu yorumları, Negative değerler olumsuz yorumları, True Class doğru sınıfları ve Predicted Class tahmini sınıfları ifade etmektedir. Çalışmada yer alan modellerin performansını değerlendirmek için Doğruluk, Duyarlılık, Özgüllük, Kesinlik, FPR, FDR, FNR ve F1-Score parametreleri kullanılmıştır [38].

Yapılan çalışmada veri temizleme adımından sonra 8 farklı makine öğrenmesi ve önerilen ESA tabanlı model kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. 8 farklı sınıflandırıcı ve önerilen modelde elde edilen karmaşıklık matrisler Şekil 7'de verilmiştir. Veri setindeki veriler pozitif veya negatif olarak ayrıştırılmıştır.



Şekil 7. Önerilen modelin ve sınıflandırıcıların karışıklık matrisleri

Şekil 7 incelendiğinde önerilen model 10000 tane verinin 8557 tanesini doğru tahmin ederken 1143 tanesini ise yanlış tahmin etmiştir. Önerilen modelin doğruluk değeri %85.57 olmuştur. Önerilen model ile 8 farklı sınıflandırıcıda elde edilen doğruluk değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Önerilen modelde ve sınıflandırıcılarda elde edilen doğruluk değerleri

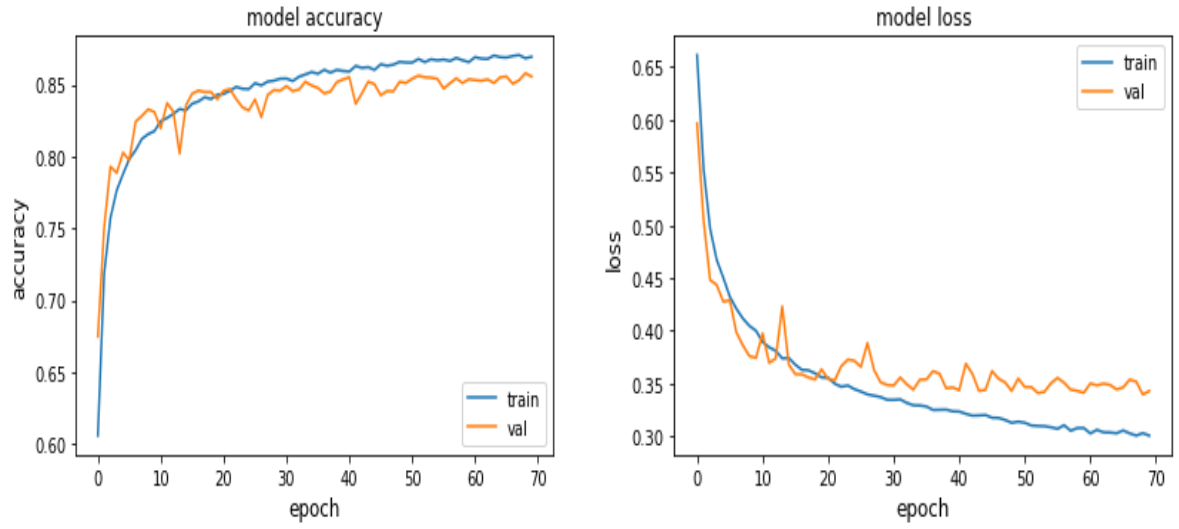
Model	Doğruluk(%)	Model	Doğruluk(%)
KNN	63.37	LightGBM	84.54
Naive Bayes	73.75	Discriminant Analysis	79.89
Random Forest	82.82	Adaboost	84.54
Gradient Boosting	80.50	XgBoost	80.12
		Önerilen Model	**85.57**

Tablo 2 incelendiğinde en düşük doğruluk değerinin %63.37 ile KNN sınıflandırıcısında elde edildiği ve en yüksek doğruluk değerinin ise %85.57 ile önerilen modelde elde edildiği görülmektedir. Önerilen modelin performans değerlendirme metrikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Önerilen modelin performans metrikleri(%)

Doğruluk	Duyarlılık	Özgüllük	Kesinlik
0.8557	0.8486	0.8629	0.8631
FPR	**FDR**	**FNR**	**F1-Score**
0.1371	0.1371	0.1514	0.8558

Önerilen modelde elde edilen doğruluk (accuracy) ve kayıp (loss) eğrileri ise Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Önerilen modelin doğruluk ve kayıp eğrileri

4. Sonuçlar

İnternetin insan yaşamına girmesiyle birlikte insan yaşamı oldukça değişmiştir. Her geçen gün interneti kullanan insan sayısının artması farklı gereksinimlerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. İnternetin yaygın bir hale

gelmesiyle birlikte sosyal medya platformları, forum siteleri ve bloklarda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu platformlarda kullanıcılar tarafından çok fazla paylaşım yapılmaktadır. Bu paylaşımların bilgisayar destekli sistemler yardımıyla işlenmesi ve sonuçlar üretilmesi büyük bir önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışmada da film yorumlarından oluşan bir veri seti kullanılarak duygu analizi yapılmıştır. Bu işlemin yapılabilmesi için ESA tabanlı bir model önerilmiştir. ESA tabanlı modeller özellikle son yıllarda görüntü işleme, sinyal işleme ve doğal dil işleme konularında sıklıkla kullanılmaktadır. Önerilen ESA tabanlı model ile IMDB veri setinde %85.57 oranında yüksek bir doğruluk değeri elde edilmiştir. Önerilen modelde elde edilen doğruluk değeri, önerilen modelin duygu analizi probleminde kullanılabileceğini göstermektedir.

Teşekkür

Araştırmacılara IMDB veri setini paylaştıkları için teşekkür ederim.

Kaynaklar

[1] Bingol, H. and B. Alatas. *Rumor Detection in Social Media using machine learning methods*. in *2019 1st International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK)*. 2019. IEEE.
[2] ALBAYRAK, A., *Doğal Dil İşleme Teknikleri Kullanılarak Disiplinler Arası Lisansüstü Ders İçeriği Hazırlanması.* Bilişim Teknolojileri Dergisi, 2020. **13**(4): p. 373-383.
[3] Mani, I., et al., *SUMMAC: a text summarization evaluation.* Natural Language Engineering, 2002. **8**(1): p. 43-68.
[4] Bansal, N. and A. Singh. *A review on opinionated sentiment analysis based upon machine learning approach*. in *2016 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*. 2016. IEEE.
[5] Yadav, A. and D.K. Vishwakarma, *Sentiment analysis using deep learning architectures: a review.* Artificial Intelligence Review, 2020. **53**(6): p. 4335-4385.
[6] Elnagar, A., Y.S. Khalifa, and A. Einea, *Hotel Arabic-reviews dataset construction for sentiment analysis applications*, in *Intelligent Natural Language Processing: Trends and Applications*. 2018, Springer. p. 35-52.
[7] Al Amrani, Y., M. Lazaar, and K.E. El Kadiri, *Random forest and support vector machine based hybrid approach to sentiment analysis.* Procedia Computer Science, 2018. **127**: p. 511-520.
[8] Haque, M.R., S.A. Lima, and S.Z. Mishu. *Performance Analysis of Different Neural Networks for Sentiment Analysis on IMDb Movie Reviews*. in *2019 3rd International Conference on Electrical, Computer & Telecommunication Engineering (ICECTE)*. 2019. IEEE.
[9] Rao, G., et al., *LSTM with sentence representations for document-level sentiment classification.* Neurocomputing, 2018. **308**: p. 49-57.
[10] Islam, M.M. and N. Sultana, *Comparative study on machine learning algorithms for sentiment classification.* International Journal of Computer Applications, 2018. **182**(21): p. 1-7.
[11] Narayanan, V., I. Arora, and A. Bhatia. *Fast and accurate sentiment classification using an enhanced Naive Bayes model*. in *International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning*. 2013. Springer.
[12] Huang, Y., et al. *A topic BiLSTM model for sentiment classification*. in *Proceedings of the 2nd International Conference on Innovation in Artificial Intelligence*. 2018.
[13] Pang, B., L. Lee, and S. Vaithyanathan, *Thumbs up? Sentiment classification using machine learning techniques.* arXiv preprint cs/0205070, 2002.
[14] Matsumoto, S., H. Takamura, and M. Okumura. *Sentiment classification using word sub-sequences and dependency sub-trees*. in *Pacific-Asia conference on knowledge discovery and data mining*. 2005. Springer.
[15] Tang, D. *Sentiment-specific representation learning for document-level sentiment analysis*. in *Proceedings of the eighth ACM international conference on web search and data mining*. 2015.
[16] Liu, S.M. and J.-H. Chen, *A multi-label classification based approach for sentiment classification.* Expert Systems with Applications, 2015. **42**(3): p. 1083-1093.
[17] Maas, A., et al. *Learning word vectors for sentiment analysis*. in *Proceedings of the 49th annual meeting of the association for computational linguistics: Human language technologies*. 2011.
[18] *Kaggle, Url:https://www.kaggle.com/datasets/lakshmi25npathi/imdb-dataset-of-50k-movie-reviews, Son Erişim Tarihi:15.03.2022.*
[19] A. Mullen, L., et al., *Fast, consistent tokenization of natural language text.* Journal of Open Source Software, 2018. **3**(23): p. 655.
[20] De Vries, E., M. Schoonvelde, and G. Schumacher, *No longer lost in translation: Evidence that Google Translate works for comparative bag-of-words text applications.* Political Analysis, 2018. **26**(4): p. 417-430.
[21] Sindagi, V.A. and V.M. Patel, *A survey of recent advances in cnn-based single image crowd counting and density estimation.* Pattern Recognition Letters, 2018. **107**: p. 3-16.

[22] Eroglu, Y., et al., *Diagnosis and grading of vesicoureteral reflux on voiding cystourethrography images in children using a deep hybrid model.* Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2021. **210**: p. 106369.
[23] 23. Fuhl, W., et al. *Training decision trees as replacement for convolution layers*. in *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. 2020.
[24] Gholamalinejad, H. and H. Khosravi, *Vehicle classification using a real-time convolutional structure based on DWT pooling layer and SE blocks.* Expert Systems with Applications, 2021. **183**: p. 115420.
[25] Wang, S.-H., et al., *Alcoholism identification via convolutional neural network based on parametric ReLU, dropout, and batch normalization.* Neural Computing and Applications, 2020. **32**(3): p. 665-680.
[26] Ali, A.A.A. and S. Mallaiah, *Intelligent handwritten recognition using hybrid CNN architectures based-SVM classifier with dropout.* Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, 2021.
[27] Lee, H., K. Bonin, and M. Guthold, *Human mammary epithelial cells in a mature, stratified epithelial layer flatten and stiffen compared to single and confluent cells.* Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects, 2021. **1865**(6): p. 129891.
[28] Lee, J.-S. and Y.-H. Byun, *Instrumented cone penetrometer for dense layer characterization.* Sensors, 2020. **20**(20): p. 5782.
[29] Zhang, M.-L. and Z.-H. Zhou, *ML-KNN: A lazy learning approach to multi-label learning.* Pattern recognition, 2007. **40**(7): p. 2038-2048.
[30] Rish, I. *An empirical study of the naive Bayes classifier*. in *IJCAI 2001 workshop on empirical methods in artificial intelligence*. 2001.
[31] Pal, M., *Random forest classifier for remote sensing classification.* International journal of remote sensing, 2005. **26**(1): p. 217-222.
[32] Friedman, J.H., *Stochastic gradient boosting.* Computational statistics & data analysis, 2002. **38**(4): p. 367-378.
[33] Ke, G., et al., *Lightgbm: A highly efficient gradient boosting decision tree.* Advances in neural information processing systems, 2017. **30**.
[34] Klecka, W.R., G.R. Iversen, and W.R. Klecka, *Discriminant analysis*. Vol. 19. 1980: Sage.
[35] Rätsch, G., T. Onoda, and K.-R. Müller, *Soft margins for AdaBoost.* Machine learning, 2001. **42**(3): p. 287-320.
[36] Chen, T. and C. Guestrin. *Xgboost: A scalable tree boosting system*. in *Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining*. 2016.
[37] Cengil, E., A. Çinar, and M. Yildirim. *A Case Study: Cat-Dog Face Detector Based on YOLOv5*. in *2021 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT)*. 2021. IEEE.
[38] Yildirim, M. and A. Cinar, *Classification with respect to colon adenocarcinoma and colon benign tissue of colon histopathological images with a new CNN model: MA_ColonNET.* International Journal of Imaging Systems and Technology, 2022. **32**(1): p. 155-162.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 761-768, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1142207

Ultrason RF Sinyallerinden Göğüs Kanserinin Derin Öğrenme Tabanlı Yaklaşımlarla Tespit Edilmesi

Fatih DEMİR[1*]
[1] Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[*1] fatihdemir@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 07/07/2022; Kabul/Accepted: 24/08/2022)

Öz: Göğüs kanseri kadınların en çok yakalandığı kanser türüdür. Bu hastalıkta erken teşhis çok önemlidir. Erken teşhis için kullanılan en önemli tıbbi teknolojiler arasında Manyetik Rezonans (MR) ve Ultrason (US) yer almaktadır. US ile teşhis MR ile teşhise göre daha az maliyetlidir fakat daha fazla deneyim gerektirir. Gelişen teknoloji ile yapay zekâyı kullanan otomatik karar destek sistemleri son derece popüler hale gelmiştir. Bu noktada bu çalışmada US RF sinyallerini kullanarak derin öğrenme tabanlı bir yaklaşımla göğüs kanseri otomatik teşhis edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan örnek sayısı fazla olmadığı için önceden eğitilmiş bir ESA modeli olan MobileNetV2 öznitelik çıkarmak için kullanılmıştır. Sınıflandırma aşamasında ise bir topluluk sınıflandırıcısı olan ensemble RUSBoosted Tree (ERBT) algoritması tercih edilmiştir.

Anahtar kelimeler: US RF sinyaller, Göğüs Kanseri, Derin Öğrenme, Sınıflandırma.

Detection of Breast Cancer from Ultrasound RF Signals with Deep Learning-Based Approaches

Abstract: Breast cancer is the most common type of cancer in women. Early diagnosis is very important in this disease. Magnetic Resonance (MR) and Ultrasound (US) are among the most important medical technologies used for early diagnosis. Diagnosis with US is less costly than diagnosis with MR but requires more experience. With the developing technology, automatic decision support systems using artificial intelligence have become extremely popular. At this point, in this study, an automatic diagnosis of breast cancer was tried to be made with a deep learning-based approach using US signals. Since the number of samples used in the study was not large, MobileNetV2, a pre-trained ESA model, was used for feature extraction. In the classification phase, the ensemble RUSBoosted Tree (ERBT) algorithm, which is a community classifier, was preferred.

Key words: US signals, Breast Cancer, Deep Learning, Classification.

1. Giriş

Göğüs kanseri, kadınlarda en sık teşhis edilen kanserdir ve dünya çapında kansere bağlı ölümlerin önde gelen nedenidir [1]. Göğüs kanserinin erken teşhisi ve doğru teşhisi, hastaların etkin tedavisi ve hayatta kalması için çok önemlidir. Ultrason (US) görüntüleme, göğüs lezyonu karakterizasyonu için kullanılan popüler bir tıbbi görüntüleme yöntemidir. US düşük maliyetlidir, yaygın olarak bulunur ve göğüs kitlelerini yüksek doğrulukla ayırt etmek için kullanılabilir. Bununla birlikte, US taramalarının, bir US tarayıcısını çalıştırmada ve incelenen göğüs içindeki kitleyi bulmada usta olan yetenekli bir doktor tarafından alınması gerekir. Ayrıca US görüntülerinde göğüs kitlelerinin değerlendirilmesi subjektiftir ve radyoloğun deneyimine bağlıdır.

Sınıflandırma performansını iyileştirmek ve gereksiz biyopsilerden kaçınmak için US'de göğüs kitlelerini objektif olarak değerlendirmede radyologlara yardımcı olmak için çeşitli bilgisayar destekli tanı (CAD) sistemleri geliştirilmiştir [2–5]. CAD sistemleri, malign ve iyi huylu lezyonları ayırt etmek için yaygın olarak US görüntülerini kullanır. Ancak, US görüntülerindeki dokuların görünümü US tarayıcı ayarlarına bağlıdır (ör. tarayıcı kazancı, sıkıştırma). Örneğin, US görüntülerinin dokusu ve nesne kenarlarının görünürlüğü, çeşitli görüntü yeniden oluşturma yöntemleri ve görüntü son işleme algoritmaları kullanılarak değiştirilebilir [6]. Bu tür modifikasyonlar, US görüntülerini kullanan CAD sistemlerinin sınıflandırma performansı üzerinde olumsuz etkiye sahip olabilir [7]. Ayrıca, US görüntüsünün yeniden yapılandırılması işlemi sırasında, ham radyo frekansı (RF) sinyalleri tarafından taşınan doku yapısıyla ilgili bilgiler, ham US verilerini insan gözü için okunabilir kılmak için

[*] Sorumlu yazar: fatihdemir@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0003-3210-3664

gerekli olan geri döndürülemez sıkıştırma nedeniyle kısmen kaybolur. Bir çare olarak, özellikleri doğrudan RF verilerinden çıkarmak için nicel US (NUS) yöntemleri geliştirilmiştir. NUS teknikleri, dokunun çeşitli yerel fiziksel özellikleriyle ilgili özellikleri tahmin etmek için genellikle küçük 2B RF verisi yamaları kullanır [8]. Örneğin, doku mikro yapılarının yerel uzaysal dağılımı, RF sinyal genliklerine dayalı olarak değerlendirilebilir [9]. Yaygın olarak, Nakagami ve homodinlenmiş K dağılımları, RF sinyal genliği istatistiklerini modellemek için kullanılır. Göğüs kitle sınıflandırması durumunda, Nakagami ve homodinli K dağılımlarının şekil parametreleri, birkaç makalede malign ve iyi huylu göğüs kitlelerini ayırt etmek için kullanılmıştır [10–13]. QUS teknikleri belirli doku modellerine dayalıyken, Uniyal ve ark. küçük 2 boyutlu RF verilerinden ve US görüntülerinden elde edilen genel el yapımı özelliklere dayanan bir göğüs kitle sınıflandırma yöntemi geliştirdi [14]. Bu durumda, RF verilerine dayalı olarak çeşitli spektral özellikler hesaplanmıştır. Ayrıca, gri seviyeli birlikte oluşum matrisi ile ilgili özellikler, US görüntülerine dayalı olarak tahmin edildi. Ayrıca, Ouyang ve ark. malign ve iyi huylu göğüs kitlelerini ayırt etmek için H-scan yöntemiyle US saçılımlarının göreceli boyutunu değerlendirdi [15].

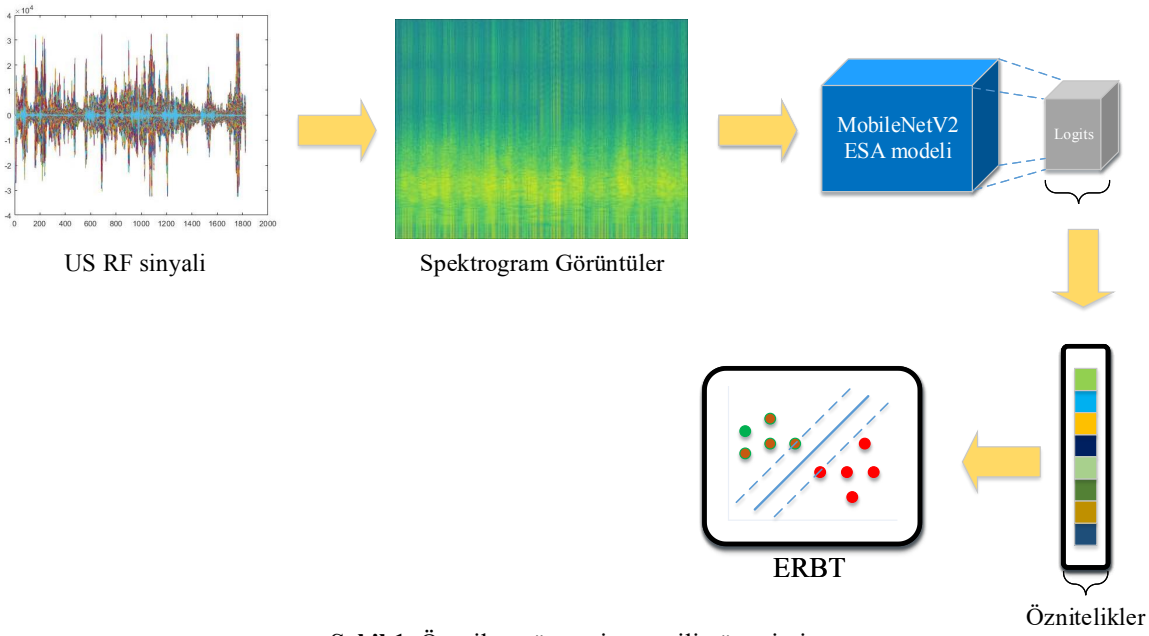
Evrişimli sinir ağlarına (ESA'lar) dayalı derin öğrenme yöntemleri, tıbbi görüntü analizi alanında önem kazanmaktadır. ESA, evrişim benzeri işlemler gerçekleştiren en az bir katman içeren bir yapay sinir ağıdır [16]. ESA'lar sıklıkla zaman alanını ve mekansal verileri işlemek için kullanılmıştır [17,18]. Bunlar, öncelikle çevrimsel denklik, parametre paylaşımı ve seyrek bağlantı gibi evrişimsel katmanların özelliklerinden dolayı, tamamen bağlı sinir ağlarına oldukça başarılı bir alternatif olarak kabul edilirler [19–23]. US görüntülemede, derin ESA'lar birçok çalışmada göğüs kitle sınıflandırmasına başarıyla uygulanmıştır [24–30]. Nispeten küçük veri kümeleri nedeniyle, yukarıda bahsedilen çalışmaların yazarları, US görüntülerine dayalı sınıflandırıcılar geliştirmek için ImageNet veri seti üzerinde önceden eğitilmiş derin ESA'larla farklı transfer öğrenme teknikleri uygulamışlardır [31]. Örneğin, [24]'da yazarlar, destek vektör makine sınıflandırıcılarını eğitmek için VGG19 ESA'dan çıkarılan özellikleri kullandılar. Bu arada, [25], [30]'te önceden eğitilmiş ESA'lar malign ve iyi huylu göğüs kitlelerini ayırt etmek için ince ayar yapıldı.

Bu çalışmada US sinyalleri kullanılarak göğüs kanseri otomatik olarak teşhis edilmeye çalışlımıştır. Bunun için ilk önce US sinyalleri spektrogram görüntülere dönüştürülmüştür. Bu görüntüler MobilenetV2 derin öğrenme modeline iletilmiştir. Bu modelde derin öznitelikler çıkarılmıştır. Bu öznitelikler kullanılarak ERBT algoritması ile sınıflandırma yapılmıştır.

.

2. Materyal ve Metodoloji

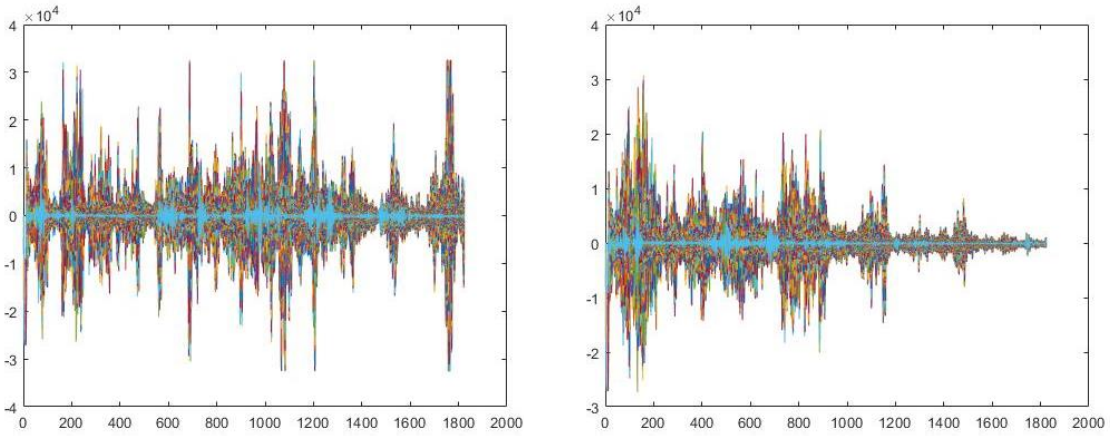
Bu çalışmada US RF sinyallerinden göğüs kanserini otomatik olarak saptamak için derin öğrenme temelli bir yaklaşım önermiştir. Önerilen yaklaşım 3 safhadan oluşmaktadır. İlk safhada US RF sinyallerinin spektrogram görüntüleri elde edilmiştir. Spektrogram görüntülerin elde edilmesinin amacı sinyallerin hem frekans hem de zaman bölgesine göre temsillerinin oluşturulmasıdır. Ayrıca farklı sinyal türlerinden (EMG, EEG gibi) elde edilen spektrogram görüntüler birçok sınıflandırma probleminde iyi bir performans elde edilmesini sağlamıştır. Dahası spektrogram görüntüler ile farklı boydaki sinyaller standart giriş boyutlarına getirilmektedir. Yapılan çalışmada da spektrogram görüntüler 875×656 boyutunda oluşturulmuştur. Daha sonra hem donanım gereksinimi azaltmak hem de kullanılacak olan MobileNetV2 modelinin standart boyutunu elde etmek için tüm spektrogram görüntüler 224×224 olarak yeniden boyutlandırılmıştır. Daha sonraki aşamada derin öznitelikler çıkarmak için bir önceden eğitilmiş ESA olan MobileNetV2 modelinin ağırlıkları kullanılmıştır. Spektrogram girişlerle MobileNetV2 modelinin Logits isimli katmanının ağırlık değerri aktive edilerek öznitelikler çıkarılmıştır. Son safhada sınıflandırma için makine öğrenmesinde popüler olan DVM, K-EYK, Karar Ağacı (KA), Lineer Ayırtaç (LA), Saf Bayes (SB), Torbalama Ağaçları Topluluğu (TAT), Güçlendirilmiş Ağaçlar Topluluğu (GAT) ve ERBT algoritmaları kullanılmıştır. En iyi performans ERBT algoritması ile elde edilmiştir. Önerilen yaklaşımın temsili gösterimi Şekil -1'de verilmiştir.



Şekil 1. Önerilen yöntemin temsili gösterimi.

2.1. Veri seti

Deneyleri gerçekleştirmek için 52 kötü huylu ve 48 iyi huylu lezyondan kaydedilen US RF sinyal çerçevelerini içeren halka açık OASBUD veri setini kullandık . Malign kitleler biyopsi ile, iyi huylu kitleler ise biyopsi veya 2 yıllık takip ile değerlendirildi. Her kütle için, 10 MHz'lik bir nominal merkezi iletim frekansında çalışan L14-5/38 lineer dizi dönüştürücü ile donatılmış Ultrasonix SonixTouch Research US tarayıcısı (Ultrasonix Inc., Kanada) kullanılarak iki ortogonal tarama (enine ve boyuna) elde edildi. Her durumda, odak bölgesi lezyon derinliğine ayarlanmış olarak tek odaklı hüzmeleme uygulandı. Her bir RF sinyal çerçevesi için, örnekleme frekansı 40 MHz'e eşit olan 512 tarama çizgisi toplanmıştır. US görüntüleri, RF verilerine dayanarak yeniden oluşturuldu ve deneyimli bir radyolog tarafından her bir göğüs kitle alanını gösteren ilgi bölgelerini (ROI'ler) belirlemek için kullanıldı. Veri seti hakkında daha fazla bilgi orijinal belgede bulunabilir [32]. Şekil 1, bir göğüs kütlesinin yeniden yapılandırılmış ve tarama çizgilerinden birine karşılık gelen tek bir US RF sinyalini göstermektedir.



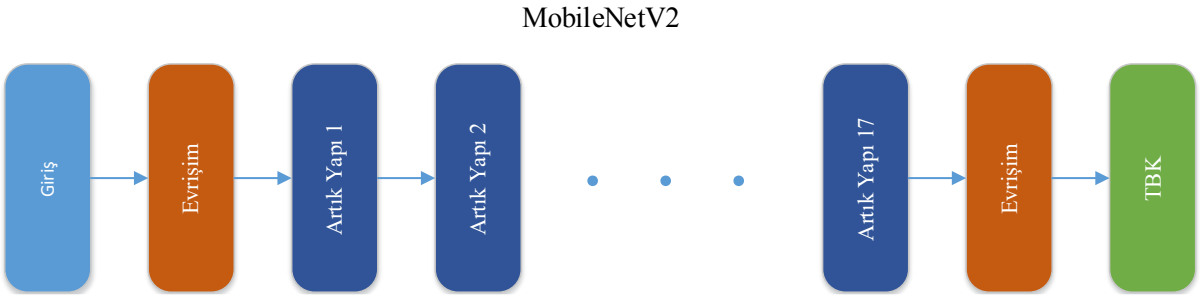
(a) (b)

Şekil 2. Veri setinden örnek gösterim. (a): İyi huylu US RF sinyali, (b): Kötü huylu US RF sinyali.

2.2. Metodoloji Tanımlamaları

MobileNetV1 [33], Google çalışanlarının 2017 yılında önerdiği, mobil veya gömülü cihazlar için uyumlu hafif-ağırlıklı bir ESA mimarisidir. MobileNetV1, klasik evrişimin iki safhasını, başka bir deyişle derinleme evrişim ve noktasal evrişim işlemini katmalar derinleştikçe ayıran evrişim işlemini kullanmaktadır. MobileNetV1 yapısında bit çarpımı hesabı kanallar temel alınarak yapılır ve kanal sayısı sabit kalır. Sonrasında, 1×1 evrişim çekirdeği kanal adedi değişmesinde sakınca yoktur. MobileNetV1 hiperparametre seçimi ile hız ve güvenlirlik arasındaki optimizasyon yapılabilir.

MobileNetV2 [34], MobileNetV1 modelininin güncellemiş bir versiyonudur. MobileNetV2 modelinde ters yapılı artık bloklar ve lineer darboğazlar eklenmiştir. Derinlemesine evrişim stratejisinde, kanal sayısının değiştirilmemesi öznitelik çıkarımında giriş kanal sayısının sınırlı kalmasına neden olmaktadır. Tersine yapılı artık bloklar ile bu sorun ortadan kalkar. Genel olarak bir artık blok, 1×1 boyutlu evrişim filtresi, 3×3 boyutlu evrişim filtresi ve 1×1 boyutlu artan evrişim filtresi düzeninde olan yapı tersine çevrilmiş artık yapıda 1×1 boyutlu artan evrişim filtresi, 3×3 boyutlu derinlemesine evrişim filtresi ve 1×1 boyutlu evrişim filtresi düzenindedir. Tersine yapılı artık bloktaki aktive işlevi, öğrenme işlemini hızlandırır, gradyan dağılımını ise dengeler ve modelin kararlılık performasını arttırır. MobileNetV2 mimarisinin blok düzeni Şekil 3'te verilmiştir.

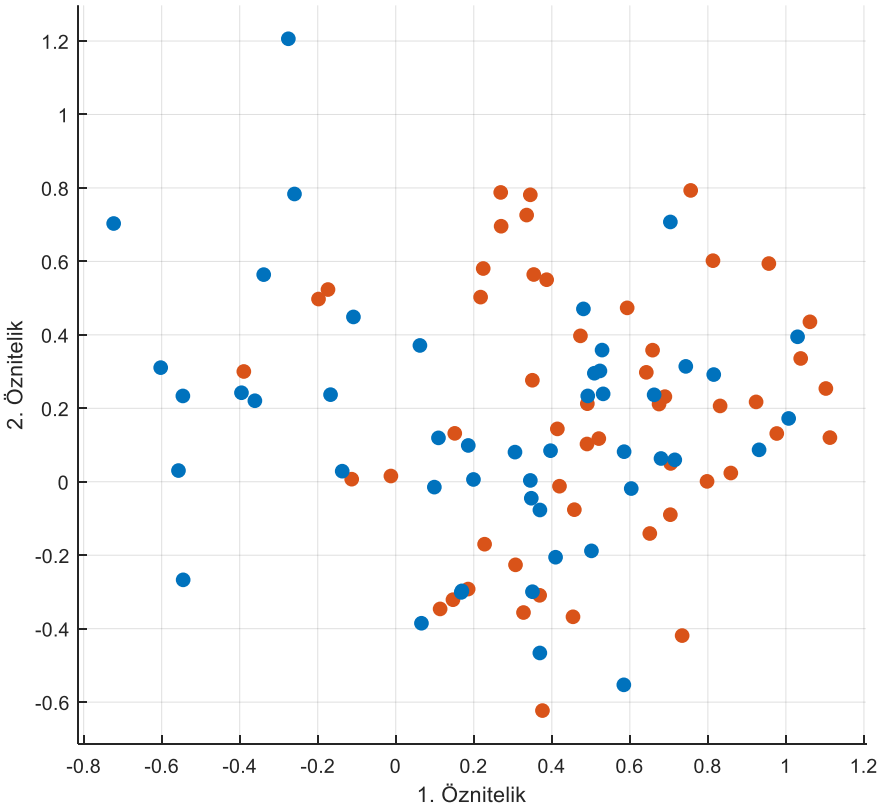


Şekil 3. MobileNetV2 modelinin blok şeması.

Sınıflandırma aşamasında ERBT algoritması kullanılmıştır. ERBT algoritmasındaki Rastgele yetersiz örnekleme artırma (RUSBoost), dengesiz verileri sınıflandırmada özellikle etkilidir, yani eğitim verilerindeki bazı sınıfların diğerlerine göre çok daha az üyesi vardır [35]. RUS, Rastgele Düşük Örnekleme anlamına gelir. Algoritma, örnekleme için temel birim olarak eğitim verilerinde en az üyeye sahip sınıftaki üye sayısı olan N'yi alır. Daha fazla üyeye sahip sınıflar, her sınıfın yalnızca N gözlemi alınarak örneklenir. Başka bir deyişle, eğer K sınıfı varsa, topluluktaki her zayıf öğrenen için RUSBoost, K sınıfının her birinden N gözlemi olan bir veri alt kümesini alır. Güçlendirme prosedürü, topluluğu yeniden ağırlıklandırmak ve oluşturmak için Çok Sınıflı Sınıflandırma için Uyarlamalı Yükseltme'deki prosedürü takip eder.

3. Deneysel Çalışma ve Sonuçlar

Gerçekleştirilen çalışmadaki tüm kodlamalar Intel marka i7 işlemcili (5500U), 8GB DDR3 bellekli, 512 SD depo kapasiteli bir dizüstüne kurulu MATLAB 2020a simülasyon programında gerçekleştirilmiştir. Kodlamada ilk adım olarak US RF sinyalleri spektrogram görüntülere çevrilmiştir. Bu adımda pencereleme, çakışma boyutu, örnekleme frekansı ve Fourier serisi boyutu sırasıyla 1000, 100, 500 ve 1000 olarak seçilmiştir. Pencereleme için "Hamming" kullanılmıştır. Öznitelik çıkarmak için MobileNetV2 modelinin Logits isimli tamamen bağlı katmanının ağırlıkları kullanılmıştır. Bu katmanda 1000 adet düğüm bulunmaktadır. Dolayısıyla 1000 adet öznitelik çıkarılmıştır. 1. ve 2. özniteliklere göre iyi huylu ve kötü huylu örneklerin saçılımı Şekil 4'te verilmiştir. Mavi renk kötü huylu örnekleri kırmızı renk kötü huylu örnekleri temsil etmektedir. Şekil 4'ten de görüldüğü gibi sınıflar arasında lineer bir dağılım yoktur. Dolayısıyla lineer bir sınıflandırıcı ile iyi bir başarım elde etmek mümkün değildir. Sınıflandırma aşamasında KA, LA, SB, DVM, K-EYK, TAT, YAT ve ERBT algoritmaları kullanılmıştır. Bu sınıflandırıcılar ile elde edilen sınıflandırma doğrulukları Tablo 1'de verilmiştir. Tüm sınıflandırıcılar için 10-kat çapraz doğrulama tekniği kullanılmıştır. Tablo 1'den de görüldüğü gibi en iyi sınıflandırma doğruluğu (%71) ERBT algoritması ile elde edilirken en kötü sınıflandırma doğruluğu YAT algoritması ile edilmiştir.

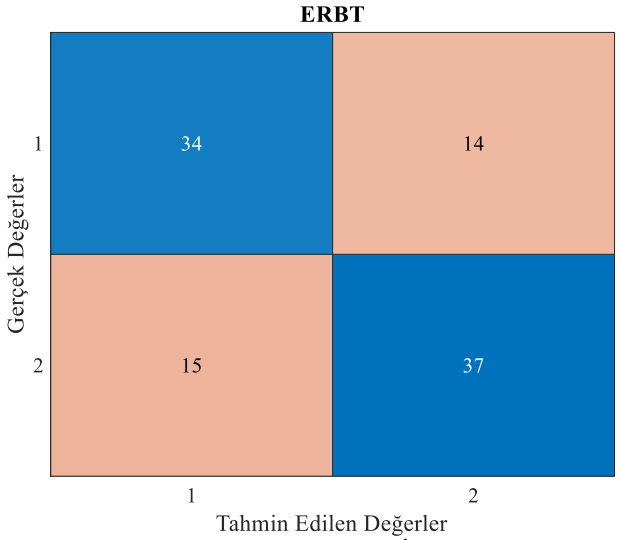


Şekil 4. Özniteliklerin saçılım düzeni için örnek gösterim.

Tablo 1. Sınıflandırıcılara göre doğruluk sonuçları

Sınıflandırıcılar	**Doğruluk (%)**
KA	65
LA	61
Saf Bayes (SB)	67
Lineer DVM	61
Fine K-EYK	60
TAT	62
YAT	52
EnsembleRUSBoosted Tree (ERBT)	71

En iyi başarımın elde edildiği ERBT algoritması için karmaşıklık matrisi Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5'teki "1" iyi huylu sınıfları, "2" ise kötü huylu sınıfları temsil etmektedir. Şekil 5'ten de görüldüğü gibi iyi huylu sınıfta 48 örnekten 14 adedi yanlış tahmin edilmiştir, kötü huylu sınıfta 52 örnekten 15 adedi yanlış tahmin edilmiştir. Karmaşıklık matrisindeki doğru pozitif, doğru negatif, yanlış pozitif ve yanlış negatif değerleri kullanılarak duyarlılık, özgüllük, kesinlik ve F-skor performans metrikleri hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 5. Karmaşıklık matrisi sonuçları: 1: İyi huylu, 2: Kötü huylu.

Tablo 2'den de görüldüğü gibi iyi huylu sınıf için duyarlılık, özgüllük, kesinlik ve F-skor metriklerinde sırasıyla 0.708, 0.712, 0.694 ve 0.701 değerleri, kötü huylu sınıf için 0.712, 0.708, 0.725 ve 0.718 değerleri elde edilmiştir.

Tablo 2. Diğer performans metriklerinin sonuçları

Sınıflar	Duyarlılık	Özgüllük	Kesinlik	F-Skor
İyi huylu	0.708	0.712	0.694	0.701
Kötü huylu	0.712	0.708	0.725	0.718

Tablo 3'te aynı veri setini kullanan Larrue ve diğerleri [10] Nakagami parametresine dayanan istatistiksel analiz yöntemi ile sınıflandırma yapmıştır. Bu yöntem ile %61.1 sınıflandırma doğruluğu ve 0.64 AUC değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3. Aynı veri setini kullanan yöntem ile karşılaştırma

Metot	Model	Doğruluk (%)	AUC
Larrue ve diğerleri [10]	Nakagami parametre temelli sınıflandırıcı	61.10	0.64
Önerilen metot	Spektrogram Görüntüler+MobileNetV2+ERBT	71.00	0.71

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, US RF sinyallerinden kötü huylu göğüs kanserini saptamak için derin öğrenme temelli bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşımda 2 boyutlu güçlü temsiller elde etmek için spektrogram görüntüler oluşturulmuştur. Bu temsiller MobileNetV2 modelinde kullanılmıştır. Bu modelden öznitelikler çıkarılmıştır. Çıkarılan özniteliklerde en iyi sınıflandırma performansını ERBT algoritması (%71) sağlamıştır. Önerilen yaklaşım aynı veri setini kullanan başka bir yöntemin performansına göre geliştirilmiştir. Sınıflandırma doğruluğu yaklaşık %10 kadar AUC değeri 0.7 kadar artırılmıştır. Buna rağmen alınan sonuç karar destek uygulamasında kullanılmak için yeterli başarım düzeyinde değildir. Bunun için veri setinin boyutunun artırılması gerekmektedir. Ayrıca daha büyük veri seti ile sıfırdan oluşturulmuş ESA modelleri ile de başarım artırılabilir.

Kaynaklar

[1] H. Sung, J. Ferlay, R.L. Siegel, M. Laversanne, I. Soerjomataram, A. Jemal, F. Bray, Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries, CA. Cancer J. Clin. 71 (2021) 209–249. https://doi.org/10.3322/caac.21660.

[2] H.-D. Cheng, J. Shan, W. Ju, Y. Guo, L. Zhang, Automated breast cancer detection and classification using ultrasound images: A survey, Pattern Recognit. 43 (2010) 299–317.

[3] J. Virmani, R. Agarwal, Assessment of despeckle filtering algorithms for segmentation of breast tumours from

ultrasound images, Biocybern. Biomed. Eng. 39 (2019) 100–121.
[4] G.-G. Wu, L.-Q. Zhou, J.-W. Xu, J.-Y. Wang, Q. Wei, Y.-B. Deng, X.-W. Cui, C.F. Dietrich, Artificial intelligence in breast ultrasound, World J. Radiol. 11 (2019) 19.
[5] W.G. Flores, W.C. de Albuquerque Pereira, A.F.C. Infantosi, Improving classification performance of breast lesions on ultrasonography, Pattern Recognit. 48 (2015) 1125–1136.
[6] M.L. Oelze, J. Mamou, Review of quantitative ultrasound: Envelope statistics and backscatter coefficient imaging and contributions to diagnostic ultrasound, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control. 63 (2016) 336–351.
[7] P.-H. Tsui, C.-C. Chang, Imaging local scatterer concentrations by the Nakagami statistical model, Ultrasound Med. Biol. 33 (2007) 608–619.
[8] X. Yu, Y. Guo, S.-M. Huang, M.-L. Li, W.-N. Lee, Beamforming effects on generalized Nakagami imaging, Phys. Med. Biol. 60 (2015) 7513.
[9] J. Virmani, R. Agarwal, Effect of despeckle filtering on classification of breast tumors using ultrasound images, Biocybern. Biomed. Eng. 39 (2019) 536–560.
[10] A. Larrue, J.A. Noble, Modeling of errors in nakagami imaging: Illustration on breast mass characterization, Ultrasound Med. Biol. 40 (2014) 917–930. https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2013.11.018.
[11] M. Byra, A. Nowicki, H. Wróblewska-Piotrzkowska, K. Dobruch-Sobczak, Classification of breast lesions using segmented quantitative ultrasound maps of homodyned K distribution parameters, Med. Phys. 43 (2016) 5561–5569.
[12] N. Uniyal, H. Eskandari, P. Abolmaesumi, S. Sojoudi, P. Gordon, L. Warren, R.N. Rohling, S.E. Salcudean, M. Moradi, Ultrasound RF time series for classification of breast lesions, IEEE Trans. Med. Imaging. 34 (2014) 652–661.
[13] Y. Ouyang, P.-H. Tsui, S. Wu, W. Wu, Z. Zhou, Classification of benign and malignant breast tumors using h-scan ultrasound imaging, Diagnostics. 9 (2019) 182.
[14] Y. Liao, P. Tsui, C. Li, K. Chang, W. Kuo, C. Chang, C. Yeh, Classification of scattering media within benign and malignant breast tumors based on ultrasound texture-feature-based and Nakagami-parameter images, Med. Phys. 38 (2011) 2198–2207.
[15] I. Trop, F. Destrempes, M. El Khoury, A. Robidoux, L. Gaboury, L. Allard, B. Chayer, G. Cloutier, The added value of statistical modeling of backscatter properties in the management of breast lesions at US, Radiology. 275 (2015) 666–674.
[16] I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville, Deep learning, MIT press, 2016.
[17] K.J. Lang, A.H. Waibel, G.E. Hinton, A time-delay neural network architecture for isolated word recognition, Neural Networks. 3 (1990) 23–43.
[18] Y. LeCun, B. Boser, J.S. Denker, D. Henderson, R.E. Howard, W. Hubbard, L.D. Jackel, Backpropagation applied to handwritten zip code recognition, Neural Comput. 1 (1989) 541–551.
[19] F. Demir, B. Taşcı, An Effective and Robust Approach Based on R-CNN+LSTM Model and NCAR Feature Selection for Ophthalmological Disease Detection from Fundus Images, J. Pers. Med. 11 (2021) 1276. https://doi.org/10.3390/jpm11121276.
[20] F. Demir, K. Demir, A. Şengür, DeepCov19Net: Automated COVID-19 Disease Detection with a Robust and Effective Technique Deep Learning Approach, New Gener. Comput. (2022) 1–23. https://doi.org/10.1007/s00354-021-00152-0.
[21] F. Demir, K. Siddique, M. Alswaitti, K. Demir, A. Sengur, A Simple and Effective Approach Based on a Multi-Level Feature Selection for Automated Parkinson's Disease Detection, J. Pers. Med. 12 (2022) 55. https://doi.org/10.3390/jpm12010055.
[22] F. Demir, Deep autoencoder-based automated brain tumor detection from MRI data, in: Artif. Intell. Brain-Computer Interface, Elsevier, 2022: pp. 317–351. https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91197-9.00013-8.
[23] F. Demir, DeepBreastNet: A novel and robust approach for automated breast cancer detection from histopathological images, Biocybern. Biomed. Eng. 41 (2021) 1123–1139. https://doi.org/10.1016/j.bbe.2021.07.004.
[24] N. Antropova, B.Q. Huynh, M.L. Giger, A deep feature fusion methodology for breast cancer diagnosis demonstrated on three imaging modality datasets, Med. Phys. 44 (2017) 5162–5171.
[25] S. Han, H.-K. Kang, J.-Y. Jeong, M.-H. Park, W. Kim, W.-C. Bang, Y.-K. Seong, A deep learning framework for supporting the classification of breast lesions in ultrasound images, Phys. Med. Biol. 62 (2017) 7714.
[26] M. Byra, Discriminant analysis of neural style representations for breast lesion classification in ultrasound, Biocybern. Biomed. Eng. 38 (2018) 684–690.
[27] M.H. Yap, G. Pons, J. Marti, S. Ganau, M. Sentis, R. Zwiggelaar, A.K. Davison, R. Marti, Automated breast ultrasound lesions detection using convolutional neural networks, IEEE J. Biomed. Heal. Informatics. 22 (2017) 1218–1226.
[28] M.H. Yap, M. Goyal, F.M. Osman, R. Martí, E. Denton, A. Juette, R. Zwiggelaar, Breast ultrasound lesions recognition: end-to-end deep learning approaches, J. Med. Imaging. 6 (2018) 11007.
[29] M. Byra, M. Galperin, H. Ojeda-Fournier, L. Olson, M. O'Boyle, C. Comstock, M. Andre, Breast mass classification in sonography with transfer learning using a deep convolutional neural network and color conversion, Med. Phys. 46 (2019) 746–755.
[30] X. Qi, L. Zhang, Y. Chen, Y. Pi, Y. Chen, Q. Lv, Z. Yi, Automated diagnosis of breast ultrasonography images using deep neural networks, Med. Image Anal. 52 (2019) 185–198.
[31] O. Russakovsky, J. Deng, H. Su, J. Krause, S. Satheesh, S. Ma, Z. Huang, A. Karpathy, A. Khosla, M. Bernstein,

others, Imagenet large scale visual recognition challenge, Int. J. Comput. Vis. 115 (2015) 211–252.
[32] H. Piotrzkowska-Wróblewska, K. Dobruch-Sobczak, M. Byra, A. Nowicki, Open access database of raw ultrasonic signals acquired from malignant and benign breast lesions, Med. Phys. 44 (2017) 6105–6109. https://doi.org/10.1002/mp.12538.
[33] A.G. Howard, M. Zhu, B. Chen, D. Kalenichenko, W. Wang, T. Weyand, M. Andreetto, H. Adam, Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications, ArXiv Prepr. ArXiv1704.04861. (2017).
[34] M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov, L.-C. Chen, Mobilenetv2: Inverted residuals and linear bottlenecks, in: Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., 2018: pp. 4510–4520.
[35] C. Seiffert, T.M. Khoshgoftaar, J. Van Hulse, A. Napolitano, RUSBoost: Improving classification performance when training data is skewed, in: 2008 19th Int. Conf. Pattern Recognit., IEEE, 2008: pp. 1–4.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 769-778, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1146700

Uzaktan Hasta Takibi İçin Mikroservis Mimarisi Kullanan Bir Uç Sistem Tasarımı

Sinan TAŞLI[1*], Güngör YILDIRIM[2]
[1] Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Batman Üniversitesi, Batman, Türkiye
[2] Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[*1] sinan.tasli@batman.edu.tr, [2] gungor.yildirim@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 21/07/2022; Kabul/Accepted: 24/08/2022)

Öz: Gecikme ve sistem yükü, bulut sistemler için iki kritik konudur. Bu konular akıllı şehir, akıllı sağlık sistemleri gibi büyük projelerde daha da önem kazanmaktadır. Son yıllarda kenar/uç ve sis gibi bulut teknolojileri bu iki kritik konuda önemli kazanımlar sağlamayı başarmıştır. Ancak bununla birlikte bu tür sistemlerde veri iletişimi, analiz ve değerlendirme gibi işlemlerin nasıl sağlanacağı da iyi planlanmalıdır. Bu tip bulut teknolojilerinde monolotik yazılım mimarileri yerine mikroservis temelli mimarilerin tercih edilmesi daha esnek çözümler sağlayabilmektedir. Bu çalışmada mikroservis temelli uç bulut teknolojisi alt yapısı kullanan bir hasta takip sistemi önerilmektedir. Önerilen sistem sayesinde, kritik durumlu hastaların takip edilmesi ve hastada gerçekleşebilecek acil durumlar hiyerarşik bir şekilde değerlendirilebilmektedir. Önerilen sistemin özgün yanı, kullanılan sistemin devre kesici mekanizması kullanan mikroservis yazılım mimarisini kullanması ve tüm mikroservisleri konteyner alt yapısı ile kontrol edebilmesidir. Bu özellikleri sayesinde sistem yükü ve cevap gecikmesinde önemli iyileştirmeler elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Mikroservis, bulut teknolojisi, uç sistem, sağlık.

An Edge System Design Using Microservice Architecture for Remote Patient Monitoring

Abstract: Latency and system load are two critical issues for cloud systems. These issues become more important in large projects such as smart cities and smart health systems. In recent years, cloud technologies such as edge and fog (fog) systems have achieved significant gains in these two critical issues. However, it should be well planned how to provide data communication, analysis, and evaluation in such systems. In these types of cloud technologies, choosing microservice-based software architectures instead of monolithic architectures can provide more flexible solutions. In this study, a patient monitoring system using edge cloud technology infrastructure based on microservice is proposed. Thanks to the proposed system, patients with critical conditions can be followed up and emergency situations that may occur in the patient can be evaluated in a hierarchical manner. The originality of the proposed system is that it uses microservice software architecture using a circuit breaker mechanism and can control all microservices with container infrastructure. With these features, significant improvements in system load and response delay have been achieved.

Key words: Microservice, Cloud technology, edge system, health.

1. Giriş

Nesnelerin İnterneti (Nİ/IoT) teknolojileri [1] sayesinde günümüzde birçok büyük ölçekli akıllı sistem (akıllı şehir, akıllı sağlık, akıllı enerji sistemleri, vb.) insanlığa hizmet vermektedir. Bu büyük ölçekli IoT sistemler, çok fazla sayıda heterojen sayısal aygıtın haberleşmesini ve ortaya çıkabilecek muazzam büyüklükte verinin işlenmesini gerçekleştirmektedir. Bulut teknolojileri [2] bu bakımdan bu tip büyük ölçekli IoT projelerin önemli oranda yükünü almaktadır. Ancak öte yandan bulut sistemlerin son kullanıcıya uzak olması, kamuya açık ticari versiyonlarında (public cloud) kullandığın kadar öde sistemi, bulut kaynaklarının yüklenme problemi gibi etkenler hem bulut sağlayıcı hem de son kullanıcı açısından kritik olabilmektedir. Son yıllarda kullanılan uç (edge) ve sis (fog) bulut teknolojileri bu tür kritik problemlerin çözümünde ciddi performans artışı sağlamayı başarmıştır[3,4]. Bu sistemler son kullanıcı ile bulut sitem arasında yer alırlar ve hangi işlemlerin bulutta hangi işlemlerin kendi üzerlerinde yapılacağına karar verirler. Filtreleme, kısıtlı kaynaklar ile yapılabilen algoritmik analizler bu sistemler üzerinde yürütülebilir. Bu çalışmanın da esas aldığı uç sistemlerin sis sistemlerden temel farkı, uç sistemlerin nispeten daha kısıtlı kaynaklara sahip olması ve son kullanıcıya daha yakın konumda bulunmasıdır. Özellikle son kullanıcıya daha yakın olması cevap sürelerinin daha kısa olmasına olanak sağlamaktadır. Uç sistemlerde kaynakların sınırlı olması bir şekilde sis çözüme göre onları daha da ekonomik kılmaktadır.

[*] Sorumlu yazar: sinan.tasli@batman.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0002-3760-7872, [2] 0000-0002-4096-4838

Uç sistemlerin sahip olduğu kısıtlı kaynak yapısı, doğal olarak, kullanılacak yazılım mimarisinin de doğru seçilmesini gerektirmektedir. Günümüzde Monolit Mimari ve Servis Odaklı Mimari (SOA) olmak üzere iki yaygın yazılım mimarisi bulunmaktadır [5]. Monolit mimaride yazılım bileşenleri tek proses içinde çalışır ve genellikle tek bir platformda geliştirilirler. Günümüzde monolit mimariler, hizmet olarak yazılım (software as a service-SaaS) projeleri, java WAR dosyaları gibi sık kullanılan uygulamaların temelini oluştururlar. Bir monolit yazılımın bileşenleri arasında iletişim basittir, tek proses içerisinde çalışmalarından dolayı paylaşımlı hafıza maliyeti düşüktür ve bir ağ iletişimine gerek yoktur. Ancak öte yandan yazılım bileşenlerinde meydana gelecek problem prosesin tüm çalışmasını etkileyecektir. Ayrıca platform bağımlı olması, kodların büyümesi ile karmaşıklığın artması, güncelleme problemleri monolit uygulamaların geliştirme süreçlerinin maliyetini arttırmaktadır. Proses temelli olmalarından dolayı diğer uygulama prosesleri ile prosesler arası(inter-process) iletişime ihtiyaç duyarlar. Bu dezavantajlarından dolayı monolit mimari, genellikle internet temelli dağıtık sistem uygulamaları için çok uygun değildirler. Kullanılacak yazılımın bileşenlerinin birbirleri ile internet üzerinden haberleşebilen daha küçük modüllere ayrılması onları dağıtık uygulamalar için daha verimli yapar. Böylece her bir yazılım bileşeni farklı platformlarda geliştirilebilir ve bu bileşenler yeniden kullanılabilir. Bu tip yazılım mimari yaklaşımı SOA'nın temel felsefesini oluşturmaktadır. SOA çözümler heterojen uygulamalara, yatay ölçeklemeye ve servis paylaşımına olanak sağlayabilir. Aslında SOA eski bir fikir olsa da temel mimarilerden biri olmayı 2000'li yılların başlarında başarmıştır. SOA'da yazılım bileşenleri bir endpoint üzerinden hizmet sunar ve bu hizmetlere bir ESB (Enterprise Service Bus) üzerinden ulaşılır [6,7]. SOA uygulamalarda ESB'ler ana omurgayı meydana getirmektedir. ESB'ler yetkilendirme ve yönlendirme gibi temel fonksiyonları yürütür. SOA uygulamalarının altyapısını SOAP, HTTP protokolleri ve WSDL(Web Services Description Language) teknolojisi oluşturmaktadır. Sağladığı esnekliğin yanı sıra SOA'nın bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlarının başında ESB'lerin geliştirilmesinin ve sürdürülebilirliklerinin oldukça maliyetli olması gelmektedir. Bu nedenle ESB'ler genellikle büyük ölçekli yazılım firmaları (IBM, Oracle etc.) tarafından geliştirilir ve yürütülür. SOA uygulamalarda ESB'den dolayı gecikme süresi fazladır ve ayrıca kısıtlı geliştirme araçları geliştiriciler açısından bir sorundur.

Mikroservis yazılım mimarileri monolit ve SOA mimarinin güçlü yönlerini bir araya getirir[8]. Mikroservis mimariler aslında bir SOA tipi olarak değerlendirilir. SOA'dan en önemli farkı ise bir ESB mekanizmasına ihtiyaç duymamasıdır. Mikroservis temelli uygulamalarda servis iletişimleri, REST API [9], GraphQL [10], ve gRPC [11] gibi günümüzün yaygın iletişim protokolleri ile sağlanabilmektedir. Mikroservis mimaride senkron ve asenkron iletişim teknikleri kullanılabilir ve geliştirilen mikroservisler konteyner teknolojileri [12] ile yönetilebilir. Mikroservisler nispeten küçük yazılımlar olduğu için kısıtlı kaynaklı cihazlar üzerinde çalıştırılmaları kolaydır. Bu özellikleri sayesinde uç sistemler için mikroservis temelli yazılımların kullanılması pek çok yönden esneklik sağlayacaktır. Öte yandan mikroservis mimarisinin tipi, iletişim tekniği, sürdürülebilirliği gibi kritik planlamalar, problem tipine göre tasarım aşamasında iyi düşünülmelidir. Bu çalışma, son yılların önemli IoT uygulamalarından olan uzaktan hasta takip projeleri için mikroservis temelli bir uç sistem tasarımını önermektedir. Önerilen sistem özellikle aile hekimlikleri ve onların sorumluluklarında olan hastaların izlenmesine yöneliktir. Aile hekimlikleri aynı zamanda genel sağlık sistemi (bakanlık gibi) ile bulut üzerinden hizmet alabilmektedir. Aile hekimliklerinde yapılamayan değerlendirmeler veya depolanamayan veriler için bulut servisleri kullanılmaktadır. Uç cihazlar ve mikroservisler aile hekimliklerinde ve hasta lokasyonunda bulunmaktadır. Mikroservis kurulum, yürütüm ve kontrolleri konteyner teknolojileri ile sağlanmaktadır. İletişim için REST API teknolojilerini kullanan bu sistem aynı zamanda hayati fonksiyonlara sahip mikroservis yürütümlerinin sekteye uğramaması için devre-kesici mekanizmalarda kullanmaktadır. Yazarların bildiği kadarıyla, sağlık alanında devre kesici mekanizması ve konteyner-bulut teknolojilerini birlikte kullanabilen bu tip bir sistem daha önce önerilmemiştir.

Makalenin bundan sonraki bölümleri şu şekildedir; İkinci bölüm problem tanımını ve literatür özetini içermektedir. Önerilen sistemin detayları üçüncü bölümde verilmektedir. Dördüncü bölümde yapılan deneyler ve değerlendirmeler paylaşılmış ve sonuçlar ise beşinci bölümde tartışılmıştır.

2. Literatür Özeti ve Problemin Tanımı

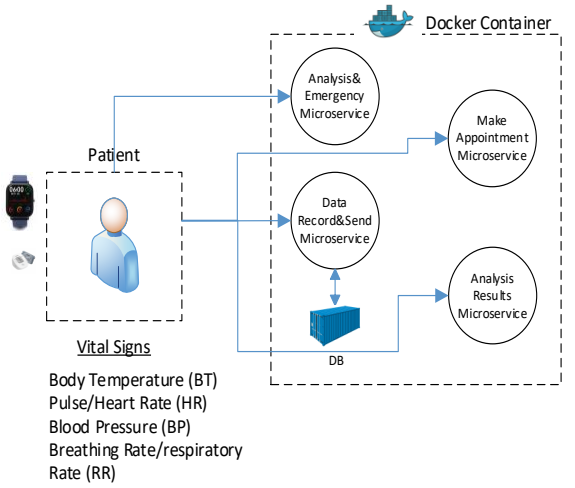
IoT temelli sağlık uygulamaları akademik ve endüstri dünyasının ilgi çekici konuları arasındandır. Kumar vd. tarafından kısıtlı kaynaklı SoC aygıtlar ile geliştirilen IoT tabanlı hasta izleme sistemi bu tür çalışmaların ilkleri arasındadır [13]. Punit vd. yoğun bakım üniteleri gibi acil tıbbi hizmetlere destek sağlamak amacıyla IoT tabanlı hasta izleme sistemini önermiştir [14]. Önerilen sistemle, hasta verileri gerçek zamanlı toplanarak analiz edilirken ayrıca bazı kronik/yaşlı hastalarda bilinç kaybı veya kriz durumlarına bağlı olarak gerçekleşen düşmelerin tespitleri de yapılabilmiştir. Düşme tespiti veya bunun sonucunda oluşabilecek hayati durumların izlenmesine yönelik sistem tasarımları ayrıca [15] ve [16]'daki çalışmalarda da önerilmiştir. Sağlık uygulamalarında Elektronik

Sağlık Kayıtları (ESK\EHR)'nın önemi kritiktir [17]. Dünya genelinde veya kitlesel olarak yaşanan salgın hastalıklar, hasta mahremiyeti ve istatistikleri ESK'nin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Son yıllarda genotip bilgilerini ve hasta mahremiyeti detaylarını gözeten IoT sağlık sistemleri tanıtılmıştır [17,18]. Ayrıca, giyilebilir ve diğer IoT cihazları, Kişisel Sağlık Kayıtları (KSK\PHR) ile ilgili olanlar da dahil olmak üzere ilgili bilgileri toplayabilir ve ESK sistemlerine yükleyebilir [19]. Bununla birlikte, kurumlar arasında ESK verilerinin birlikte çalışabilirliğinin olmaması, sağlık ve klinik araştırma verilerinin bütünleştirilmesini ve paylaşılmasını zorlaştırır ve bu durum etkili ve verimli işbirliğini engeller [20]. Sağlık kuruluşlarının ortak bir veri standardı kullanması bu durumun önüne geçebilir. FHIR(Fast Healthcare Interoperability Resources), HL7 (Health Level Seven) tarafından sağlık alanında kullanılmak için geliştirilmiş bir veri standardıdır [21]. HL7, elliden fazla ülkede üyesi olan uluslararası bir kuruluştur ve sağlıkta birlikte çalışabilirliği sağlamak amacıyla FHIR projesini geliştirmektedir. Mevcut FHIR çözümleri, tam anlamıyla sağlık alanındaki birlikte çalışabilirlik problemlerini ortadan kaldırmasa bile önemli katkılar sağlamaktadır. Mikroservis temelli sağlık sistemleri de son yıllarda pek çok sistemde kendini göstermeye başlamıştır. [22] yaşlı hastaları takibi için mikroservis temelli bir IoT sistemini tasarlamış, [23] ise mikroservis alt yapısı kullanan bir bioenformatik platformunu tanıtmıştır. Bununla birlikte Aile Hekimlikleri gibi alt sağlık birimlerinin hasta takibini ve ana sağlık sistemi ile entegrasyonu mikroservis temelli ve bulut altyapısı üzerinden sağlayan net bir sistem tasarımı yazarların bildiği kadarıyla henüz önerilmemiştir.

Sağlık kuruluşları işletim sürecinde meydana gelen aksamaları azaltmak, hasta katılımlarını iyileştirmek ve hızlı karar mekanizmaları geliştirmek için sürdürülebilir IT alt yapılarına ihtiyaç duyarlar. Uzun yıllardır kullanılan büyük bir sağlık sisteminin doğrudan işletim modelini değiştirmek beraberinde öngörülemez problemleri getirebilir. Bu nedenle kısmi özerk alt birimlerin (aile hekimlikleri ve onların kapsama alanları gibi) IoT alt yapılarının iyileştirilmesi ve bulut teknolojileri aracılığı ile ana sağlık sisteme dâhil edilmesi daha sorunsuz bir geçiş süreci sağlayabilir. Ancak bununla birlikte bu tür IoT alt sistemleri, iki temel kriteri sağlamak durumundadır. Bunlardan birincisi bulut yükünü çok arttırmamalı ikincisi ise ekonomik olmalıdır. Her iki kriteri yerine getirmede mikroservis temelli uç sistemler önemli avantajlara sahip olacaktır. Konteyner altyapısı ile geliştirilen alt birim mikroservisleri ana sağlık sistemi tarafından kolaylıkla yönetilebilir. Dahası bu mikroservisler kısıtlı kaynaklı uç aygıtlarda (Raspberry Pi, Odroid N2, etc.) optimum maliyetle çalıştırılabilir.

3. Önerilen Sistem Mimarisi

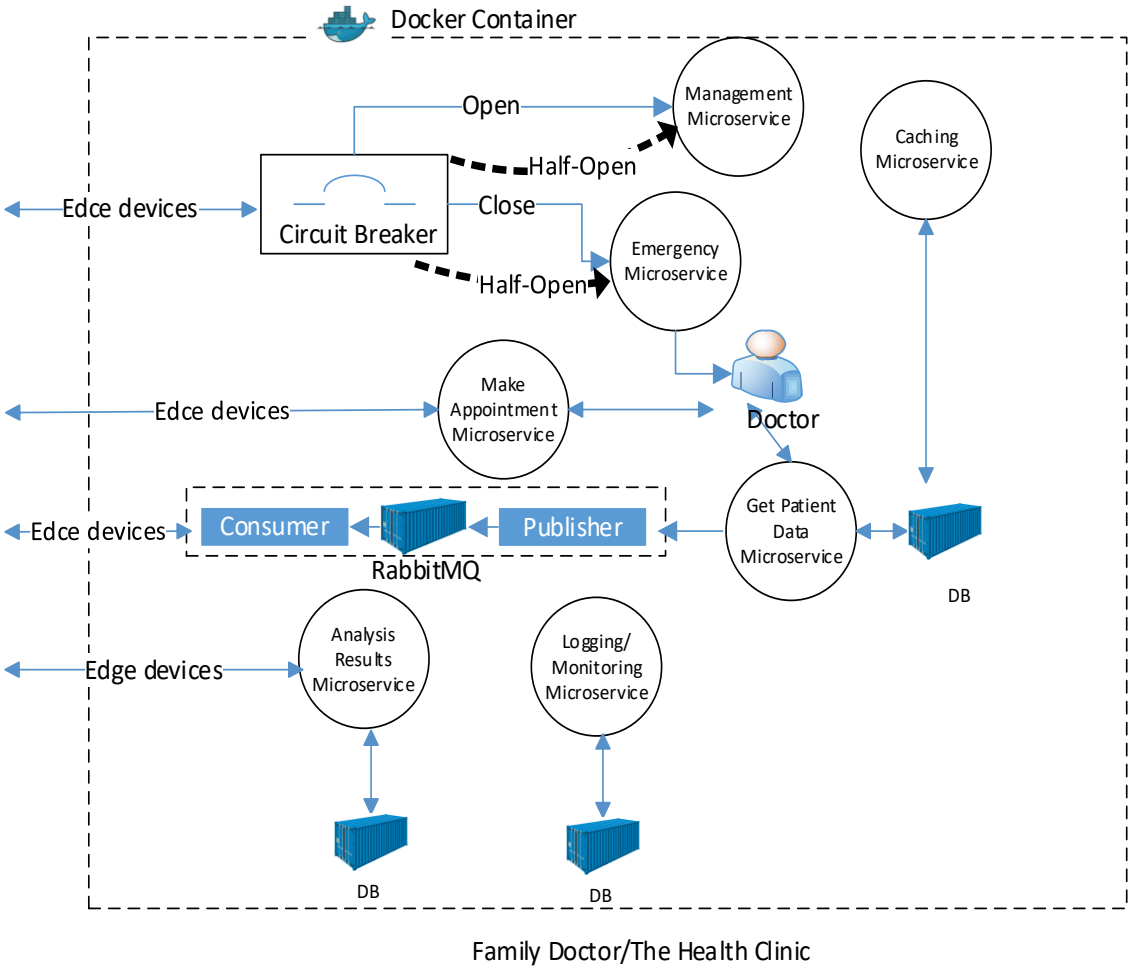
Önerilen sistem, aile hekimlikleri kapsamında bulunan acil durumlu hastaların uzaktan takip edilebilmesine yönelik tasarlanmıştır [24]. Sistem üç ana üniteden meydana gelmektedir. Bunlar, Hasta Uç Ünitesi (HUÜ), Aile Hekimliği Uç Ünitesi (AHUÜ) ve Bulut Ünitesidir (BÜ). HUÜ, gözlemlenecek olan hasta lokasyonunda bulunur ve kısıtlı kaynaklı bir donanım üzerinde çalışır. Şekil 1'den görüleceği üzere, HUÜ'de toplamda 4 adet mikroservis çalışmaktadır. Bu mikroservisler, Analysis&Emergency (Tahlil ve Acil Vaka), Data Record&Send (Veri Kayıt ve Gönderme), Analysis Result (Tahlil Sonuçları) ve Make Appointment (Randevu) mikroservisleridir. Hastadan alınan veriler Analysis&Emergency ve Data Record&Send mikroservislerine gönderilmektedir. Data Record&Send mikroservisinin görevi hastadan alınan vital bulgu (Ateş, Nabız, Tansiyon ve Solunum Sayısı) verilerini veri tabanına kaydetmek ve aile hekiminin gerek duyduğu zamanlarda verileri paylaşmaktır. Analysis&Emergency mikroservisine gelen veriler hastanın yaşı ve durumu itibariyle olması gereken normal değerler ile karşılaştırılmaktadır. Hastanın vital bulgu değerlerinden herhangi birinin hasta üzerinde risk oluşturabilecek duruma ulaşması halinde, hastanın aile hekimine ve gerekli sağlık kuruluşlarına bildirim gönderilmektedir. HUÜ'de ayrıca hastanın tahlil sonuçları, randevu alma ve bunları sorgulama isteklerine cevap verecek mikroservisler de bulunmaktadır. Hastanın bu isteklerini karşılamak için HUÜ üzerinde Make Appointment adında bir randevu alma mikroservisi ve Analysis Result adında da tahlil sonuçlarını görebileceği bir mikroservis bulunmaktadır. Hasta randevu almak istediği tarihi ve saati Make Appointment mikroservisi aracılığıyla aile hekimliğine bildirmektedir. Aile hekimliği tarafındaki aynı isimdeki mikroservis hastanın randevu için istediği tarih ve saati kontrol ederek randevunun uygun olup olmadığı bilgisini hastaya dönmektedir. Tahlil sonuçlarına, hastanın TC bilgisine göre, ilgili mikroservis üzerinden ulaşılabilmektedir. Mikroservislerin kurulumu, sürdümü ve yönetimi için Docker konteyner teknolojisi kullanılmaktadır. Konteyner kontrol ve koordinasyonu için Docker Swarm kullanılmıştır. Docker Swarm sayesinde mikroservislerin izlenmesi ve kontrolü sağlanmaktadır. Herhangi bir mikroservise ait konteynerin çalışamaz duruma gelmesi halinde Docker Swarm çalışamaz durumdaki konteynerden yeni bir tane oluşturarak sistemin devamlılığı konusunda büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bu tip sistemlerde asenkron çalışma için kullanılacak temel mekanizmalar, Gelişmiş Mesaj Kuyruklama Protokolü (Advanced Message Queuing Protocol-AMQP) veya Veri Dağıtım Servisleri (Data Distribution Service-DDS) temelli teknolojiler ile sağlanabilir. Önerilen sistemde uç cihaz konfigürasyonlarının yeterli olmasından dolayı bir AMQP implementasyonu olan RabitMQ tercih edilmiştir.




```python
@app.route('/select/<int:tc>', methods=['GET'])
def get_users(tc):
    sorgu='SELECT * FROM Analysis_Results WHERE tc = %s',(tc,)
    sonuc = baglanti.execute(sorgu)
    kullanicilar = baglanti.fetchall()
    for i in kullanicilar:
        print(i)
    if (sonuc==1):
        return jsonify(kullanicilar)
    else:
        return 'Sonucunuz henuz cıkmadı !'
```

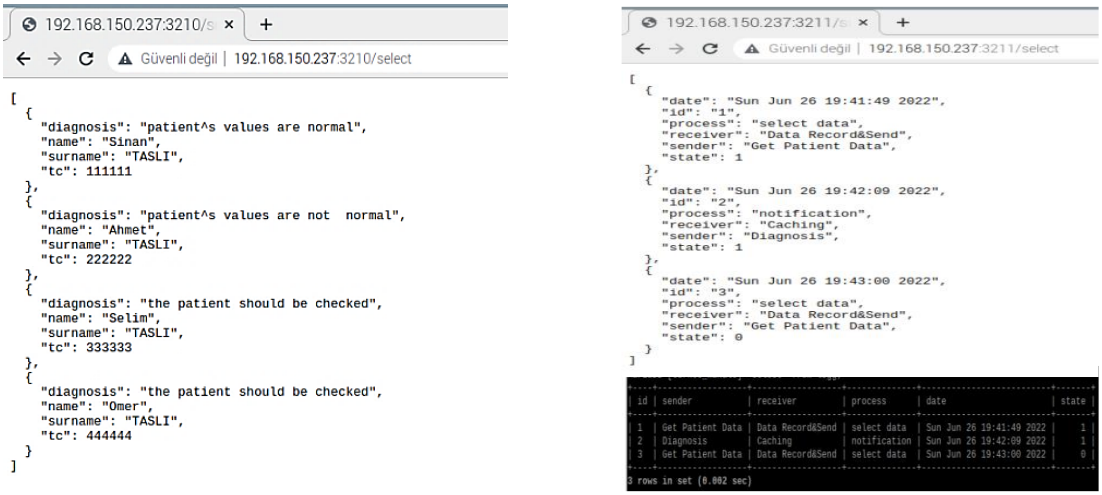
Şekil 1. HUÜ uç cihaz yapısı

Önerilen sistemin ikinci önemli ünitesi, bileşenleri Şekil 2'de gösterilen AHUÜ'dir. AHUÜ'de toplam 7 adet mikroservis çalışmaktadır. Bu mikroservislerden Emergency mikroservisi hastalardan gelen acil durum bilgilerini takip etmektedir. Bu mikroservis, sistem için kritik bir öneme sahiptir. Hastalardan gelen acil durum bilgilerinin alınamaması veya bu serviste oluşacak bir aksaklık, sistemi genel olarak başarısız kılabilir. Bu sebepten dolayı bu mikroservisin bir devre kesici (circuit-breaker) yardımıyla takip edilmesi ve güvenliğinin sağlanması gereklidir. Devre kesici (circuit breaker), Acil (Emergency) mikroservisinin cevap süresini izler ve mevcut senaryoya göre Şekil 4-a'da gösterilen üç farklı durumdan birinde (open, half-open ve closed) bulunur. Eğer servis cevap verme süresi belirlenen eşik değerini aşar ise Emergency mikroservisini olası kötü senaryolardan korumak için circuit breaker anahtarı açık (open) konumuna getirerek devre kesiciyi açar ve gelen istekleri Management (Yönetim) mikroservisine yönlendirir. Bundan sonra gelecek 5 isteğin tümünü direkt olarak Management mikroservisi alır. Open durumu, ön tanımlı eşik sayısı kadar yeni talep için bir değişiklik göstermez. Open durumunda yapılan talep sayısı eşik değeri aştıktan sonra anahtar yarı açık (half-open) konumuna geçer ve gelen ilk 5 istek Management ile birlikte Emergency mikroservisine de iletilir. Burada Emergency mikroservisinin düzgün çalışıp çalışmadığı kontrol edilir. Emergency mikroservisi gelen isteklere istenen düzeyde cevap verirse anahtar kapalı (close) konumuna geçer ve yeni gelecek olan isteklerin tümü sadece Emergency mikroservisine iletilir. Aksi durumda ise anahtar tekrar açık konumuna geçerek yeni gelecek isteklerin Management mikroservisine gönderilmesi sağlanır.



Şekil 2. AHUÜ uç cihaz yapısı

Aile hekimliği takip ettiği hastaların verilerini rutin aralıklarla veya talep üzerine görmek isteyebilir. Bu servis, AHUÜ'de yürütülen GetPatientData (Hasta Verileri) mikroservisi ile sağlanmaktadır. Bu mikroservis planlı veya talep üzerine hasta raporlarını almakla görevlidir, asenkron iletişim modunda çalışır ve kendine ait veritabanı bulunmaktadır. Bu veritabanında hastadan alınan vital bulgular ve doktorun hastalar için yaptığı teşhis bilgileri bulunmaktadır. Gerek uç sistem içinde gerekse bulut-uç iletişiminde bazı bilgiler veya sorgular daha sık işlenebilir. Benzer işlem/sorgu sonuçlarının hızlı bir şekilde sunulması için bir ön bellek(caching) mekanizmasının kullanılması bu tür sistemlerde ciddi performans artışı sağlamaktadır. Bu doğrultuda önerilen sistem bir caching mikroservisini de yapısında bulundurmaktadır. Performans kriterleri açısından Caching mekanizması sadece GetPatientData ve bulut mikroservisleri ile etkileşimlidir. GetPatientData mikroservisi yeni teşhis bilgisinin eklenmesi durumunda Caching(önbellekleme) mikroservisine bilgi vermektedir. Bu sayede Caching mikroservisi yeni verilere ulaşabilmektedir. Bu mekanizma bulut tarafından yapılan isteklere daha hızlı cevap verebilmek için kendinde her zaman en güncel hasta teşhis bilgilerini bulundurur. Bu durum sayesinde buluttan gelen isteklerde veritabanına sorgulama yapılmasına gerek duyulmadan istekler cevaplandırılmaktadır. Caching mikroservisinin kendinde barındırdığı hasta teşhis verilerine ait görsel Şekil 3-a'da bulunmaktadır. Mikroservis mimaride tüm servislerin ve servis sorgularının izlenmesi sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Bu sebeple bu tür sistemlerde bir loglama servisi sıklıkla kullanılır. Önerilen sistemde, Logging/Monitoring (Olay Kayıt ve İzleme) mikroservisi yapılan işlem sonuçlarını arka planda takip etmektedir. Her bir sorgu Şekil 3-b'de verilen format ile Logging/Monitoring servisine iletilmektedir. Bu formatta, sorguyu gönderen ve alan mikroservis bilgisi, sorgunun içeriğine ait bilgi, sorgunun yapıldığı zaman ve sorgunun başarılı olup olmadığını bildiren veriler bulunmaktadır. Sorgular bir ID ile takip edilmektedir ve böylece sorguların işlem süreci, başarısız servislerin takibi daha rahat bir şekilde yapılabilmektedir.

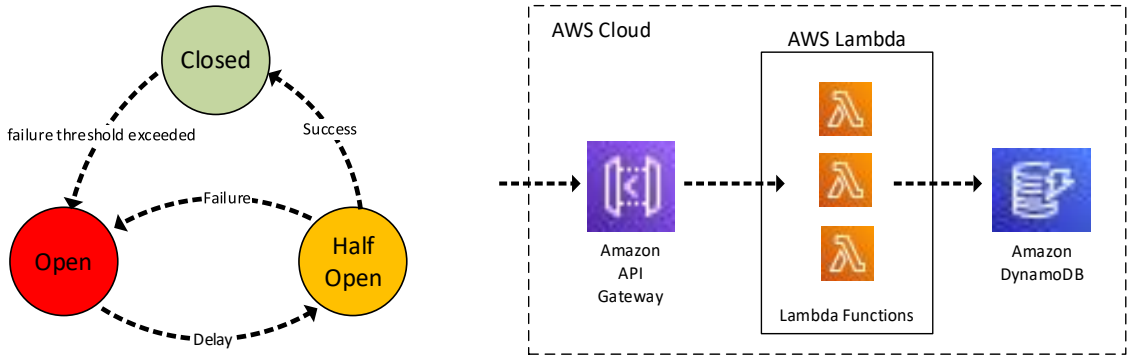


a) Caching sorgusu

b) Logging formatı

Şekil 3. Önbellek (Caching) ve Olay kayıt ve izleme (Logging) servis formatları

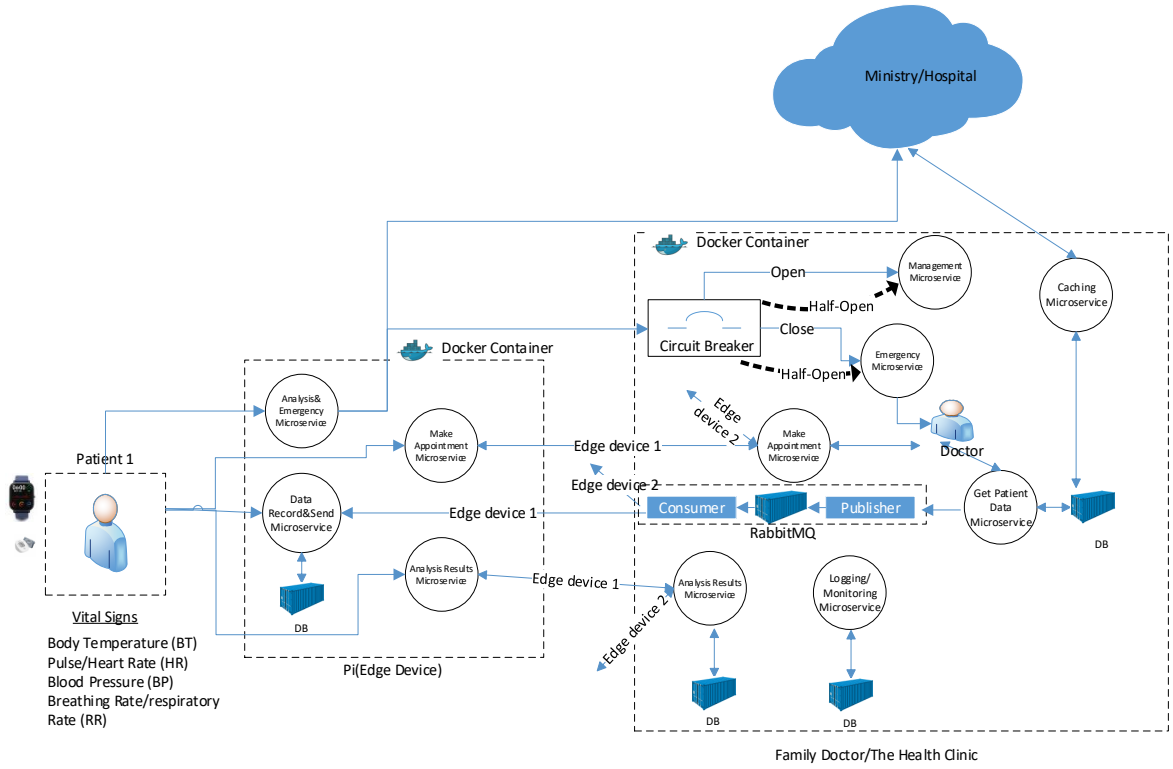
Mikroservisler kendi aralarında ve bulut ile senkron ve asenkron olarak haberleşmektedir. Asenkron haberleşme için kuyruk yapısı kullanılmaktadır. Uç cihazlar kaynak yönünden kısıtlı olduklarından dolayı veri tabanları, kuyruk yapıları ve mikroservisler konteyner olarak çalıştırılmaktadır. Hasta takip sistemindeki tüm konteynerlerin kontrolü ve yönetimi Docker Swarm tarafından yapılmaktadır. Docker Swarm sayesinde konterynerler üzerinde yük dengeleme, izleme ve konteynerlerden herhangi birinin çalışamaz duruma gelmesi halinde aynı konteynerden yenisinin oluşturulması yapılabilmektedir. Çalışmada, bulut servisler ve entegrasyonları için Amazon Web Servisileri (AWS) kullanılmıştır. Aslında bulut servis üzerinde birçok farklı servis bulunmakla birlikte bu çalışmada bulut servislerinin aile hekimliklerinden aldıkları sorguları depolama işlemleri dikkate alınmıştır. Şekil 4-b'de, kullanılan AWS bulut servisleri ve yapısı gösterilmektedir. Buluta gelen istekler Api Gateway üzerinden gerekli Lambda fonksiyonlarına iletilmektedir. Bulut üzerinde gerek duyulan verilerin kaydedilmesi için Amazon DynamoDB kullanılmaktadır. Önerilen sistemin buraya kadar bahsedilen tüm mekanizmalarını içeren genel yapısı Şekil 5'te görülebilir.



a) Devre kesici (Circuit breaker) durum diyagramı

b) Bulut yapısı

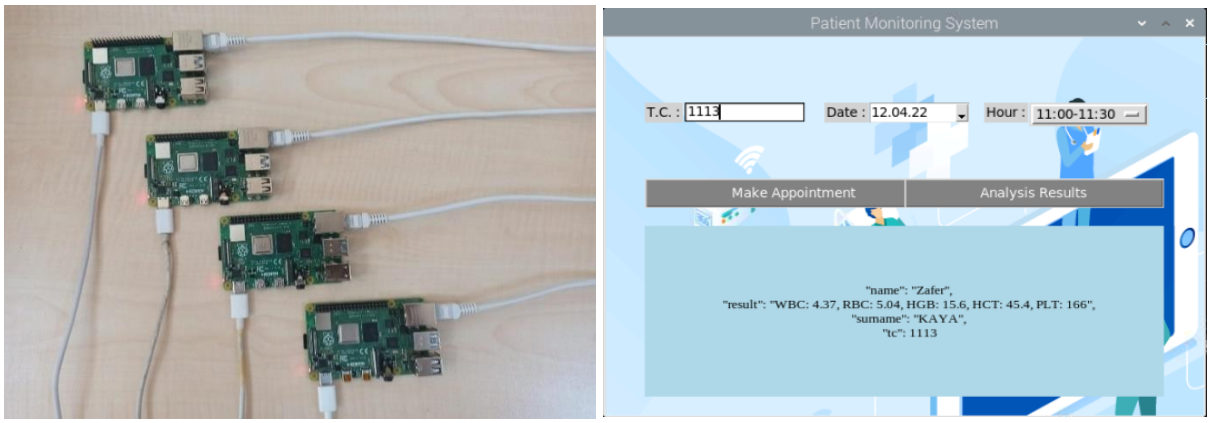
Şekil 3. Devre Kesici (Circuit breaker) durum diyagramı ve bulut yapısı



Şekil 4. Hasta takip sistemi genel yapısı [24]

4. Deneyler ve Bulgular

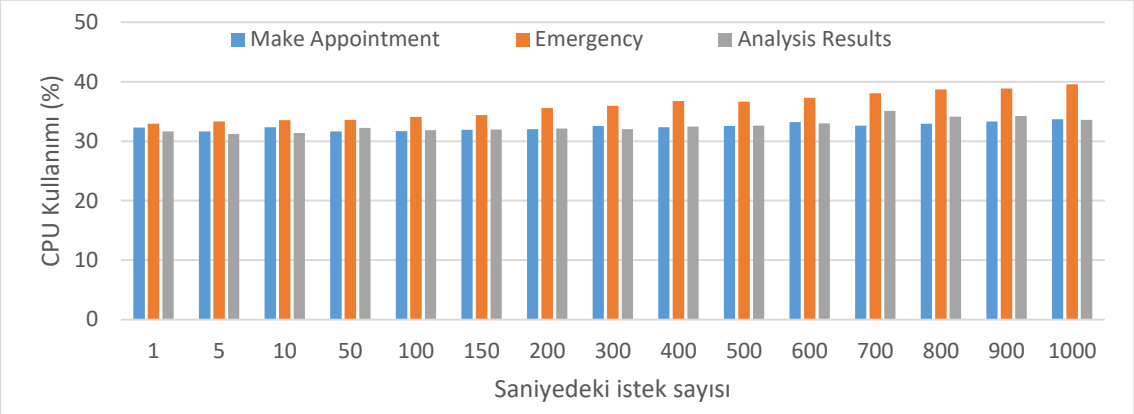
Önerilen sistemin fiziksel gerçekleştirmesi için kısıtlı kaynaklı SoC aygıtlar ve ticari bulut servisleri kullanılmıştır. SoC aygıt olarak Şekil 6-a'da gösterilen Raspberry Pi 4 Model B tercih edilmiş ve bulut için AWS servisleri alınmıştır. Şekil 6-b'de HUÜ'de kullanılmak üzere tasarlanan arayüz bulunmaktadır. Mikroservisler Python Flask platformunda kodlanmış, ilişkisel veri tabanı olarak MariaDB ve kuyruk yapısı için ise RabbitMQ kullanılmıştır. Sistem için istekler Apache JMeter yardımıyla oluşturulmuş ve ağ trafiği senaryoları Tcpreplay üzerinden kontrol edilmiştir. Uç cihazların CPU kullanımı, hafıza kullanımı ve mikroservislerin isteklere verdikleri cevap süreleri gibi performans metrikleri Zabbix yazılımı sayesinde takip edilmiştir.



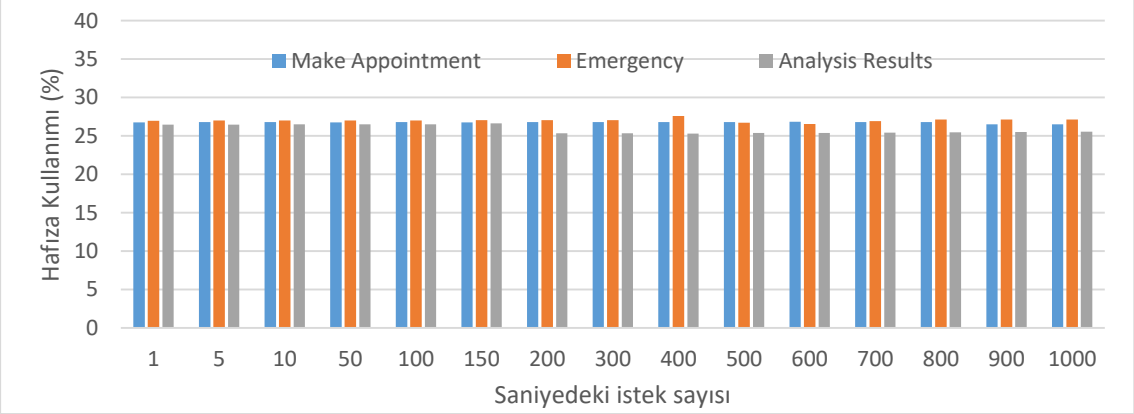
a) Raspberry Pi b) Hasta için tasarlanan kullanıcı arayüzü

Şekil 6. Kullanılan Raspberry piler ve hasta kullanıcı arayüzü

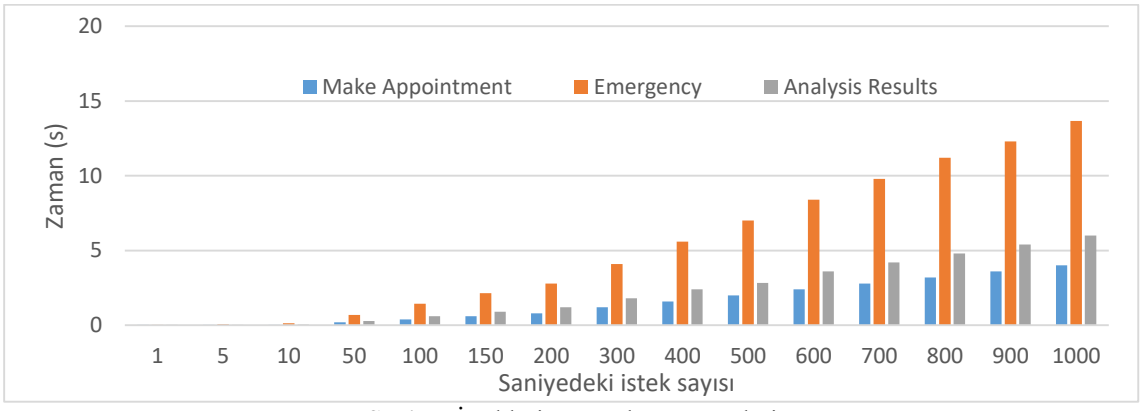
Yapılan ilk deneylerde kritik servislerin durumları izlenmiştir. Bunun için ilk olarak Emergency mikroservisi performansı gözlemlenmiştir. Bu servise yapılan isteklerde özellikle saniyede 100 istek ve üzerindeki durumlarda circuit breakerin açıldığı görülmüştür. Ölçümler esnasında circuit breaker sayesinde Emergency mikroservisinin hiçbir zaman için çalışamaz duruma gelmediği gözlenmiştir. Bu sonuç, önerilen sistemin kararlı çalıştığını göstermektedir. Ayrıca Caching mikroservisinin kullanımı sayesinde buluttan gelen isteklerin cevap sürelerinin %40 oranında azaldığı da deneylerde görülmüştür. Aile hekimliği tarafındaki uç cihazda çalışan Analysis Result, Emergency ve Make Appointment mikroservisleri hastalardan gelecek olan istekleri karşıladıkları için ölçümler bu mikroservisler üzerinde yapılmıştır. Ölçümler alınırken, ölçüm değerleri saniyede 1000 isteğe kadar test edilmiş ve tasarlanan sistemin problemsiz çalıştığı gözlenmiştir. Şekil 7'de aile hekimliği tarafındaki uç cihazın CPU kullanımı, Şekil 8'de hafıza kullanımı ve Şekil 9'da da isteklerin cevap süreleri gösterilmektedir. Şekil 7- 9'dan da görüleceği üzere aile hekimliğine yapılan istekler için en çok CPU kaynak kullanımı Emergency mikroservisi isteklerinde gerçekleşmiştir. Bunun ana nedeni Emergency mikroservisinin bir circuit breakera sahip olmasıdır. Emergency mikroservisine gelen isteklerde diğer isteklerin aksine circuit breaker, Emergency mikroservisini takip etmek için fazladan işlem yapmaktadır. Bu durum işlemci kullanımını ve isteğin cevaplanma süresini artırmaktadır. Uç cihaz (AHUÜ) üzerinde yapılan isteklerde hafıza kullanım oranının her durum için yaklaşık %26 olduğu görülmektedir. Aynı istekler buluta da yapılmış ve cevap süreleri ölçülmüştür. Şekil 10'da buluta yapılan isteklerin cevap süreleri gösterilmektedir. Uç cihaz (AHUÜ) üzerinde yapılan ölçümlerde mikroservislerin isteklere cevap verme süreleri ölçülmüş ve en yüksek değerin Emergency mikroservisine ait olduğu anlaşılmıştır. Bu değer, bulutun isteklere verdiği cevap süreleri ile karşılaştırıldığında çok büyük farklar olduğu ve isteklerin bulut yerine uç cihazlarda işlenmesinin sistemi ne kadar hızlandırdığını açıkça göstermektedir.



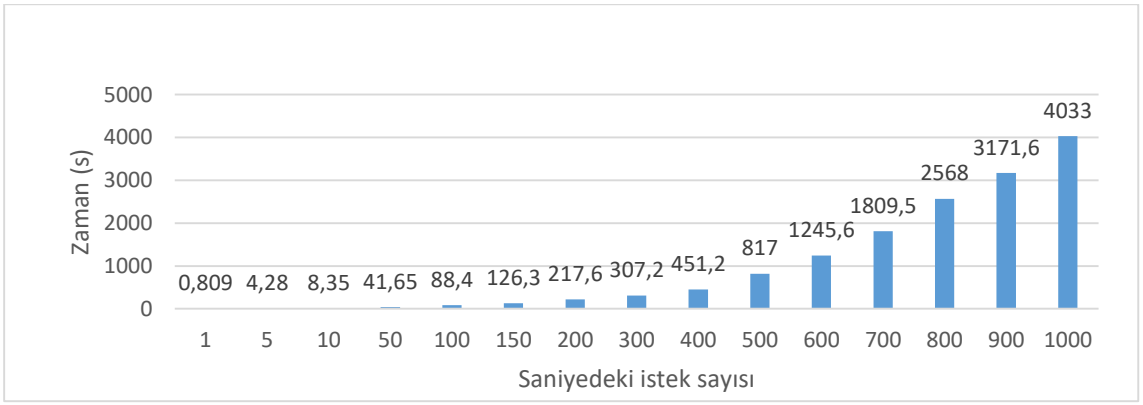
Şekil 5. CPU kullanımı



Şekil 6. Hafıza kullanımı



Şekil 7. İsteklerin cevaplanma süreleri



Şekil 8. Buluta yapılan isteklerin cevap süreleri

5. Sonuçlar

Bu çalışmada bulut teknolojisi kullanan hasta takip hizmetleri için mikroservis temelli bir uç sistem tasarımı önerilmiştir. Özellikle aile hekimliği sorumluluk alanlarındaki hasta takibi için tasarlanan bu sistemde, hasta verileri öncelikle uç sistem üzerinde işlenmiştir. Bu sayede bulut iletişim yükü ve performansı önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Önerilen sistem üç ana alt üniteden meydana gelmektedir. Bunlar hasta taraflı uç sistem, aile hekimliği taraflı uç sistem ve bulut sistemdir. Her ünite faklı özellikte ve sayıda mikroservis çalıştırmaktadır. Mikroservislerin kurulumu, kontrolü ve sürdürülebilirlikleri konteyner teknolojileri ile sağlanmıştır. Asenkron ve senkron çalışma modlarına sahip mikroservis yürütümlerinde ayrıca kritik hizmetler için devre kesici (circuit breaker) servisi de bulunmaktadır. Bu şekli ile önerilen sistem, kısıtlı kaynaklı uç cihazlar üzerinde kolaylıkla çalıştırılabilir ve sürdürülebilir niteliklere sahiptir. Sistemin başarımı, gerçek SoC uç cihazları ve bulut servisleri ile ispatlanmıştır. Yazarların bundan sonraki çalışmaları, önerilen uç-bulut sistemi üzerinden yapay zekâ temelli teşhis algoritmalarının denenmesi olacaktır.

Açıklama

Bu makale, yazarlardan Sinan TAŞLI'nın Bulut Teknolojisi Kullanan Hasta Takip Hizmetlerinde Mikroservis Temelli Uç Sistem Tasarımı ve Geliştirilmesi isimli yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Kaynaklar

[1] S. Madakam, R. Ramaswamy, and S. Tripathi, "Internet of things (IOT): A literature review," Journal of Computer and Communications, vol. 03, no. 05, pp. 164–173, 2015. Duman M, Gürbüz AC. 3D imaging for ground-penetrating radars via dictionarydimension reduction. Turk J Elec Eng & Comp Sci 2015; 23(5): 1242-1256.

[2] N. R. Tadapaneni, "Cloud computing: Opportunities and challenges," SSRN Electronic Journal, 2018, doi: 10.2139/ssrn.3563342.
[3] P. P. Ray, D. Dash, and D. De, "Intelligent internet of things enabled Edge System for Smart Healthcare," National Academy Science Letters, vol. 44, no. 4, pp. 325–330, 2020, doi: 10.1007/s40009-020-01003-0.
[4] M. Villari, M. Fazio, S. Dustdar, O. Rana, and R. Ranjan, "Osmotic computing: A new paradigm for Edge/Cloud Integration," IEEE Cloud Computing, vol. 3, no. 6, pp. 76–83, 2016, doi: 10.1109/mcc.2016.124.
[5] N. Niknejad, W. Ismail, I. Ghani, B. Nazari, M. Bahari, and A. R. Hussin, "Understanding service-oriented architecture (SOA): A systematic literature review and directions for further investigation," Information Systems, vol. 91, p. 101491, 2020, doi: 10.1016/j.is.2020.101491.
[6] M. Keen, Patterns implementing an SOA using an enterprise service bus. Research Triangle Park, NC: IBM, International Technical Support Organization, 2004.
[7] Yildirim G. Tatar Y. (2019), Remote user supported IoT-WSN Laboratory and testbed platform: FiratWSN, Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University, Vol.34, Iss.4,pp: 1831-1846, doi: 10.17341/gazimmfd.571588.
[8] I. Nadareishvili and I. Nadareishvili, Microservice architecture: Aligning principles, practices, and culture. Beijing, China: O'Reilly, 2016.
[9] M. Massé, REST API design rulebook designing consistent restful web service interfaces. Beijing u.a.: O'Reilly, 2012.
[10] G. Brito, T. Mombach, and M. T. Valente, "Migrating to graphql: A practical assessment," 2019 IEEE 26th International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER), 2019,doi: 10.1109/SANER.2019.8667986.
[11] R. Vilalta *et al*., "GRPC-based SDN control and telemetry for soft-failure detection of spectral/spacial superchannels," *45th European Conference on Optical Communication (ECOC 2019)*, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1049/cp.2019.0874.
[12] T. Siddiqui, S. A. Siddiqui, and N. A. Khan, "Comprehensive Analysis of Container Technology," 2019 4th International Conference on Information Systems and Computer Networks (ISCON), 2019, doi: 10.1109/iscon47742.2019.9036238.
[13] R. Kumar and M. P. Rajasekaran, "An IOT based patient monitoring system using Raspberry Pi," 2016 International Conference on Computing Technologies and Intelligent Data Engineering (ICCTIDE'16), 2016, doi: 10.1109/icctide.2016.7725378.
[14] P. Gupta, D. Agrawal, J. Chhabra, and P. K. Dhir, "IOT based Smart Healthcare Kit," 2016 International Conference on Computational Techniques in Information and Communication Technologies (ICCTICT), 2016, doi: 10.1109/icctict.2016.7514585.
[15] S. Greene, H. Thapliyal, and D. Carpenter, "IOT-based fall detection for Smart Home Environments," 2016 IEEE International Symposium on Nanoelectronic and Information Systems (iNIS), 2016, doi: 10.1109/inis.2016.017.
[16] X. Luo, T. Liu, J. Liu, X. Guo, and G. Wang, "Design and implementation of a distributed fall detection system based on wireless sensor networks," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2012, no. 1, 2012, doi: 10.1186/1687-1499-2012-118.
[17] G. Devi and S. A. M. Rizvi, "Integration of Genomic Data with EHR Using IoT," 2020 2nd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN), 2020, pp. 545-549, doi: 10.1109/ICACCCN51052.2020.9362968.
[18] A. Alamri, Ontology Middleware for Integration of IoT Healthcare Information Systems in EHR Systems, 2018, Computers, 7(4), 51, doi: 10.3390/computers7040051.
[19] S. Shi, D. He, L. Li, N. Kumar, M. K. Khan, and K.-K. R. Choo, "Applications of blockchain in ensuring the security and privacy of Electronic Health Record Systems: A survey," Computers & Security, vol. 97, p. 101966, 2020, doi: 10.1016/j.cose.2020.101966.
[20] N. Hong, A. Wen, F. Shen, S. Sohn, C. Wang, H. Liu, and G. Jiang, "Developing a scalable FHIR-based clinical data normalization pipeline for standardizing and integrating unstructured and Structured Electronic Health Record Data," JAMIA Open, vol. 2, no. 4, pp. 570–579, 2019, doi: 10.1093/jamiaopen/ooz056.
[21] J. Hong, P. Morris and J. Seo, "Interconnected Personal Health Record Ecosystem Using IoT Cloud Platform and HL7 FHIR," *2017 IEEE International Conference on Healthcare Informatics (ICHI)*, 2017, pp. 362-367, doi: 10.1109/ICHI.2017.82.
[22] Ngankam H.K. et al. (2019) An IoT Architecture of Microservices for Ambient Assisted Living Environments to Promote Aging in Smart Cities. In: Pagán J., Mokhtari M., Aloulou H., Abdulrazak B., Cabrera M. (eds) How AI Impacts Urban Living and Public Health. ICOST 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11862. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32785-9_14.
[23] S. Rajapaksa, A. Wickramarachchi et al., A Scalable Bioinformatics Analysis Platform based on Microservices Architecture, 2019 International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE), Colombo, Sri Lanka, doi: 10.23919/SCSE.2019.8842809.
[24] S. Taşlı, Bulut Teknolojisi Kullanan Hasta Takip Hizmetlerinde Mikroservis Temelli Uç Sistem Tasarımı ve Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, 2022, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 779-794, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1105174

Tüm Arama Uzayı Taranarak Kaynak Dengeleme Probleminin Optimum Çözülmesi

Önder Halis BETTEMİR[1*], Tuğba ERZURUM[2]

[1] İnşaat, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

[*1] onder.bettemir@inonu.edu.tr, [2] tugbaerzrm@gmail.com

(Geliş/Received: 20/04/2022; Kabul/Accepted: 03/09/2022)

Öz: İnşaat süresi boyunca kaynak kullanımında gözlemlenen dalgalanmaların proje süresinde gecikme olmadan asgari düzeye indirilmesi kaynak dengeleme problemi olarak tanımlanır. Bu problem basit kurallar içeren sezgisel, sistematik fakat rassal biçimde arama uzayını tarayan üst-sezgisel ve analitik yöntemlerle çözülmektedir. Ancak aktivite sayısının artması ile arama uzayı çok büyüyen kaynak dengeleme probleminin çözümünde oluşan sorunlara karşı belirtilen yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada, aktiviteler arasındaki kısıtlar ihlal edilmeden kritik olmayan aktivitelerin ertelenmesi ile kaç farklı şekilde uygulanabilir çözüm elde edilebileceği hesaplanarak kaynak dengeleme probleminin arama uzayının büyüklüğü belirlenmiştir. Belirlenen arama uzayının tamamı taranarak uygulanabilir en iyi çözüm garantili biçimde elde edilmiştir. Kaynak dağılımının uygunluğu minimum moment ölçeği ile incelenmiştir. Yöntemin uygulanabilmesi için bir hesap tablosu uygulaması oluşturularak Visual Basic programlama dilinde makro yazılmıştır. Literatürden derlenen 27 kaynak dengeleme probleminin geliştirilen yöntemle optimum çözümü elde edilmiştir. Hesap cetveline kaynak dengeleme probleminin nasıl tanıtılacağı çözülen problemler arasından seçilen 2 örnek problem üzerinde detaylı biçimde anlatılarak yöntemin tüm araştırmacılar tarafından uygulanabilmesi sağlanmıştır. Ayrıca geliştirilen yöntem çözüm süresini kısaltmak için C++ dilinde de kodlanmıştır. Test problemleri genetik algoritmayla çözülmüş, hesaplama süreleri ve sunduğu sonuçlar önerilen yöntemin çıktıları ile karşılaştırılmıştır. Çözüm süresi ve çözüm iyiliğinin karşılaştırılması sonucunda geliştirilen yöntemin kaynak dengeleme probleminin kesin çözümünde uygulanabilir olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çalışma kaynak dengeleme probleminin arama uzayını belirleyen bir yöntem geliştirerek literatüre katkı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Kaynak dengeleme problemi, ok diyagramı, optimizasyon.

Optimum Solution of Resource Leveling Problem by Evaluating the Whole Search Domain

Abstract: The endeavor to minimize the fluctuations of the resource assignments without postponing the project deadline is named as resource leveling problem. This problem is solved by heuristic methods, consist of simple rules, meta-heuristic methods, explore the search domain systematically but randomly, and analytical methods. Nevertheless, aforementioned approaches come to be insufficient when the number of activity of the project increases which oversize the search domain of the resource leveling problem. In this study, the number of the feasible solutions is determined by detecting the number of feasible schedules obtained by delaying the noncritical activities without violating the restrictions on the activities. The entire search domain is evaluated and the optimum feasible solution is obtained in a guaranteed manner. Suitability of the resource distribution is evaluated by minimum moment metric. A spreadsheet application is developed and macro is written by Visual Basic programming language to implement the developed method. In the literature survey, twenty seven resource leveling problems are collected and optimum solutions of them are obtained by the developed method. Definition of the parameters and the evaluation of the search domain of the resource leveling problem by the spreadsheet application are explained in detail on two of the solved case study problems so that the researchers can implement the developed method. Moreover the developed method is coded on C++ in order to expedite the computations. Test problems are also solved by genetic algorithm and the computation duration and the obtained results are compared with the proposed method. The comparison reveals that the developed method can be implemented for optimizing the resource distribution. Moreover, this research contributes to the literature by providing a methodology for the determination of the search domain of the resource leveling problem.

Key words: Resource leveling problem, activity-on-arrow, optimization.

* Sorumlu yazar: onder.bettemir@inonu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0002-5692-7708, [2] 0000-0003-4788-6999

1. Giriş

Bir projenin yürütülmesi için temin edilmesi gereken kaynak miktarı proje boyunca düzgün dağılım göstermeyebilir. Proje süresince kaynak kullanımındaki artış ve azalışlar boşta kalan işçi ve iş makinesinin artmasına yol açarak önemli miktarda maddi yük getirir. Kaynak dengeleme, proje süresini geciktirmeden proje boyunca kaynak kullanımını en uygun şekle getirmeyi amaçlar. Kaynak dengelemesi yapıp etkin bir kaynak kullanımı oluşturarak kaynakların atıl kalma süreleri azaltıp günlük kaynak kullanım miktarındaki aşırı değişimin önüne geçilebilir. Bu sayede çalışanların kısa dönemler için ücretsiz izne ayrılması veya işten çıkarılıp bir süre sonra tekrar işe alınması ve benzeri çalışma süreksizliğine yol açan uygulamalardan dolayı çalışanlarda görülebilecek öğrenme, verim ve iş kalitesi kaybı ile maliyet azaltılabilir.

Kaynak Dengeleme Problemi (KDP) proje yönetiminin önemli çalışma alanlarından biridir. KDP'nin çözülmesi için kesin yöntemler, sezgisel yöntemler ve üst-sezgisel yöntemler uygulanmaktadır. Kesin yöntemler NP-Zor sınıfında olan KDP'nin küçük boyutlu problemlerinde garantili biçimde optimum çözümü verebilmektedir [1]. Aktivite sayısının artması KDP'nin karmaşık olması nedeniyle hesaplama süresi ve bellek ihtiyacını çok hızlı biçimde arttırmakta ve bunun sonucunda çözüm süresi aşırı uzamakta veya bellek yetersiz kalmaktadır [2]. Büyük boyutlu problemlerde matematiksel yöntemlerin yetersiz kalması sonucu araştırmacılar kesin yöntemlerin yanı sıra sezgisel ve üst-sezgisel yöntemlere yoğunlaşma eğilimindedir. Çünkü üst-sezgisel yöntemler, büyük problemlerin yakın optimum çözümünü makul bir çözüm süresinde bulma yeteneğine sahiptir.

Sezgisel yöntemler belirli kurallara göre geliştirilen ve düşük hesap yükü ile yakın optimum sonucun elde edilmesini sağlayan yöntemlerdir. İlk önce kaynak talebi en fazla veya en az olan aktiviteyi erteleme, bolluk süresi en fazla veya en az olan aktiviteyi erteleme ve benzeri kurallarla en iyi çözüm aranır. Kaynak kullanımındaki günlük dalgalanmaları en aza indirmek için minimum moment ölçeğini geliştirilmiştir [3]. Bu yöntem 'pack metodu' olarak adlandırılan yöntem geliştirilerek iyileştirilmiştir [4]. KDP'nin çözümünde aktivitelerin ertelenmesi sırasında tüm şebekenin çözülmesi yerine sadece başlangıç ve tamamlanma süreleri değişen aktivitelerin çözülerek sonucun elde edilmesini sağlayan bir yöntem geliştirilmiştir [5, 6]. Bu sayede hesap yükü önemli ölçüde azalmıştır.

Sezgisel yöntemlerin en önemli avantajı hesap yükünün düşük olmasıdır, fakat bunun karşılığında optimum sonucu ender biçimde elde edebilmektedirler. Bu nedenle KDP'nin çözümünde üst-sezgisel yöntemler oldukça yaygın biçimde uygulanmaktadır ve en sık kullanılan üst-sezgisel yöntem Genetik Algoritma (GA)'dır [7-12]. Ayrıca GA KDP ye çok yakın bir problem olan insansız araçların görev paylaşımı için de uygulanmıştır [13]. Ayrıca literatürde karınca koloni algoritması, parçacık sürü optimizasyonu, tavlama benzetimi ve birleştirilmiş farklı üst sezgisel yöntemlere dayalı çalışmalar bulunmaktadır [14-19]. Uygulanan üst sezgisel algoritmaların dışında Kaotik Altın Sinüs, Kaya Kartalı Optimizasyonu, Kuantum Uyarlamalı Genetik Algoritmalar ve Gauss Kaotik Haritalı Genetik Algoritma yöntemleri de akademik çalışmalarda uygulanmaktadır [20-23]. Üst-sezgisel yöntemler, sezgisel yöntemlere göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Fakat, aktivite sayısının artması ile üst-sezgisel yöntemlerin optimum sonucu elde etme olasılığı düşmekte ve yakınsanan çözüm optimum çözümden uzaklaşmaktadır. Bu nedenle kesin çözüm sunan yöntemler de kullanılmaktadır. Bu doğrultuda dal-sınır metodunu uygulanarak KDP çözülmüştür [24-26]. Tamsayılı-doğrusal programlama da KDP'nin çözümünde küçük ölçekli projelerin çözümünde uygulanmıştır [27,28]. Karışık tamsayılı programlama kullanarak KDP küçük ve orta ölçekli KDP çözümünde uygulanmıştır [1, 29-31]. Kesin yöntemler teorik olarak KDP'nin optimum çözümünü elde edebilir, fakat aktivite sayısının artması ile matematiksel programlamaya dayalı yöntemlerde değişken sayısı çok hızlı artmakta ve çözüm süresi uzamaktadır. Dal-sınır algoritmasında ise aktivite sayısı ve şebekenin karmaşıklığına göre dalların çok fazla alt-dalları oluşmakta ve çözüm süresi çok uzamaktadır. Ayrıca dal sayısının aşırı artması sonucu görülen bellek ve hesap süresi sorunları nedeniyle dalların elenmesi sonucu garantili biçimde optimum çözüm elde edilememektedir. Bu nedenle literatürde kesin yöntemlerle optimum çözümü elde edilen en büyük KDP 50 aktivitelidir [1]. Üst-sezgisel yöntemlerde ise elde edilen sonucun iyileştirilmesi için popülasyonun büyültülmesi ve deneme sayısının arttırılması gereklidir [32]. Üst-sezgisel yöntemlerin çözüm kapasiteleri akademik çalışmalarla sürekli olarak iyileştirilse de elde edilen sonucun kesin en iyi sonuç olduğu garanti edilememektedir.

Üst-sezgisel yöntemlerin belirtilen çözüm yeteneklerine rağmen mevcut durumda kullanılan KDP çözüm yöntemlerinin kısıtlarından dolayı yeni bir çözüm yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada KDP'nin kritik olmayan aktivitelerini geciktirerek kaç adet farklı uygulanabilir şebeke elde edilebileceği araştırılarak KDP'nin arama uzayını belirleyen ve tüm arama uzayını tarayarak garantili biçimde optimum sonucu elde eden bir yöntem geliştirilmiştir. Makalenin ikinci kısmında KDP'nin tüm arama uzayının nasıl belirlendiği ve tarandığı açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde geliştirilen algoritmanın performansını ölçmek için literatürden

derlenen 27 KDP çözülmüş ve bu problemlerden 2'sinin hesap tablosuna nasıl tanıtılacağı detaylı biçimde açıklanmıştır. Sonuç bölümünde geliştirilen yöntemin performansı ve sınırları tartışılmıştır.

2. Yöntem

Kaynak dengeleme problemini tüm arama uzayını belirleyip tarayarak çözen yöntem ve yöntemin uygulanması bu bölümde açıklanmaktadır. Geliştirilen yöntem kaynak dengeleme probleminin şebeke analizinin gerçekleştirilmesi, kaynak dalgalanmalarının ölçülmesi ve tarama algoritmasının uygulanması işlem adımlarına bölünüp anlatılmaktadır.

2.1. KDP arama uzayının belirlenmesi için şebeke analizi

KDP proje süresi boyunca gerçekleşen kaynak kullanımı değerlerindeki dalgalanmayı proje süresini uzatmadan azaltmayı amaçladığı için sadece bolluk süresi sıfırdan büyük olan aktiviteler geciktirilir. Kritik aktivitelerin başlangıç zamanları değiştirilmediği için arama uzayının büyüklüğü kritik olmayan aktivite sayısı ve kritik olmayan aktivitelerin bolluk sürelerine bağlıdır. Şebeke diyagramında aktiviteler birbirlerine seri veya paralel biçimde bağlanabilirler. Seri bağlı aktivitelerin bulunduğu bir hat üzerinde problemin çözümünün aranması halinde aktivitelere tanımlanan gecikme süreleri aktiviteler arasındaki ilişkileri ihlal etmemelidir. Bu nedenle seri bağlı bir hat üzerindeki aktivitelere erteleme süresi tanımlanırken öncel aktivitelerin süreleri mutlaka ardıl aktivite süresine küçük veya eşit olmalıdır. Seri bağlı bir hat üzerinde bulunan n gün toplam bolluk süresine sahip m aktivitenin kaç farklı şekilde geciktirilebileceği Eşitlik 1'de gösterildiği gibi hesaplanır [33].

$$UGS = \frac{1}{m!}\prod_{i=1}^{m}(n+i) \tag{1}$$

Eşitlik 1'de UGS aktivitelerin birbirine seri bağlı olduğu hat için uygulanabilir gecikme sayısı'nı ifade etmektedir. Şebeke üzerinde birbirine paralel bağlı aktiviteler de bulunabilir. Paralel aktiviteler arasında ardıl-öncel ilişkisi bulunmadığı için bu aktivitelere tanımlanan gecikme süreleri şebekedeki mantıksal ilişkileri etkilememektedir. Bu nedenle paralel aktivitelere tanımlanan gecikme süreleri birbirinden bağımsız biçimde tanımlanmaktadır. Birbirine paralel aktivite veya yolların kaç farklı şekilde geciktirilebileceği her bir paralel aktivite veya yola ait UGS'nin birbiri ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır.

Şebekeyi oluşturan aktiviteler ve bu aktivitelerin oluşturduğu hatlar birbirlerine her zaman seri veya paralel olarak tanımlanamayabilir. Şebekenin karmaşıklık düzeyi arttıkça şebekeyi oluşturan hat sayısı ile birleşen veya ayrılan hat sayısı çok hızlı biçimde artmaktadır. Bu durumda şebekenin başlangıç düğümünden bitiş düğümüne kadar uzanan hatları birbirine paralel veya seri hat olarak tanımlamak mümkün olmamaktadır. Seri ve paralel hatlar oluşturabilmek için şebeke üzerindeki hatlar hiç ayrılan veya birleşen başka bir hat olmayacak şekilde mümkün olan en uzun hatlara bölünerek seri ve paralel hatlar oluşturulmakta ve arama uzayının büyüklüğü hesaplanmaktadır.

2.2. Kaynak dalgalanmalarının ölçülmesi

Kritik olmayan aktiviteleri toplam bolluk sürelerini aşmayacak şekilde geciktirerek kaynak histogramında görülen zirve ve çukurlar arasındaki seviye farkının olabildiğince azaltılması amaçlanmaktadır. Aktiviteler arasındaki kısıtları ihlal etmeyen ve projenin tamamlanma süresini aşmayan iş programları arasından en az kaynak dalgalanmasına sahip iş programı aranır.

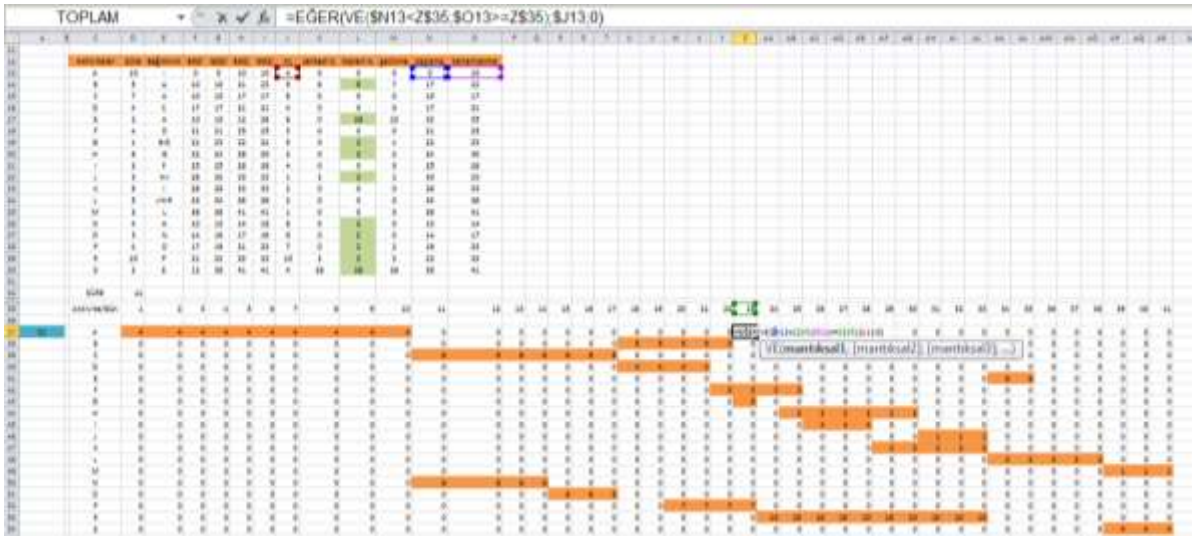
Kaynak dağılımının ölçülebilmesi için literatürde birçok ölçek bulunmaktadır. Bu ölçeklerin karşılaştırması yapılmış ve minimum moment (MM) ölçeğinin diğer ölçeklere göre daha düşük maksimum kaynak talebi ve daha az dalgalı bir kaynak histogramı sunduğu için bu çalışmada MM ölçeği kullanılmıştır [34, 35]. MM ölçeği Eşitlik 2'de sunulmuştur. Formülde S proje süresini, k farklı kaynak sayısını, ri,j i'ninci günde ihtiyaç duyulan j'ninci kaynak miktarını, ωj ise j'ninci kaynak için tayin edilen ağırlık değerini ifade etmektedir.

$$MM = \sum_{i=1}^{S}\sum_{j=1}^{k} w_j * r_{i,j}^2 \tag{2}$$

Günlük kaynak kullanımı dikkate alınarak Eşitlik 2 ile kaynak dağılımının uygunluğu belirlenir. Eşitlik 2 günlük kaynak kullanımının karelerini topladığı için yüksek kaynak kullanımına sahip günlerin çok yüksek değer eklemesine neden olur. Kaynak dağılımının düzgün dağıldığı bir proje ise küçük sayıların karelerinin toplamından oluşacağı için daha küçük MM değerini verir. Belirtilen önerme en basit biçimde örneklenecek olursa 4 günlük bir projede birinci alternatifte inşaat dört gün içinde her günde 2x kişi çalıştırılarak tamamlandığı varsayılsın. Bu durumda MM, $4x^2 + 4x^2 + 4x^2 + 4x^2 = 16x^2$ değerini alır. İkinci alternatifte ise inşaat ilk 2 günde 3x, son iki günde x sayıda işçi çalıştırılarak tamamlansın. Bu durumda MM, $9x^2 + 9x^2 + x^2 + x^2 = 20x^2$ değerini alır. Her 2 durumda da aynı miktarda yevmiye ile inşaat gerçekleştirilmiş fakat farklı MM değerleri oluşmuştur. En uygun kaynak dağılımı Eşitlik 2'nin en düşük değeri aldığı durumdur, çünkü inşaat hızının değişkenliği, inşaat sırasında işten ayrılan, işe alınan, boşta kalan personel sayısı daha azdır. Ayrıca daha küçük şantiye kurulumuna ihtiyaç duyulacağı için genel giderler daha az olacaktır.

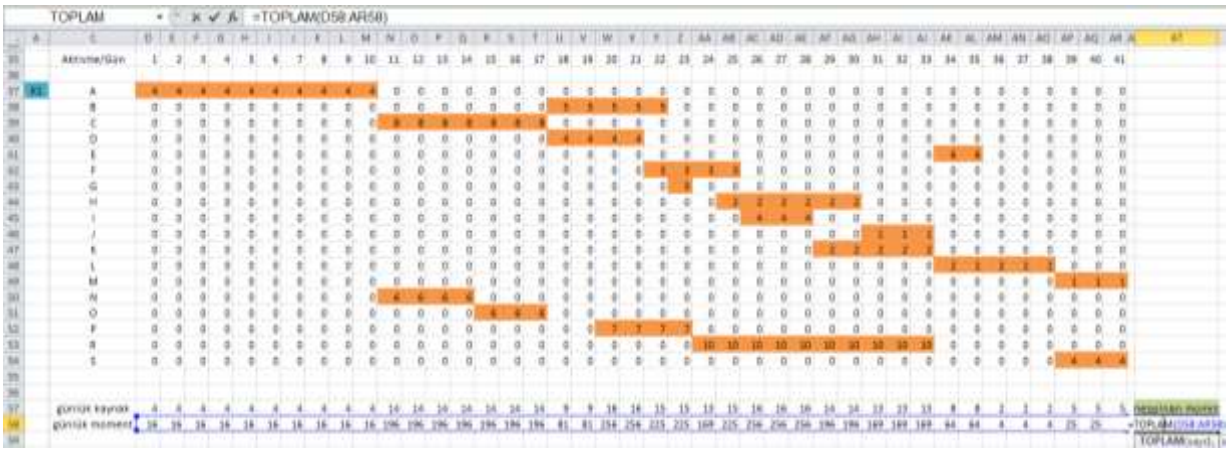
2.3. Arama uzayını tarayan algoritmanın uygulanması

Arama uzayının tamamının taranabilmesi için şebekenin bağımlılık ilişkileri göz önüne alınarak kritik yol yöntemi ile tüm aktivitelerin başlangıç ve tamamlanma zamanlarının belirlenmesi gereklidir. Sistematik biçimde arama uzayını tarayıp KDP'yi çözen bir Hesap Tablosu Uygulaması (HTU) geliştirilmiştir. HTU, projelerde kaynak kullanımını optimize etmek için tüm çözüm uzayını tarayarak en uygun iş programını elde etmektedir. Bu uygulama ofis yazılımında VBA (Visual Basic for Applications) programlama dili ile makro yazılarak hazırlanmıştır. Oluşturulan makro sayesinde kritik olmayan aktivitelerin tüm geciktirme seçeneklerini aktivitelere tanımlayıp tüm durumlar için şebekeyi çözmektedir. Projeyi oluşturan aktiviteler arasındaki kısıtları ihlal etmeden oluşturulabilecek iş programlarının tamamının analiz edilip elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile en iyi çözüm elde edilebilecek ve KDP'nin optimum çözümünü sunan erteleme süreleri belirlenebilecektir. KDP'nin çözüleceği şebeke hesap tablosuna Şekil 1'de gösterildiği gibi tanıtılır.



Şekil 1. Ok diyagramı ile gösterilen şebekenin hesap tablosuna girilmesi.

İleri ve geri gidiş ile belirlenen erken ve geç olay zamanları ilgili sütunlara girilir ve tüm aktivitelerin toplam ve serbest bollukları hesaplanır. Gecikme sütununa ise kritik olmayan aktivitelerin ne kadar geciktirileceği tanımlanır. Aktivitenin erken olay zamanına gecikme süresi eklenerek aktivitenin başlangıç zamanı belirlenir. Başlangıç zamanına aktivite süresi eklenerek aktivitenin tamamlanma zamanı hesaplanır. Bu işlemle birlikte KDP çözümü için gerekli tüm veriler elde edilmiş olur. Gün içinde yürütülen tüm aktivitelerin kullandığı kaynak miktarının toplamı günlük kaynak kullanımını vermektedir. Şekil 2'de gösterildiği gibi günlük kaynak kullanımı 57. satırda, kareleri ise 58. satırda hesaplanır.



Şekil 2. Minimum moment amaç fonksiyonunun hesaplanması

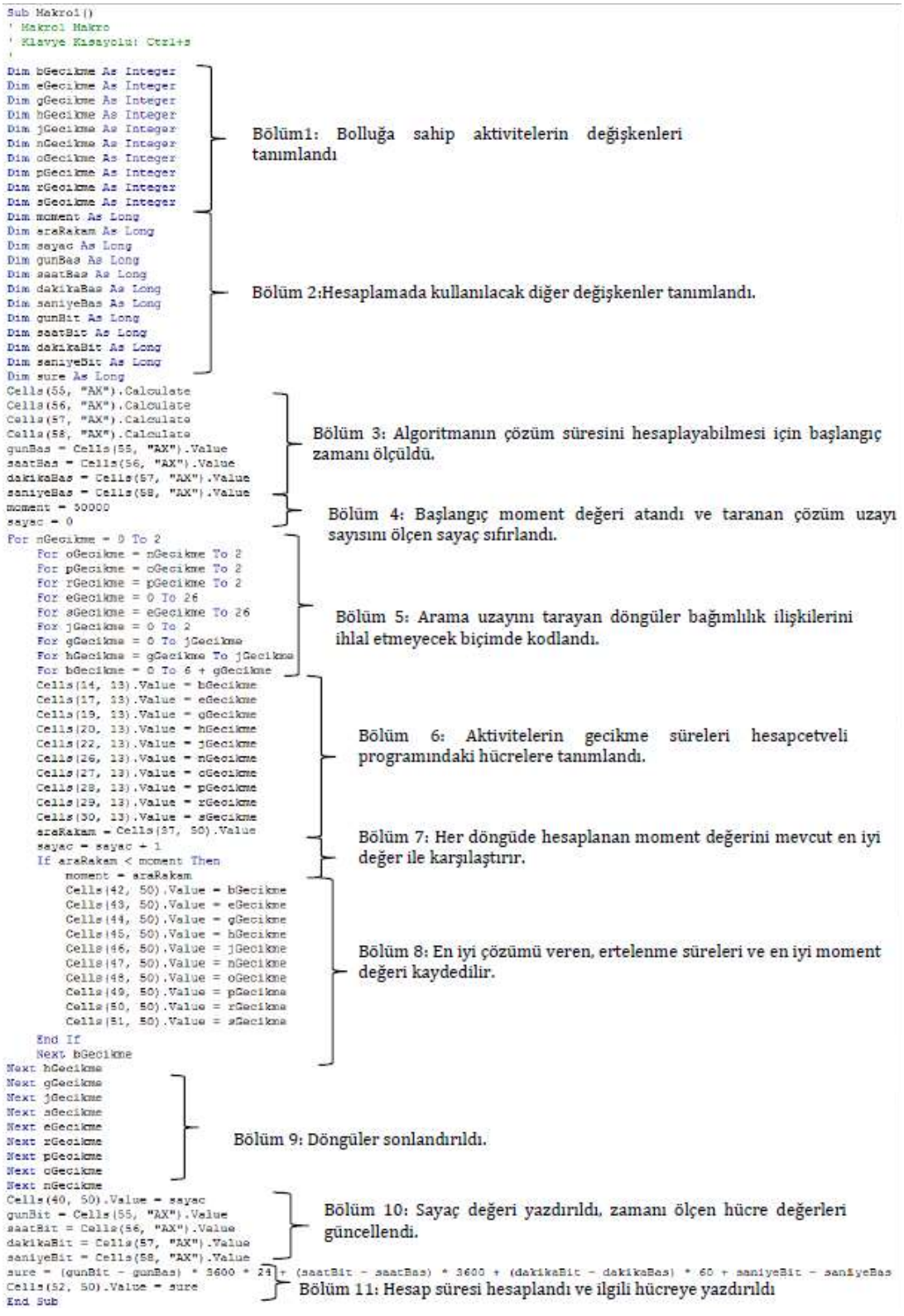
Kareler toplamı *AT58* numaralı hücrede gösterilen formülle toplanır ve Eşitlik 2'de gösterilen amaç fonksiyonu hesaplanır. Kaynak çeşidinin 1'den fazla olması durumunda her kaynak için kareler toplamı belirlenir ve kendi ağırlığı ile çarpılıp toplanarak amaç fonksiyonu hesaplanır. Bu aşamada şebeke çözülüp günlük kaynak kullanımı belirlenmiş ve MM ölçeğine göre kaynak dağılımı değerlendirilmiştir. Şebekenin tüm uygulanabilir gecikme sürelerini tanımlayıp şebeke çözümünü gerçekleştirmek için yazılan makro kodu Şekil 3'te sunulmuştur.

Makronun ilk bölümünde kritik olmayan aktivitelere atanacak gecikme sürelerini saklayan değişkenler tanımlanmıştır. Gecikme süresi tamsayı olabileceği için tüm değişkenler Integer biçimindedir. Makronun ikinci bölümünde hesaplamaya başlanılan zamanı ve hesaplamanın tamamlandığı zamanı ölçmek için saniye, dakika, saat ve gün değerlerini saklayan değişkenler ile en iyi çözüm değerlerini saklamak için gerekli değişkenler tanımlanmıştır. Üçüncü bölümde zaman bilgisini saklayan hücrelerin değerleri Calculate komutu ile güncellenmiş ve bu değerler ilgili değişkenlerde saklanmıştır.

Dördüncü bölümde amaç fonksiyonunun mevcut en iyi çözümünü saklayan değişken ile kaç çözüm yapıldığını saklayan sayaçlar sıfırlanmaktadır. Beşinci bölümde bolluğu olan aktivitelere gecikme değeri atayan döngüler çalıştırılmıştır. Birbirine seri bağlı aktivitelerin bolluk süreleri, kendinden önceki aktivitelerin bolluk sürelerinden etkilenmektedir. Öncel aktivitelerin ertelenmesi nedeniyle bir aktivite erken başlangıç zamanında başlayamaz duruma gelebilir. Bu durumda incelenen aktivite şebekenin içerdiği bağımlılık kurallarını ihlal etmeyecek şekilde ertelenmelidir. Şekil 3'te yer alan For döngüleri incelendiğinde öncel aktiviteleri olmayan veya sadece kritik aktivite olan aktivitelerde döngü sıfırdan toplam bolluk süresine kadar saydırılmaktadır. Fakat incelenen aktivitenin öncelleri arasında kritik olmayan aktivite bulunması durumunda döngü kritik olmayan aktivitenin ertelenme süresinden başlayarak toplam bolluk süresine kadar saydırılmaktadır. Bu şekilde şebekenin bağımlılık ilişkileri ihlal edilmeden, çözülmüş şebekeleri tekrar çözüp tekrara düşmeden ve hiçbir uygulanabilir erteleme alternatifini kaçırmadan tüm arama uzayı taranmaktadır.

Kaynak kodunun altıncı bölümünde For döngüleri ile elde edilen erteleme süreleri Şekil 1'de M sütununda yer alan gecikme başlığı altındaki hücrelere yazdırılmaktadır. Yapılan formülleştirme sonucunda gecikme sürelerinin atanması ile şebeke güncellenmekte ve Şekil 2'de gösterilen kaynak dağılımı elde edilmektedir. Denklem 1'de yer alan amaç fonksiyonu hesaplanarak mevcut şebekenin kaynak dağılımının uygunluğu belirlenir. Amaç fonksiyonunun değeri araRakam adlı değişkende saklanmaktadır.

Elde edilen amaç fonksiyonu mevcut en iyi çözümün saklandığı moment değişkeninin değeri ile karşılaştırılır. Hesaplanan değer mevcut en iyi çözümden daha düşükse daha iyi bir çözümün elde edildiği anlamına gelir ve mevcut çözümü veren aktivite erteleme süreleri saklanır. Hesaplanan değerin mevcut en iyi çözümle karşılaştırılması yedinci bölümde, en iyi çözümü veren erteleme sürelerinin kaydedilmesi ise sekizinci bölümde gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3. KDP'nin tüm arama uzayını örnek problem 1 için tarayan Visual Basic makrosu

Örnek kodun dokuzuncu bölümünde For döngüleri sonlandırılmakta, onuncu bölümünde ise zamanı ölçen hücrelerden o anki zaman değeri elde edilmektedir. On birinci bölümde ise hesaplama süresi hesaplanıp ilgili hücreye yazdırılmaktadır. Bu şekilde kaynak dengeleme probleminin tüm arama uzayı taranmakta ve garantili biçimde en iyi sonuç elde edilebilmektedir.

HTU'nun bu çalışmada atıfta bulunulan tüm vaka analizlerinde uygulama adımlarının detayları Erzurum (2019)'da yer almaktadır [36]. HTU ile yapılan hesaplamalar uzun sürdüğü için Şekil 1 ve 2'de gösterilen hücrelerde yapılan günlük kaynak talebi hesaplamaları visual basic dilinde kodlanmış ve bu şekilde örnek problemler tekrar çözülmüştür. Ayrıca hesaplamaların tamamı C++'da kodlanarak hesap tablosu tamamen devre dışı bırakılarak çalıştırılabilir dosyada işlemler gerçekleştirilmiştir.

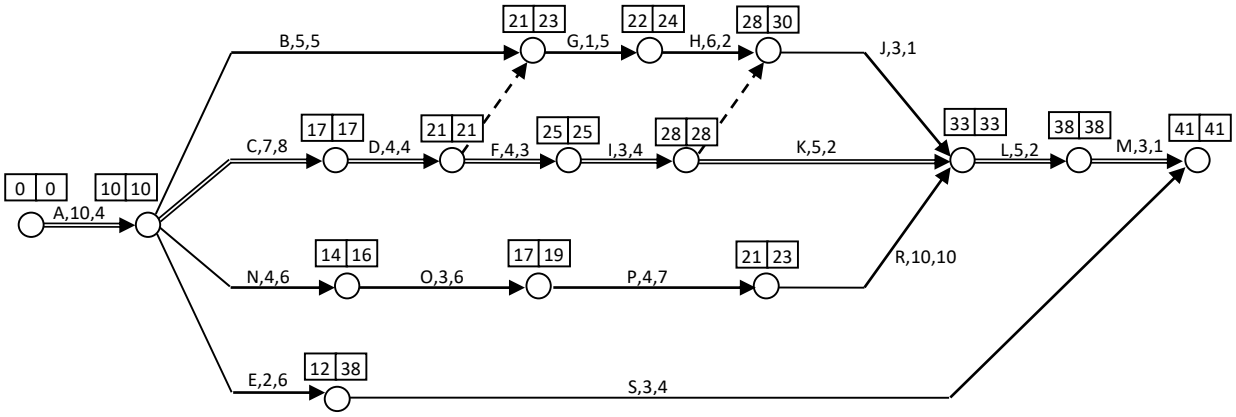
Geliştirilen yöntemin hesaplama süresinin ve elde ettiği sonuçların kıyaslanabilmesi için tüm problemler Genetik Algoritma (GA) ile de çözülmüştür. GA için çaprazlama %70, mutasyon %10 alınmıştır. Popülasyon boyutu aktivite sayısının 2 katı olarak alınmıştır. GA ile tüm projeler 2 ayrı analizde çözülmüş, birinci analizde aktivite sayısının karesinin 2 katı kadar çözüm yapılmıştır. İkinci analizde ise aktivite sayısının üçüncü kuvvetinin 2 katı kadar çözüm yapılmıştır.

3. Vaka Analizleri

Geliştirilen yöntemin denenmesi için literatürden elde edilen 27 kaynak dengeleme problemi çözülmüştür. Hesaplamalar Intel Core i5-9400F 6 Çekirdekli 2,9 GHz işlemci hızına sahip 8 GB RAM, 9 MB Cache bir bilgisayarda tek çekirdek çalıştırılarak yapılmıştır. Örnek problemler arasından seçilen 2 problemin çözümü ve arama uzayının taranması detaylı biçimde açıklanmıştır.

3.1. Örnek Problem 1

Geliştirilen algoritmanın denendiği ilk problem Bandelloni vd. tarafından oluşturulan 18 aktiviteli projedir [37]. Örnek problem 1'in şebeke diyagramı Şekil 4'te sunulmuştur. Aktiviteler şebekede oklarla gösterilmektedir. Aktivite ismini takip eden ilk rakam aktivite süresini, diğer rakam ise kaynak kullanım miktarını göstermektedir. Şebekenin çözülmesi ile elde edilen erken olay ve geç olay zamanları düğüm noktaları üzerinde gösterilmiştir. Şebekedeki kritik aktiviteler çift çizgili okla, bolluğu olan aktiviteler ise tek çizgili okla gösterilmektedir.



Şekil 4. Örnek problem 1'in şebeke diyagramı, aktivite süreleri ve kaynak kullanımı

Şebeke birbirinden bağımsız 4 hatta sahiptir. Bu hatlardan çift çizgiyle gösterilen kritik, kalan 3 hat ise bolluk sahibi aktivitelerin oluşturduğu hatlardır. Kritik olmayan aktivitelerden oluşan hatlar B-G-H-J, N-O-P-R ve E-S hatlarıdır. Örnek problem 1'in arama uzayının büyüklüğü kritik olmayan hatların kaç farklı biçimde ertelenebileceğinin hesaplanması ile belirlenmektedir. Şekil 4'te sunulan şebeke diyagramında erken ve geç olay zamanları göz önüne alınarak aktivitelerin toplam bolluk süreleri hesaplanabilir.

E-S hattı için E ve S aktivitelerinin 26 gün toplam bolluğa sahip oldukları görülmektedir. E aktivitesinin serbest bolluğu olmadığı için E aktivitesinin ertelenmesi S aktivitesini de aynı sürede erteleyecektir. E

aktivitesinin ertelendiği her gün, S aktivitesinin erteleme süresini azaltacaktır. E aktivitesi 0 gün gecikiyorsa S aktivitesine 0 ila 26 gün arasında toplam 27 farklı gecikme süresi atanabilir. Benzer şekilde E aktivitesi 1 gün gecikiyorsa S aktivitesine 1 ila 26 gün arasında toplam 26 farklı gecikme süresi tayin edilebilir. Çözüme bu şekilde devam edildiğinde E aktivitesi 25 gün geciktirildiğinde S aktivitesi 25 veya 26 gün geciktirilebilir, E aktivitesi 26 gün geciktirildiğinde S aktivitesi sadece 26 gün geciktirilebilir. Bu durum incelendiğinde uygulanabilir erteleme sayısı 26'dan 1'e kadar olan sayıların toplamına eşit olacaktır. Bu durumda erteleme sayısı 27*28/2=378 olarak hesaplanmıştır. Bir başka deyişle E ve S aktivitelerine bir birinden farklı ertelenme süreleri atayarak 378 adet birbirinden farklı uygulanabilir iş programı elde edilebilmektedir. Eşitlik 1'e m=2, n=26 değerleri girildiğinde 378 sonucu elde edilir.

Kritik olmayan aktivitelerden oluşan ikinci hat olan N-O-P-R hattında aktivite adlarının ifade edildiği sırada aktiviteler arasında seri biçimde bitince başlar ilişkisi bulunmaktadır. Hattaki ilk öncel aktivite olmasından dolayı N-O-P-R hattındaki aktivitelerin gecikme süreleri N aktivitesinden az olamaz. Benzer şekilde O aktivitesinin ardıl aktivitelerinin gecikme süreleri de O aktivitesinden az olamaz. Hattın toplam bolluk süresi 2 gündür. Belirtilen koşullar altında aktivitelere atanabilecek erteleme süreleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. N-O-P-R hattının ertelenme kombinasyonu.

N Erteleme Süresi	O Erteleme Süresi	P Erteleme Süresi	R Erteleme Süresi	Toplam Erteleme Sayısı
0	0	0	0-1-2	3
0	0	1	1-2	2
0	0	2	2	1
0	1	1	1-2	2
0	1	2	2	1
0	2	2	2	1
1	1	1	1-2	2
1	1	2	2	1
1	2	2	2	1
2	2	2	2	1
				Toplam=15

Tablo1'de erteleme süreleri en soldaki aktivitelere başlangıçta 0 gün atayıp sağdaki aktivitelere atanabilecek gecikme sürelerinin hesaplanması gösterilmektedir. N, O ve P aktivitelerinin 0 gün ertelenmesi ile P aktivitesi için 0, 1 ve 2 gün erteleme olmak üzere 3 farklı erteleme ihtimali olmaktadır. N ve O aktivitelerinin ertelenme sürelerinin 0 günde sabit olduğu, P aktivitesinin ise 1 gün ertelendiği durum için 2 farklı erteleme, P aktivitesinin 2 gün ertelendiği durum için 1 farklı erteleme olmak üzere toplam 6 farklı erteleme seçeneği oluşur. Değişen N aktivite ertelenme süreleri sonucu Tablo 1'de gösterildiği üzere 6-3-1/3-1/1 farklı ertelenme süreleri oluşmuştur. Aktivite erteleme kombinasyonları değerlendirildiğinde 15 farklı iş programı elde edilmektedir. Eşitlik 1'e m=4, n=2 değerleri girildiğinde 15 değeri elde edilir.

Kritik olmayan aktivitelerden oluşan son hat ise B-G-H-J hattıdır. Bu hattın erteleme kombinasyon hesaplaması Tablo 2'de gösterilmiştir. Hatta bağlanan kukla aktiviteler nedeniyle B hattının 6 gün serbest bolluğu bulunmakta ve diğer aktivitelerin toplam bolluğu 2 günken, B aktivitesinin 8 gün toplam bolluğu bulunmaktadır.

Tablo 2. B-G-H-J hattının ertelenme kombinasyonu**.**

J.Ert Süresi	G.Ert Süresi	H Ert Süresi	B Ert Süresi	Farklı Erteleme Sayısı
0	0	0	0-1-2-3-4-5-6	7
1	0	0-1	0-1-2-3-4-5-6	2*7=14
1	1	1	0-1-2-3-4-5-6-7	1*8=8
2	0	0-1-2	0-1-2-3-4-5-6	3*7=21
2	1	1-2	0-1-2-3-4-5-6-7	2*8=16
2	2	2	0-1-2-3-4-5-6-7-8	1*9=9
				Toplam=75

Üçüncü hattın erteleme hesaplamasında önce hattın son aktivitesi olan J aktivitesinin 0 gün ertelenme durumu incelenmiştir. Bu durumda serbest bollukları 0 gün olan G ve H aktiviteleri zorunlu olarak 0 gün ertelenecek, 6 gün serbest bolluğu olan B aktivitesi ise 0 günden 6 güne kadar 7 farklı ertelenme seçeneğine sahip olacaktır. Belirtilen koşul Tablo 2'nin ilk satırında gösterilmektedir.

J aktivitesinin 1 gün ertelendiği durum için G ve H aktiviteleri hiç ertelenmeyebilir, sadece H aktivitesi 1 gün ertelenebilir veya G ve H aktiviteleri 1'er gün ertelenebilir. Bu durumda B aktivitesinin kaç gün ertelenebileceği Tablo 2'de 2 ve 3. satırlarda gösterilmiştir. J aktivitesi 2 gün, G aktivitesi 0 gün ertelenirse H aktivitesi 0, 1 ve 2 gün olmak üzere 3 farklı biçimde ertelenebilir. Sırası ile J ve G aktiviteleri 2 ve 1 gün ertelendiğinde H aktivitesi 1 veya 2 gün olmak üzere 2 farklı biçimde ertelenebilir. J ve G aktivitelerinin 2 gün ertelendiği durumda H aktivitesi sadece 2 gün ertelenebilir. B aktivitesinin ertelenmeleri ise J-G-H aktivitelerinin ertelenmeleri için Tablo 2'de gösterildiği gibi gerçekleştirilebilir. Belirtilen ertelemeler Tablo 2'nin 4, 5 ve 6. satırlarında gösterilmiştir. B aktivitesinin ertelenme süreleri J-G-H aktiviteleri ile oluşturulabilecek geciktirme senaryolarının tamamı dikkate alındığında B-G-H-J hattı toplam 75 farklı biçimde ertelenebilir.

Kritik olmayan aktivitelerden oluşan ve birbirine paralel N-O-P-R, E-S ve B-G-H-J hatları üzerindeki aktivitelere atanan gecikme süreleri diğer hatlara atanacak gecikme sürelerini etkileyecektir. Bu nedenle şebekeye atanabilecek farklı gecikme sürelerinin sayısı, şebekedeki birbirinden bağımsız hatların sahip olduğu gecikme sayılarının çarpımına eşit olacaktır. Belirtilen gecikme sayısı 15 * 378 * 75 = 425250 olarak hesaplanmıştır.

Arama uzayının tamamının taranması için arama uzayının büyüklüğünün hesaplanması zorunlu değildir. Kodlama ile belirlenen şebeke çözüm sayısının doğruluğunu teyit etmek için hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te sunulan makro kodunun çalıştırılması ile problemin tüm arama uzayı taranmış ve Tablo 3'te sunulan değerler elde edilmiştir.

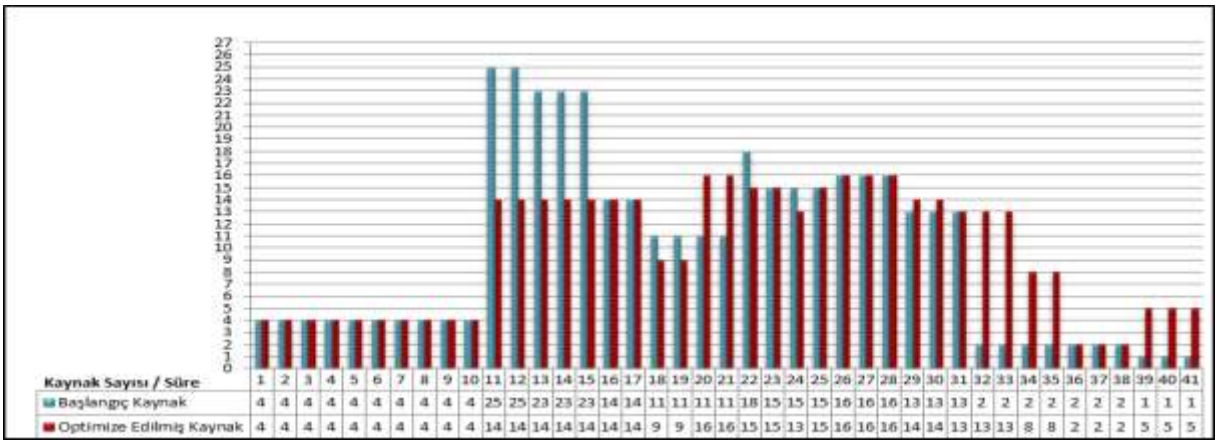
Tablo 3'ün ilk 10 satırında en iyi kaynak dağılımını veren aktivite erteleme süreleri gösterilmiştir. Arama uzayı taranırken 425250 adet iş programı çözümü yapılmıştır. Bulunan değer arama uzayı büyüklüğü hesaplaması ile aynı olduğu için sunulan makro kodunun tüm arama uzayını taradığı görülmektedir. Hesaplama süresi yaklaşık 1.25 saat olarak ölçülmüştür. Hesap süresi üst sezgisel yöntemlere göre uzundur. Bunun en önemli sebepleri arama uzayı taranırken çok fazla sayıda çözüm yapılması ve hesap tablosu uygulamasının çalıştırılabilir dosyalara göre daha yavaş olmasıdır. Fakat garantili biçimde en iyi çözüm elde edildiği için hesap süresi makuldür. Tüm aktivitelerin erken başlangıç zamanında başladığı durumda amaç fonksiyonunun değeri 6178 iken, optimum çözümde amaç fonksiyonu 4932'ye düşürülmüştür.

Tablo 3. Örnek problem 1'in analiz sonuçları.

Parametre	Değer
B-erteleme süresi	7
E-erteleme süresi	23
G-erteleme süresi	1
H-erteleme süresi	2
J-erteleme süresi	2
N-erteleme süresi	0
O-erteleme süresi	0
P-erteleme süresi	2
R-erteleme süresi	2
S-erteleme süresi	26
Çözüm sayısı	425250
Hesaplama süresi (dk)	73.75
Başlangıç moment değeri	6178
Optimum moment değeri	4932

Tüm aktivitelerin erken başlangıç zamanında başladığı durumda oluşan kaynak kullanımı ile dengelenmiş kaynak kullanımı Şekil 5'te sunulmuştur. Şekil 5'te mavi çubuklar tüm aktivitelerin erken başlangıç zamanında başladığı durumda oluşan kaynak dağılımını, kırmızı çubuklar ise dengelenmiş kaynak dağılımını, x ekseni günü, y ekseni ise ilgili günde kullanılan duyulan kaynak sayısını belirtmektedir. Çözüm sonrasında kaynak dağılımındaki dalgalanmalar önemli ölçüde azalmıştır. Ayrıca projenin yürütülmesi sırasında ihtiyaç duyulan

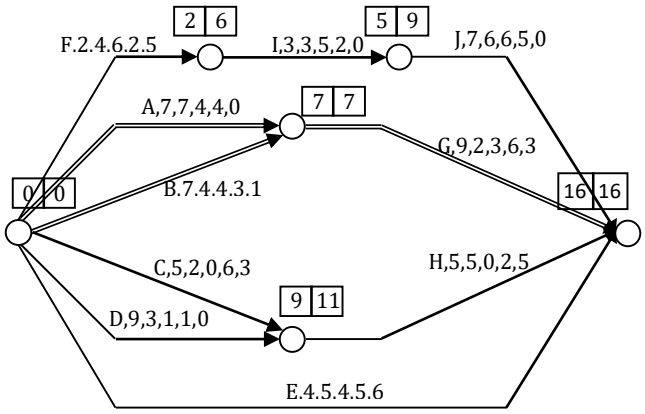
maksimum kaynak miktarı 25'ten 16'ya indirilmiştir. Kaynak dengeleme probleminin çözümü doğrudan kaynak ihtiyacını düşürmeyi amaçlamaz, fakat çözüm sonrasında kaynak ihtiyacında düşüşler de olabilir ve bu durum kaynak dengelemenin sağladığı ikincil faydadır. Analizde kullanılan minimum moment ölçeği maksimum kaynak talebini düşürme eğiliminde olan bir ölçektir [33-36], [38, 39].



Şekil 5. Örnek problem 1'in optimizasyon öncesi ve sonrası kaynak histogramları.

3.2. Örnek Problem 2

Geliştirilen algoritmanın denendiği ikinci problem 10 aktiviteli bir projedir [24]. Problemin şebeke diyagramı ve aktivitelerin kaynak ihtiyaçları aktivite sürelerinin arkasında dört rakam olarak Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. Örnek problem 2'nin şebeke diyagramı, aktivite süreleri ve kaynak kullanımı.

Örnek problemde 4 farklı kaynak türü olduğu için problem çok-kaynaklı kaynak dengeleme problemidir. Amaç fonksiyonunun hesaplanması her kaynak için günlük kaynak kullanımının karelerinin toplanması ile gerçekleşmektedir. Her kaynak için elde edilen değerler kaynak türleri için tayin edilen ağırlıkla çarpılarak toplanmaktadır. Literatürde ağırlık olarak işçilerin yevmiyeleri veya makine kiraları alınmaları yaygındır, fakat problem hipotetik olduğu için tüm kaynak türleri için ağırlıklar 1 alınmıştır.

Problem 2'de kritik hattın dışında birbirinden bağımsız 3 hat bulunmaktadır. Kritik olmayan hatlar, F-I-J, C-D-H ve E hatlarıdır. Belirtilen hatlardan C-D-H hattı C-H ve D-H hatları biçimde 2 ayrı hat olarak da

incelenebilirdi, fakat tek hat olarak incelenmesi sonucu değiştirmemektedir. İlk hat olan F-I-J hattı toplam 12 gün sürmektedir ve bu hat üzerinde bulunan aktivitelerin 4 gün toplam bolluğu bulunmaktadır.

F ve I aktiviteleri 0 gün ertelendiğinde J aktivitesi 0 ila 4 gün olmak üzere 5 farklı biçimde ertelenebilir. I aktivitesi 1 gün ertelendiğinde J aktivitesi 4, I aktivitesi 2 gün ertelendiğinde J aktivitesi 3 farklı şekilde ertelenebilmektedir. F aktivitesinin 0 gün ertelendiği durumda farklı ertelenme sayısı 5'ten 1'e kadar olan sayıların toplamı olan 15'e eşit olacaktır. F aktivitesi 1 gün ertelendiğinde I ve O aktivitelerinin toplam ertelenme sayıları 4'ten 1'e kadar olan sayıların toplamı olan 10'a eşit olacaktır. Benzer şekilde F aktivitesinin 2 gün ertelendiği durum için farklı ertelenme sayısı 3'ten 1'e kadar olan sayıların toplamı olan 6 olacaktır. F-I-J hattı 15 + 10 + 6 + 3 + 2 + 1 =35 farklı erteleme seçeneğine sahiptir. C-D-H hattı 38 farklı biçimde ertelenebilirken, E hattı ise 13 farklı ertelenme seçeneğine sahiptir. İncelenen 3 hattın ertelenme sayılarının çarpımı 17290 sonucunu vermektedir. Problem 2'nin tüm arama uzayı 575 saniyede taranmıştır. Tüm aktivitelerin ertelenme süreleri 0 gün iken MM ölçeği 11290 değerindedir. Optimizasyon sonrası C, D, E, F, H, I ve J aktiviteleri sırası ile 6, 2, 0, 4, 2 ve 4 gün ertelendiğinde MM ölçeği 9438'e düşürülmüştür.

3.3. Diğer örnek problemler

Literatürden derlenen toplam 27 KDP geliştirilen yöntem ile hesap tablosu üzerinde çözülerek optimum sonuçlar elde edilmiştir. Bu sayede yöntemin küçük ve orta büyüklükteki KDP'yi çözebileceği gösterilmiştir. Çözümü gerçekleştirilen problemlerin arama uzayı büyüklüğü, aktivite sayısı ve çözüm süresi Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4'te yer alan Analiz 1 sütunu, kaynak kullanım hesaplamalarının hesap tablosu hücrelerinde gerçekleştirildiği küçük ölçekli problemleri içermektedir. Çözülen problemlerin önemli bir kısmının çözüm süresi 20 dakikanın altında kalmaktadır. Aktivite sayısı 6 ve 7 olan küçük problemler ise 1 saniye içerisinde kesin çözülmektedir. Tablo 4'te A1 sütunu altında problemin çözüm süresini kaynak kullanımının HTU ile hesaplanması halinde gerçekleşen hesaplama süresi saniye biriminde gösterilmektedir. Proje süresine ve aktivite sayısına bağlı olarak kaynak kullanımı hesaplamaları çok fazla sayıda hücre işgal etmekte ve hesaplamaları yavaşlatmaktadır. A2 sütunu altında sunulan sonuçlarda ise günlük kaynak kullanımı hesap tablosu hücreleri yerine makro ile hesaplanarak HTU üzerindeki işleme dâhil olan hücre sayısı azaltılmıştır. Bu şekilde yapılan çözümde hesaplama sürelerinin ilk analize göre önemli ölçüde kısaldığı görülmektedir. Ayrıca hesaplama süresi çok uzun olduğu için ilk analizde yarıda kesilen 23 ve 24 numaralı problemler ikinci analizde çözülebilmiştir.

Tablo 4. Literatürden derlenen örnek problemlerin aktivite sayısı, arama uzayı büyüklüğü ilişkisi ve çözüm süreleri

ID	Akt. S.	Arama Uzayı	En İyi Sonuç	A1 Süre	A2 Süre	A3 Süre	Ref
1	9	272	2700	14	1	0,016	[15]
2	6	6	24	<1	<1	0,015	[40]
3	6	3	22	<1	<1	0,015	[40]
4	7	36	641	5	1	0,016	[41]
5	5	11	1357	1	<1	0,015	[42]
6	15	600	3005	8	2	0,015	[46]
7	12	180	5691	6	1	0,016	[45]
8	5	11	428	1	<1	0,016	[27]
9	8	10	853	<1	<1	0,016	[19]
10	9	1953	8050	138	5	0,016	[12]
11	13	98784	6225	5683	477	0,063	[18]
12	8	16	5466	1	<1	0,016	[46]
13	11	5684	993	245	27	0,016	[48]
14	10	17290	9438	1002	51	0,235	[2]
15	11	462	6723	51	2	0,016	[47]
16	18	425250	4932	20649	2995	0,097	[37]
17	11	7134	915	369	21	0,016	[18]
18	11	14364	821	597	52	0,016	[4]

19	16	5126772	11960	195763	22563	6,405	[44]
20	16	45900	3720	533	161	0,062	[45]
21	18	8678	6539	453	55	0,031	[44]
22	9	300	2112	5	<1	0,015	[39]
23	13	7408830	12355	YOK	27327	2,827	[12]
24	14	6030269	10996	YOK	28995	7,592	[46]
25	19	153513360	5608	YOK	YOK	174,99	[49]
26	15	662299680	8971	YOK	YOK	854,30	[49]
27	20	13531140	3059	YOK	YOK	5,627	[50]

Elde edilen iyileştirmeye rağmen daha büyük problemler için HTU ile tüm arama uzayının taranarak KDP çözümünün uygun olmadığı görülmektedir. Bu nedenle geliştirilen yöntem hesaplamaların daha hızlı yürütüldüğü C++ dilinde kodlanmıştır. C++ dilinde geliştirilen yazılımla gerçekleştirilen hesaplama süreleri Tablo 4'te A3 Süre sütununda sunulmuştur. Birinci ve ikinci analizlerde hesaplama süresinin çok uzun olması nedeniyle çözülemeyen 25, 26 ve 27 numaralı problemler bu analizde çözülmüştür.

Hesaplama süreleri C++ yazılımında bulunan ctime kütüphanesi fonksiyonu olan clock() fonksiyonu ile ölçülmüştür. Geliştirilen yöntemin hesaplama süresinin ve elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi için örnek problemler GA ile 10 defa çözülmüş ve elde edilen sonuçların ortalaması Tablo 5'te sunulmuştur. Analiz 1'de aktivite sayısının karesinin 2 katı kadar, Analiz 2'de ise aktivite sayısının üçüncü kuvvetinin 2 katı kadar iş çizelgesi çözüldüğünde hesaplamalar durdurulmuştur.

Kaynak dengeleme probleminin arama uzayı kritik olmayan aktivite sayısına ve bolluk sürelerine bağlıdır. Arama uzayı projenin büyüyüp karmaşıklaşması ile çok hızlı artmaktadır. Arama uzayının artması ile çözüm süresi de artmaktadır. Bu engel kaynak dengeleme probleminin çözümü için kullanılan tüm çözüm yöntemlerinde bulunmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen yöntem de aynı koşullardan etkilenmektedir. Fakat hesaplama süresi uzatılsa da üst-sezgisel yöntemler kesin sonuca ulaşmayı garanti edemezken, önerilen yöntem kesin sonucu garantileyebilmektedir.

Karşılaştırmada kullanılan GA üst-sezgisel optimizasyon algoritması mayoz bölünme ve doğal seleksiyondan esinlenerek geliştirilmiştir [51]. Başlangıçta uygulanabilir çözümleri temsil eden rastgele sayılar kullanılarak üretilen bireylerden oluşan popülasyonla çözüme başlanır. Kaynak dengeleme probleminin çözümü bolluk süresi bulunan aktiviteleri sahip oldukları bolluk sürelerini aşmadan farklı erteleme süreleri atanarak aranır. Bu nedenle popülasyonu oluşturan bireylerin her biri kritik olmayan aktivite sayısı kadar değişken taşır. Değişkenlere ifade ettikleri aktivitenin erteleme süresini belirten değer rastgele atanır. Şebeke koşullarının ihlal edilmemesi için rastgele sayılar 0 ile aktivitenin bolluk süresi arasında olacak şekilde üretilmiştir. Bazı durumlarda kritik olmayan aktivitelere atanan bolluk süreleri tutarlı olmayabilir. Örneğin birbirine seri bağlı öncel ve ardıl aktiviteler için atanan bolluk sürelerinde öncelin gecikmesi ardıl aktiviteye göre daha fazla olabilir ve atanan değerlere göre ardıl aktivite için hesaplanan başlangıç zamanında öncel aktivite tamamlanmamış olabilir. Bu durum şebeke kısıtlarını ihlal etmektedir. Belirtilen şebeke kısıtlarını engellemeyecek şekilde rastgele rakam üretmek oldukça karmaşıktır. Bu nedenle şebeke çözülürken ardıl aktivitenin başlangıç zamanı belirlenirken tüm öncellerinin tamamlanmış olma şartını sağlayan zaman ile ilgili aktivitenin erken başlangıç zamanına tayin edilen gecikme eklenerek elde edilen başlangıç zamanlarından hangisi en geç ise o süre başlangıç zamanı olarak atanarak çözüm yapılmıştır. Bu durumda ardıl aktiviteye atanan gecikme süresi öncel aktiviteye göre daha az olsa dahi öncel aktiviteye göre atanan erteleme süresine göre çözüm yapılır fakat bireylerin taşıdığı erteleme süresi değerleri değiştirilmez.

Mevcut çözümlerin iyileştirilmesi için çaprazlama ve mutasyon operatörleri uygulanmaktadır. Çaprazlama için bireyler rastgele eşleştirilerek yeni bireyler oluşturulur. Çaprazlama için eşitlik 3'te sunulan ifadeyle bireylerin çaprazlama uyumluluk değerleri hesaplanmıştır.

$$CU_i = \frac{\left(M_i - P\dot{I}\right)}{\left(PK - P\dot{I}\right)} + \frac{rand(1)}{5} \qquad (3)$$

Eşitlik 3'te CUi i'ninci bireyin çaprazlama uyum indeksini, Mi ise i'ninci bireyin eşitlik 2 kullanılarak hesaplanan moment değerini, PK popülasyonun en kötü değerini, Pİ popülasyonun en iyi değerini rand(1) ise 0 ile 1 arasında oluşturulan rastgele sayısı ifade etmektedir. Bireyler eşitlik 3'e göre küçükten büyüğe sıralanırlar ve ilk "çaprazlama oranı * popülasyon boyutu" kadar birey çaprazlamaya alınır ve çaprazlama için ardışık bireyler eşleştirilir. Denklem 3'te yer alan rastgele sayı eklemenin amacı ilerleyen GA çevrimlerinde sürekli aynı ebeveyn eşleşmelerinin oluşmasını engellemektir. Bu çalışmada tek noktalı çaprazlama uygulanmıştır. Her

çaprazlama için eşleşen birey çiftleri için 1 ile kritik olmayan aktivite sayısı arasında tamsayı rastgele sayı üretilir ve çaprazlama bu konumdan gerçekleştirilir.

Mutasyon için her bireye rastgele sayı atanır ve atanan sayılara göre bireyler sıralanır. Sıralama sonucuna göre ilk "mutasyon oranı * popülasyon boyutu" kadar birey mutasyona tabi tutulur. Mutasyon sırasında 1 ile kritik olmayan aktivite sayısı arasında rastgele tamsayı üretilir ve mutasyonun yapılacağı aktivite belirlenir. Ardından -2 ile +2 arasında bir tamsayı üretilerek aktivitenin erteleme süresine eklenir. Aktivitenin ertelenme süresinin 0 günden az olması halinde erteleme süresi 0 gün, aktivitenin toplam bolluk süresinden fazla olması halinde ise erteleme süresi toplam bolluk süresi olarak düzeltilir. Son olarak mevcut bireyler, çaprazlama ve mutasyonla oluşturulan tüm bireyler eşitlik 3 kullanılarak tekrar sıralanır ve ilk popülasyon sayısı kadar birey saklanır diğer bireyler ise yok edilerek popülasyon sayısı sabit tutulur. Çaprazlama, mutasyon ve doğal seleksiyon işlemleri GA'nın 1 çevrimini oluşturur. GA durma şartları oluşuncaya kadar tekrarlanmıştır.

Tablo 5'te sunulan değerler incelendiğinde Analiz 2 sütununda sunulan hesaplama sayılarının Analiz 1 deki hesaplama sayılarından ciddi miktarda fazla olmasına rağmen yakınsanan çözümde aynı oranda bir iyileşmenin gözlenemediği ortaya çıkmaktadır. Bu durumun en önemli nedenlerinden birisi optimizasyon sürecinde popülasyon bireylerinin çoğunluğunun yerel minimuma yakınsaması ve GA'nın içerdiği çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin yakınsanan yerel minimuma yakın çözümler üretmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu çalışmada uygulanan tüm arama uzayının tamamının taranmasının hesaplama süresi en büyük problem için GA'dan birkaç dakika daha uzundur fakat GA yerel minimuma takılan çözüm üretirken önerilen yöntem en iyi çözümü garantili biçimde sunmaktadır.

Tablo 5. Literatürden derlenen örnek problemlerin GA ile çözümünün sonuçları

		Analiz 1			Analiz 2		
ID	**Akt. S.**	**Hesaplama Sayısı**	**Hesap Süresi**	**Ortalama Sonuç**	**Hesaplama Sayısı**	**Hesap Süresi**	**Ortalama Sonuç**
1	9	162	0,016	2704	1458	0,046	2704
2	6	72	0,015	24,8	432	0,025	24,4
3	6	72	0,015	22,2	432	0,025	22
4	7	98	0,018	641	686	0,063	641
5	5	50	0,015	1357	250	0,024	1357
6	15	450	0,017	3005,4	6750	0,092	3005
7	12	288	0,017	5707	3456	0,076	5700,2
8	5	50	0,016	431,2	250	0,032	429,6
9	8	128	0,030	866,6	1024	0,233	854,6
10	9	162	0,015	8097,4	1458	0,030	8065,8
11	13	338	0,017	6430,6	4394	0,081	6418,6
12	8	128	0,018	5466	1024	0,069	5466
13	11	242	0,018	1000,8	2662	0,090	994,6
14	10	200	0,018	9447,8	2000	0,083	9453,6
15	11	242	0,016	6728,6	2662	0,052	6723
16	18	648	0,019	4988,6	11664	0,093	4951,8
17	11	242	0,019	923	2662	0,075	918,6
18	11	242	0,015	839	2662	0,034	829
19	16	512	0,020	12094	8192	0,178	12004
20	16	512	0,020	3765,8	8192	0,169	3728,6
21	18	648	0,021	6544,4	11664	0,229	6543,2
22	9	162	0,015	2136,8	1458	0,030	2133,2
23	13	338	0,017	12410,8	4394	0,081	12390,4
24	14	392	0,018	11052,4	5488	0,110	11036,4
25	19	722	0,020	5660,2	13718	0,209	5622,2
26	15	450	0,019	9145	6750	0,143	9063,4
27	20	800	0,021	3110,6	16000	0,253	3092

4. Sonuçlar

Bu çalışmada küçük ölçekli projelerde kaynak dengeleme probleminin tam sonucunu arama uzayının tamamını tarayarak makul hesaplama süresinde elde eden bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntem hesap tablosu üzerinde çalışan makro ile uygulanmış ve toplam 27 adet kaynak dengeleme problemi çözülerek yöntemin kesin çözüm elde edebileceği gösterilmiştir.

HTU'nun geliştirilmesi ve makro kodu detaylı biçimde verilerek geliştirilen yöntemin araştırmacılar ve yükleniciler tarafından uygulanabilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmada geliştirilen yöntem sayesinde küçük ve orta ölçekli müteahhitler tarafından uygulanması güç olan optimizasyon algoritmalarına ihtiyaç duymadan KDP'nin kesin çözümünü HTU ile elde etmek mümkün olabilecektir. Şebekenin ok diyagramının çizilip hesap tablosuna aktarılıp makro kodunun çalıştırılması ile KDP'nin kesin çözümü elde edilebilecektir. Bu sayede inşaat ve imalatın tüm aşamalarında kaynakların mümkün olan en üst verimde kullanılması mümkün olacak ve maliyetlerde kayda değer düşüşler sağlanabilecektir.

Yöntem hesap tablosu üzerinde uygulanarak başlangıç düzeyinde programlama bilgisine sahip mühendislerin kolaylıkla uygulayabilmesi amaçlanmıştır. Ancak uygulama kolaylığı hesap yavaşlığı engelini getirmiştir. Çalıştırılabilir dosya biçiminde C++ dilinde oluşturulan programlarda bir saniyede 1 milyondan daha fazla iş programı çözebilirken hesap tablosu üzerinde bir saniyede yaklaşık 100 iş programı çözülmektedir. Bu durum hesap tablosunun daha büyük problemlerin çözümünde kullanılabilirliğini düşürmüştür.

Arama uzayının taranmasının hesap yükü ile Genetik Algoritmanın hesap yükü karşılaştırılmış ve tüm arama uzayının taranmasının hesap yükünün GA'nın hesap yükünden çok daha az olduğu belirlenmiştir. Tablo 4 ve 5'te algoritmaların iş çizelgesi hesaplama sayıları verilmiştir. Aktivite sayısının 10'dan az olduğu problemlerde arama uzayının tamamının taranması daha az şebeke analizi gerektirmekte ve daha az hesaplama ile garantili biçimde kesin sonucu vermektedir.

Üst-sezgisel yöntemlerde popülasyonun taşıdığı genler ve amaç fonksiyonunun bellekte saklanması gerekmektedir. Büyük projeler için popülasyonun bellek ihtiyacı işlemcinin tampon belleğinin boyutunu aşıp Random Access Memory'de (RAM) saklanmasına yol açmaktadır. Arama uzayının taranması yönteminde saklanması gereken veriler şebekedeki olay sayısı kadar erken olay ve geç olay zamanları, aktivitelerin bolluk süreleri ve günlük kaynak kullanım değerleridir. Belirtilen verilen tampon bellekte saklanabilecek kadar az yer kaplamaktadır. Tampon bellek RAM'e göre çok daha hızlı erişilebilen bir bellek türü olduğu için arama uzayının taranması yönteminde daha fazla şebeke analizi yapılmasına rağmen hesaplama süresi GA'dan daha kısa olmaktadır.

Problemin zorluğu, yerel minima ile optimum arasındaki parametre değerlerinin benzerliği ve popülasyon büyüklüğüne bağlı olarak GA'nın arama uzayını tam olarak tarayamama ve yerel minimaya takılma riski bulunmaktadır. Yerel minimaya takılma durumunda birkaç yinelemeden sonra popülasyonun büyük çoğunluğu yerel minimaya eşit olmakta ve elde edilen sonucun iyileştirilme olasılığı düşmektedir. Kaynak dengeleme problemi doğası gereği çok fazla yerel minima içermektedir ve yerel minimadan kurtulmak için aynı anda birden fazla aktivitenin bolluk sürelerinin değiştirilmesi gerekebilmektedir. Bu durum yerel minimadan kurtulabilme olasılığını iyice düşürmektedir. Ayrıca ilerleyen yinelemelerde bireyler birbirlerine çok yakın genler taşır duruma geldikleri için daha önce denenen şebeke çözümlerinin tekrar denenme olasılığını arttırmaktadır. Tabu arama benzeri yöntemler ise büyük problemler için önemli miktarda bellek kullanımı gerektirmekte ve hesaplamaları yavaşlatmaktadır.

Bu çalışmada kaynak dengeleme probleminin arama uzayının belirlenmesi için bir yöntem önerilmektedir. Bu sayede ilgili problemde kaç farklı uygulanabilir iş programının oluşturulabileceği hesaplanabilecektir. Bu değer problemin zorluk derecesi hakkında fikir vermektedir. Kaynak dengeleme probleminin çözümünde yaygın olarak üst-sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Çözüm için yapılan çözüm sayısı ile arama uzayının büyüklüğü kıyaslanarak uygulanan çözüm algoritmasının başarısı daha iyi biçimde ölçülebilecektir.

Ayrıca problemin arama uzayı büyüdükçe üst-sezgisel yöntemler kullanılarak optimum veya yakın-optimum çözüm elde edebilmek için popülasyon boyutunun ve çevrim sayısının arttırılması gerekmektedir. Arama uzayının büyüklüğü belirlendikten sonra popülasyon boyutu ve hesaplama sayısı daha hassas biçimde belirlenebilecek ve yetersiz hesaplama sayısı atayarak optimum çözümden daha uzak bir çözüm elde etme riski önlenebilecektir. Ayrıca aşırı hesaplama sayısı atanarak hesaplama süresinin gereğinden fazla uzaması da önlenebilecektir.

Bu çalışmanın literatüre katkısı, sezgisel ve matematiksel yöntemlere kıyasla uygulaması daha kolay ve hızlı bir yöntem geliştirilerek kaynak dengeleme probleminin optimum çözülmesidir. Geliştirilen yöntem literatürden derlenen en büyüğü 20 aktiviteli olan 27 KDP üzerinde denenmiş ve tam çözüme ulaşılmıştır. Aynı

yöntemle kaynak kısıtlı iş programı problemi de çözülebilmektedir [52]. Geliştirilen yöntem mevcut haliyle küçük ölçekli problemleri başarı ile çözebilmektedir. Fakat Tablo 4'te gösterildiği üzere problemin arama uzayı aktivite sayısına bağlı olarak üstel artmaktadır. Çözüm süresi arama uzayına bağlı olarak çok hızlı artacak ve tüm arama uzayı taranamadan hesaplamaların durdurulması gerekecek ve optimum sonucun elde edilebilmesi kesin olamayacaktır. Belirtilen sorunun önüne geçmek için hesaplamaların hızlandırılması ve paralel hesaplamaların gerçekleştirilmesi gereklidir. Belirtilen hususların sağlanması ile önerilen yöntemin kapasitesi ve uygulanabilirliği arttırılabilecektir. Ayrıca bu çalışmada şebekeyi oluşturan hatların küçük parçalara ayrılması manuel olarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlemi insan müdahalesi olmadan gerçekleştirebilen bir algoritmanın geliştirilmesi de yöntemin uygulanabilirliğini arttıracaktır.

Etik Standartların Beyanı

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

Çıkar Çatışması

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

[1] Rieck J, Zimmermann J. Handbook on Project Management and Scheduling. Exact methods for resource leveling problems, Springer International Publishing: 2015; 1, 361-387.
[2] Demeulemeester E, Herroelen W. Project Scheduling: A Research Handbook, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA, (2002).
[3] Harris RB. Resource and arrow networking techniques for construction, Wiley, New York, 1978.
[4] Harris RB. Packing method for resource leveling (PACK), J. Constr. Eng. Manage., 1990; 116(2), 331-350.
[5] Hiyassat MAS. Modification of minimum moment approach in resource leveling, J. Constr. Eng. Manage., 2000; 126(4), 278-284.
[6] Hiyassat MAS. Applying modified minimum moment method to multiple resource leveling, J. Constr. Eng. Manage., 2001; 127(3), 192-198.
[7] Hegazy T. "Optimization of resource allocation and leveling using genetic algorithms, J. Constr. Eng. Manage., 1999; 125(3), 167-175.
[8] Hegazy T, Kassab M. Resource optimization using combined simulation and genetic algorithms, J. Constr. Eng. Manage., 2003; 129(6): 698-705.
[9] Hossein HD, SeifiSA, Shariat SY. Efficient hybrid genetic algorithm for resource leveling via activity splitting, J. Constr. Eng. Manage., 2010; 137(2): 137-146.
[10] Ponz-Tienda JL, Yepes V, Pellicer E, Moreno-Flores J. "The resource leveling problem with multiple resources using an adaptive genetic algorithm", Automation in Construction, 2013; 29: 161-172.
[11] Zheng DX, Ng, ST, Kumaraswamy MM. "GA-based multiobjective technique for multi-resource leveling", Bridges, 2003; 10(40671): 29.
[12] Leu SS, Yang CH, Huang JC. Resource leveling in construction by genetic algorithm-based optimization and its decision support system application, Automation in construction, 2000; 10(1): 27-41.
[13] Karaköse, E. Sürü İnsansız Hava Araçlarının Görev Paylaşımı için Genetik Algoritma Tabanlı Bir Yaklaşım. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2022; 34(1), 351-360.
[14] Li Z, Wuliang P, Zhongliang Z. An ant colony system for solving resource leveling problem, In IEEE International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2010; 1: 489-492.
[15] Geng JQ, Weng LP, Liu SH. An improved ant colony optimization algorithm for nonlinear resource-leveling problems, Computers & Mathematics with Applications, 2011; 61(8), 2300-2305.
[16] Wang Q, Qi JX. Research on resource leveling problem under resource constrained condition, IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2009; 2: 901-906.

[17] Li H, Dong X. "Multi-mode resource leveling in projects with mode-dependent generalized precedence relations", Expert Systems with Applications, 2018; 97, 193-204.
[18] Son J, Skibniewski MJ. Multiheuristic approach for resource leveling problem in construction engineering: Hybrid approach, J. Constr. Eng. Manage., 1999; 125(1), 23-31.
[19] Qi, JX, Wang Q, Guo XZ. Improved particle swarm optimization for resource leveling problem, IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2007; 2: 896-901.
[20] Tanyıldızı, E., ve Demir, G. Nümerik Optimizasyon için Kaotik Altın Sinüs Algoritması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2019; 31(1), 91-97.
[21] Akyol, S. Global Optimizasyon için Yeni Bir Hibrit Yöntem: Kaya Kartalı Optimizasyonu-Tanjant Arama Algoritması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2021; 33(2), 721-733.
[22] Yetiş, H., ve Karaköse, M. Kuantum Uyarlamalı Genetik Algoritmalar için Çözüm Kalitesini Artıracak Yeni Bir Yaklaşım. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2021; 33(1), 71-79.
[23] Aydemir, S. B. Küresel Optimizasyon için Gauss Kaotik Haritası ile Kartal Optimizasyonu. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2022; 34(1), 85-104.
[24] Demeulemeester E, Herroelen W. A branch-and-bound procedure for the multiple resource-constrained project scheduling problem, Management science, 1992; 38(12): 1803-1818.
[25] Neumann K, Zimmermann J. Procedures for resource leveling and net present value problems in project scheduling with general temporal and resource constraints, European Journal of Operational Research, 2000; 127(2): 425-443.
[26] Nübel H. The resource renting problem subject to temporal constraints, OR-Spektrum, 2001; 23(3): 359-381.
[27] Easa SM. Resource leveling in construction by optimization, J. Constr. Eng. Manage., 1989; 115(2): 302-316.
[28] Hariga M, El-Sayegh SM. Cost optimization model for the multiresource leveling problem with allowed activity splitting, J. Constr. Eng. Manage., 2010; 137(1): 56-64.
[29] Karaa FA, Nasr AY. Resource management in construction", J. Constr. Eng. Manage., 1986; 112(3), 346-357.
[30] Gather T, Zimmermann J, Bartels JH. Exact methods for the resource levelling problem, Journal of Scheduling, 2011; 14(6): 557-569.
[31] Mattila KG, Abraham DM. Resource leveling of linear schedules using integer linear programming, J. Constr. Eng. Manage., 1998; 124(3): 232-244.
[32] Özcan, H. Comparison of particle swarm and differential evolution optimization algorithms considering various benchmark functions, Politeknik Dergisi, 2017; 20(4): 899-905.
[33] Erzurum, T., ve Bettemir, Ö. H. Kaynak Dengeleme Probleminin Arama Uzayını Paralel Programlama ile Tarayarak Kesin Çözümü, Teknik Dergi, 2021; 32(3): 10767 – 10805.
[34] Bettemir ÖH, Erzurum T. Comparison of resource distribution metrics on multi-resource projects, Journal of Construction Engineering, Management & Innovation, 2019; 2(2): 93-102, ().
[35] Bettemir ÖH, Erzurum T. Comparison of Resource Distribution Metrics on Small Projects, International Civil Engineering and Architecture Conference, Trabzon, Turkey, (2019).
[36] Erzurum T. Kaynak Dengeleme Probleminin Optimum veya Yakın Optimum Çözülmesi, Yüksek Lisans Tezi, T.C. İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye, (2019).
[37] Bandelloni M, Tucci M, Rinaldi R. Optimal resource leveling using non-serial dyanamic programming, European Journal of Operational Research, 1994; 78(2): 162-177.
[38] Erzurum T. Bettemir, ÖH. Kaynak Dengeleme Problemlerinin Arama Uzayının Belirlenmesi Determination of Search Domain of Resource Leveling Problem, Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi, 437-453, Samsun, Türkiye, (2017).
[39] Erzurum T, Bettemir ÖH. Optimum or Near-Optimum Resolution of Resource Leveling Problems with Spreadsheet Application, 5th International Project and Construction Management Conference (IPCMC 2018):1285-1299, Northern Cyprus, (2018).
[40] Gordon, J., ve Tulip, A. Resource scheduling, Int. J. Proj. Manage., 1997; 15(6): 359-370.
[41] Rui, L., and Xiao-ya, W., Using elitist particle swarm optimization to facilitate resources leveling optimization analysis, In IEEE 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA: 90-95, (2008).
[42] Abeyasinghe, M. C. L., Greenwood, D. J., ve Johansen, D. E., An efficient method for scheduling construction projects with resource constraints, International Journal of Project Management, 2001; 19(1), 29-45.
[43] Younis, M. A., ve Saad, B., Optimal resource leveling of multi-resource projects, Computers and industrial engineering, 1996; 31(1): 1-4.
[44] Mutlu, M. Ç. A branch and bound algorithm for resource leveling problem, MSc Thesis, METU, (2010).
[45] Newitt, J. S. Construction Scheduling: Principles and Practices, Pearson Prentice Hall, NJ, (2004).
[46] Hinze, J. W. "Construction Planning and Scheduling, 3rd Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, (2006).
[47] Mubarak, S. A., Construction Project Scheduling and Control, 2nd Ed. Wiley, India (2010).
[48] Akpan, E. O. P., Resource smoothing: a cost minimization approach, Production Planning & Control, 2000; 11(8): 775 – 780.
[49] Stevens, J.D., Techniques for Construction Network Scheduling, McGraw-Hill, New York, (1990).
[50] El-Rayes, K., Jun, D.H. Optimizing resource leveling in construction projects, J. Constr. Eng. Manage., 2009; 135(11): 1172-1180.

[51] Holland J., Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Michigan, (1975).
[52] Bettemir, Ö. H., ve Cakmak, D. (2021). Tüm Arama Uzayını Tarayarak Küçük Ölçekli Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü. Aksaray University Journal of Science and Engineering, 5(2), 92-112.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 795-802, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1135691

Yeni bir Evrişimsel Sinir Ağı Modeli Kullanarak Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinden Akciğer Kanseri Tespiti

Asiye Merve Nur ERDOĞAN[1],Tülin ÖZTÜRK[2],Muhammed TALO[3*]
[1] Yazılım Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[2] Radyoloji, Medical Park Hastanesi, Elazığ, Türkiye
[3] Yazılım Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[1] asiyemervenurerdogan@gmail.com, [2] tulin58@hotmail.com, [3*] mtalo@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 25/06/2022; Kabul/Accepted: 31/08/2022)

Öz: Akciğer kanseri, ülkemizde ve dünyada yaygın bir şekilde görülen kanser tipidir ve kansere bağlı ölümlerde ilk sırada yer almaktadır. Akciğer kanserinin erken teşhisi, hastalık seyri hakkında daha bilinçli ilerlemeyi sağlar ve hastanın sağ kalım durumu açısından hayati bir önem taşımaktadır. Son zamanlarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte yapay zekâ ve derin öğrenme tabanlı sistemler; Bilgisayarlı Tomografi (BT), Manyetik Rezonans (MR) vb. tıbbi görüntüleme sistemlerinden elde edilmiş verileri kullanarak hastalık teşhisinde hekimlere önemli destek sağlamaktadır. Bu çalışmada akciğer kanserinin BT görüntüleri kullanarak yeni bir Evrişimli Sinir Ağı (ESA) modeli önerilmiştir. Önerilen ESA modelinin sınıflandırma sonuçları, literatürde bulunan diğer ön eğitimli derin öğrenme modellerine göre daha başarılı olduğu için tercih ettiğimiz ResNeXt derin öğrenme modelinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Modellerin eğitimi ve test aşamaları için açık erişimli akciğer BT görüntülerinin bulunduğu bir veri seti kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, önerilen ESA modelinin %99 doğruluk oranı ile ResNeXt mimarisine göre daha yüksek performans sergilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca mevcut çalışmadaki görüntülerde herhangi bir özellik çıkarımı yöntemi kullanılmadan görüntüler ham hali ile sınıflandırılmıştır. Ve önerilen ESA modelinin, literatürde yapılan benzer çalışmalarda kullanılan yöntemlere göre daha az katman sayısının olmasının yanında sınıflandırma başarısının da daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Derin Öğrenme, Evrişimli Sinir Ağı, ResNeXt, Akciğer Kanseri, Akciğer BT Görüntüleri.

Lung Cancer Detection from Computed Tomography Images Using a Novel Convolutional Neural Network Model

Abstract: Lung cancer is a common health problem in our country and in the world, and it ranks first in cancer-related deaths. Early diagnosis of lung cancer is of vital importance in terms of more informed progress about the course of the disease and survival of the patient. Recently, with the development of technology, artificial intelligence and deep learning-based systems; by using data obtained from medical imaging systems such as Computed Tomography (CT), Magnetic Resonance (MR), it provides some convenience to experts to diagnose the disease. In this study, a new Convolutional Neural Network (CNN) model is proposed to classify cancerous and normal lung CT images. The classification results of the proposed ESA model and the ResNeXt deep learning model, which is more successful than other pre-trained deep learning models in the literature, were compared. As a result of the study, it has been observed that the proposed ESA model performs better than the ResNeXt architecture, with an accuracy of 99%. In addition, the images in the current study were classified in their raw form without using any feature extraction method. And it has been observed that the proposed ESA model has a lower number of layers compared to the methods used in similar studies in the literature, as well as a higher classification success.

Key words: Deep learning, Convolutional neural network, ResNeXt, Lung cancer, Lung CT image.

1. Giriş

Akciğer kanseri günümüzde tüm dünyada kanser ölümlerinin önde gelen nedeni olup tüm kanser ölümlerinin yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır [1]. Sigara kullanımı akciğer kanseri için büyük risk faktörüdür. Ayrıca asbest maruziyeti, koah, difüz akciğer fibrozisi diğer risk faktörlerindendir [2]. Akciğer kanserli hastalar, vakaların %50 sine kadar asemptomatik olabilir. Öksürük ve nefes darlığı, akciğer kanseri olanlarda yaygın olan, oldukça spesifik olmayan semptomlardır.

Akciğer kanseri en kötü huylu ve en ölümcül kanserlerden biridir. Erken tespit edilip aktif olarak tedavi edilebilirse, hastanın hayatta kalma oranını etkili bir şekilde artırabilir. Bu nedenle akciğer kanserinin erken teşhisi

* Sorumlu yazar: mtalo@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0001-9061-7001, [2] 0000-0001-8942-5264, [3] 0000-0002-1595-5681

çok önemlidir. Erken evre akciğer kanseri radyolojik görüntülemelerle özellikle Toraks BT ile tespit edilebilir. Ancak bu her zaman kolay değildir. Günümüzde derin öğrenme tabanlı yapay zekâ, tıpta çeşitli branşlarda kullanıma girmeye başlamıştır. Literatürde malign ve benign pulmoner nodüllerin ayırıcı tanısında sağladığı katkılar bildirilmiştir [3]. Ancak daha fazla uygulama için sağlıklı klinik verilere ve bu verilerin doğrulanmasına ihtiyaç vardır. Derin öğrenme destekli sistemlerin kullanımı akciğer kanserinin erken tanı ve tedavisine ulaşmak için önemli bir adımdır. Bu sistemler hekimlere hastalığın erken teşhisi ve kanserli bölgelerdeki diğer anormalliklerin ayırt edilmesi gibi konularda yardımcı rol alma potansiyeli taşımaktadır.

Son birkaç yılda teknolojinin gelişimi ve medikal görüntüleme yöntemlerinin yaygın kullanımı sayesinde tıbbi görüntü verisi artmıştır. Bu durum, derin öğrenme tabanlı sistemlerin yüksek performansta çalışabilmesine olanak sağlamıştır. Literatürde akciğer kanserinin tespitinde derin öğrenme kullanan birçok önemli çalışma bulunmaktadır. Akciğer kanserinin BT görüntüleri üzerinden iyi huylu ve kötü huylu nodüllerini sınıflandırmak için Joshua ve diğerleri [4], 3B AlexNet mimarisini kullanarak %97,17'lik başarı elde etmişlerdir. An ve diğerleri [5] yapmış oldukları çalışmada tasarlamış oldukları iki boyutlu Evrişimli Sinir Ağı (2B-ESA) ile akciğer BT görüntülerini sınıflandırmayı hedeflemişlerdir. Yazarlar modelin ilk aşamasında giriş BT görüntülerini iyileştirmek için bir ESA yapısı kullanmışlardır. İlk ESA'nın çıktısı GoogleNet' in [6] basitleştirilmiş bir versiyonu olan başka bir ESA ile birleştirilerek görüntülerin daha iyi tanınması sağlanmıştır. Çalışmanın sonucunda iki aşamalı ESA yapısından %89,6'lık doğruluk oranı elde etmişlerdir.

Devi ve diğerleri [7] ise akciğer BT görüntülerinden kanser tespiti için üç akışlı bir derin ağ modeli önermişlerdir. Önerilen modelde, özellik çıkarımı için manuel ve otomatik özellik çıkarımı bir arada kullanılmıştır. Otomatik özellik çıkarımı ve sınıflandırma işlemi atık derin sinir ağı ile özel derin sinir ağı kullanılarak yapılmıştır. Manuel özellik çıkarımı ise makine öğrenmesi algoritmalarından destek vektör makinaları (DVM) ile yapılmıştır. Bu yöntem ile girdi görüntülerindeki tüm özellikleri yakalamayı hedeflemişlerdir. Çalışmada LIDC/IDRI veri setini kullanarak %98,2'lik bir doğruluk elde etmişlerdir.

Bu çalışmada, akciğer BT görüntülerinden akciğer kanseri ve sağlıklı olmak üzere görüntülerin, sınıflandırılması için yeni bir ESA modeli önerilmiştir. Önerilen ESA modeli ile karşılaştırılması için literatürde var olan diğer ön eğitimli derin öğrenme mimarilerine kıyasla görüntü sınıflandırmada daha başarılı olan ResNeXt mimarisi seçilmiştir. ResNeXt mimarisi Facebook Yapay Zekâ Araştırması ekibi (Facebook AI Research - FAIR) tarafından tasarlanmış ve geliştirilmiştir. ResNeXt katılmış olduğu Büyük Ölçekli Görsel Tanıma Yarışmasında (ILSVRC2016) görüntülerin sınıflandırması sonucunda elde etmiş olduğu düşük hata oranı ile yarışmaya katılan diğer mimarilerden daha başarılı olmuştur [8]. Yapmış olduğumuz deneysel çalışmalar sonucunda önerilen ESA modelinin %99 oranında ResNeXt mimarisine göre daha yüksek bir başarım sağladığı gözlemlenmiştir.

Yapılan bu çalışmada ki veri setine ait görüntüler, model eğitimine verilmeden önce hiçbir görüntü ön işleme adımı uygulanmadan ham hali ile kullanılmıştır. Hem yüksek doğruluk oranı hem de daha az katmana sahip yeni bir model sunulması açısından makale çalışması önemli katkılar sağlamaktadır.

Çalışmada kullanılan veri seti ve yöntem hakkında detaylar ikinci bölümdeki materyal ve metot kısmında verilmiştir. Yapılan çalışmanın başarım değerlendirmesi ve sonuçların karşılaştırılması ise üçüncü bölümde yer alan deneysel sonuçlar ve tartışmalar kısmında detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

2. Materyal ve Metot

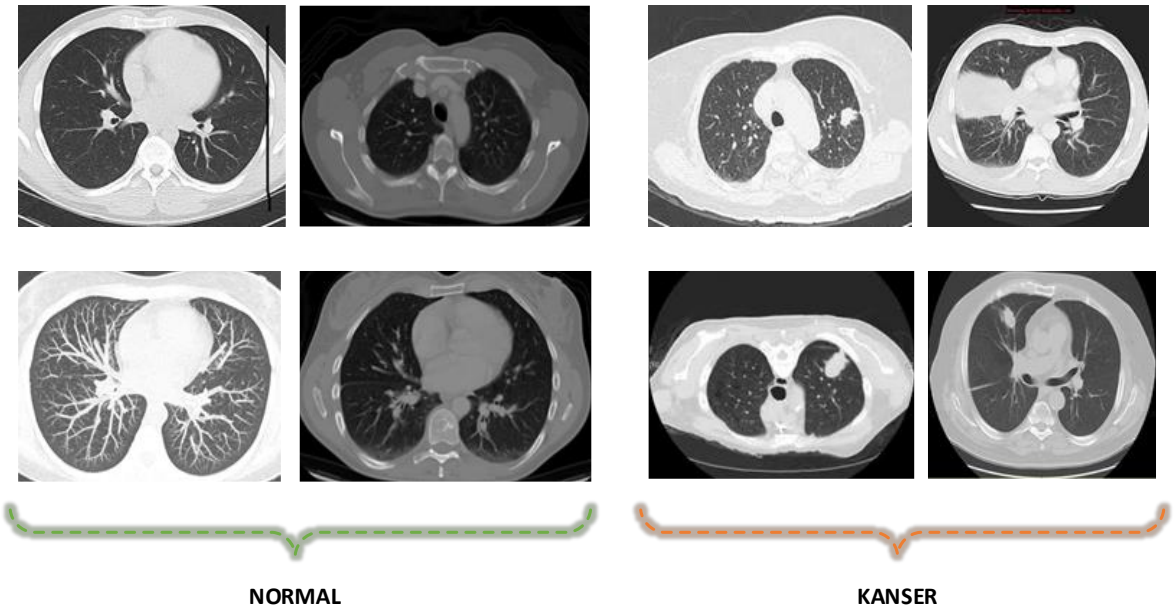
Derin öğrenme son zamanlarda sağlık alanında ve diğer güncel problemlerin çözümünde sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Derin öğrenmenin önemli bir mimarisi olan ESA'lar; görüntü işleme, görüntü analizi ve sınıflandırılması gibi birçok işlemin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. ESA'lar çok sayıda gizli katman içerdiği için görüntülerdeki özelliklerin ayırt edilmesinde kolaylık sağlar. ESA temel olarak; evrişim katmanı, havuzlama katmanı ve tam bağlı katman olmak üzere üç ana yapıyı içerir.

Evrişim katmanı ham bir şekilde ele alınan görüntü verilerinin özellik çıkarımının yapıldığı katmandır. Görüntülerin piksel değerleri bir matris olarak tutulur. Filtreler sayesinde görüntü matrisi taranır istenilen ayırt edici özelliklerin çıkarımı yapılarak görüntünün yeni özellik matrisi elde edilmiş olur. Evrişim katmanından sonra gelen havuzlama katmanında ise elde edilen özellik matrisinin boyutu düşürülür. Bu sayede görüntüleri işlemek için yapılması gereken hesaplama maliyeti azalmış olur ve seçilen gereksiz özellikler yok sayılarak daha önemli özellikler çıkarılmasına olanak sağlanır. Havuzlama sonrası elde edilmiş özellik matrisinin tam bağlı katmanda kullanılabilmesi için tek boyutlu bir diziye dönüştürülür. Tam bağlı katmandaki her bir nöron, bu katmandan önce gelen havuzlama ve evrişim katmanlarındaki tüm girişlere bağlı olarak bir çıkış üretir. Böylelikle görüntülerin sınıflandırma ve tanıma işlemleri gerçekleştirilerek ESA yapısı tamamlanmış olur.

Bu çalışmada akciğer kanserinin tespit edilmesi için temel ESA yapısı baz alınarak yeni bir ESA modeli önerilmiştir. Önerilen ESA modeli ve ImageNet [9] veri seti üzerinde önceden eğitilmiş olan ResNeXt [10] mimarisi, aynı veri seti üzerinde uygulanarak karşılaştırılmıştır.

2.1. Kullanılan veri seti

Akciğer kanserinin tespiti için yapılan bu çalışmada, Kaggle platformunda açık erişimli popüler akciğer BT tarama görüntülerinden oluşan bir veri seti kullanılmıştır [11]. Veri seti içerisinde üç farklı akciğer kanseri ve normal etiketli olmak üzere dört ayrı sınıftan oluşan görüntüler bulunmaktadır. Bu çalışma için akciğer kanseri ve normal olarak iki sınıf kullanılmıştır. Veri setinde 465 tane akciğer kanseri BT taraması görüntüsü ve 215 normal akciğer BT tarama görüntüsü olmak üzere toplam 680 eğitim verisi bulunmaktadır. Bu veriler haricinde veri setinde eğitim verilerinden bağımsız normal ve akciğer kanseri sınıflarına ait 315 adet test görüntüsü bulunmaktadır. Eğitim öncesinde görüntüler üzerinde herhangi bir ön işlem adımı gerçekleştirilmemiş olup, görüntüler ham hali ile model eğitimine dâhil edilmiştir. Bu veri setine ait normal ve kanser etiketli akciğer BT tarama görüntülerinden örnek bir kesit Şekil 1'de verilmiştir.

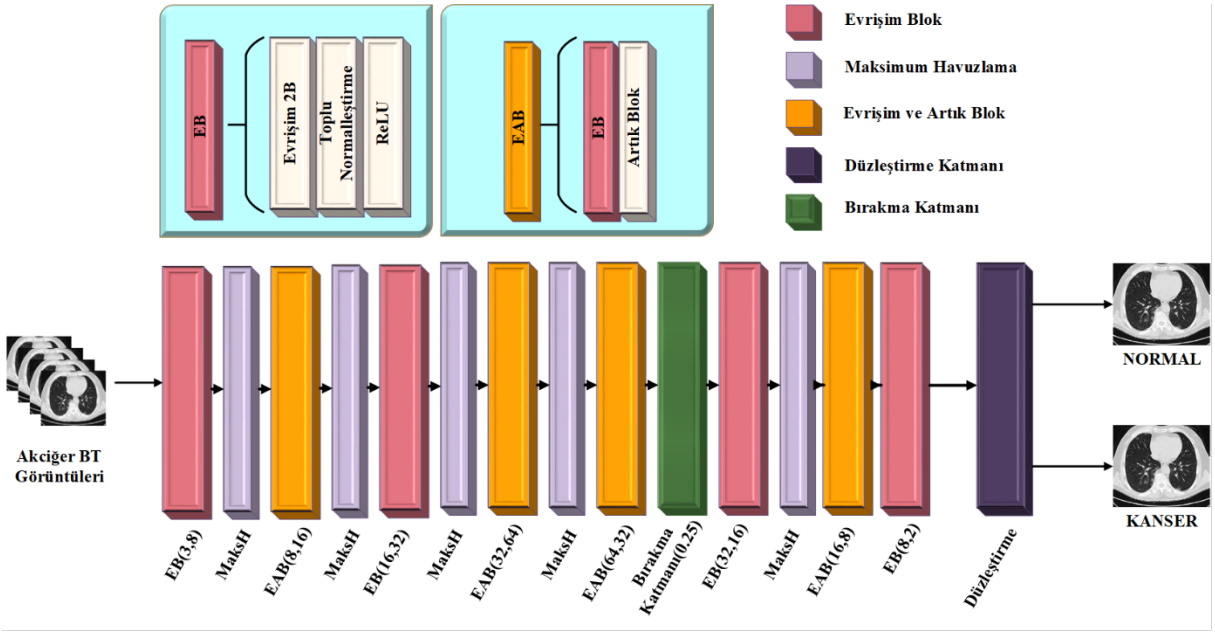


Şekil 1. Normal ve kanser sınıflarına ait akciğer BT görüntü örnekleri.

2.2. Önerilen ESA modeli

Önerilen modelde temel ESA modelindeki evrişim, havuzlama, düzleştirme ve bırakma katmanlarının yanı sıra ResNet mimarisinin temelini oluşturan artık blokların yer almaktadır. Şekil 2'de görüldüğü üzere önerilen modelde Evrişim Blok (EB), Maksimum Havuzlama Katmanı (MaksH), Evrişim ve Artık Blok (EAB), Bırakma Katmanı (Dropout), Düzleştirme Katmanı ardışıl olarak eklenerek yeni bir ESA modeli oluşturulmuştur. Önerilen ESA modelinde toplam sekiz tane evrişim katmanı yer almaktadır. Her EB katmanının içerisinde, iki boyutlu evrişim katmanı, girdi parametrelerini standart hale getirmek için toplu normalleştirme ve çıktıları normalize etmek için ReLU aktivasyon fonksiyonları bulunmaktadır. EAB katmanı ise içerisinde bir adet EB ve bir adet artık blok içerecek şekilde oluşturulmuştur. Artık bloklar, bir katmandan elde edilen çıktıyı alıp başka bir katmana ekleyerek doğrusallığı ortadan kaldırır ve bu sayede model derinleştikçe oluşacak olan problemlerin önüne geçilmiş olur [12]. Maksimum havuzlama katmanında ise 2x2 boyutunda filtre kullanılarak görüntüler üzerinde en önemli değerler alınıp girdi boyutu küçültülmüştür. Yapılan çalışmada kullanılan veri sayısının az olmasından dolayı modelin ezber yapmasının önüne geçerek bazı nöronları unutmak adına model yapısında bir adet bırakma katmanı kullanılmıştır. Bırakma katmanında unutma oranı %25 olarak belirlenmiştir. Model, Şekil 2'de girdi olarak aldığı akciğer BT görüntülerini Kanser ve Normal olmak üzere ikili sınıf şeklinde sınıflandırmıştır. Eğitilen

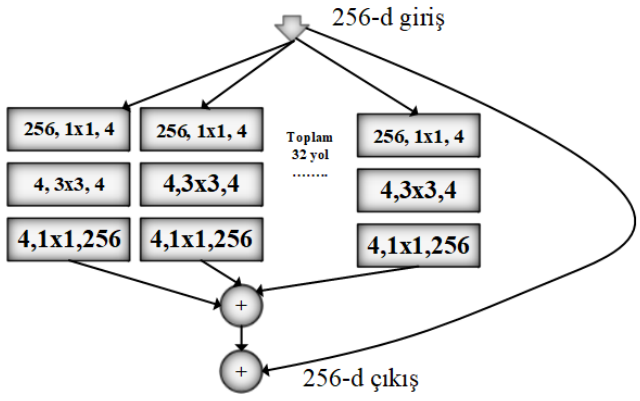
ESA modeli 147500 parametreden oluşmaktadır. Eğitim esnasında kayıp fonksiyonu olarak çapraz entropi kayıp fonksiyonu, optimizasyon algoritması olarak Adam ve öğrenme katsayısı olarak 1e-3 seçilerek modelin hiper-parametreleri belirlenmiştir.



Şekil 2. Önerilen ESA modelinin yapısına ait bir blok gösterim.

2.3. ResNeXt mimarisi

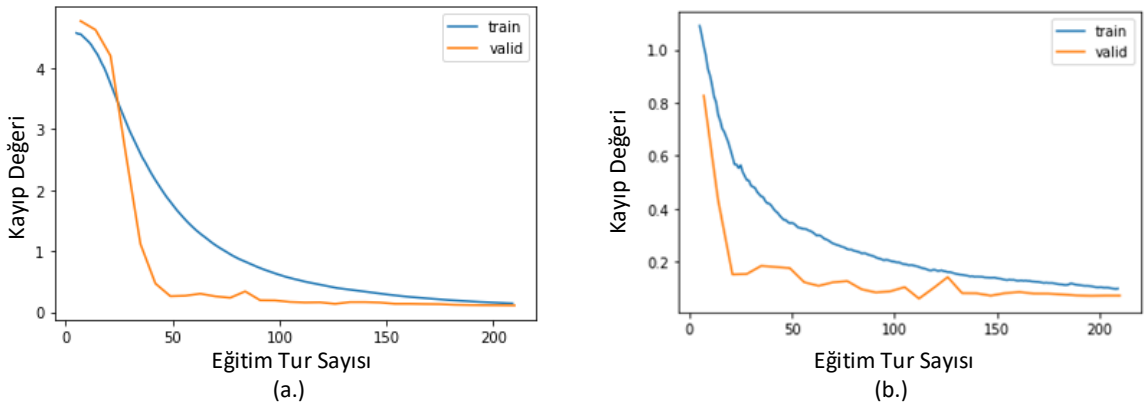
ResNeXt mimarisi temelde ResNet mimarisine benzeyen ImageNet veri seti üzerinde derin öğrenme ile eğitilmiş görüntü verilerini sınıflandıran bir mimaridir [13]. ResNeXt 2016 yılında katıldığı yarışmada (ILSVRC2016) ImageNet veri setindeki görüntüleri sınıflandırmada yarışmadaki diğer mimarilerden daha düşük hata oranı ile daha yüksek başarı elde etmiştir. Yapısal olarak Inception modellerinde kullanılan "böl-dönüştür-birleştir" yöntemini kullanmıştır. Yani ResNet mimarisindeki kullanılan tek bir artık blok yerine bir hücre içerisinde dallanmış derin artık ağ yapısını kullanmaktadır. ResNeXt mimarisi yapısında 1×1,3×3,1×1'lik evrişim katmanlarını her bir hücre satırına eşit bir şekilde uygulayarak, görüntü üzerinde filtreleme işlemini yapmıştır. Girdi parametrelerinin boyutunu küçültmek için global ortalama havuzlama katmanı, aktivasyon fonksiyonu olarak ReLU kullanılmıştır. ResNeXt mimarisi ile eğitilen model toplam 12,3 milyon parametreden oluşmaktadır. Mimarinin hiperparametreleri olarak, çapraz entropi kayıp fonksiyonu ve adam optimizasyon fonksiyonu kullanılmıştır. ResNeXt mimarisinin eğitiminde öğrenme katsayısı 1e-3 olarak seçildi. ResNeXt mimarisini yapısı Şekil 3 'de gösterilmiştir.



Şekil 3. ResNeXt mimarisinin yapısı [8].

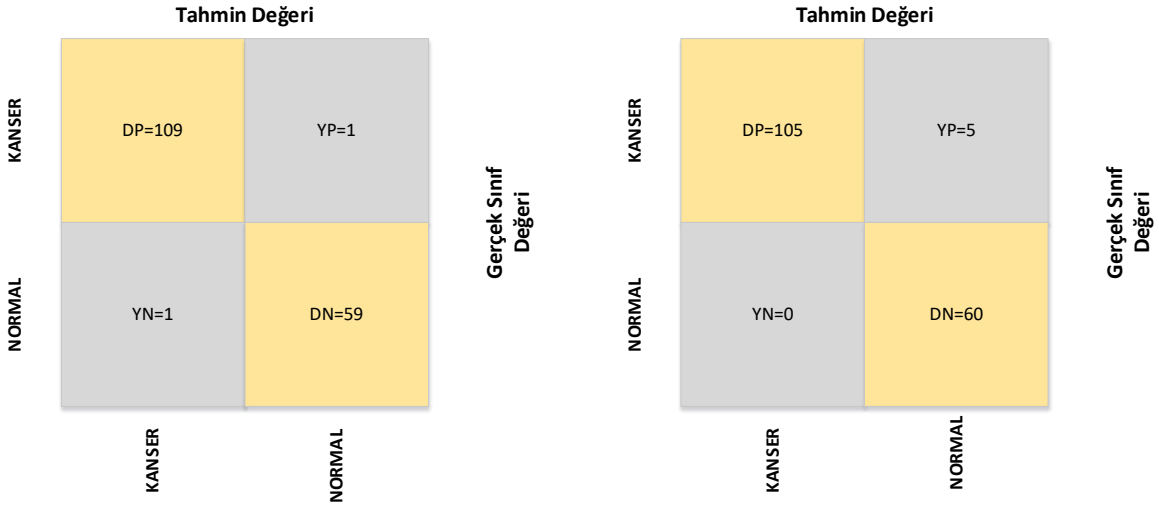
3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Çalışmada kullanılan akciğer BT görüntü veri seti, önerilen ESA modeli için %75:%25 oranında eğitim ve doğrulama olarak ikiye ayrılmıştır. Model eğitimi, eğitim ve doğrulama verileri üzerinde yapılıp, veri setine ait olan bağımsız test verileri üzerinde performans değerlendirmesi yapılmıştır. Modelin eğitim tur sayısı 30 olarak belirlenmiştir. Önerilen ESA modeli ve ResNeXt mimarisi için yapılan eğitimlerde tur sayısına göre elde edilen kayıp değerleri, eğitim ve test verilerine göre kayıp grafiği Şekil 4' de verilmiştir. Önerilen ESA modelinde eğitim verilerindeki kayıp değeri, 30 eğitim tur sayısı sonunda 4,31'den 0,1'e ve test verilerindeki kayıp değeri 4,7'den 0,1'e düşmüştür. ResNeXt mimarisinin eğitim verilerindeki kaybı, son eğitim tur sayısında 0,09 ve test verilerindeki kaybı 0,07 olarak elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerde de görüldüğü gibi eğitim için kullanılan veri sayısı az olmasına rağmen, eğitim ve test verilerindeki kayıp değeri birbirine paralel miktarda azaldığı için modellerde aşırı öğrenme olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Eğitilen modellerin eğitim (train) ve test (validation) verilerine göre kayıp grafikleri; (a.) Önerilen ESA modelinin kayıp grafiği, (b.) ResNeXt mimarisinin kayıp grafiği.

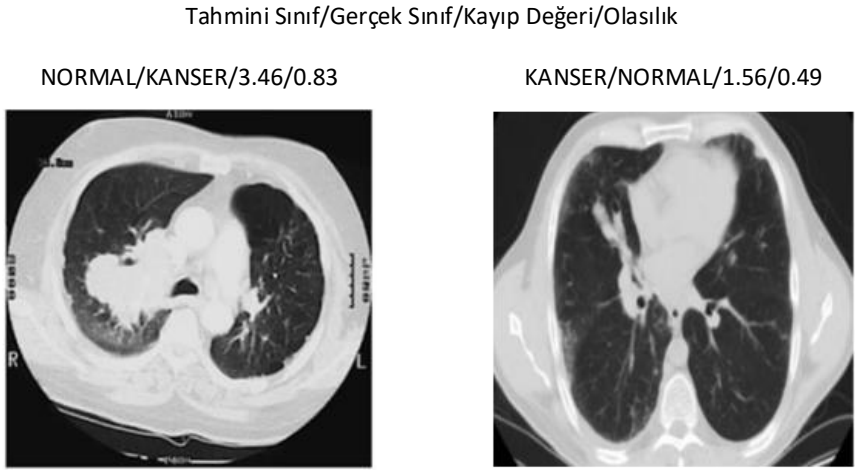
Çalışmada test verileri üzerinde ResNeXt modeli için elde edilen doğruluk oranı % 97 iken, önerilen ESA modeli için doğruluk oranı %99 olarak gözlemlenmiştir. Elde edilen modellerin, performans karşılaştırmaları Şekil 5'de verilen karmaşıklık matrisleri üzerinden detaylı olarak sunulmuştur.



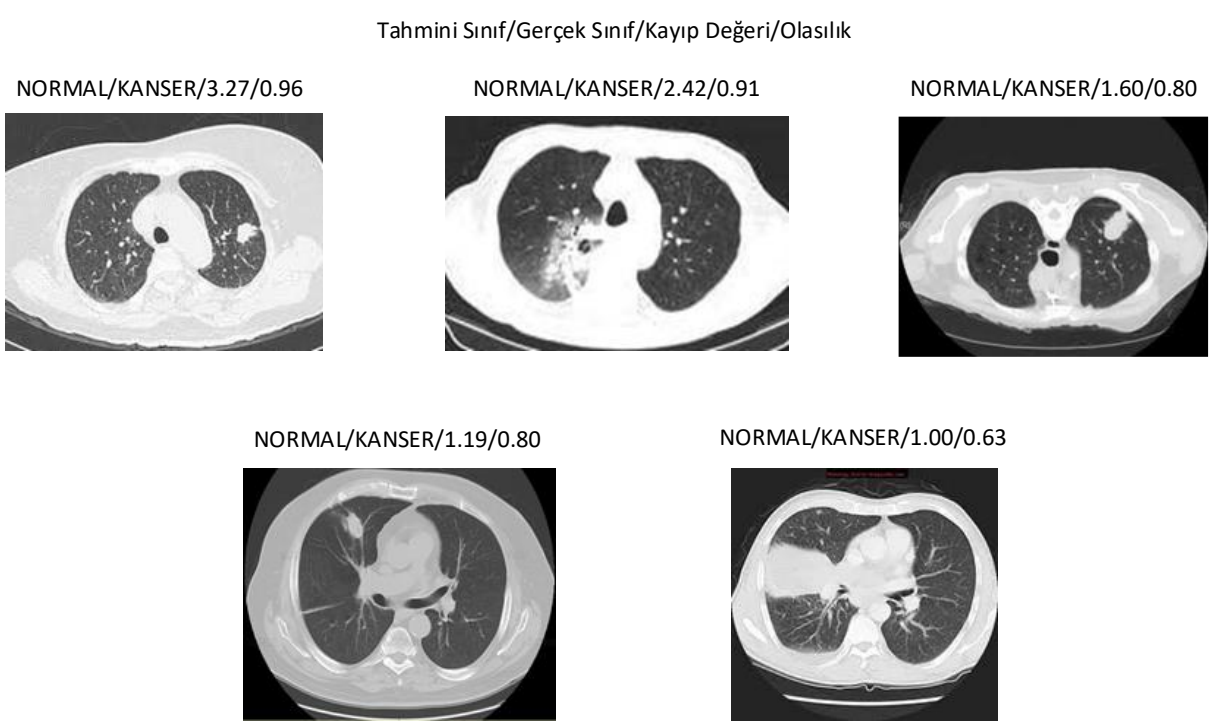
Şekil 5. Test verileri üzerinde elde edilen karmaşıklık matrisleri, a) Önerilen ESA modeli ve b) ResNeXt.

Karmaşıklık matrisi incelendiğinde, test aşamasında önerilen ESA modeli 110 adet kanser etiketli sınıf için bir tanesini yanlış (yanlış pozitif, YP) ve 109 tanesini doğru (doğru pozitif, DP) sınıflandırmıştır. Normal sınıf için

60 adet görüntü içerisinde bir adet yanlış (yanlış negatif, YN) ve 59 adet doğru (doğru negatif, DN) sınıflandırma yapmıştır. Toplamda 170 adet test görüntüsünde iki adet yanlış sınıf tahmininde bulunmuştur. ResNeXt mimarisi ise 110 adet akciğer kanseri BT görüntüsünde beş tane yanlış (yanlış pozitif, YP) ve 105 adet doğru (doğru pozitif, DP) sınıflandırma yapmıştır. Normal sınıfa ait 60 adet görüntüde tamamını doğru (doğru negatif, DN) tahmin etmiş ve hiç yanlış (yanlış negatif, YN) tahminde bulunmamıştır. Eğitilen modellerin, karmaşıklık matrislerinde belirtilen yanlış sınıflandırmalara ait görüntüler ve tahmin oranları Şekil 6 ve Şekil 7 'de verilmiştir.



Şekil 6. Önerilen ESA modelinin test aşamasında yanlış sınıflandırmış olduğu BT görüntüleri.



Şekil 7. ResNeXt mimarisinin test aşamasında yanlış sınıflandırmış olduğu BT görüntüleri.

Şekil 6 ve Şekil 7 incelendiğinde, önerilen ESA modeli test aşamasında akciğer kanserli olguyu hatalı bir şekilde normal olarak sınıflandırmıştır. Bu olguda akciğer kitlesi büyük boyutlu olup mediastinal vasküler yapılarla ara planları silinmiş ve mediastinal yağ doku planlarına invaze görünümdedir. Muhtemelen bu nedenle

akciğer kitlesinin mediastinal normal anatomik yapılardan ayrımını yapamamıştır. Yine önerilen ESA modeli test aşamasında akciğer kanseri olmayan olguları yanlış olarak akciğer kanseri olarak sınıflandırmıştır. Bu olgularda akciğer parankiminde lineer uzanımlı içerisinde mukus tıkacı bulunan bronşektazik değişiklikler ve enfeksiyöz proçesler mevcuttur. Model benign olan bu bulguları akciğer kanseri olarak sınıflandırmıştır. Bu nedenle modelin mediastinal alanlara uzanım gösteren kanser hastaları ve akciğerin benign hastalıkları ile ayırıcı tanı yapması açısından desteklenmesi gerekmektedir. Yanlış sınıflandırma yapıldığı düşünülen bir olguda da model doğru sınıflandırma yapmış olup bu görüntünün yanlış etiketlendiği tespit edilmiştir ve olguda kanser olmadığı uzman doktor ile doğrulanmıştır. Modelin akciğer kanseri ve normal akciğer radyolojik bulgularını ayırmadaki başarısı ile akciğerdeki kitleyi tespit etme oranı oldukça yüksektir. Model klinisyen ve radyoloji doktorlarına hastalığın erken tanı ve doğruluk oranında artma ve hata oranında azalma sağlayacak potansiyele sahiptir. Bu hastaların yaşam sürelerinin uzaması, kaliteli yaşam sürme şansının artması ve artmış tedavi oranları açısından oldukça önemli bir kazanımdır.

Çalışmamızın sonuçları klinik açıdan ele alındığında, derin öğrenme metodumuz en çok akciğer kanseri ve normal akciğeri ayırmada hastanelerde, radyoloji merkezlerinde ve tıp alanlarında kullanılabilecektir. Normal akciğer ve akciğer kanseri olan hastaların tespitine dair elde edilen kıymetli ve doğruluk oranı yüksek veriler doktorlara bir rapor olarak verilerek hastalığın ayırıcı tanısında yardımcı olacaktır. Yeterli sayıda uzman kişinin bulunmadığı durumlarda, artan iş yüküne bağlı olarak sağlık hizmetleri konusunda meydana gelen hatalar, aksaklıklar en aza indirilebilecektir.

4. Sonuç

Yapılan bu çalışmada kanserli ve normal akciğer BT görüntülerinin ayrımı için yeni bir ESA modeli tasarlanmıştır. Çalışmada açık erişimli bir veri seti üzerinde önerilen ESA modeli ve önceden eğitilmiş olan hazır popüler derin öğrenme mimarilerinden biri olan ResNeXt mimarisi kullanılmıştır. Eğitilen modellerin test görüntüleri üzerinde karmaşıklık matrisleri oluşturulmuştur. Karmaşıklık matrislerinden elde edilen değerlerle hesaplanan performans metriklerine göre sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre önerilen ESA modeli, %99 doğruluk oranı ile ResNeXt mimarine göre akciğer BT görüntüleri üzerinde sınıflandırma yapmada daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Yapılan mevcut çalışmanın en büyük dezavantajı kullanılan veri kümesinin boyut bakımından nispeten küçük olmasıdır diyebiliriz. Veri sayısı açısından daha büyük klinik veriler ile çalıştırılırsa, modelin doğruluğu daha yüksek karar verebileceği düşünülmektedir. Buna bağlı olarak geliştirilen sonraki aşamalarda yapılacak olan çalışmalarda eğitim için veri sayısı fazla olan daha geniş akciğer kanseri veri seti kullanılabilir ve önerilen ESA modeli ile eğitimleri tekrar gerçekleştirilebilir. Bu doğrultuda elde edilen deneysel sonuçlar, mevcut çalışmada elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir.

Kaynaklar

[1] Rosado-de-Christenson, M. L., Templeton, P. A., & Moran, C. A. (1994). Bronchogenic carcinoma: radiologic-pathologic correlation. Radiographics, 14(2), 429-446.

[2] Khuder, S. A. (2001). Effect of cigarette smoking on major histological types of lung cancer: a meta-analysis. Lung cancer, 31(2-3), 139-148.

[3] Sathyakumar, K., Munoz, M., Singh, J., Hussain, N., & Babu, B. A. (2020). Automated lung cancer detection using artificial intelligence (AI) deep convolutional neural networks: A narrative literature review. Cureus, 12(8).

[4] Joshua, E. S., Bhattacharyya, D., Chakkravarthy, M., & Byun, Y. C. (2021). 3D CNN with visual insights for early detection of lung cancer using gradient-weighted class activation. Journal of Healthcare Engineering, 2021.doi: 10.1155/2021/6695518

[5] An, Y., Hu, T., Wang, J., Lyu, J., Banerjee, S., & Ling, S. H. (2019, July). Lung Nodule Classification using A Novel Two-stage Convolutional Neural Networks Structure'. In 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (pp. 6259-6262). IEEE. doi: 10.1109/EMBC.2019.8857744.

[6] Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., ... & Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 1-9).

[7] Devi, T. A. M., & Jose, V. M. (2021). Three Stream Network Model for Lung Cancer Classification in the CT Images. Open Computer Science, 11(1), 251-261.doi: 10.1515/comp-2020-0145

[8] https://image-net.org/challenges/LSVRC/2016/results#loc, Son Erişim Tarihi: 09.08.2022

[9] https://image-net.org/download.php, Son Erişim Tarihi: 22.04.2022

[10] Xie, S., Girshick, R., Dollár, P., Tu, Z., & He, K. (2017). Aggregated residual transformations for deep neural networks. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 1492-1500). doi: 10.48550/arXiv.1611.05431

[11] "Chest CT-Scan images Dataset | Kaggle" Online: https://www.kaggle.com/datasets/mohamedhanyyy/chest-ctscan-images, Son Erişim Tarihi: 30.03.2022
[12] https://towardsdatascience.com/resnets-residual-blocks-deep-residual-learning-a231a0ee73d2F, Son Erişim Tarihi: 21.04.2022
[13] https://www.jeremyjordan.me/convnet-architectures/#resnext, Son Erişim Tarihi: 22.04.2022

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 803-815, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1038735

Rezistif Süperiletken Arıza Akımı Sınırlayıcı MATLAB/Simulink Modeli ve Uygulaması

Buğra YILMAZ[1*], Muhsin GENÇOĞLU[2]
[1] Sivil Havacılık Yüksekokulu, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[2] Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[*1] b.yilmaz@firat.edu.tr, [2] mtgencoglu@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 29/12/2022; Kabul/Accepted: 01/05/2022)

Öz: Günümüzde, nüfus artışı, yerleşim yerlerinin ve endüstriyel alanların genişlemesi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte elektrik tüketiminde önemli bir artış görülmektedir. Buna paralel olarak üretim kapasitelerinin de artması ile elektrik güç sistemlerinde çeşitli sebeplerle meydana gelen arızaların sebep olduğu yüksek akım seviyeleri, sistemdeki elemanlar için tehlikeli durumlar oluşturmaktadır. Arıza akımlarının sınırlandırılması, bu akımların zorlayıcı termal, dinamik ve elektromanyetik etkilerinden sistemin ve sistem elemanlarının korunmasını sağlar. Bu çalışmada, modern arıza akımı sınırlandırma yöntemlerinden biri olan Rezistif Süperiletken Arıza Akımı Sınırlayıcıların (R-SFCL) yapısı ve çalışma prensibi incelenmiştir. Ayrıca, bir R-SFCL tasarımı yapılmış ve oluşturulan deney sisteminde arızalar gerçekleştirilerek elde edilen gerçek veriler ile MATLAB/Simulink'de gerçekleştirilen simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Arıza akımı, Arıza akımı sınırlandırma, Rezistif SFCL, Simülasyon, Tasarım.

Resistive Superconductor Fault Current Limiter MATLAB/Simulink Model and Application

Abstract: Today, there is a significant increase in electricity consumption with population growth, expansion of residential areas and industrial areas, and the development of technology. Parallel to this, with the increase in production capacity, high current levels caused by faults in the system for various reasons create dangerous situations for the system and the elements in the system. Limitation of fault currents provides protection of the system and system elements from the compelling thermal, dynamic and electromagnetic effects of these currents. In this study, the structure and working principle of Resistive Superconducting Fault Current Limiters (R-SFCL), which is one of the modern fault current limiting methods, are investigated. In addition, the real data obtained by performing the R-SFCL design in the laboratory environment and performing the faults in the created experimental system, and the simulation results performed with MATLAB/Simulink are compared.

Key words: Fault current, Fault current limitation, Resistive SFCL, Simulation, Design.

1. Giriş

Güç sistemleri çok geniş alanlara yayıldığı için bu sistemlerde, manevra hareketleri, atmosferik olaylar, canlıların teması veya diğer dış etkenler nedeniyle çeşitli arızalar meydana gelmektedir. Meydana gelen bu arızalar sırasında, arıza akımı nominal akımın 5 ile 20 katına kadar çıkabilmektedir [1] ve yüksek seviyeli arıza akımları sisteme ve sistem elemanlarına geri dönüşü olmayan zararlar verebilmektedir. Bu yüzden güç sistemi kesicileri arıza akımını mümkün olan en kısa sürede kesmek zorundadır. Ancak açma hızı yüksek kesiciler, arıza akımlarının DC bileşeninin etkisi ile daha büyük arıza akımlarıyla karşı karşıya kaldıklarında, teknik ve ekonomik problemler meydana gelmektedir. Elektrik enerjisine olan talebin artmasıyla güç sistemlerine eklenen yeni sistemler, arıza akımı seviyelerini giderek artırması sonucunda tipik yüksek gerilim kesicilerinin kesme yeteneğini aşacaktır [2]. Bu durumda arıza temizlenmesi, izolasyonun sağlanması ve güç sisteminin güvenliği için yeni ve daha büyük elemanlara ihtiyaç duyulacaktır. Bahsedilen sorunları ortadan kaldırmak için çeşitli arıza akımı sınırlandırma yöntemleri geliştirilmiştir.

Arıza akımı sınırlayıcılar (FCL-Fault Current Limiters), güç sistemlerinde meydana gelen büyük arıza akımlarını sınırlandırarak ve tehlikeli olmayacak seviyede tutarak, arıza akımlarının sisteme verebileceği zararlı etkileri önleyen elemanlardır. Akım sınırlandırma reaktörleri ve yüksek empedanslı transformatörler gibi geleneksel yöntemler normal çalışma şartlarında gereksiz güç kaybı ve gerilim düşümüne neden olurken, yeni nesil arıza akımı sınırlayıcıları, arıza durumu oluşuncaya kadar düşük bir empedans gösterirler [2]. Ancak herhangi

[*] Sorumlu yazar: byilmaz@firat.edu.tr Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0003-1910-1816, [2] 0000-0002-1774-1986

bir arıza anında yüksek empedans göstererek arıza akımını sınırlarlar. Böylece normal çalışma sırasında sistemde ihmal edilebilir bir güç kaybı oluşur ve büyük gerilim düşümleri meydana gelmez.

Geliştirilen modern yöntemlerden biri olan SFCL, süperiletken malzemenin süperiletken ve rezistif bölgeleri arasındaki geçiş özelliğini kullanarak arıza akımını etkin ve hızlı bir şekilde sınırlamaktadır [3]. Bu özelliği ile SFCL, arıza akımı seviyesini sınırlar ve böylece hem kesicileri hem de güç sistemi bileşenlerini korumaktadır [4] [5] [6] [7]. Son yıllarda güç elektroniği anahtarları kullanan hibrid SFCL tipleri geliştirilmiş olsa da, SFCL Rezistif ve İndüktif Tip olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Bu iki tip arasında, Rezistif SFCL (R-SFCL), İndüktif SFCL'ye (I-SFCL) kıyasla düşük maliyet, küçük boyut, basitlik ve daha az bakım gibi avantajlara sahiptir [8] [9] [10]. Öte yandan, I-SFCL, ağır olan ve demir kayıplarına neden olan bir demir çekirdeğe sahiptir. Ayrıca, bazen manyetik alan girişimi ve harmonikler de üretirler. Avantajları, R-SFCL'yi güç sistemi uygulamalarında önemli bir noktaya taşımakta ve R-SFCL birçok ülkede giderek daha popüler hale gelmektedir [11] [12] [13] [14].

R-SFCL, süperiletken malzemenin doğal karakteristiğine dayandığı için gösterdiği hızlı tepki ile sınırlandırma işlemini ilk yarım periyot içerisinde gerçekleştirmektedir. Arıza sırasında sistemde akacak olan akım R-SFCL'nin kritik akımını aştığı anda, süperiletken malzeme rezistif duruma geçecek ve sınırlama işlemini yapacaktır. Arıza sona erdiğinde ise kriyojenik (özel soğutma) sistemiyle rezistif durumdaki malzeme kısa sürede süperiletkenlik bölgesine geçecektir. Böylece normal işletme durumunda ve arıza temizlendikten sonra, akım sınırlayıcı reaktörlerin ve yüksek empedanslı transformatörlerin aksine ihmal edilebilir gerilim düşümü ve güç kayıplarına neden olacaktır.

Literatürde de R-SFCL hakkında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Leung tarafından, rezistif SFCL ve indüktif SFCL teorik olarak ele alınmıştır. Daha sonra PSCAD yardımıyla oluşturulan sistemdeki doyurulabilir çekirdekli indüktif SFCL'nin ters elektromotor kuvveti incelenmiştir [1].

Khan vd. tarafından, Güney Afrika ulusal şebekesinde arıza akımı seviyelerinin kontrolü için Rezistif SFCL ile kullanılan geleneksel yöntemlerin finansal ve işletme açısından karşılaştırılması yapılan bir çalışmada, seçilen trafo merkezinin modeli oluşturulmuştur. Geleneksel yöntemler olarak, hava çekirdekli reaktör, yüksek empedanslı transformatör ve sistem elemanlarının yükseltilmesi ele alınmıştır. Modeller fotovoltaik sistem ve senkron generatör ile yapılmıştır. SFCL'nin yatırım maliyetinin yüksek, ancak soğutma sistemi için gerekli olan enerjinin, hava çekirdekli reaktörün ve yüksek empedanslı transformatörün normal işletme sırasında harcadıkları enerjiye göre daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır [15].

Martini vd. tarafından, 1 MVA, üç fazlı rezistif SFCL prototipinin bazı elektriksel testlerinin yapıldığı bir çalışmada, 15.5 kA'lik bir kısa devre akımı 30-100 ms arasında süperiletken malzemeye uygulanmıştır. SFCL'nin akımı ve gerilim düşümü, 3.2 kV_{rms} ve 65 °K sıcaklıkta, süperiletkenin direncinin değişimi ise 350 V_{rms} ve 65 °K sıcaklıkta deneysel olarak gözlemlenmiştir [16].

Aly ve Mohamed tarafından, akım sınırlama yetenekleri açısından rezistif SFCL ve indüktif SFCL'yi karşılaştıran bir çalışmada, sınırlayıcıların yapıları incelenmiş ve eşdeğer devreleri elde edilmiştir. Aynı süperiletken malzemeler kullanılan bu iki sınırlayıcı aynı sistemde MATLAB/Simulink ile modellenerek arıza akımına olan etkileri, direnç ve sıcaklık değişimleri vb. sonuçlar elde edilmiştir [17].

Nemdili ve Belkhiat tarafından, rezistif SFCL'nin MATLAB/Simulink'de modellemesinin ve simülasyonunun yapılması için öncelikle temel prensibinin ele alındığı çalışmada; sıcaklık, manyetik alan ve akım yoğunluğu ilişkisi incelenmiştir. MATLAB'da oluşturulan devrede öncelikle, SFCL'siz olarak arıza akımının ve kaynak geriliminin değişiminin dalga şekli elde edilmiştir. Daha sonra SFCL modülünün eklenmesi ile alınan sonuçlar SFCL'siz devredeki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır [18].

Fedasyuk ve Serdyuk tarafından, Rezistif SFCL'nin, FEMLAB ve MATLAB/Simulink birlikte kullanılarak modellendiği bir çalışmada, termal ve elektriksel karakteristiğinin matematiksel modeli elde edildikten sonra FEMLAB'da birbirleriyle olan bağlantıları kurulmuştur. Simulink'de tanımlanan bu modelle yapılan simülasyonlarda, SFCL'nin arıza akımının genliğine olan etkisi incelenmiştir [19].

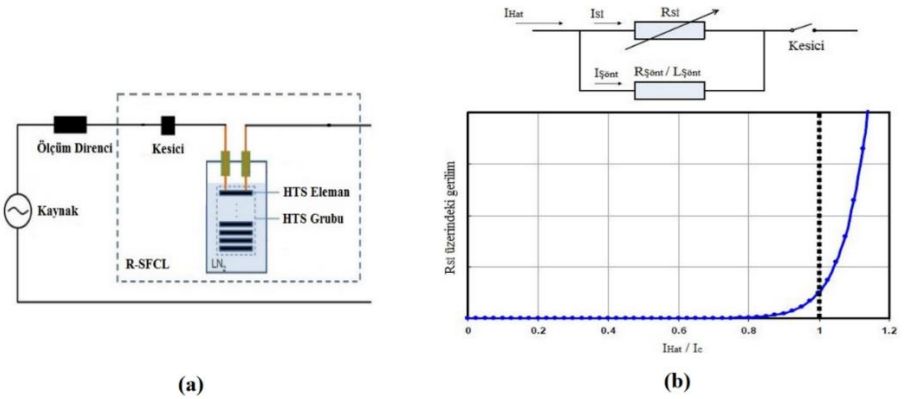
Rai vd. tarafından, SFCL'nin akıllı şebekedeki uygulamalarını ele alan bir çalışmada, öncelikle MATLAB/Simulink ile bir mikro şebeke modellenmiştir. Daha sonra ise üç fazlı rezistif SFCL'nin ana parametreleri göz önüne alınarak modellemesi yapılmıştır. Farklı arıza noktaları belirlenerek yapılan simülasyonlarda, SFCL'nin yerinin arıza akımına ve faz gerilimlerine olan etkileri gözlemlenmiştir [20].

Bu çalışmada, kısa uzunlukta süperiletken şerit içeren örnek bir R-SFCL prototipi oluşturularak laboratuvar ortamında sınırlandırma analizi yapılmıştır. Bu prototip, R-SFCL'nin ülkemizdeki dağıtım ve iletim sistemleri için daha yüksek akım-gerilim seviyelerinde yeterli süperiletken uzunluğu ile güvenilir ve tercih edilmesi gereken bir sınırlandırma yöntemi olduğunu göstermektedir. R-SFCL'nin sağladığı yüksek verimlilik ve sınırlandırma performansının yanı sıra güç sistemlerimizde sadece nötr arızalarına tepki veren nötr direnç/bobinleri olduğu düşünülürse, bu modern yöntemin kendi sistemlerimize kazandırılması gelecek hedeflerimizden biridir.

Çalışma içeriğinde; ilk bölümde literatür taramış yapılmış olup ikinci bölümde R-SFCL yapısı ve çalışma prensibi hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışma sırasında kullanılan materyal ve metot hakkında bilgiler verilirken dördüncü bölümde MATLAB/Simulink modeli ele alınmıştır. Son olarak, beşinci bölümde deneyler sırasında elde sonuçlar ile simülasyon sonuçları gösterilmiştir, altıncı bölümde ise genel sonuçlara yer verilmiştir.

2. Rezistif SFCL

R-SFCL, diğer tiplere göre daha basit yapı, daha küçük boyut ve daha düşük yatırım maliyeti vb. avantajlara sahiptir. Normal çalışma sırasında, süperiletken malzeme süperiletkenlik durumundadır ve nominal akım teorik olarak kayıpsız iletilmektedir. Arıza durumunda, akım hızla yükselir ve süperiletken malzeme süperiletkenlik bölgesinden çıkar. Böylece meydana gelen non-lineer direnç değeri arıza akımını sınırlandırmış olur [21]. İdeal olarak, yeni başlayan arıza akımı yarım periyottan daha kısa süre içerisinde sınırlanır. Şekil 1 (a)'da R-SFCL devresi ve Şekil 1 (b)'de devre akımı I_{Hat}'ın, süperiletken malzemenin kritik akımı I_c'ye oranının bir fonksiyonu olarak süperiletken direnci R_{si} üzerindeki gerilim gösterilmiştir. Burada süperiletken üzerindeki akım ve direnç arasındaki non-lineer ilişki görülmektedir. Bu eğri için veriler, süperiletken sabit manyetik alan ve sabit sıcaklıktayken kaydedilmiştir [1].



Şekil 1. (a) R-SFCL devresi **(b)** I_{Hat}/I_c'nin fonksiyonu olan R_{si} üzerindeki gerilim [1]

Şekil 1 (b)'deki devrede gösterilen paralel kol üzerindeki eleman, bazı uygulamalarda süperiletken üzerindeki gerilimi sınırlandırmak için kullanılmaktadır. HTS (High Temperature Superconductors) gruplarındaki elemanlar gerilim seviyesi yükselirken birbirine seri, akım seviyesi artarken ise paralel olarak bağlanır. HTS malzemeler için iletken boyunca 1 μV/cm gerilim düşümüne neden olan akım, kritik akım olarak tanımlanmaktadır [22]. Arıza durumunda akım veya sıcaklık, süperiletkenin kritik değerinden büyük bir değere ulaşınca malzeme rezistif bölgeye geçiş yapar. Böylece arıza akımının genliği çok kısa sürede sınırlanır. Arıza ortadan kalktıktan sonra süperiletken malzemenin arıza öncesindeki karakteristiğine getirilmesi için hızlı bir şekilde soğutulması gerekmektedir. Aksi takdirde sistemde dikkate değer gerilim düşümü ve kayıplar oluşacaktır. Bu nedenle kriyojenik sistem en kısa süre içerisinde süperiletkeni kritik sıcaklığının altına soğutabilmelidir. Arızadan sonra kritik sıcaklığın altına inişe kadar geçen süreye toparlanma süresi (recovery time) adı verilir. R-SFCL uygulamalarında bu süre kısa tutulması gereken önemli bir tasarım parametresidir. R-SFCL yapısındaki kriyojenik sistemin maliyeti yüksek olup normal işletme sırasında da R-SFCL'nin enerji harcamasına neden olmaktadır. R-SFCL, sınırlama işlemi sırasında güç akışının devam etmesi, arızadan sonra kendiliğinden nominal çalışma durumuna geçmesi, kompakt olması, harmonik üretmemesi, çevreye zarar vermemesi ve yanmaz olması gibi özelliklere sahiptir [23]. Rezistif olması sayesinde ayrıca, X/R oranını azaltarak arızanın DC bileşeninin etkisini kısa tutmaktadır.

R-SFCL uygulamaları için BSCCO (Bismuth Strontium Calcium Copper Oxide), YBCO (Yttrium Barium Copper Oxide) ve MgB_2 (Magnesium Diboride) dâhil olmak üzere birçok süperiletken malzeme kullanılmıştır. 2001 yılında keşfedilen MgB_2'nin nispeten düşük maliyeti ve mekanik sağlamlığı nedeniyle uygulaması artmaktadır. Ancak, YBCO ve BSCCO ile karşılaştırıldığında çok daha düşük bir kritik sıcaklığa sahiptir [24]. YBCO, BSCCO'ya kıyasla daha hızlı bir şekilde rezistif duruma geçtiği için akım sınırlandırma uygulamalarında tercih edilirken, BSCCO günümüzde HTS kablo yapılarında kullanılmaktadır. R-SFCL, paralel bir empedansa

sahiptir. Bu empedans, sıcak noktaları (hot-spots) azaltmak için üretim sırasında süperiletkene bağlanan iletken katmanın direncinden kaynaklanabilir [25]. R-SFCL'nin diğer bir dezavantajı hot-spot problemidir. Hot-spot, süperiletken şerit boyunca homojen bir şekilde dağılmayan I_c sebebiyle meydana gelmektedir. Şeridin bazı kısımlarında kritik akım diğer bölgelere kıyasla daha küçük olduğu için herhangi bir arıza akımı I_{cmin} (minimum kritik akım) değerini geçince, o bölge rezistif özellik kazanmasına rağmen şeridin geri kalan kısmı halen süperiletkenlik bölgesindedir. Bu yüzden şerit üzerinde bölgesel aşırı ısınmalar meydana gelebilmekte ve bu da geri dönüşü olmayan zararlar verebilmektedir. Hot-spot probleminin meydana gelme olasılığı süperiletkenin uzunluğu arttıkça daha da artmaktadır. Mesela, SuperOx firması tarafından üretilen 220 kV 1200 A'lik SFCL uygulamasında 3 faz için yaklaşık 25 km uzunluğunda süperiletken şerit kullanılmıştır [26]. Genellikle R-SFCL uygulamalarında kilometrelerce uzunluklarda süperiletken şeritler kullanıldığı düşünülürse bu problemi aşmak büyük bir önem taşımaktadır.

R-SFCL tasarımlarında ayrıca, soğutma ortamının dışına, süperiletkende harcanan enerjiyi azaltmak ve üzerine düşen gerilimi sınırlamak için süperiletkene paralel olarak bir direnç veya reaktör de bağlanabilir [27]. Aynı zamanda paralel eleman, koruma rölelerinin mevcut tasarımları ile yeterli arıza akımını tespit etmesi için, R-SFCL'nin rezistif durumunda arıza akımının kendisine yönlenmesini sağlayarak, R-SFCL sisteminin etkin direncini kasıtlı olarak azaltabilir [25].

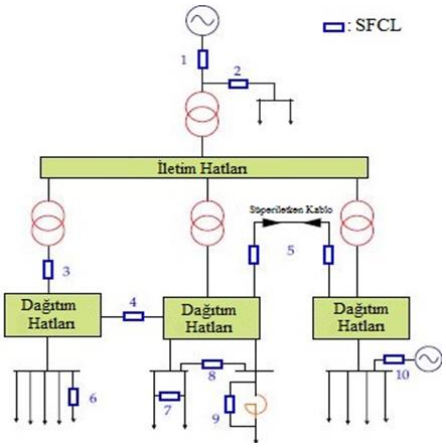
R-SFCL'nin en önemli avantajları şunlardır:

- Arıza akımının ilk tepe değerini sınırlar. Uygun bir şalt cihazına sahip bir R-SFCL, kesiciden çok daha hızlı hareket eder. Böyelece arıza yerinden genliği önemli ölçüde azaltılmış bir akım akar [27]. R-SFCL, diğer elemanlar için güvenilirliğin artmasını ve özellikle kesicilerdeki yıpranmanın azalmasını sağlar.
- Daha düşük maliyetli, daha hafif ve daha düşük kesme yeteneğine sahip şalt cihazını kullanma olanağı sağlar. Ayrıca, sistemlerde R-SFCL kullanılması, sistem değişiklikleri veya dağıtık üretim (DG-Distributed Generation) bağlantıları nedeniyle arıza seviyelerinin artması durumunda mevcut şalt cihazlarının değiştirilmesini geciktirebilir veya önleyebilir [8].
- R-SFCL kullanılması, bir arıza nedeniyle sistemin arızasız kısımlarında meydana gelen gerilim bozulmalarını azaltır. Arıza akımı sınırlandırma güç sistemine bağlı dönen makinelerin geçici durum kararlılığının artmasını sağlar [28].

Genel olarak, R-SFCL arıza akımının hem AC hem de DC bileşenlerini sınırlandırır ve tüm geçici durum olaylarını sönümler.

HTS malzemeler kendi içerisinde 1G ve 2G olarak iki gruba ayrılmaktadır. 2G HTS malzemeler daha yüksek akım taşıma kapasitesi, kritik akım seviyesi, manyetik akım değeri ve mekanik dayanıma sahiptir. Ayrıca 2G malzemeler 1G malzemelere göre daha hızlı bir şekilde rezistif bölgeye geçmektedir [13, 14].

R-SFCL, üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde birçok farklı yerde uygulanabilmektedir. R-SFCL, genellikle iletim hatlarında ve 66-230 kV gerilim seviyelerinde kullanılır. %50 veya daha fazla oranda akım sınırlama yeteneğine sahiptir [30]. Aynı zamanda, 380-500 kV gerilim seviyesinde de uygulamaları bulunmaktadır. Şekil 2'de R-SFCL'nin güç sistemlerindeki bazı tipik uygulama yerleri gösterilmiştir [31].



Şekil 2. R-SFCL'nin uygulama yerleri

3. Materyal ve Metot

Güç sistemlerinde R-SFCL mevcudiyetinin sağladığı güvenirlilik ve arttırdığı güvenlik çeşitli ülkelerde uygulama örneklerini de sürekli olarak arttırmaktadır. Ülkemizde elektrik tesislerinde nötr topraklama direnci/bobini dışında herhangi bir sınırlandırma elemanı bulunmaması ve bu direnç veya bobinin sadece toprak arızalarına tepki verebilmesi büyük bir risk oluşturmaktadır. Özellikle sıklıkla meydana gelen 2 faz arızaları sırasında kesici kontakları arasında ark sönünceye kadar arızanın zorlayıcı etkileri elamanlara tesir etmeye devam etmektedir. Bu nedenle ülkemizin de modern sınırlandırma yöntemlerinin sağladığı avantajlardan yararlanması gerekmektedir. Bu çalışma ile laboratuvar ortamında örnek bir R-SFCL'nin arıza tepkilerinin gözlemleneceği deney sistemi oluşturulmuştur. Deney sisteminde kullanılan cihaz ve malzemeler Tablo 1'de verilmiştir.

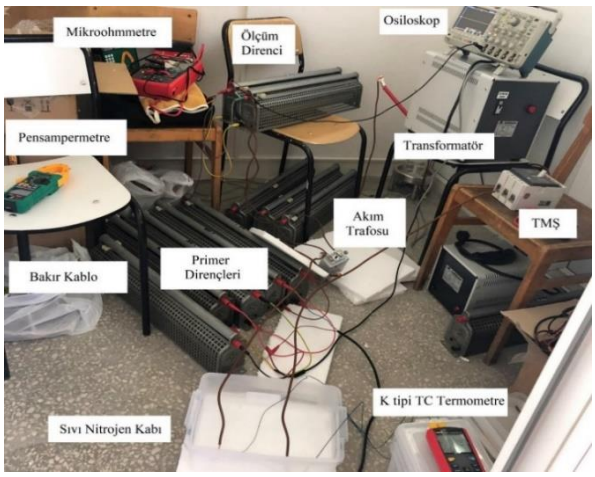
Tablo 1. Deney sistemi elemanları

Eleman Adı	Özellik
Kaynak Transformatörü	3 kVA, 220/5 V
Akım Transformatörleri	250/5 A ve 500/5 A
Primer Direnci	21.39 Ω
Ölçüm Direnci	1 Ω
Bakır Kablolar	10 mm^2
Termik Manyetik Şalter (TMŞ)	250 A

Aynı zamanda osiloskop ve USB bağlantılı pensampermetre, mikroohmmetre, K tipi thermocouple termometre deney sonuçlarını gözlemlemek ve kaydetmek için kullanılmıştır.

R-SFCL tasarımında öncelikle SuperPower firması tarafından üretilen 2 m uzunluğunda 6 mm genişliğindeki 2G HTS şerit sınırlandırma analizinde 40 cm'lik uzunluklara ayrılarak kullanılmıştır. 2G HTS şerit ile ilgili bilgiler Ek-1'de verilmiştir. Sistemdeki tüm bağlantılar, anlık kısa devre dayanım akımı 1 kA olan 10 mm^2 kesite sahip, yedi damarlı bakır kablo ile yapılmaktadır. Kablo yalıtkanı PVC'dir ve 180 °C sıcaklığa kadar yalıtkanlık özelliğini korumaktadır. Süperiletken şeritin içine yerleştirileceği ve istenen soğutmanın yapılacağı kap yumuşak plastik olarak seçilmiş olup, hacmi 6 litredir. LN_2 için ise 10 litrelik hacme sahip özel soğutucu tank kullanılmaktadır.

Sınırlandırma analizi için yapılacak arıza şartları, kaynak transformatörünün sekonderinin kısa devre edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Sekonderdeki kısa devre akımının efektif değeri 400 A'e yaklaştığı için akım transformatörlerinin doyuma gitmesini ve süperiletken şeritin zarar görmesini engellemek amacıyla kaynak transformatörünün primer tarafı, yaklaşık 21.39 Ω'luk primer direnci üzerinden şebekeye bağlanmıştır. Böylece arıza akımının efektif değeri maksimum 250 A'in altına indirilmiştir. Ayrıca, kaynak transformatörünün primerinde koruma amacıyla 16 A'lik otomatik sigorta kullanılırken, sekonderinde beklenmedik bir sorunla karşılaşma ihtimaline karşılık ise 250 A'lik TMŞ koruma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen deneyler sırasında süperiletken şeritlerde hot-spot meydana geldiği için arıza süresi 80-100 milisaniye (4-5 periyot) seviyesinde tutulmuştur. Deney sisteminin genel görüntüsü Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Deney sistemi

Deneyler sonucunda kaydedilen akım dalga şekilleri, 1 Ω'luk ölçüm direnci üzerindeki gerilimin osiloskop ekranında gözlemlenmesi ile elde edilmiştir. Akım, ayrıca pensampermetre yardımıyla da anlık olarak efektif değer şeklinde kaydedilmiştir. Sistemde enerji yokken şerit ile yapılan direnç ölçümleri mikroohmmetre ile gerçekleştirilirken, bu ölçümler hem oda sıcaklığında hem de LN_2 içinde yapılmıştır. Süperiletkenin arıza sırasındaki sıcaklık değişimi de K tipi thermocouple termometre ile anlık olarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu işlem, şerit üzerindeki kapton bandın kaldırıması termometrenin bağlantı uçlarının temas ettirilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

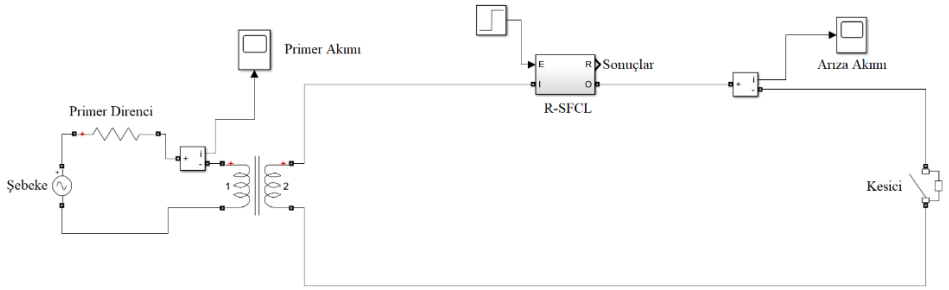
Süperiletken şerit ile kablo bağlantıları arasında daha iyi bir iletim sağlanabilmesi için süperiletkenler bakır plakaların bir ucuna lehimlenmiştir. Bakır plakaların diğer ucuna ise kablo uçları bağlanmıştır. Bakır plaka ile süperiletken bağlantısı Şekil 4'de gösterilmiştir. Soğutma kabı içerinde bulunan şerit normal durumda, arıza sırasında ve arızadan sonra süperiletkenlik bölgesine geri dönmek için LN_2 ile soğutulmaktadır. Arıza meydana geldiği anda hızlı bir şekilde artan direnç değeri, artan bir sıcaklığa da sebep olmak ile beraber, K tipi thermocouple bağlantı uçlarının bağlı olduğu noktalardaki sıcaklıklar 77-340 °K arasında değişmiştir. Bu sıcaklık değerlerine çıkıldıktan sonra şeritin hızlı ve etkili bir şekilde soğutulması gerekmektedir, nitekim bazı deneylerde süperiletken zarar görüp yanmıştır. Bunun sebebi deney süresi boyunca bakır plakaların kablolara bağlı olduğu uçlar soğutma kabının dışında kaldığı için bu noktada soğutma performansı azalması ve soğutma sisteminin açık yapıda olmasıdır. Bakır plakaların kablo ucunun dışarıda olması, gerçek R-SFCL uygulamalarındaki akım çubuğu (current lead) dezavantajının bir benzerini oluşturmuştur. Deneyler arasında birkaç dakikalık soğuma süresi bulunmaktadır.



Şekil 4. Bakır plaka ile süperiletken şerit bağlantısı

3.1. R-SFCL E-J Modeli

R-SFCL modeli ve benzetimler MATLAB-Simulink'de gerçekleştirilmiş olup, deney sistemin simülasyon devresi Şekil 5'de verilmiştir. Modelleme için süperiletken malzemenin Elektrik Alan (E) – Akım Yoğunluğu (J) eğrisi temel alınmıştır. Gerçekleştirilen R-SFCL modelinde, sistem akımının efektif değeri her an SuperPower firmasının ürettiği 6 mm 2G HTS şeridin minimum kritik akım değeriyle karşılaştırılmaktadır. Modellenen bu HTS şeritte YBCO süperiletken malzeme kullanılmıştır. Normal durumda, 2G HTS şeridin kritik akımı aşılmadığı için R-SFCL tarafından çok düşük bir empedans değeri gösterilir. Arıza durumunda ise sistemden akan akım, kritik akımı (180 A) aştığı anda süperiletken malzemede faz değişimi olur ve bunun sonucunda direnci artar. Arıza sona erdiğinde R-SFCL'deki süperiletken malzeme, LN_2 kullanılan soğutma sistemi ile hızlı bir şekilde soğutulup tekrar süperiletkenlik bölgesine geçer ve minimum direnç gösterir. Süperiletken malzemelein E-J eğrisine göre üç bölge bulunmaktadır: süperiletkenlik, flux-flow ve rezistif. Matlab/Simulink'de M-Function olarak bu üç bölge formülleri modelleme algoritmasına göre oluşturulmuştur. Süperiletkenler için genel E-J eğrisi Şekil 6'da gösterilirken, bu eğrideki bölgelere göre yapılan modelleme algoritması ise Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Deney sistemi simülasyon devresi

İlk olarak, tüm bölgeler için R-SFCL direnci Denklem (1) ile hesaplanmaktadır. Anlık akım yoğunluğu ise Denklem (2) ile hesaplanarak kritik akım yoğunluğu ile karşılaştırılmaktadır.

$$R_{R-SFCL}(t) = \frac{E(J,T).\ L_{si}}{J(t).\ A_{si}} \tag{1}$$

$$J(t) = \frac{I_{R-SFCL}(t)}{A_{si}} \tag{2}$$

Burada;
$R_{R\text{-}SFCL}$, direnç (Ω)
L_{si}, şerit uzunluğu (m)
A_{si}, şerit kesiti (m^2)
E, J ve T'nin fonksiyonu olarak elektrik alan şiddeti (V/m)
T, süperiletken sıcaklığı (°K)
$I_{R\text{-}SFCL}$, akım (A)
J, akım yoğunluğu (A/m^2) olarak verilmiştir.

3.1.1. Süperiletkenlik Bölgesi

Bu bölgede, $J<<J_c$ ve $T<<T_c$'dir. R-SFCL direnci çok düşüktür. Elektrik alan şiddeti (E), Denklem (3) ile hesaplanır.

$$E(J,T) = E_C \left(\frac{J}{J_{C(T)}}\right)^{\alpha} \tag{3}$$

Burada;
E_c, kritik elektrik alan şiddeti (1 μV/cm)
α, süperiletkenlik bölgesi üs değeridir, 1G HTS malzemeler için 5-15, 2G HTS malzemeler için α değeri 15-40 arasında değişmektedir [32]. T'nin fonksiyonu olarak kritik akım yoğunluğu Denklem (4) ile hesaplanmaktadır.

$$J_C(T) = J_C.[(T_C - T)/(T_C - T_0)] \tag{4}$$

$J_c(T)$, T'nin fonksiyonu olarak kritik akım yoğunluğu (A/m^2)
J_c, 77 °K'deki kritik akım yoğunluğu (A/m^2)
T_c, kritik sıcaklık (°K)
T_0, 77 °K olarak tanımlanmıştır.

3.1.2. Akı Geçiş Bölgesi

Bu bölgede, $J>J_c$ ve $T<T_c$'dir. Akım yoğunluğu kritik değeri aştığında, R-SFCL bu bölgeye girer ve E artmaya başlar. Hemen ardından, R-SFCL'nin direnci ve sıcaklığı da artmaya başlar. Sıcaklık artışı $J_c(T)$'nin düşmesine neden olur ve böylece E sürekli olarak artar [33]. E, Denklem (5) ile hesaplanır.

$$E(J,T) = E_0.\left(E_C/E_0\right)^{\beta/\alpha}.\frac{J_C}{J_{C(T)}}.\left(J/J_C\right)^{\beta} \tag{5}$$

Burada;
E_0, süperiletkenlik durumundan akı geçiş bölgesine geçiş boyunca elektrik alan şiddeti (V/m)
β, akı geçiş bölgesinin üs değeridir, 1G ve 2G HTS malzemeler için β değeri 1-4 arasında değişmektedir [32].

3.1.3. Rezistif (Normal) Bölge

Bu bölgede, $T>T_c$'dir. R-SFCL'nin direnci ani bir şekilde artar. Direnç ile E, akım yoğunluğuna ve sıcaklığa bağlı olarak değişir. E, Denklem (6) ile hesaplanır.

$$E(J,T) = \rho(T_C).J.\frac{T}{T_C} \quad (6)$$

Burada,
$\rho(T_c)$, normal durumdaki süperiletken özgül direnci (Ω.m) olarak tanımlanmıştır.

3.1.4. Termal Hesaplamalar

Tüm bölgelerde meydana gelen ısı difüzyonu aşağıda verilen denklemler ile hesaplanabilir. M-Function içerisinde süperiletken tarafından yayılan ısı enerjisi Denklem (7), soğutucu tarafından alınan ısı enerjisi Denklem (8), süperiletken ile soğutma kabı arasındaki termal direnç Denklem (9), R-SFCL anlık sıcaklığı Denklem (10) ve süperiletkenin ısı kapasitesi Denklem (11) ile hesaplanmaktadır.

$$Q_{Sİ}(t) = \int I_{R\_SFCL}(t)^2.R_{R\_SFCL}(t)dt \quad (7)$$

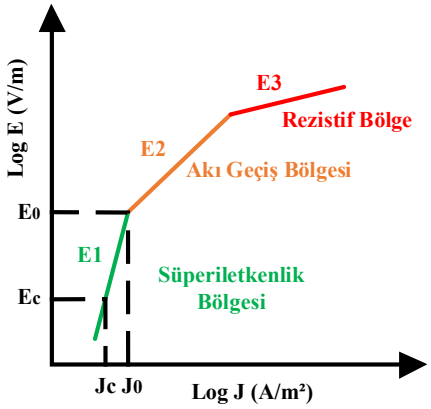
$$Q_{soğutucu}(t) = \int \frac{T(t)-T_0}{\theta_{Sİ}}dt \quad (8)$$

$$\theta_{si} = \frac{1}{2\ k\ L_{si}\ t_{si}\ w_{si}} \quad (9)$$

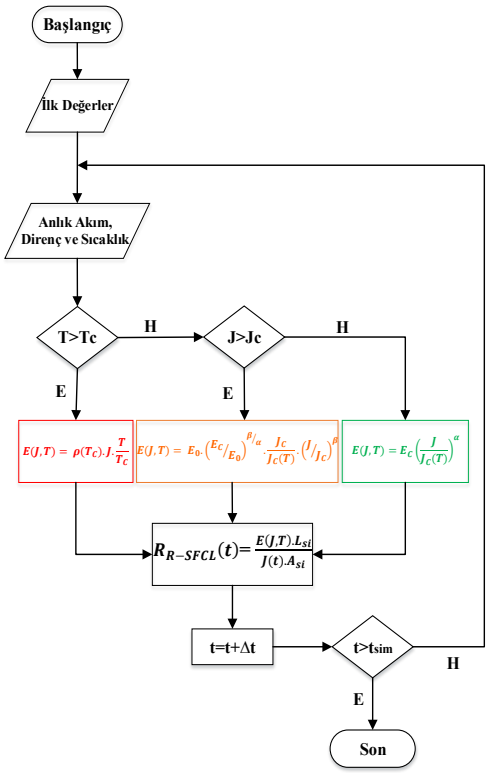
$$T = T + (Q_{Sİ} - Q_{Soğutucu})/c_{Sİ} \quad (10)$$

$$c_{Sİ} = L_{Sİ}.A_{Sİ}.c_h \quad (11)$$

Burada,
Q_{si}, süperiletken tarafından yayılan ısı enerjisi (Joule)
$Q_{soğutucu}$, soğutucu tarafından alınan ısı enerjisi (Joule)
θ_{si}, süperiletken ile soğutma kabı arasındaki termal direnç (K/W)
k, soğutma kabına olan ısı transfer katsayısı (W/K.m^2)
t_{si}, süperiletken telin kalınlığı (mm)
w_{si}, süperiletken telin genişliği (m)
c_{si}, süperiletkenin ısı kapasitesi (J/K)
c_h, süperiletken hacimsel özgül ısısı (J/K.m^3)
T, R-SFCL anlık sıcaklığı (°K) olarak verilmiştir.



Şekil 6. Süperiletken E-J eğrisi



Şekil 7. R-SFCL modelleme algoritması

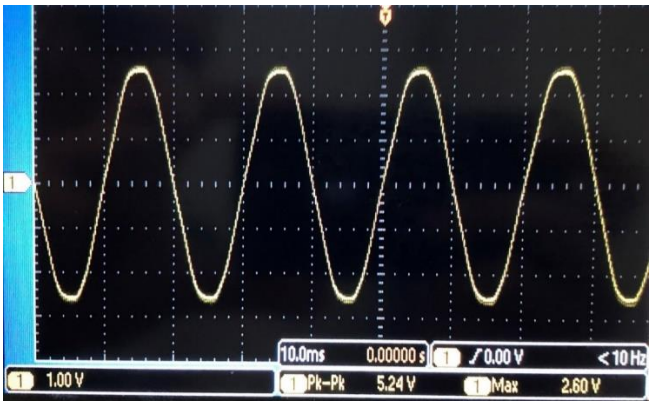
5. Bulgular ve Tartışma

Sınırlandırma analizini yapmak için, transformatör primerine eklenen 21.39 Ω'luk primer direnciyle 225 A_{rms} seviyesinde bir kısa devre akımı sağlanmıştır. Öncelikle deney sisteminde R-SFCL olmadığı durum için arıza akımı gözlemlenmiştir. Şekil 8'de 500/5 A'lik akım transformatörü ve 1 Ω ölçüm direnci üzerinden ölçülen arıza akımının dalga şekli gösterilmiştir.

Şekil 8'de görüldüğü gibi arıza akımının tepe değeri 3.12 A'dir. Akım transformatörünün dönüştürme oranı 100 olduğu için gerçek tepe değer 312 A ve RMS değer 220.6 A olarak hesaplanmıştır. Akım değeri 225 A_{rms} seviyesine oldukça yakındır. Daha sonra sisteme, 40 cm uzunluğunda SuperPower'ın ürettiği 2G HTS şerit eklenerek aynı arıza deneyi tekrar edilmiştir. Bu durumda osiloskop ekranında gözlemlenen arıza akımı Şekil 9'da gösterilmiştir.



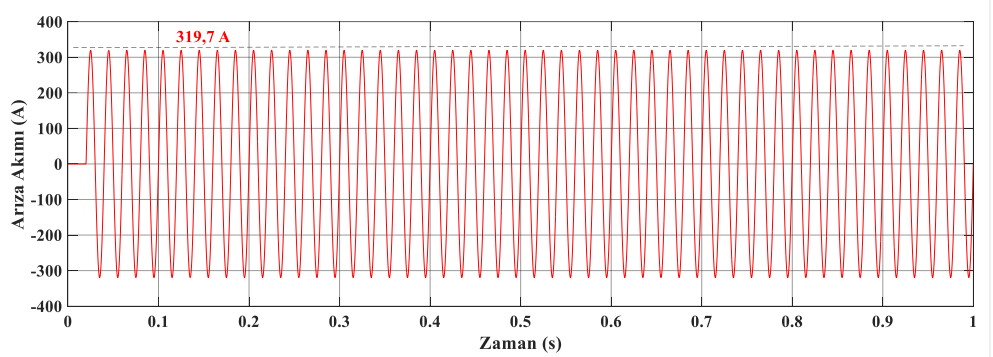
Şekil 8. Arıza akımının osiloskop görüntüsü



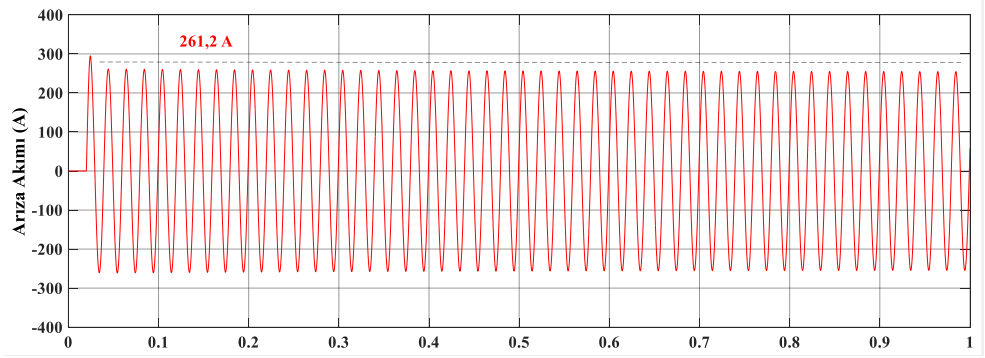
Şekil 9. R-SFCL'li sistemdeki arıza akımının osiloskop görüntüsü

Şekil 9'da, arıza akımının tepe değeri 2.60 A'dir. Akım transformatörünün dönüştürme oranı 100 olduğu için gerçek tepe değer 260 A ve RMS değer 183.75 A olarak hesaplanmıştır. R-SFCL'siz sisteme göre sadece 40 cm uzunluğundaki 2G HTS şerit ile arıza akımı 36.85 A azalmıştır. Kısaca, R-SFCL'nin sisteme eklenmesi ile arıza akımı, sınırlandırma yapılmayan duruma göre %16.7 azalmıştır. Arıza sırasında ölçülen gerilim ve akım verilerinden, arıza direncinin 8.7 mΩ ile 8.8 mΩ arasında değiştiği görülmüştür.

MATLAB-Simulink kullanılarak yapılan benzetim ve modellemelerde hem deney sisteminden elde edilen veriler hem de R-SFCL'nin E-J eğrisi temel alınarak R-SFCL'nin dinamik davranışı oluşturulmuştur. Şekil 10'da R-SFCL'siz deney sistemin arıza akımının dalga şekli gösterilirken, Şekil 11'de R-SFCL'li sistemin arıza akımının dalga şekli gösterilmiştir.



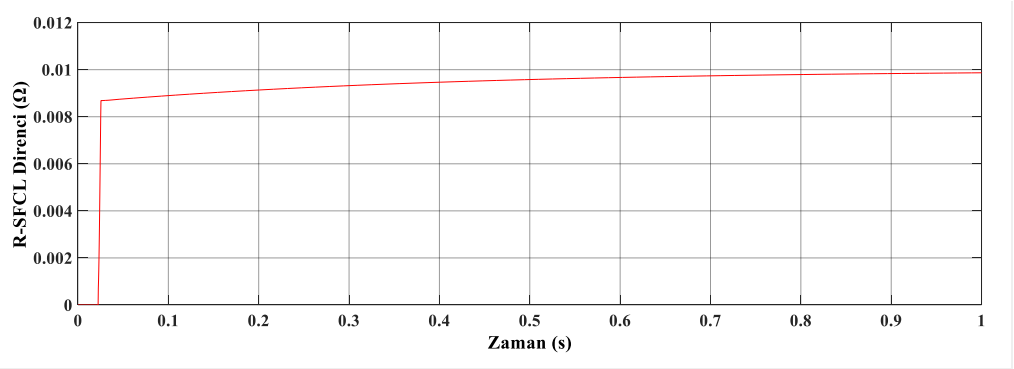
Şekil 10. R-SFCL'siz sistemdeki arıza akımı



Şekil 11. R-SFCL'li sistemdeki arıza akımı

Şekil 10 ve 11'de görüldüğü gibi, R-SFCL'siz sistemde arıza akımının tepe değeri 319.7 A olup RMS değeri 226.06 A'dir. R-SFCL'li arıza akımının tepe değeri ise 261.2 A olup RMS değeri 184.7 A olarak hesaplanmaktadır. Simülasyonlardan elde edilen sonuçlar ile deneysel olarak elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın ve uyumludur.

Şekil 12'de modellenen R-SFCL'nin arıza sırasındaki direnç değişimi gösterilmiştir. Deneylerde ölçülen direnç değeri 8.7-8.8 mΩ iken, simülasyonda bu değer aynı seviyenin biraz üstünde seyretmiş olup, değerler arasında çok az fark vardır.



Şekil 12. R-SFCL direnç değişimi

6. Sonuçlar

Güç sistemlerinde, arıza akımlarının kesiciler tarafından en kısa sürede ortadan kaldırılması istenir. Ancak, rölelerin algılama süresi, kesiciye açma sinyalinin gönderilmesi ve mekanik sınırlamalar, arıza akımının sistemde belli bir süre daha akmasına sebep olmaktadır. Ark kesilinceye kadar güç sistemi elemanlarına tesir eden arıza akımları bazen geri dönüşü olmayan zararlara neden olmaktadır. Günümüzde en hızlı güç sistemi kesicileri 70-80 milisaniye içerisinde açma işlemi yapabilse de birçok ülkede sınırlandırma yöntemleri kullanılmaktadır.

Sınırlandırma yöntemleri arasında en çok tercih edilenlerden biri olan R-SFCL, avantajları medeniyle çeşitli güç sistemlerinde kullanılmaktadır. R-SFCL yaklaşık 4-5 milisaniye içerisinde tepki göstererek arızayı sınırlandırabilmektedir. Güç sisteminin güvenliğini, güvenirliliğini ve kararlığını arttıran R-SFCL uygulamaları geleneksel yöntemlere göre normal işletme sırasında ihmal edilebilir güç kaybına sebep olarak görünmez olarak davranmaktadır ve nominal akımı etkilememektedir. Ayrıca, R-SFCL, harmonik üretmeme, manyetik alan girişimine sebep olmama ve X/R oranını azaltma gibi özellikleri sayesinde giderek popüler hale gelmektedir.

Bu çalışmada laboratuvar ortamında gerçekleştirilen R-SFCL örneği ve MATLAB-Simulink'de yapılan benzetimlerle henüz ülkemizde uygulaması bulunmayan R-SFCL'nin etkin, verimli ve güvenilir bir sınırlandırma elemanı olduğu gösterilmiştir. Hem arıza anında sistemi koruyan hem de normal işletme sırasında gereksiz güç kaybına yol açmayan R-SFCL, ülke ekonomisine ve güç sistemi güvenliğine önemli bir katkı sağlayacaktır.

Gelecek çalışmalarda daha uzun süperiletken şeritler kullanarak özellikle R-SFCL'nin en büyük dezavantajı sayılabilecek toparlanma süresinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda gerçekleştirilecek çalışma sonuçları paydaşlarla paylaşılarak, güç sistemlerinin verimliliğini ve güvenliğini arttıran R-SFCL'nin avantajlarının elektrik sistemimize de kazandırılması amaçlanmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma FÜBAP MF.20.02 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1] E. M. Leung, "Superconducting fault current limiters," *IEEE Power Eng. Rev.*, vol. 20, no. 8, pp. 15–18, 30, 2009, doi: 10.1109/39.857449.

[2] H. Seyedi and B. Tabei, "Appropriate Placement of Fault Current Limiting Reactors in Different HV Substation Arrangements," *Circuits Syst.*, vol. 03, no. 03, pp. 252–262, 2012, doi: 10.4236/cs.2012.33035.

[3] C. Method, "Numerical Study on Transient State of Inductive Fault Current Limiter Based on Field-Circuit," 2019.

[4] P. Ju, T. Ma, J. Zhang, Y. Xu, and S. Dai, "Influence of Interface Resistance on Current Distribution and Inhomogeneity Effect on Quench Characteristics in REBCO Coated Conductor," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 32, no. 1, 2022, doi: 10.1109/TASC.2021.3132011.

[5] B. Xiang *et al.*, "A CO 2 /O 2 Mixed Gas DC Circuit Breaker with Superconducting Fault Current-Limiting Technology," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 35, no. 4, pp. 1960–1967, 2020, doi: 10.1109/TPWRD.2019.2957499.

[6] B. Xiang *et al.*, "DC Interrupting With Self-Excited Oscillation Based on the Superconducting Current-Limiting Technology," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 33, no. 1, pp. 529–536, 2018, doi: 10.1109/TPWRD.2017.2718589.

[7] J. Zhu *et al.*, "Magneto-Thermal Coupling Design and Performance Investigation of a Novel Hybrid Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) With Bias Magnetic Field Based on MATLAB / SIMULINK," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 29, no. 2, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/TASC.2019.2892295.

[8] M. Noe and M. Steurer, "High-temperature superconductor fault current limiters: Concepts, applications, and development status," *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 20, no. 3, 2007, doi: 10.1088/0953-2048/20/3/R01.

[9] A. Morandi, "State of the art of superconducting fault current limiters and their application to the electric power system," *Phys. C Supercond. its Appl.*, vol. 484, pp. 242–247, 2013, doi: 10.1016/j.physc.2012.03.004.

[10] B. Xiang *et al.*, "Study on the Parameter Requirements for Resistive-Type Superconducting Fault Current Limiters Combined with Mechanical DC Circuit Breakers in Hybrid AC/DC Transmission Grids," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 35, no. 6, pp. 2865–2875, 2020, doi: 10.1109/TPWRD.2020.2981870.

[11] L. Siyuan *et al.*, "Physica C : Superconductivity and its applications A novel simplified modeling method based on R – Q curve of resistive type SFCL in power systems," vol. 563, no. April, pp. 82–87, 2019, doi: 10.1016/j.physc.2019.04.016.

[12] P. T. Pascal, A. Badel, G. Auran, and G. S. Pereira, "Superconducting Fault Current Limiter for Ship Grid Simulation and Demonstration," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 27, no. 2, pp. 1–5, 2017, doi: 10.1109/TASC.2017.2674964.

[13] K. Yang *et al.*, "Direct-Current Vacuum Circuit Breaker with Superconducting Fault-Current Limiter," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 28, no. 1, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1109/TASC.2017.2767500.

[14] S. Yadav, K. Bharati, and V. Tewari, "Superconducting Fault Current Limiter-A Review," vol. 14, no. 2, pp. 1–6, 2019.

[15] M. F. Khan, A. L. L. Jarvis, E. A. Young, and R. G. Stephen, "Comparison of Superconducting Fault Current Limiters against Traditionally Employed Practices in the Management of Fault Levels in the South African National Grid," no. January, 2015.

[16] L. Martini, M. Bocchi, and R. Dalessandro, "Electrical testing of 1 MVA-class three-phase superconducting fault current limiter prototypes," no. April, 2007.

[17] M. M. Aly and E. A. Mohamed, "Comparison between resistive and inductive superconducting fault current limiters for fault current limiting," *Proc. - ICCES 2012 2012 Int. Conf. Comput. Eng. Syst.*, no. May, pp. 227–232, 2012, doi: 10.1109/ICCES.2012.6408518.

[18] S. Belkhiat, "Modeling and Simulation of Resistive Superconducting Fault-Current Limiters," no. June, 2015, doi: 10.1007/s10948-012-1685-z.

[19] D. Fedasyuk and P. Serdyuk, "Simulation of Superconducting Fault Current Limiter Behaviour in Matlab / Femlab / Simulink Environment," no. 1, pp. 77–80, 2006.

[20] S. Rai, U. Prasad, and V. K. Jain, "Application of Superconducting Fault Current Limiters in Smart Grid System," vol. 4, no. 12, pp. 5738–5747, 2015, doi: 10.15680/IJIRSET.2015.0407051.

[21] M. Firouzi, S. Aslani, G. B. Gharehpetian, and A. Jalilvand, "Effect of Superconducting Fault Current Limiters on Successful Interruption of Circuit Breakers," *Renew. Energy Power Qual.*, no. May 2014, pp. 120–124, 2012, doi: 10.24084/repqj10.245.

[22] Sander A. Franke, "Master of Science Thesis Fault Current Control in the Transmission Network," 2012.

[23] SuperOx, "Superconducting Fault Current Limiters." http://www.superox.ru/upload/FCL-full-information.pdf.

[24] M. J. Bright C.G., Hirst M., Husband M., Mackay A., "The design and benefits of MgB2 Superconducting Fault Current Limiters for future Naval applications," 2011.

[25] R. Dommerque *et al.*, "First commercial medium voltage superconducting fault-current limiters: Production, test and installation," *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 23, no. 3, pp. 1–9, 2010, doi: 10.1088/0953-2048/23/3/034020.

[26] M. Moyzykh *et al.*, "First Russian 220 kV superconducting fault current limiter for application in city grid," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, no. August 2017, pp. 1–7, 2021, doi: 10.1109/TASC.2021.3066324.

[27] C. Schacherer, J. Langston, M. Steurer, and M. Noe, "Power Hardware-in-the-Loop testing of a YBCO coated conductor fault current limiting module," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 19, no. 3, pp. 1801–1805, 2009, doi: 10.1109/TASC.2009.2018048.

[28] M. Tsuda, Y. Mitani, K. Tsuji, and K. Kakihana, "Application of resistor based superconducting fault current limiter to enhancement of power system transient stability," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 11, no. 1 II, pp. 2122–2125, 2001, doi: 10.1109/77.920276.

[29] S. Y. Kim and J. O. Kim, "Reliability evaluation of distribution network with DG considering the reliability of protective devices affected by SFCL," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 21, no. 5, pp. 3561–3569, 2011, doi: 10.1109/TASC.2011.2163187.

[30] M. Akbari, H. Chavda, J. Chitroda, and N. Kothadiya, "Review paper on Fault analysis and its Limiting Techniques

.," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 566–571, 2017, [Online]. Available: https://irjet.net/archives/V4/i2/IRJET-V4I2107.pdf.

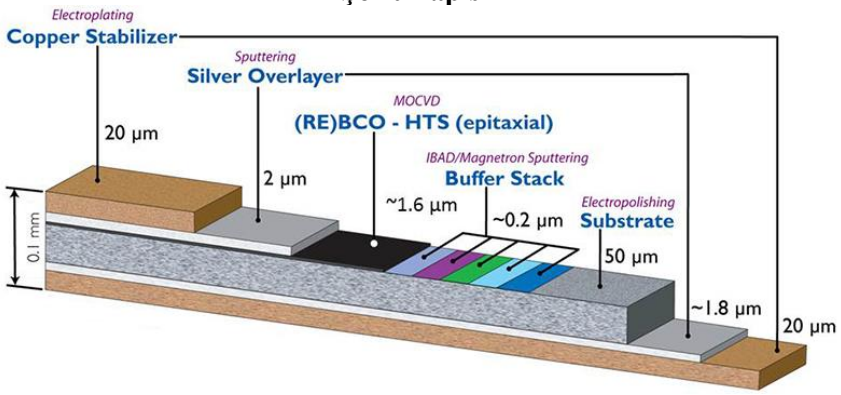
[31] W. T. B. de Sousa, "Transient Simulations of Superconducting Fault Current Limiters," *Saf. Sci.*, vol. 33, no. 3, pp. 1–6, 2015, doi: 10.1016/j.ssci.2015.04.023.

[32] K. Qian, Z. Guo, Y. Terao, and H. Ohsaki, "Electromagnetic and thermal design of superconducting fault current limiters for DC electric systems using superconducting," 2017.

[33] S. Xue, F. Gao, W. Sun, and B. Li, "Protection principle for a DC distribution system with a resistive superconductive fault current limiter," *Energies*, vol. 8, no. 6, pp. 4839–4852, 2015, doi: 10.3390/en8064839.

EK-1

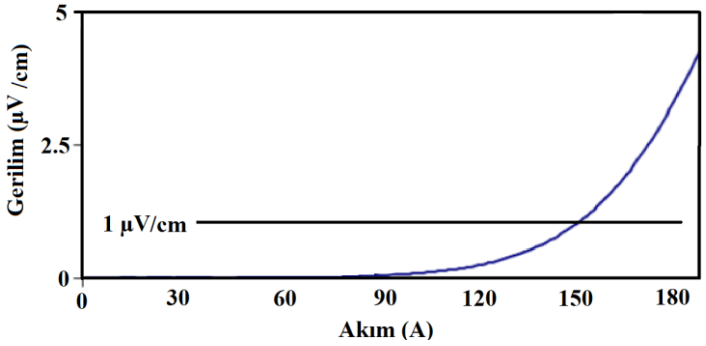
Şerit Yapısı



Şerit Özellikleri

Parametre	SCS6050
Minimum I_c	150 A
Genişlik	6 mm
Toplam Kalınlık	0.1 mm
Toplam Bakır Stabilizer Kalınlığı	0.04 mm
Kritik Çekme Gerilimi	> 550 MPa
Kritik Eksenel Çekme Gerilmesi (77 °K)	% 0.45
Kritik Büküm Çapı (40µm-Oda Sıcaklığı)	11 mm
Kritik Bükme Çapı (40µm-Oda Sıcaklığı)	11 mm

Şerit I-V Grafiği



Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 817-827, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1126027

Sıcak Presleme Yöntemi İle Üretilen Fe Esaslı Matriste Ni Esaslı Süper Alaşımların Katkı Oranlarının Etkisi

İlyas SOMUNKIRAN[1], Ertuğrul ÇELİK[2], Büşra TUNÇ[3*], Çağdaş GÜNEŞ[4]
[1, 3] Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[2, 4] Makina Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Munzur Üniversitesi, Tunceli, Türkiye
[1] ilyassomunkiran@gmail.com, [2] ecelik@munzur.edu.tr, [3*] busraonce23@gmail.com, [4] gunes.cagdas@hotmail.com

(Geliş/Received: 17/06/2022; Kabul/Accepted:04/09/2022)

Özet

Doğal taş kesme işlemlerinde kullanılan elmaslı kesici takımlar da matris dizaynı; takımların kesme performansı açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle Fe-Ni-Cu metal tozlarına ağırlıkça farklı oranlarda (%10-20-30) 9062 ve 9045 ticari kodlu nikel esaslı süper alaşımlar ilave edildi. Üretilen numunelerin mikro yapı ve bazı mekanik özellikleri incelendi. Deney numuneleri 920°C sıcaklıkta 35 MPa basınç altında dört dakika süre boyunca sıcak preslendi. Elde edilen numunelerin sertlik, yoğunluk, üç noktalı eğme testleri yapıldı. Mikroyapı incelemeleri için SEM (taramalı elektron mikroskobu),EDS ve XRD kullanıldı. Sonuç olarak; SEM görüntülerinde 9045 ve 9062 ticari kodlu Ni esaslı alaşım ile takviyelendirilmiş düzgün küresel tozların yapı içerisinde homojen dağıldığı ve %30 9062 katkılı numunede porozitenin azaldığı görüldü. Her iki gurupta da %30 katkı oranlarında en yüksek sertlik değerleri elde edildi. Üç noktalı eğme deneyinde %10 katkılı 9062 numunesinde en yüksek mukavemet değerine sahip olduğu gözlendi.

Anahtar Kelimeler: Toz metalurjisi, Sıcak presleme, Elmas kesici takımlar, Nikel esaslı alaşımlar

The Effect of Additive Rates of Ni Based Super Alloys on Fe Based Matrix Produced by Hot Pressing Method

Abstract

Diamond cutting tools used in natural stone cutting processes are also matrix design; it is very important in terms of cutting performance of the tools. In this study, nickel-based superalloys with commercial code 9062 and 9045 were added to Fe-Ni-Cu metal powders in different weight ratios (10-20-30%) by powder metallurgy method. Microstructure and some mechanical properties of the produced samples were investigated. The test samples were hot pressed at 920 ºC under 35 MPa pressure for 4 min. Hardness, density, three-point bending tests of the obtained samples were evaluated. SEM (scanning electron microscope) and XRD were used for microstructure investigations. As a result; in the SEM images, it was seen that uniform spherical powders reinforced with Ni based alloy with commercial code 9045 and 9062 were homogeneously dispersed in the structure and the porosity decreased in the 30% 9062 doped sample. In both groups, the highest hardness values were obtained at 30% additive rates. In the three-point bending test, it was observed that the 10% added 9062 sample had the highest strength value.

Keywords: Powder metallurgy, Hot Stamping, Diamond cutting tools, Nickel-based alloys

1. GİRİŞ

Doğal taş oyma aletlerinin geçmişi milattan sonra 350 yılına gitmesine karşın elmaslı kesici takımların teknik uygulamaları 100 yıllık bir geçmişe sahiptir [1]. Takım üretimindeki ilerlemeler toz metalurjisinin geliştirilmesiyle 1940'lı yıllarda elmas parçacıkları ile takviye edilmiş testerelerin doğal taş kesimi uygulamalarında kullanılmasını sağlamıştır [2]. Üretim teknolojilerindeki sürekli gelişmeler, sentetik elmasların ticari önemini artırmaktadır. Bu da 1990'lı yılların başlarında endüstriyel elmas tüketiminin yaklaşık %90'ını oluşturmuştur [2]. Günümüzde elmaslı kesici takımların pazarı hızlı bir şekilde büyümeye devam etmektedir [3]. Gelişen teknoloji sebebiyle insanlığın ihtiyaçları da artmaya başlamıştır. Malzemeler üzerindeki çalışmalar arttıkça, mevcut malzemelerin kullanım sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilecek ve daha dayanıklı alaşımlar bulunmuştur.

[*] Sorumlu yazar: busraonce23@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0003-2690-238X, [2] 0000-0001-7104-8288, [3*] 0000-0002-0090-5227, [4] 0000-0001-7405-2063

Nikel, gümüşe benzeyen görünüşü ile değerli bir metaldir. Temelde endüstriyel ve tıp alanında olmak üzere birçok ana sektörde kullanılan en önemli hammaddelerden biridir [4]. En önemli özelliklerinden biri korozyona karşı dirençli olmasıdır. Nikel, tel ve levha haline getirilebilme, yumuşaklık, yüksek sıcaklıklarda düşük kırılganlık ve sıfırın altındaki sıcaklıklarda tokluğunu koruma gibi bazı önemli fiziksel özelliklere sahiptir. Hem soğuk hem sıcak olarak işlenebilir. Bu sebeple, kaynak kabiliyeti ve talaşlı işlenebilirliği iyidir. Buna karşılık, ısı ve elektrik iletkenliği düşüktür [5]. Nikel parlatılabilir ve korozyona karşı da dayanıklıdır. Demirden sonra Dünya'nın çekirdeğindeki en bol ikinci elementtir. Nikel, bitki hücrelerinde ve bazı mikroorganizmalarda da bulunur. Cama yeşil bir renk vermek için kullanılır [6]. Nikel esaslı süper alaşımlarda, katı eriyikler ve ikincil faz intermetalik çökelti mekanizmaları yapının mukavemet kazanması için oldukça önemlidir. Katı eriyik nikel alaşımları daha çok tavlama sıcaklığında ve tavlama temperlenmesinde kullanılır. Maksimum süneklik ve yorulma dayanımı, 870-980°C'lik tavlama sıcaklığında elde edilirken optimum yorulma direnci 1120-1200°C'lik sıcaklık tavlamasında elde edilir. Aynı zamanda yüksek sıcaklık tavlaması 600°C'den daha yüksek çalışma koşullarında sürünme kopma özelliklerini sağlar. Katı eriyik nikel alaşımları genellikle uzay uygulamalarında kullanılırlar [7]. Elmas parçacıklı testere ağzı soketleri imalatında kullanılan en yaygın üretim tekniği, toz metalurjisi (TM) üretim yöntemidir.

Toz metalurjisi özellikle aynı parçanın çok sayıda net şekilli olarak çabuk ve kolay bir şekilde üretilebilmesi, seri üretime uygun ve aynı zamanda ekonomiklik getiren bir üretim yöntemidir [8, 9]. Toz metalurjisi (T/M) farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarını sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. Bu işlem; şekillendirme veya presleme ve daha sonra parçacıkların sinterleme yolu ile ısıl bağlanması basamaklarını içerir. Ayrıca gerekli hallerde tamamlayıcı işlemler kaplama, ısıl işlem, yağ emdirme vs. uygulanır. T/M malzeme üretim teknikleri arasında en hızlı gelişen bir üretim metodudur [10-12].

T/M yönteminde kullanılan hammaddenin türü ve cinsi birim maliyete etki eden faktörlerden biridir. Kobalt, T/M işlemlerinde ve birçok teknoloji ürün üretiminde (batarya, mıknatıs, kesici takımlar vb.) oldukça fazla kullanılan bir metaldir. Ayrıca kobalt metali kesici takımların daha iyi kaliteye sahip olması için matriste bağlayıcı olarak rol almaktadır. Bu çalışmanın amacı; kobalta alternatif olarak Fe-Ni-Cu metal matrisli tozlara farklı oranlarda nikel esaslı takviye kullanılarak direk dirençli sıcak presleme tekniğiyle mermer kesici soketler üretmek. Üretilen soketlerin mikroyapı ve bazı mekanik özeliklerini incelemektir. Deneysel çalışmada matris malzeme olarak Fe-Ni-Cu, takviye olarak ise farklı ağırlık oranlarında (%10-20-30) 9062 ve 9045 ticari kodlu nikel esaslı süper alaşımlar kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

Deneyler için biri referans numune olmak üzere yedi farklı toz karışımı hazırlandı. % 99.9 saflıktaki Fe, Ni, Cu toz karışımlarına Ni esaslı 9062 (Ni Cr15.5 B2.9 Si4.3 C0.7 Fe4.2) ve 9045 (Ni Cr10.3 B2 Si3.2 C0.38 Fe2.4) ticaret kodlu alaşım tozları ilave edildi. Direkt dirençli sıcak presleme tekniğiyle 35 MPa basınç altında 920°C'de 4 dakika sinterlenerek 40×10×7 mm boyutlarında numuneler üretildi. Deneyde kullanılan numune kodları ve numune içerikleri Tablo 1'de gösterildiği gibidir.

Tablo 1. Deneyde Kullanılan Numune Kodları ve Numune İçerikleri

NUMUNE KODU	NUMUNE İÇERİĞİ
A1	%85 Fe- %10 Ni- %5 Cu
A2	A1+%10 9062
A3	A1+ %20 9062
A4	A1+ %30 9062
A5	A1+ %10 9045
A6	A1+ %20 9045
A7	A1+ %30 9045

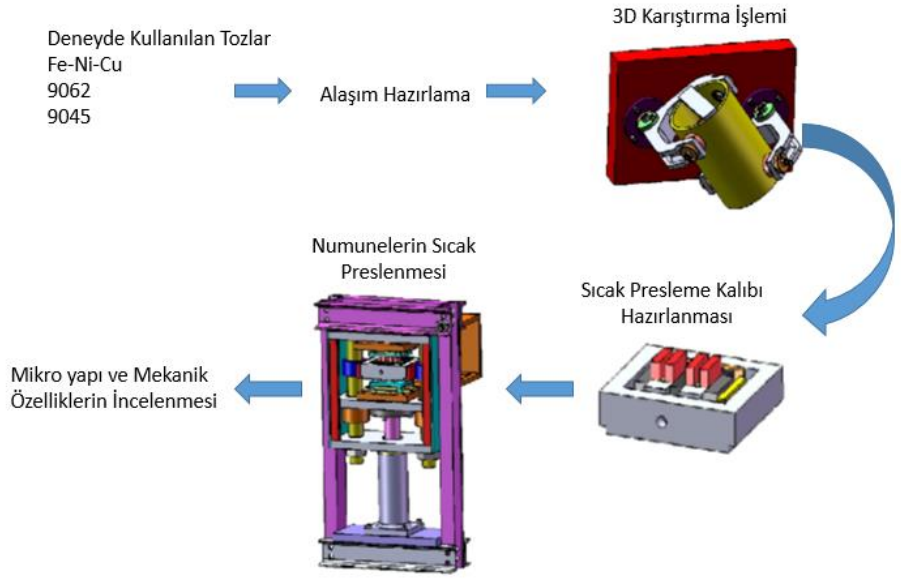
Çalışma kapsamında kullanılan Fe-Ni-Cu ve 9062, 9045 ticari kodlu Ni esaslı alaşım tozları hazır olarak temin edilmiştir. Tablo 2'de kullanılan tozların toz türü, tane boyutu ve ticari adları verilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan Tozların Özellikleri [13]

Toz Türü	Tane Boyutu (µm)	Ticari Adı
Fe (Elementel)	2-4	CIP Fe
Ni (Elementel)	2-3	CNP Ni
Cu (Elementel)	66	CU W63/3

9062 (Alaşım) (küresel)	53-63	FORTECOAT, 9062
9045 (Alaşım) (küresel)	53-63	FORTECOAT, 9045

Fe-Ni-Cu, 9062 ve 9045 tozları 0,01 gr hassasiyete sahip terazi kullanılarak hazırlanmıştır. Homojen karışım elde etmek için toz karışımına %2 (ağ.) oranında Polietilen Glikol (PEG) eklendi. Hazırlanan toz karışımları üç eksenli karıştırıcıda 25 dakika (dak.) süre ile 35 dev./dak dönme hız ile kuru halde karıştırıldı. Daha sonra karışım içerisine ağ. %2 oranında PEG ve Cr kaplı bilyeler bırakılarak 20 dakika boyunca ıslak olarak karıştırıldı. Homojen olarak karıştırılan tozlar sıcak presleme işlemi için grafit kalıplara yerleştirildi. Numunelerin sıcak preslenme süreçlerinde kütle kaybını önlemek ve tozları grafit kalıba yapışarak kalıba zarar vermesinin önüne geçmek için kalıplara sıvı formda bor nitrür sürüldü. Sıcak presleme işlemi; -500 mm Hg vakum ve koruyucu N_2 atmosferinde, 920 ºC'de 4 dakika 35 MPa basınç altında yapıldı. Şekil 1' de numunelere yapılan işlem basamakları gösterilmiştir.



Şekil 1. Numunelere Uygulanan İşlem Basamakları [13, 14]

Numuneler mikroyapı analizleri için epoksi reçine içerisine alınarak sırasıyla 180, 300, 400, 600, 800, 1200 ve 2000 Mesh'lik su zımparaları ile zımparalandı. Sırasıyla 6 mikron, 3 mikron ve 0.25 mikron elmas pastalar ve etil alkol yardımı ile çuha yüzeyinde parlatma işlemi gerçekleştirilerek numuneler kimyasal dağlamaya hazır hale getirildi. Temizlenen yüzey $5HNO_3+5CH_3COOH+1H_3PO_4+11H_2O$ dağlayıcıda daldırma yöntemiyle dağlama işlemi yapılıp mikroyapı incelemesine hazır hale getirildi. Sertlik değerleri, HB30 Brinell cinsinden her bir numunenin farklı bölgelerinden ölçümler alınarak belirlendi. Yoğunluk Arşimet prensibine göre ASTM B-311 standardında uygun olarak ölçüldü. Numunelerin sehim değerini ölçmek için ASTM B 528-16 standartları baz alınarak 3 noktalı eğme deneyi yapıldı. Üretilen numunelerin mikroyapı analizi için elektron mikroskobu kullanıldı.

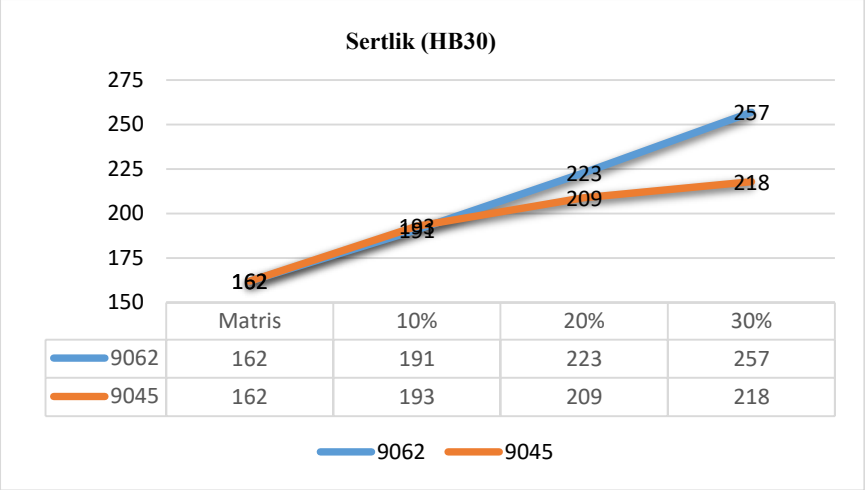
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada numunelerinin sertlik, yoğunluk, mikroyapı, 3 noktalı eğme ve XRD sonuçları aşağıda verildiği gibidir

3.1 Sertlik Ölçüm Sonuçları

Her iki numune grubu için Brinell sertlik ölçüm sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. Numunelerin HB30 sertlik değerleri; 9062 katkısı grubunda katkı oranı ile lineer biçimde doğru orantılı olarak artarken 9045 katkı grubunda katkı oranı artarken üstel azalarak artmıştır. Ana matris olan %85 Fe+ 10Ni+ 5Cu numunesinin ortalama sertlik değerleri 162 Brinell olarak bulunmuştur. Saf 9062 katkı malzemesi 60 HRC, saf 9045 katkı malzemesi 45 HRC olarak ölçülmüştür. Artan katkı oranları ile sertlik değerlerinde artışlar meydana gelmiştir. Katkı oranlarının

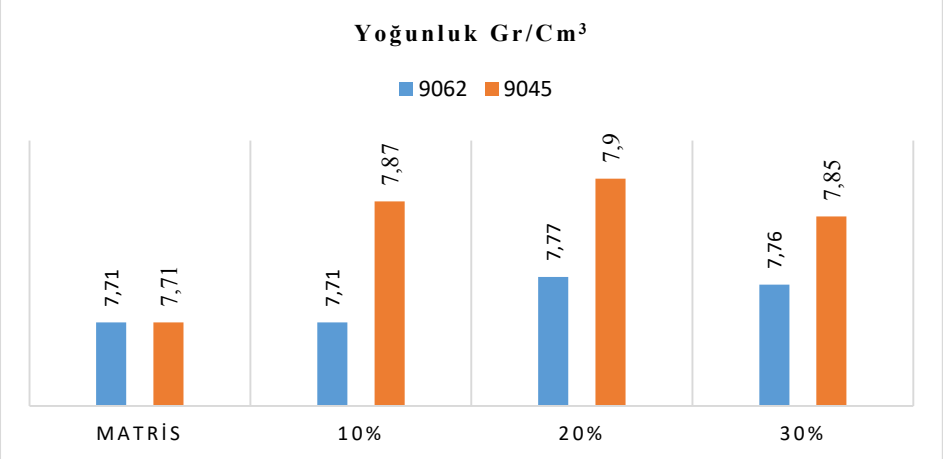
artması ile 9062 katkılı A2-A3 ve A4 numunelerinin sertlik değerleri sırası ile 191, 223 ve 257 HB30 olarak ölçülmüştür. 9045 katkılı olan A5, A6 ve A7 numunelerinde ise sertlik değerleri sırası ile 193, 209 ve 218 HB30 olarak ölçülmüştür.



Şekil 2. Numunelerin katkı oranlarına bağlı olarak elde edilen sertlik değerleri

3.2. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Şekil 3' de her iki numune grubu için Arşimet prensibine göre ASTM B 311 standardı kullanılarak elde edilen yoğunluk ölçüm sonuçları verilmiştir. Bu veriler sonucunda 9062 katkılı numunelerin yoğunluğunda az miktarda artış olurken 9045 katkılı numunelerde üstel olarak artmış ve artan katkı oranıyla azalmıştır.



Şekil 3. Numunelerin yoğunluk grafikleri

Numunelerin hesaplanan teorik yoğunluk değerleri ve porozite oranları Tablo 3' de gösterilmiştir. 9062 katkılı numuneler için porozite oranları yaklaşık %0.5 oranında değişmiştir. 9045 katkılı numunelerin porozite oranları 9062'ye göre bir miktar daha düşüktür. Bunun nedeni 9045 katkısının partikül boyutlarının daha küçük ve küresel şeklinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

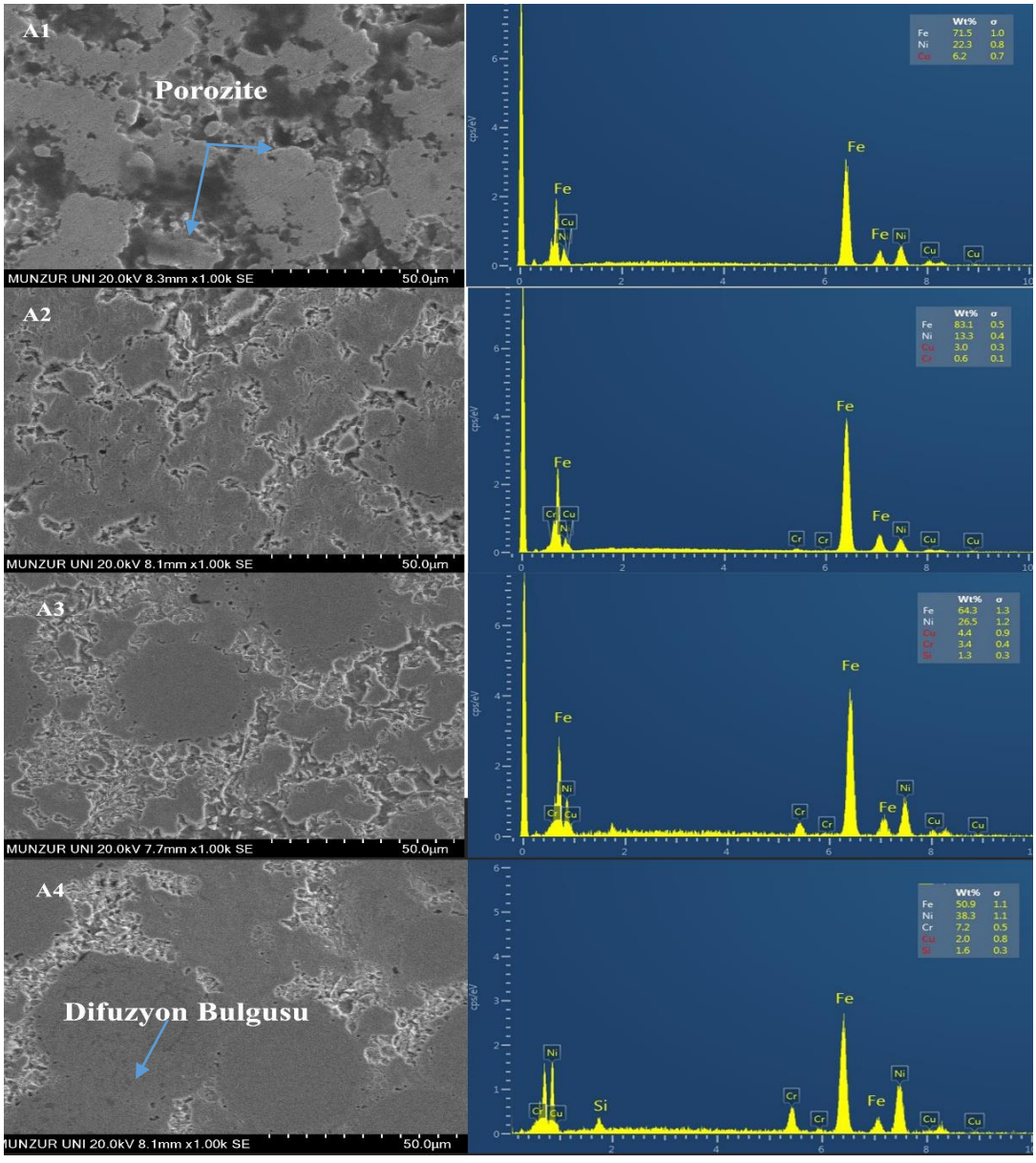
Tablo 3. Numunelerin Teorik Özkütle, Gerçek Yoğunluk ve Porozite Oran Değerleri

Numune Adı	Teorik Özkütle (gr/cm3)	Gerçek Özkütle (gr/cm3)	Porozite Oranı (%)
A1	8,03	7,71	3,99

A2	8,05	7,71	4,22
A3	8,07	7,77	3,72
A4	8,09	7,76	4,08
A5	8,06	7,87	2,36
A6	8,08	7,90	2,23
A7	8,11	7,85	3,21

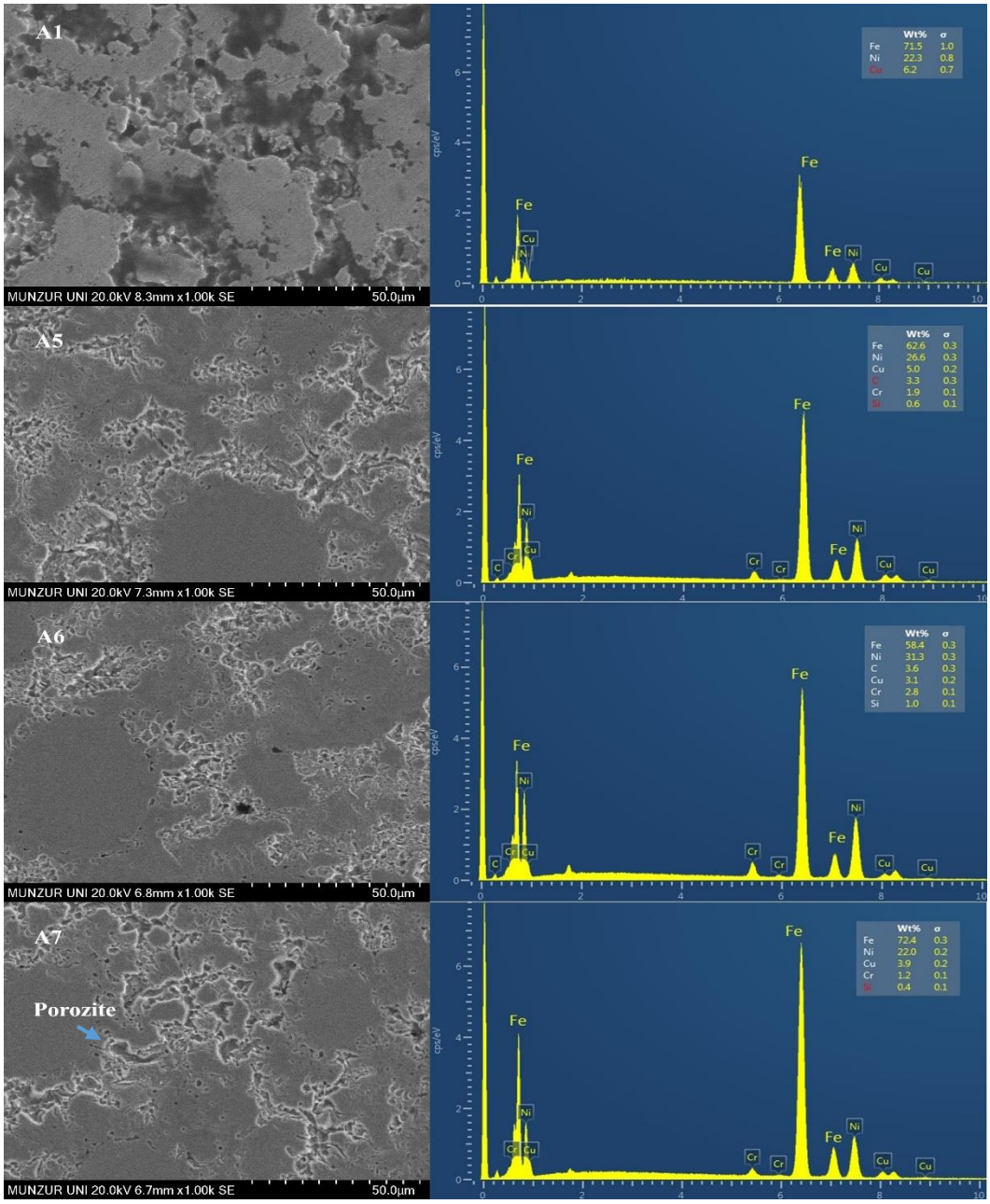
3.3. Mikroyapı Analizleri

Mikroyapı incelemeleri yapılırken, eklenen alaşım tozlarının yapıya etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için sinterlenmiş numunelerin 1000X büyütmelerdeki SEM resimleri incelenmiştir. Şekil 4'te A1 (%85Fe+ %10Ni+ %5Cu) A2, A3 ve A4 mikroyapı SEM resimleri ve EDS analizi gösterilmiştir.



Şekil 4. A1 ile 9062 katkılı A2, A3 ve A4 numunelerinin 1000X büyütmedeki SEM görüntüleri ve EDS analizleri

1000X büyütmedeki SEM fotoğraflarından anlaşılacağı üzere A1 numunesinde yapı içindeki porozitelerin varlığı açıkça görülmektedir. Matris içerisine katılan 2-3 mikron boyutundaki Fe partiküllerinin kısmi olarak birbirleri ile birleştiği görülmektedir. %10 9062 katkılı A2 Numunesi incelendiğinde katkı malzemesinin partikül şekillerinin küresel olmasından dolayı sıcak presleme sonrasında A2 numunesinin SEM görüntüsünde daha yoğun bir yapı gözlendi. Küresel partikül şekline sahip katkı ile etrafını saran ana matris arasında yüzey difüzyonunun veya bağlantısının oluşmamış olduğu yerlerde matris ile katkı ara yüzeylerinde küçük boyutlu porozitelerin mevcut olduğu görülmektedir. 9062 katkı oranının iki katına çıktığı A3 SEM görüntüsü incelendiğinde matris içerisinde ki katkı alaşımları ara yüzeyindeki poroziteyi minimize ettiği düşünülmektedir, ancak matris içlerindeki çukurlar varlıklarını sürdürmüşlerdir, bunların yanı sıra katkı oranı artışıyla katkı partikülleri arasında difüzyon meydana gelmiştir. Katkı oranının üç katına çıktığı A4 SEM görüntüsünde ise ara yüzeyde porozite büyük oranda azalmış, yoğunluk teorik yoğunluğa yaklaşmıştır. Bunun sonucunda, matris içi çukurlar azalmışlardır. Neticede 9062 katkılı numunelerde matris-katkı ara yüzeyi boşlukları en fazla A2 numunesinde en az ise A4 numunesinde oluşmuştur.



Şekil 5. A1 ile 9045 katkılı A5, A6 ve A7 numunelerinin 1000X büyütmedeki SEM görüntüleri ve EDS analizleri

A1 ile 9045 katkılı A5, A6 ve A7 numunelerinin 1000X büyütmedeki SEM görüntüleri ve EDS analizleri Şekil 5'de verilmiştir. Yine bu görüntülerde karşılaştırma ile en az porozitenin A6 numunesinde oluştuğu daha net görülmektedir. Sıcak presleme işleminde sıcaklık ve basıncın bir arada kullanılmasından dolayı katkı partikülleri matris içerisinde hareket etmiş, tane boyutları daha fazla ve mekanik özellikleri daha yüksek olduğu için yapı içerisinde kalarak matrisi sıkıştırıcı etkide bulunmuştur.

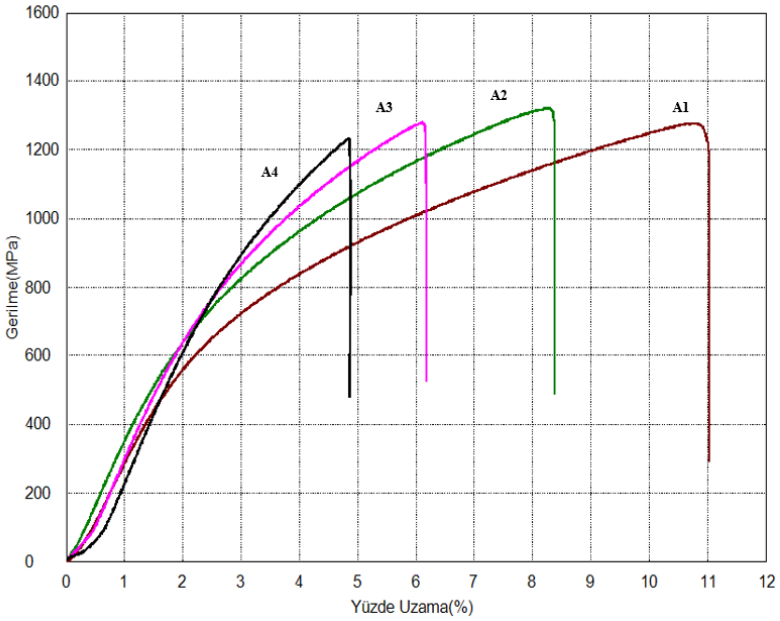
3.4. 3 Noktalı Eğme (TRS) Deneyi Sonuçları

Şekil 6 ve Şekil 7'de üretilen numenlerin 3 noktalı eğme grafikleri gösterilmektedir. Kıyaslamanın daha rahat yapılabilmesi ve matrise katlı alaşımlarının etkisi Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 4. Numunelerinin Gerilme (MPa) ve uzama(%) değerleri

Numune Adı	Gerilme (MPa)	Yüzde Uzama (%)
A1	1276	10,72
A2	1320	8,25
A3	1279	6,11
A4	1233	4,85
A5	1313	9,26
A6	1295	7,69
A7	1269	6,12

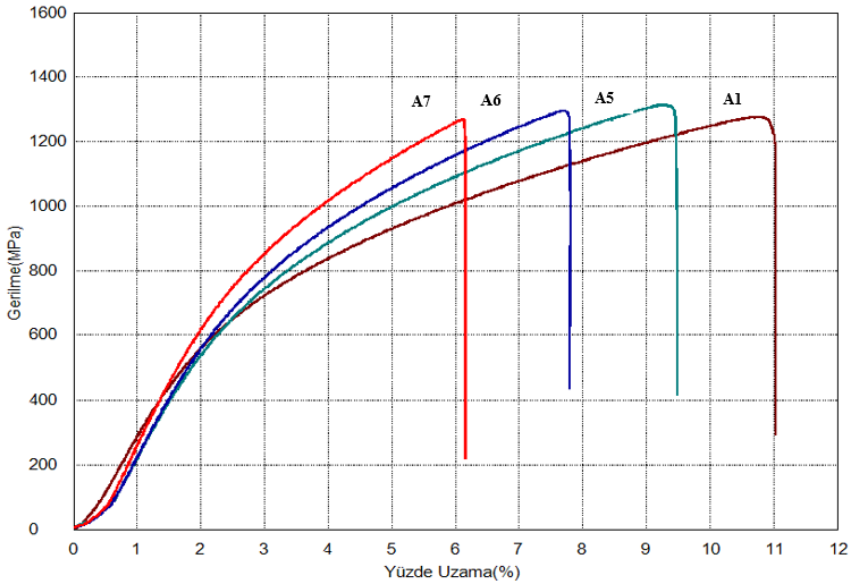
9062 katkılı Alaşım toz içeren A2, A3 ve A4 numunelerinin 3 noktalı eğme deneyi sonuçları Şekil 6' da gösterilmiştir.



Şekil 6. A1, A2, A3 ve A4, numunesinin 3 noktalı eğme deneyi sonucu grafiği

A1, A2, A3 ve A4 numuneleri için Elde edilen Gerilme (MPa) değerleri sırasıyla; 1276 MPa,1320 MPa, 1279 MPa ve 1233 MPa dır. (%) Uzama değerleri ise sırasıyla 10.72, 8.25, 6.11 ve 4.85 dir. Değerlerden anlaşılacağı üzere artan 9062 katkı oranı ile % uzama miktarının azaldığı görülmüştür. Ayrıca %10 katkılı A2 numunesinin 3 noktalı eğme mukavemet değerinin (1320 MPa) en yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum sertlik artışına neden olmuştur. 9062 toz partiküllerinin küresel şekilli olmasından dolayı artan katkı oranıyla eğme mukavemeti değeri azalmıştır [15].

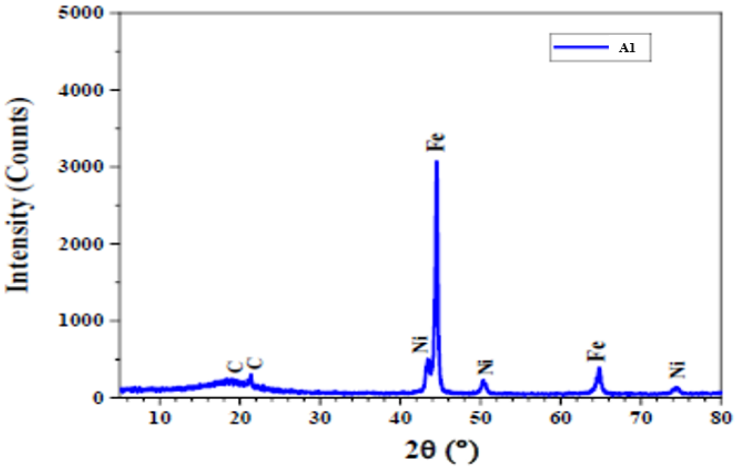
9045 katkılı Alaşım toz içeren A5, A6 ve A7 numunelerinin A1, numunesi ile karşılaştırmalı 3 noktalı eğme deneyi sonuçları Şekil 7 de gösterilmiştir. A5-A6 ve A7 numunelerinin üç noktalı eğme mukavemetleri sırasıyla 1313,1295 ve 1269 MPa'dır. % uzama değerleri ise sırasıyla 9.26, 7.69 ve 6.12 dir. 9062 katkılı A2 numunelerine eğme mukavemetleri A5 numunesinde bir miktar düşük çıkmıştır. Fakat %20 ve %30 katkılı A3 ve A4 numuneleri A6 ve A7 numuneleriyle karşılaştırıldığında daha yüksek çıkmıştır. 9045 katkısının toz partiküllerinin şekli 9062 katkı malzemesinin şekli gibi küreseldir fakat 9045 alaşım tozlarının partükül boyutu 9062 alaşım tozuna göre büyüktür. Metal ve alaşımlarında tane boyutunun küçülmesi spesifik önem arz eden bir konu olup tane boyutunun çeşitli yöntemlerle küçültülmesi tanelerin yüzey alanlarını büyüterek malzemelerin dayanım, süneklik ve sertliğini artırmakta, ve ayrıca çatlak veya kırık denilen yarılmaları da azaltmaktadır [16], yani malzemelerin kullanım ömürlerini artırmaktadır.



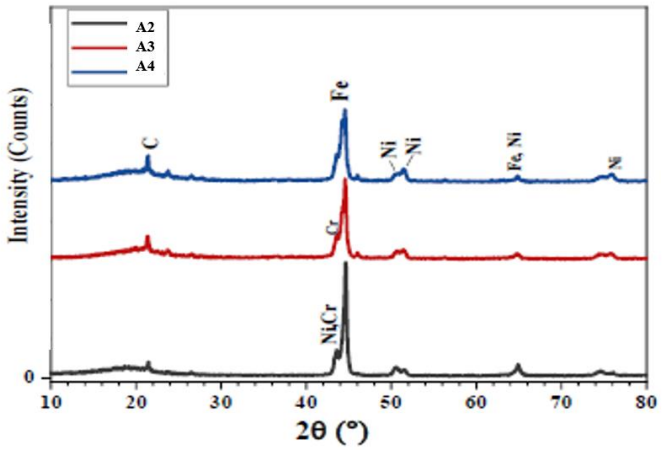
Şekil 7. A1, A5, A6, A7 numunesinin 3 noktalı eğme deneyi sonucu grafiği.

3.5. XRD Analiz Sonuçları

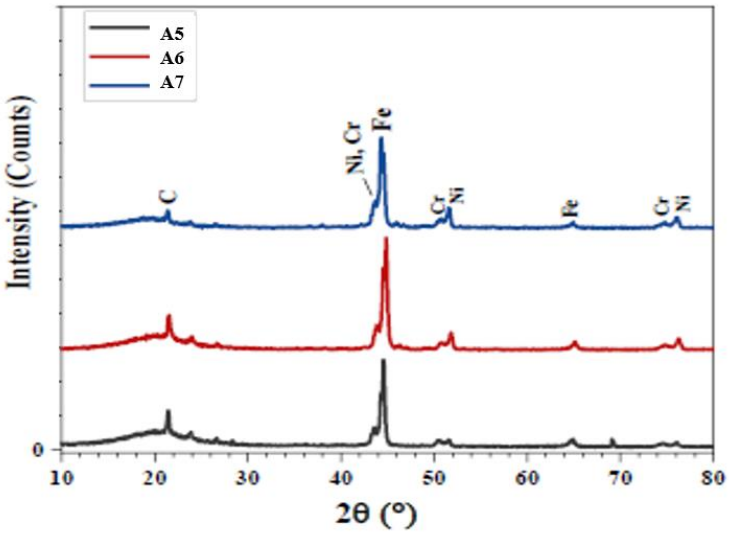
Sıcak presleme işlemi sonrasında sıcaklığın (920 ºC) etkisiyle oluşan mikroyapısal fazlar XRD ölçümleri ile analiz edilmiştir. Numunelerin oda sıcaklığında elde edilen X-ışını kırılımları Şekil 8, 9 ve 10'da verilmiştir. XRD analizleri incelendiğinde ana demir piklerinin haricinde başka yönelimli demir ve diğer element bazlı intermetalik ara faz veya bileşik yapılı pikler de gözlenmiştir. Yine bütün numunelerde ikinci en çok miktarda bulunan esas alaşım metali olan nikel (Ni) pikleri de tüm grafiklerde belirlendi. Tüm numunelerde kullanılan bakır (Cu) elementi miktarı az oranda olduğundan Cu pikleri yalnızca bazı numunelerde gözlendi. Ayrıca tüm numunelerde 20º civarlarında bir veya iki adet küçük sığ karbon (C) pikleri gözlenmiştir ki bu karbon piklerinin XRD ölçümü hazırlığında numunelerin kaplandığı reçine maddesindeki karbon bazlı bileşiğe ait olduğu düşünülmektedir. Tüm numuneler arasında en az polikristal yapıda [17] olan referans A1 numunesidir, diğerlerinde ise katkı elementlerinin miktarı ve çeşitliliğinin artışına bağlı olarak ara faz veya bileşik oluşumlarının sayı ve çeşidi artmıştır. Tane küçülmeleriyle birlikte oluşan küçük fazlı yapılar (polikristal yapılar) elmas tutucu matrislerin elmas tutma kapasitelerini [14] veya performanslarını artıran bir durumdur.



Şekil 8. A1 numunesinin XRD grafiği



Şekil 9. 9062 katkılı A2, A3 ve A4 numunelerinin XRD grafikleri



Şekil 10. 9045 katkılı A5, A6 ve A7 numunelerinin XRD grafikleri

4. SONUÇLAR

Elde edilen genel sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Numunelerin HB30 sertlik değerleri; 9062 katkısı grubunda katkı oranı ile lineer artmış ve %20 den sonra değişmemiştir, 9045 katkı grubunda katkı oranıyla artarken üstel olarak artarak azalmıştır.
- Sertlik deneylerinde en yüksek sertlik değeri 9062 katkı gurubunda gözlenmiştir. Bunun nedeni 9062 katkı malzemesinin 9045 katkı malzemesinden daha sert olmasıdır.
- 9045 takviyeli grup numunelerin yoğunlukları Fe-Ni-Cu matrise kıyasla takviye oranı arttıkça artış göstermiştir. Fakat bu %30 takviye oranı ile bir miktar azalmıştır.
- En yüksek porozite yüzdesi %20 oranında 9045 katkılı numunede tespit edilmiştir.
- 9045 ve 9062 numunelerin SEM görüntülerinde düzgün küresel tozların yapı içerisinde homojen dağıldığı görülmüştür.
- %10 9045 ve %10 9062 katkılı numunelerin üç noktalı eğme ve yüzde uzama değerleri matris malzemesine göre artmıştır. Katkı oranı arttıkça bu değerlerde azalma görülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] Hughes, F.H., 1980, The early history of diamond tools. Industrial Diamond Review, November, 405–407.

[2] Lundblad, H., 1990, Swedish synthetic diamond scooped the world 37 years ago. Indiaqua, No. 55 /1 17–23.

[3] Tillmann, W., 1999, Trends and market perspectives for diamond fools in the construction industry. Proc European Conference on Advances in Hard Materials Production, Turin, Italy, November 8-10, 3-14.

[4] Mudd, G.M. (2010). Global trends and environmental issues in nickel mining. *Sulfides versus laterites, Ore Geology Reviews 38*, pp. 9–26

[5] Scoot-Fordsmand, J.J. (1997). Toxicity of nickel to soil organisms in Denmark. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 148, 1, 1997.

[6] Grandjean, P. (1984). Human exposure to nickel. *IARC Sci. Publ. 53,* 469, 1984.

[7] Anonim, 2009 Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 25 (1-2) 302 - 330 Erişim Tarihi: 20.05.2015

[8] German, R.M. 2005. Powder metallurgy and particulate materials processing, Metal powder industries federation, Princeton, USA, pp. 522.

[9] German, R.M., 1984. 472 p, Powder Metallurgy Science, MPPIF, USA.

[10] Klar E. And Fesko J. W., Gas and Water Atomization, Metals Handbook, V7, ASM, 1984

[11] Lawyer A., Atomization, the Production of Metal Powders, MPIF, Princetion, 1992.

[12] Uygur M. E., "Toz Metalurjisi : Ekonomik Bir Üretim Tekniği", 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, Gazi Üni., Ankara, 1996

[13] Güneş, Ç., 2022. Ni Esaslı Katkı Malzemelerinin Matris Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Munzur Üniversitesi, Tunceli.

[14] Çelik, E., 2009. Elmaslı kesici takımlarda alternatif bağlayıcılar. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.

[15] Demir, A., 2004. Effect of gas pressure infiltration on microstructure and bending strength of porous Al2O3/SiC-reinforced aluminium matrix composites. Composites science and technology, 64(13-14):2067-2074.

[16] Calcagnotto, M., 2010. Effect of grain refinement to 1 μm on strength and toughness of dual-phase steels. Materials Science and Engineering A., 527(29-30):7832-7840.

[17] Ghosh, B., 2018. Defect induced room temperature ferromagnetism in single crystal, polycrystal, and nanorod ZnO: A comparative study. Journal of Applied Physics, 123(16):161507.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 829-837, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1148296

Görüntülerden Derin Öğrenmeye Dayalı Otomatik Metin Çıkarma: Bir Görüntü Yakalama Sistemi

Zeynep KARACA[1*], Bihter DAŞ[2]
[2] Yazılım Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[*1] krczeynep1996@outlook.com, [2] bihterdas@gmail.com

(Geliş/Received: 25/07/2022; Kabul/Accepted:26/09/2022)

Öz: Bilgisayarlı görme ve doğal dil işlemenin çalışma alanlarından biri olan görüntüden metin üretme (image capturing), doğal bir dil kullanarak görüntü içeriğini otomatik olarak tanımlama görevidir. Bu çalışmada, MS COCO veri seti üzerinde İngilizce dili için encoder-decoder tekniğine dayalı bir otomatik altyazı oluşturma yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşımda, görüntü özniteliklerini çıkarmak için encoder olarak Evrişimli Sinir Ağı (CNN) mimarisi ve görüntülerden altyazı oluşturmak için bir decoder olarak Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN) mimarisi kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımın performansı BLEU, METEOR ve ROUGE_L değerlendirme kriterleri kullanılarak değerlendirilmiş ve her bir görüntüden 5 cümle elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar, modelin görüntülerdeki nesneleri doğru bir şekilde algılamada tatmin edici olduğunu göstermektedir.
Anahtar kelimeler: Doğal Dil İşleme, Görüntüden Metin Üretme, Metin Tarama, Metin Tahmini, Derin Öğrenme

Automatic Text Extraction Based on Deep Learning from Images: An Image Capture System

Abstract: Image capturing, one of the working areas of computer vision and natural language processing, is the task of automatically identifying image content using a natural language. In this study, an encoder-decoder technique-based automatic captioning approach is proposed for the English language on the MS COCO dataset. In the proposed approach, Convolutional Neural Network (CNN) architecture is used as an encoder for extracting image features, and Recurrent Neural Network (RNN) architecture is used as a decoder for creating subtitles from images. The performance of the proposed approach was evaluated using BLEU, METEOR, and ROUGE_L evaluation criteria, and 5 sentences were obtained from each image. The experiment results show that the model is satisfactory in correctly detecting the objects in the images.

Keywords: Natural Language Processing, Image Capturing, Text detection, Text Prediction, Deep Learning

1. Giriş

Dijital ortamlardaki görüntü sayısındaki artış her geçen gün artmaktadır. Bu artış, görüntü işleme, örüntü tanıma ve görüntü altyazısı üzerine yapılan çalışmalarda büyük ilgi uyandırmaktadır. Doğal bir dil kullanarak bir görüntünün içeriğinin otomatik olarak belirlenmesi ve insan benzeri bir doğal açıklamanın otomatik olarak çıkarılması, görüntüden metin üretilmesi olarak adlandırılmaktadır [1,2]. Bir görüntünün metinsel tanımını oluşturma, görüntüdeki nesneleri tanıma, anlamsal ilişkiler, arka plan sahnesini anlama ve bu bilgiyi sözdizimsel olarak doğru cümlelere dönüştürme süreci image capturing çalışma konularıdır. Verilen görüntüyü anlamsal olarak en iyi tanımlayan cümleyi üretmek amaçlanmaktadır [3]. Resim yazısı sorunu hem bilgisayarlı görmenin hem de doğal dil işlemenin bir parçası olarak görülmektedir [4,5]. Bu bağlamda metin üretme (image capturing) için yalnızca görüntünün içeriğini anlamak değil, aynı zamanda söz dizimsel ve anlamsal olarak doğru bir alt başlık bulmak, nesneler arasındaki anlamsal ilişkileri çıkarmak, resimdeki detayları yakalamak, konuyu anlamak için yeterlidir. Arka plan sahnesi ve bu bilgiyi insanların doğal bir konuşması olarak tanımlamak oldukça önemlidir [6,7]. Görüntüden metin üretme işleminde sistem görüntüdeki nesneleri tanımlar, görüntünün göze çarpan özelliklerini bulmaya çalışır ve bilgileri çıkardıktan sonra görüntü için en anlamsal ve sözdizimsel olarak en uygun ve kısa özet cümleyi üretmelidir [8]. Oluşturulan açıklama bağımsız ve anlamsal olarak doğruysa, kullanıcıya anlamlı bilgileri belirsizlik olmadan iletecektir [9]. Bir görüntüyü anlama ve o görüntüyle ilgili metin oluşturma süreci bilgisayarlar için çok karmaşıktır. Metin üretilmesi sistemi, görüntüyü en iyi tanımlayan cümleyi oluşturmak için yapay zekanın doğal dil işleme ve bilgisayarla görme yeteneklerini kullanmaktadır. Bunu yaparken sistem, görüntü içeriğini en iyi şekilde anlamak için görüntü içeriğini cümlelere çevirmek için bir kod çözücü kullanmaktadır. Derin öğrenme yöntemlerinden olan Evrişimli Sinir Ağları (ESA) ve Tekrarlayan Sinir Ağları (TSA) bu alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. ESA yöntemleri, görüntü altyazıları için kodlayıcı olarak

* Sorumlu yazar: krczeynep1996@outlook.com. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0002-7751-8567, [2] 0000-0002-2498-3297

kullanılırken [10-12], TSA, görüntü içeriğini açıklama semantiği olarak veren bir kod çözücü olarak kullanılır [13,14]. TSA, anlamlı ve tutarlı cümleler oluşturmak için görsel semantik birimlerden görüntüler alır ve ardından görsel birimleri metinsel kelimelere dönüştürmek için generator tasarlar. Bu çalışma, resim yazısı problemlerini çözmek için sinir ağı tabanlı bir model önermektedir. Önerilen model, bir kodlayıcı ve kod çözücü kullanan bir sistemi tanıtmaktadır. Sistem, görüntülerden özellikleri çıkarmak için ESA yöntemini ve ilgili alt başlığı ve metni oluşturmak için TSA yöntemini kullanır.

Makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2, literatürde bu alanda yapılan çalışmaların kısa bir özetini sunmaktadır. Üçüncü bölümde deneysel yöntemde kullanılan veri seti, ESA modeli, kodlayıcı-kod çözücü ve performans değerlendirme kriterlerinden bahsedilmiştir. 4. bölümde önerilen yöntemle ilgili bulgulara yer verilmiş, çalışmanın genel katkıları Sonuç bölümünde sunulmuştur.

2. Literatür taraması

Literatürde otomatik olarak görüntü alt yazısı oluşturmaya yönelik çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların çoğunda makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri kullanılmıştır. Bai et al. ESA+ESA tabanlı altyazıyı geliştirmek için MS COCO veri kümesinde Multi-model Graphical Convolutional Network (MGCN) yöntemini kullandı. Arkaplan grafiğini işlemek ve görüntüler üzerinde özellik çıkarımı için nesneler arasındaki görsel ilişkileri göstermek için bir iyileştirme yöntemi geliştirdiler [15]. Kılıçkaya et al. Bir görüntünün içerdiği nesnelere bağlı olarak görüntünün daha yüksek düzeyde bir temsilini elde etmek ve görüntünün tanımını ondan otomatik olarak çıkarmak için Im2Text yöntemini önermişlerdir. Veri seti olarak Pascal cümleleri kullanılmıştır [16]. Lu et al. güzel sanatlara yönelik resim içeriğini tanımlamak için bir model önermişlerdir. Önerilen yöntemin performansı, genel bir altyazı veri seti olan ArtCap veri seti [17] üzerinde değerlendirilmiştir. Yang et al. insan davranışını bir görüntüde tanımlamak için yeni bir konu, insan merkezli altyazı oluşturmayı amaçlamıştır. İnsanlara odaklanan yeni bir COCO veri seti oluşturmuşlardır. Çalışmada, görüntü özelliklerini hiyerarşik hale getirmek için yeni bir üç dallı başlık modeli kullandılar. Çalışma, mevcut çalışmalara göre bazı iyileştirmeler yapmış olsa da daha ayrıntılı açıklamalar üretmek için yeterli değildi [18]. Agrawal ve ark. bir kodlayıcıya ve dikkat tabanlı bir kod çözücüye dayalı bir altyazı oluşturucu modeli önerdi. Çalışmanın Inception V3 modelinde, ESA kodlayıcıdan sonra tanıtılan dikkat mekanizması ile giriş sahnesi görüntüsündeki en alakalı bilgilere dikkat edildi. Böylece kod çözücü, altyazıyı oluşturmak için görüntünün yalnızca belirli kısımlarını kullandı. Veri seti olarak MS-COCO kullanıldı. Önerilen model, altyazıyı geleneksel kodlayıcı-kod çözücü tabanlı modelden daha fazla geliştirdi [19]. Li ve ark. resim yazısı için yeni çok seviyeli benzerlik odaklı anlamsal eşleştirme yöntemi önerdiler. Çalışmada, görsel ve metinsel anlam birimleri arasındaki ilişkiyi ölçmek için yerel bir anlamsal benzerlik değerlendirme mekanizması tasarlanmıştır. Yöntem, MS COCO veri kümesi üzerinde test edilmiştir. Bu amaçla görüntünün görsel anlam birimleri ile oluşturulan cümlenin metinsel anlam birimleri eş zamanlı olarak çıkarılmıştır [20]. Tablo 1, görüntüden metin üretme için mevcut çalışmaların bazılarını listeler.

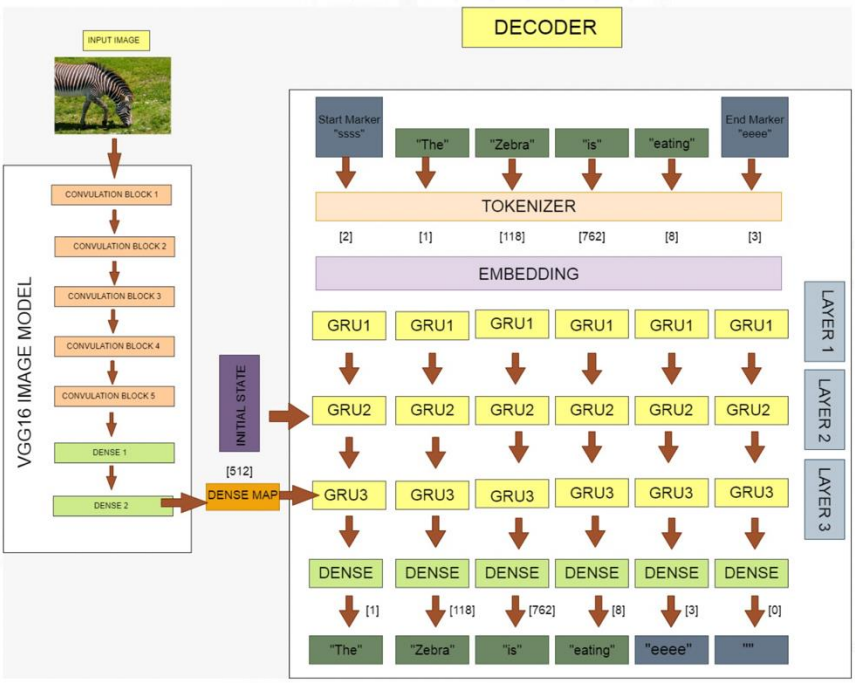
Tablo 1. Görüntüden metin üretimi için yapılmış çalışmalardan bazıları

Yazar	Veriseti	Yöntem	Sonuçlar
Bai ve ark. [15]	MC-COCO	MGCN	BLUE2=0.567 METEOR=0.281
Kilickaya ve ark. [16]	Pascal cümleleri	Im2Text	BLUE1=0.11
Lu ve ark. [17]	MSCOCO+ArtCap	Faster R-CNN	BLUE1=0.508 METEOR=0.1317
Yang ve ark. [18]	HS-COCO	HCCM	BLUE1=0.839 METEOR=0.304
Agrawal ve ark. [19]	MS-COCO	Inception V3	-----
Li ve ark. [20]	MS-COCO	CNN+RNN	-----

3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada otomatik resim alt yazıları oluşturan bir model sunulmuştur. Çalışmadaki deneysel uygulamada, görüntülerin özniteliklerinin çıkarılmasından sorumlu ESA mimarisine sahip bir kodlayıcı ve altyazıların

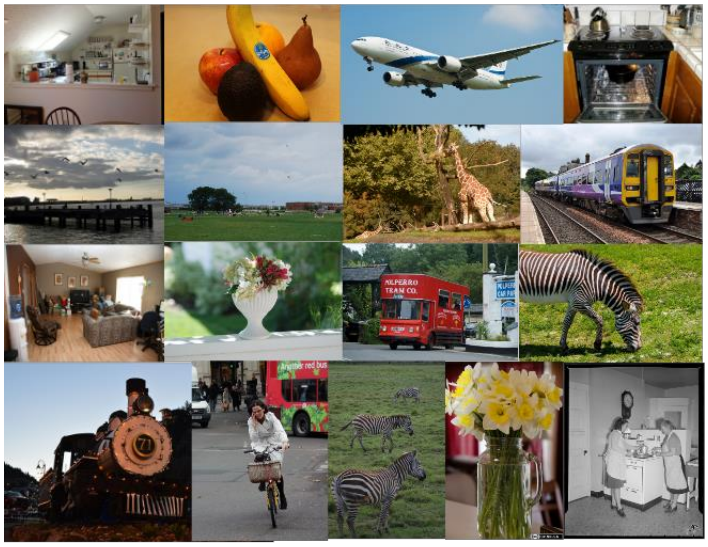
oluşturulmasından sorumlu TSA mimarisine sahip bir kod çözücü kullanılmıştır. Bu birleşik sistemle, ingilizce metin üretme kodlayıcı-kod çözücü modeli, MS-COCO veri kümesi üzerinde test edilir. Bu model, görüntüleri tanımada çok iyi olan VGG16 veri modelini kullanmaktadır. VGG16 modeline görüntü verildikten sonra 5 convolution bloğu ve 2 dense katmanından geçirilerek düşünce vektörü (thought vector) üretilir ve görüntünün içeriği bu thought vektörüne yazılır. Görüntünün içeriğini açıklayan thought vektörü ve doğru cümle, kod çözücüye girdi olarak verilir. Kod çözücüye verilen cümlenin başına başlangıç belirteci, sonuna ise bitiş belirteci eklenir. Kod çözücü, çıktı olarak kelimeler üretir. Son cümle, bu kelimelerin gerçekte olması gereken kelimelerle karşılaştırılmasıyla üretilir. Önerilen sistemin mimarisi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Önerilen sistemin mimarisi

3.1 Veri seti

Bu çalışmada, Tsung-Yi Lin ve diğerleri tarafından oluşturulan Microsoft Common Objects in Context (MS COCO) veri seti [10] için kullanıldı. MS COCO veri kümesi, çoğunlukla sinir ağları olmak üzere bilgisayarla görme için zorlu, yüksek kaliteli görsel veri kümeleri içerir. Büyük veri seti, doğal bir bağlamda ortak nesnelerin ve günlük sahnelerin açıklamalı fotoğraflarından oluşmaktadır. Bu nesneler, "sandalye" veya "muz" gibi önceden tanımlanmış sınıflar kullanılarak etiketlenmektedir. Çalışmada eğitim için 118.287 veri kullanılırken, test için 5000 görüntü ve toplam 123.287 görüntü kullanılmıştır. Şekil 2, MS COCO veri tabanından bazı etiketlenmiş görüntüleri göstermektedir.



Şekil 2. MS COCO veri setinden bazı orijinal görüntüler

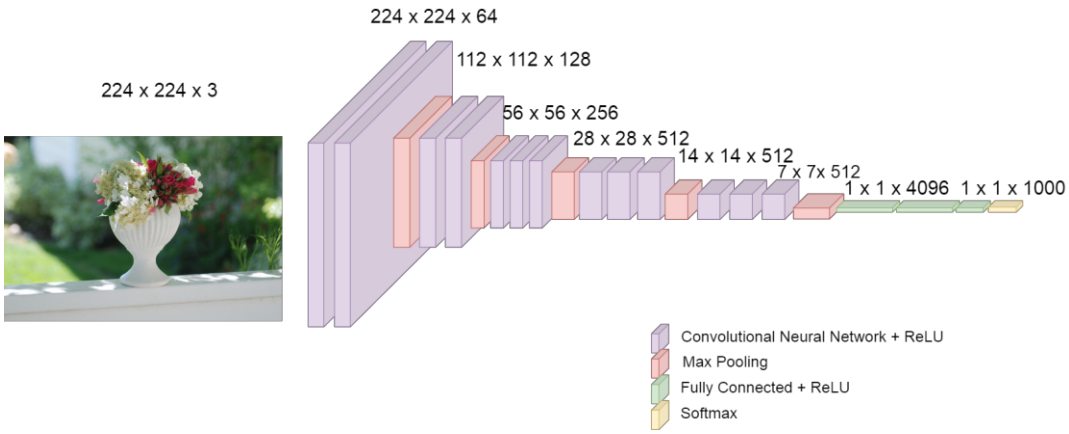
3.2 Evrişimsel Sinir Ağları

Evrişimsel Sinir ağları (ESA-Convolutional Neural Networks-CNN), görüntü tanıma ve sınıflandırmada kullanılan bir derin öğrenme ağları sınıfıdır. ESA yönteminde girdi olarak verilen görüntünün bilgisayarlar tarafından tanınması ve işlenmesi için matris formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Aynı görünen iki görüntü arasındaki farkı söylemek oldukça zordur. Ancak matris formatına dönüştürülen görüntüler arasındaki detaylar kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Matrislerdeki farklılıklara göre oluşturulan sistem bu şekilde hangi görüntünün hangi etikete ait olduğunu belirlemektedir. Kenar algılama, giriş görüntüsünün yüksek frekanslı bölgelerini temsil etmektedir. Bu öznitelik bilgisini elde etmek için yatay ve dikey olmak üzere iki filtre kullanılır. Ortaya çıkan çıktı, görüntünün kenar bilgilerini göstermektedir. Kenarlar genellikle bir evrişimli ağ modelinin ilk katmanlarında hesaplanmaktadır [21,22].

3.2.1 VVG16 modeli

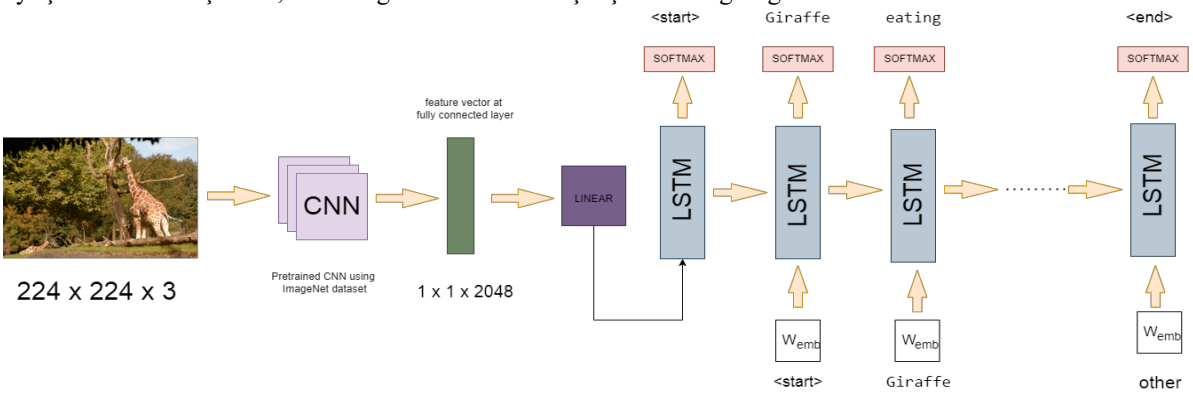
VGG16, görsel nesne tanıma araştırmalarında yaygın olarak kullanılan büyük bir CNN mimarisidir. VGG16'daki 16 sayısı, ağırlıklarla birlikte 16 katmanı olduğu anlamına gelmektedir. Bu, yaklaşık 138 milyon parametreye sahip büyük bir ağdır [23]. Eğitim sırasında, ImageNet veri kümesi sabit boyutlu 224 x 224 RGB görüntü içermektedir. Yani girdi olarak (224,224.3) tensor bulunmaktadır. Eğitim setinde hesaplanan ortalama RGB değerinin her pikselden çıkarılması burada yapılan tek ön işlemedir [24].

Model 13 evrişim katmanına, ardından 5 max-pooling katmanına, üç tam bağlantılı katmana (full connected layers) ve son olarak softmax katmana sahiptir. Ağ, giriş boyutlarına, 3*3 filtre boyutuna ve aynı dolguya sahip 64 kanala sahiptir. Daha sonra max-pooling (2.2) katmanından sonra, 256 filtre boyutuna (3.3) evrişim katmanına sahip iki katman vardır. Önceki katmanda olduğu gibi, max-pooling (2,2) eklenmektedir. Filtre boyutu (3,3) ve 256 filtre ile 2 evrişim katmanı eklenmektedir. Evrişim ve maksimum havuzlama katmanlarından sonra bir (7,7,512) özellik haritası elde edilir. Daha sonra, tam olarak bağlı 3 katmandan sonra, sınıflandırma vektörünü normalleştirmek için softmax katmanına geçilir. Sınıflandırma vektörünün ilk 5 kategorisinin çıktısından sonra, tüm gizli katmanlar aktivasyon fonksiyonu olarak ReLU'yu kullanmaktadırlar. ReLU, daha hızlı öğrenme ile sonuçlandığından ve ayrıca kaybolan gradyan probleminin olasılığını azalttığı için hesaplama açısından daha verimlidir [25]. Şekil 3, kullanılan VGG16 mimarisinin yapısını göstermektedir.



Şekil 3. Kullanılan VGG16 mimarisi

ESA mimarisine dayalı modelde, giriş görüntüsündeki ana nesneler için nesne algılama modeli tarafından etiketler ve sınırlayıcı kutular oluşturulur. Nesne özellikleri, bu sınırlayıcı kutu kullanılarak nesne algılama modelindeki ara katmanlardan çıkarılır ve nesneleri tanımlayan metinsel sözcükleri elde etmek için cümleler ayrıştırılmaktadır. Şekil 4, nesne algılama modelinin çalışma mantığını göstermektedir.



Şekil 4. Nesne algılama modeli

3.3 Kodlayıcı-Kod çözücü

Giriş görüntüsü, VGG16 modeli kullanılarak sisteme tanıtılmaktadır. Görüntü sırasıyla 5 evrişim katmanından ve ardından 2 yoğunluk katmanından (dense layers) geçmektedir. Son olarak görüntü çıktı katmanından geçmeden thought vektörüne gönderilmektedir. Çünkü sonuç olarak bir tahmine değil, bir thought vektörüne ihtiyaç vardır. Kod çözücüye (decoder) verilecek cümlenin başına "başlangıç token", sonuna "bitiş token" eklenir. Thought vektörünü ve resim içeriğini tanımlayan doğru cümle Decodera'ya girdi olarak verilir. Decoder çıktı olarak kelimeleri üretecek ve üretilen bu kelimeler olması gereken kelimelerle karşılaştırılarak sinir ağı oluşturulacaktır.

4. Deneysel sonuçlar ve tartışma

Literatürde metin üretilmesine yönelik çalışmaların başarısını değerlendirmek için kullanılan çeşitli otomatik değerlendirme kriterleri bulunmaktadır. BLUE, ROUGE, METEOR ve CIDer, görüntülerden metin üretilmesi için en çok kullanılan değerlendirme kriterleridir. Bu kriterlerin değerleri 0-1 arasında değişmektedir. 1'e yakın değerler yapay zekanın insan çevirisi kadar başarılı olduğunu, 0'a yakın değerler ise başarı oranının çok düşük olduğunu göstermektedir. [10]'da metin üretme için otomatik metrikler üzerine kapsamlı bir araştırma yapılmış ve

bu metriklerin nasıl yorumlanacağı ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu çalışmada kullanılan kriterler BLUE-1, BLUE-2, BLUE-3, BLUE-4, METEOR ve ROUGE_L'dir.

BLUE: Makine tarafından çevrilmiş metnin bir dizi yüksek kaliteli referans çevirisine benzerliğini ölçen sıfır ile bir arasında bir metriktir. 0 değeri, makine tarafından çevrilen çıktının referans çevirisiyle eşleşmediği anlamına gelirken, 1 değeri, referans çevirileriyle mükemmel bir eşleşme olduğu anlamına gelmektedir [26].

METEOR: Makine çevirisi değerlendirmesi için kullanılan ve insan muhakemesi ile daha iyi bir korelasyona sahip başka bir ölçüm metriğidir [27].

ROUGE: Bu metrik hatırlamaya dayalıdır ve çoğunlukla özet değerlendirme için kullanılmaktadır. Geri çağırmayı hesaplamak için kullanılan özelliğe bağlı olarak ROUGE, ROUGE-N, ROUGE-L, ROUGE-W ve ROUGE-S gibi birçok türde kullanılabilmektedir [28].

Önerilen yaklaşım kullanılarak MSCOCO veri setinde metin üretme için elde edilen performans değerlendirme sonuçları Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Değerlendirme sonuçları

Algoritma	Model Performansı
BLUE-1	0,641
BLUE-2	0,420
BLUE-3	0,334
BLUE-4	0,185
METEOR	0,056
ROUGE_L	0,117

Önerilen yaklaşım kullanılarak elde edilen görüntüler için ingilizce altyazı sonuçları Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmektedir. Literatürde görüntü yakalamaya yönelik 2 cümleli ve 3 cümleli metin üretimi yaygındır. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada önerilen yaklaşımla hem az nesne içeren görüntülerden hem de çok nesne içeren görüntülerden İngilizce olarak 5 cümle üretilmeye çalışılmıştır.



A giraffe eating food from the top of the tree.
A giraffe standing up nearby a tree.
A giraffe mother with its baby in the forest.
Two giraffes standing in a tree filled area.
A giraffe standing next to a forest filled with trees.



A zebra grazing on lush green grass in a field.
Zebra reaching its head down to ground where grass is.
The zebra is eating grass in the sun.
A lone zebra grazing in some green grass.
A zebra grazing on grass in a green open field.

Şekil 5. Az nesne içeren görüntüler için metin üretme sonuçları



An unusual looking red bus going down a road.
A bus driving down the street next to some buildings and trees.
A red tram carrying a group of people on a tour.
A red double decker vehicle driving down a street.
A big red bus that is driving down the road.



A living room filled with furniture on top of a hard wood floor.
A living room with big couches and a ceiling fan.
A living room filled with couches chairs and a water cooler sitting on a hard wood floor.
Living room with wood floor TV couches and chair.
A very big nice-looking room with a bright window.



A watery glass jar full of blooming flowers.
A vase filled with yellow and white flowers.
A glass jar is filling with white and yellow flowers.
A glass vase is holding a bunch of flowers.
Tall glass mug shaped vase with yellow flowers.

Şekil 6. Çok nesneli görüntüler için metin üretme sonuçları

Önerilen yaklaşımın performans sonuçları Tablo 2'ye göre analiz edildiğinde BLUE-1 sonucunun tatmin edici olduğu ancak METEOR ve ROUGE_L metriklerinin istenilen düzeyde olmadığı görülmektedir. Sonuçlar kendi içinde karşılaştırıldığında BLUE-1 ve BLUE-2'nin diğer metriklere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bunun olası nedenleri, çok nesneli görüntülerde önerilen VGG16 mimarisinin yeterli performans gösterememesi, bu mimarinin az nesneli görüntülerde daha başarılı olmasıdır. Şekil 5 ve Şekil 6 incelendiğinde, az nesneli görüntüler ve çok nesneli daha karmaşık nesneler için önerilen yaklaşım, görüntüdeki nesneleri algılamada kısmen yeterli olsa da nesneler arasında ilişki kurmada zayıf kalmaktadır. Ayrıca sonuçlar incelendiğinde önerilen yaklaşımın dilbilgisi açısından doğru cümleler kurma konusunda bazı eksiklikleri bulunmaktadır. Örneğin, Şekil 6'daki "A living room filled with couches chairs and a water cooler sitting on a hard wood floor" cümlesinde olduğu gibi, kanepeler (sofas), su soğutucusu (water cooler) ve sert ahşap (hard wood) zemin algılanmışken resimdeki kutular (boxes) ve bilgisayar (computer) algılanmamıştır.

5. Sonuç

Bu çalışmada, resim alt yazıları elde etmek için literatürde var olan yaklaşımlar incelenmiş ve ESA+TSA tabanlı bir görüntülerden metin üretilmesi yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşımda, MSCOCO veri setinden alınan görüntüler girdi olarak modele verilmiş ve çıktı olarak o görüntüyü açıklayan bir cümle elde edilmesi amaçlanmaktadır. Görüntüler VGG16 modeline verilmiş ve model çıktısından sonra elde edilen veriler thought vektörüne yazılmıştır. Düşünce vektörünü ve görüntünün içeriğini açıklayan doğru cümle, kod çözücüye girdi olarak verilir. Çalışmanın sonunda her bir görsel için 5 adet cümle üretilmiştir. Elde edilen cümleler görüntüdeki nesneleri algılamıştır. Önerilen yaklaşımın, görüntülerdeki nesneleri algılamak için tatmin edici cümleler ürettiği görülmüştür. Ancak üretilen cümlelerin performanslarını ölçmek için kullandığımız metriklerden sadece BLUE-1 performans ölçeği 1 değerine yakın çıkmıştır. Diğer performans metriklerinin 1'e yakın çıkmadığı görülmektedir. Bu çalışmamızın dezavantajlarındandır. Bundan sonraki çalışmalarda daha detaylı nesne algılama sürecinin elde edilmesi, görüntü başlığı oluşturulurken arka plan algısının iyileştirilmesi ve görüntüyü açıklayan cümle oluşturulurken daha anlamlı ve uzun cümlelerin elde edilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] C. P. Chaudhari ve S. Devane, "Capturing Semantic Knowledge In Object Localization In Captioning Images", içinde 2021 International Conference on Communication information and Computing Technology (ICCICT), Haz. 2021, ss. 1-4. doi: 10.1109/ICCICT50803.2021.9510175.

[2] A. U. Dey, S. K. Ghosh, E. Valveny, and G. Harit, "Beyond visual semantics: Exploring the role of scene text in image understanding," *Pattern Recognition Letters*, vol. 149, pp. 164–171, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.patrec.2021.06.011.

[3] R. A. Davis, Z. Xiao, and X. Qi, "Capturing semantic relationship among images in clusters for efficient content-based image retrieval," in *2012 19th IEEE International Conference on Image Processing*, Sep. 2012, pp. 1953–1956. doi: 10.1109/ICIP.2012.6467269.

[4] C. Bai, A. Zheng, Y. Huang, X. Pan, ve N. Chen, "Boosting convolutional image captioning with semantic content and visual relationship", *Displays*, c. 70, s. 102069, Ara. 2021, doi: 10.1016/j.displa.2021.102069.

[5] C. Wang, Y. Shen, and L. Ji, "Geometry Attention Transformer with position-aware LSTMs for image captioning," *Expert Systems with Applications*, vol. 201, p. 117174, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.eswa.2022.117174.

[6] S. Wang *et al.*, "Multi-label semantic feature fusion for remote sensing image captioning," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 184, pp. 1–18, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2021.11.020.

[7] C. Wu, J. Wu, H. Cao, Y. Wei, and L. Wang, "Dual-View Semantic Inference Network for image-text matching," *Neurocomputing*, vol. 426, pp. 47–57, Feb. 2021, doi:10.1016/j.neucom.2020.09.079.

[8] Y. Wang, Y. Xie, J. Zeng, H. Wang, L. Fan, and Y. Song, "Cross-modal fusion for multi-label image classification with attention mechanism," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 101, p. 108002, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.compeleceng.2022.108002.

[9] S. Zhao, L. Li, and H. Peng, "Aligned visual semantic scene graph for image captioning," *Displays*, vol. 74, p. 102210, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.displa.2022.102210.

[10] E. Battini Sonmez, T. Yildiz, B. D. Yilmaz, and A. E. Demir, "Türkçe dilinde görüntü altyazısı: veritabanı ve model," *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Jul. 2020, doi: 10.17341/gazimmfd.597089.

[11] Y. Wu, W. Liu, and S. Wan, "Multiple attention encoded cascade R-CNN for scene text detection," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 80, p. 103261, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.jvcir.2021.103261.

[12] M. Mustafa, "An energy efficient and improved language translator with cnn based deep encoder and decoder," *Materials Today: Proceedings*, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.1204.

[13] J. Chen and H. Zhuge, "Extractive summarization of documents with images based on multi-modal RNN," *Future Generation Computer Systems*, vol. 99, pp. 186–196, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.future.2019.04.045.

[14] H. Zhan, S. Lyu, Y. Lu, and U. Pal, "DenseNet-CTC: An end-to-end RNN-free architecture for context-free string recognition," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 204, p. 103168, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.cviu.2021.103168.

[15] C. Bai, A. Zheng, Y. Huang, X. Pan, and N. Chen, "Boosting convolutional image captioning with semantic content and visual relationship," *Displays*, vol. 70, p. 102069, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.displa.2021.102069.

[16] M. Kılıçkaya, E. Erdem, A. Erdem, N. İ. Cinbiş, and R. Çakıcı, "Data-driven image captioning with meta-class based retrieval," in *2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Apr. 2014, pp. 1922–1925. doi: 10.1109/SIU.2014.6830631.

[17] Y. Lu, C. Guo, X. Dai, and F.-Y. Wang, "Data-efficient image captioning of fine art paintings via virtual-real semantic alignment training," *Neurocomputing*, vol. 490, pp. 163–180, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.neucom.2022.01.068.

[18] Z. Yang, P. Wang, T. Chu, and J. Yang, "Human-Centric Image Captioning," *Pattern Recognition*, vol. 126, p. 108545, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.patcog.2022.108545.

[19] V. Agrawal, S. Dhekane, N. Tuniya, and V. Vyas, "Image Caption Generator Using Attention Mechanism," in *2021 12th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, Jul. 2021, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICCCNT51525.2021.9579967.

[20] J. Li, N. Xu, W. Nie, ve S. Zhang, "Image Captioning with multi-level similarity-guided semantic matching", *Visual Informatics*, c. 5, sy 4, ss. 41-48, Ara. 2021, doi: 10.1016/j.visinf.2021.11.003.

[21] A. Shokraei Fard, D. C. Reutens, and V. Vegh, "From CNNs to GANs for cross-modality medical image estimation," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 146, p. 105556, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.compbiomed.2022.105556.

[22] E. Paul and S. R.s., "Modified convolutional neural network with pseudo-CNN for removing nonlinear noise in digital images," *Displays*, vol. 74, p. 102258, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.displa.2022.102258.

[23] L.-Y. Ye, X.-Y. Miao, W.-S. Cai, and W.-J. Xu, "Medical image diagnosis of prostate tumor based on PSP-Net+VGG16 deep learning network," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 221, p. 106770, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.cmpb.2022.106770.

[24] A. A. Pravitasari, N. Iriawan, U. S. Nuraini, and D. A. Rasyid, "12 - On comparing optimizer of UNet-VGG16 architecture for brain tumor image segmentation," in *Brain Tumor MRI Image Segmentation Using Deep Learning Techniques*, J. Chaki, Ed. Academic Press, 2022, pp. 197–215. doi: 10.1016/B978-0-323-91171-9.00004-1.

[25] J. Brownlee, "A Gentle Introduction to the Rectified Linear Unit (ReLU)," *Machine Learning Mastery*, Jan. 08, 2019. https://machinelearningmastery.com/rectified-linear-activation-function-for-deep-learning-neural-networks/ (accessed Jun. 29, 2022).

[26] K. Papineni, S. Roukos, T. Ward, and W.-J. Zhu, "Bleu: a Method for Automatic Evaluation of Machine Translation," in *Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, Philadelphia, Pennsylvania, USA, Jul. 2002, pp. 311–318. doi: 10.3115/1073083.1073135.

[27] Banerjee, S. and Lavie, A. (2005) "METEOR: An Automatic Metric for MT Evaluation with Improved Correlation with Human Judgments" in Proceedings of Workshop on Intrinsic and Extrinsic Evaluation Measures for MT and/or

Summarization at the 43rd Annual Meeting of the Association of Computational Linguistics (ACL-2005), Ann Arbor, Michigan, June 2005

[28] D. Raj, "Metrics for NLG evaluation," *Explorations in Language and Learning*, Sep. 16, 2017. https://medium.com/explorations-in-language-and-learning/metrics-for-nlg-evaluation-c89b6a781054 (Erişim tarihi: 16 Haziran, 2022).

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
32(2), 839-854, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1024819

Fırat Üniversitesi Yerleşkesi Ulaşım Ağının Yaya Öncelikli Planlama ve Tasarım Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi

Esra ÇETİNKAYA ÖZKAN[1*]
[2] Peyzaj Mimarlığı, Mimarlık Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[*1] esra.cetinkaya.ozkan@gmail.com

(Geliş/Received: 17/11/2021; Kabul/Accepted: 24/09/2022)

Öz: Üniversite yerleşkeleri ulaşım ağı; eğitim-öğretim ve sosyal-kültürel faaliyetlerin gerçekleştiği mekânsal kullanımları birbirine bağlayan yaya, bisiklet ve araçların kullanımına imkân veren fiziksel sistemlerdir. Çalışmada yaya öncelikli ulaşım ağının planlama ve tasarım kriterlerine göre Fırat Üniversitesi Yerleşkesi'nin görselliği, işlevselliği ve yeterliliği değerlendirilmiştir. Değerlendirilen planlama ve tasarım kriterleri; güvenlik, erişilebilirlik, trafik-yönlendirme levhaları, yavaş trafik hızı, hız kesici, otopark, kaldırım, bisiklet yolu, otobüs durağı, yaya geçidi, drenaj, zemin döşemesi, donatı elamanları, aydınlatma, sanatsal öğeler, gölgeleme, bitkisel eleman, eğim, bakım ve temizliktir. Belirtilen kriterler, doğrudan gözlem yöntemi ile elde edilen nitel veriler ve sayma tekniği ile elde edilen nicel veriler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, yerleşke ulaşım ağının bazı kriterler açısından yaya öncelikli olmadığı saptanmıştır. Tespit edilen olumsuzluklar ile ilgili iyileştirme çalışmalarının gerektiği sonucuna varılmış ve bazı çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Fırat Üniversitesi yerleşkesi, ulaşım ağı, yaya öncelikli ulaşım.

Evaluation of Transportation Network in terms of Pedestrian Priority Planning and Design Criteria on University Campuses: The Case of Fırat University)

Abstract: University campuses transportation network are physical structures that allow the use of pedestrians, bicycles and vehicles, connecting the spatial uses where education-training and social-cultural activities take place. In the study, the visuality, functionality and adequacy of the Fırat University Campus were evaluated according to the planning and design criteria of the pedestrian priority transportation network. Evaluated planning and design criteria; safety, accessibility, traffic-direction signboards, slow traffic speed, speed limiter, parking, pavement, bicycle path, bus stop, pedestrian crossing, drainage, floor covering, equipment elements, lighting, artistic elements, shading, plant element, slope, maintenance and cleaning. The specified criteria were evaluated in line with the qualitative data obtained by the direct observation method and the quantitative data obtained by the counting technique. As a result of the study, it was determined that the campus transportation network is not pedestrian priority in terms of some criteria. It has been concluded that improvement studies are needed regarding the detected negativities and some solution suggestions are presented.

Key words: Fırat University campus, transportation network, pedestrian priority transportation.

[*] Sorumlu yazar: esra.cetinkaya.ozkan@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000 -0001-8797-194X

1. Giriş

Önemli kentsel mekânlardan biri kabul edilen üniversiteler, eğitim-öğretim-araştırma, barınma, yeme-içme, sosyal-kültürel etkinliklerin yürütüldüğü açık ve kapalı fiziksel mekânlara sahip, kendi kendine yetebilen, sürekli gelişen nüfusa sahip ve ulaşım seçeneklerine ihtiyaç duyan yerleşkelerdir [1, 2]. Üniversiteler, fiziksel açıdan genişleyebilme olanağı sağlanması açısından çoğu zaman şehrin geniş açık alanlarında konumlanmışlardır. Sahip oldukları mekânsal çeşitlilik ve bütünlük ile gece gündüz yaşayarak kullanıcılarına yaşam ortamı sunmaktadır.

Ulaşım ağları, yerleşke içindeki mekânlar arasında iletişimi sağlayan fiziksel sistemlerdir. Yerleşke içi ulaşım ağını yayalar, bisikletler, özel araçlar ve toplu taşıma araçları kullanmaktadır. Ancak, ulaşım ağını kullanan en büyük insan topluluğunu yayalar oluşturmaktadır. Yayalar, yerleşkeye ulaşımın dışında yerleşke içi sosyal-kültürel mekânlara ulaşmak için de ulaşım ağını kullanmaktadır. Üniversite yerleşkesi ulaşım ağlarının planlama ve tasarımlarında, asıl kullanıcısının yayalar olduğu ve özel-toplu taşıma araçlarının ise yayaların ulaşımını sağlamak için var oldukları unutulmamalıdır [3]. Ulaşım ağlarının yaya öncelikli olarak planlanması; sosyal etkileşimler, bilimsel sohbetler, canlı bir ortam oluşturma gibi olumlu çevresel ve psikolojik parametrelere büyük etki sağlamaktadır. Ayrıca ulaşım ağlarının yaya öncelikli olması; gürültü kirliliği, hava kirliliği, çevresel atıklar, enerji ve doğal kaynakların tükenmesi gibi olumsuzlukların azaltılmasına yardımcı olduğu için sürdürülebilir ulaşımı desteklemektedir. Tüm bu faktörler, eğitim mekânlarının tasarımında yaya öncelikli ulaşım ağlarının yer almasına neden olmaktadır [4].

Yaya öncelikli ulaşım planlamasında dikkat edilmesi gereken bazı kriterler bulunmaktadır. Bu kriterlerin en önemlilerinden biri yaya güvenliğinin sağlanmasıdır [5, 6]. Üniversitelerde bulunan ulaşım ağları; kaldırımlar, yaya geçitleri, yaya köprüleri, yeraltı yaya geçitleri başta olmak üzere çeşitli güvenlik elemanlarından oluşmaktadır. Üniversitelerde yaya geçitleri, kavşaklarda, araç trafiğinin yoğun olduğu ve karşıdan karşıya geçişin tehlikeli olduğu bölgelerde bulunmaktadır. Birçok üniversite oluşabilecek suçları azaltmak için aydınlatma, acil telefon sistemi, devriye güvenlik hizmetleri gibi önlemler almaktadır [7]. Ayrıca üniversitelerde, kentlerde olduğu gibi belirlenen trafik kurallarına uyulması gerekmektedir. Yayalar ve araçlar için farklı kurallar bulunmaktadır ve bu kurallar trafik levhalarında belirtilmektedir. Birçok üniversite, yaya ve araç yolu güvenliğini sağlamak için otoparklar dışında park edilmesine izin vermemektedir. Bazı üniversiteler, yerleşke içindeki kısıtlı park yerlerini, otopark ücretlendirmesi ile her birimin kullanabileceği otoparkları belirleyerek yönetmektedir [7]. Fakat bu durum üniversite yerleşkesinin büyüklüğüne göre değişmektedir. Küçük bir arazide yer alan ve az nüfuslu bazı yerleşkelerde bisiklet, araç yolu ve otopark gibi gereksinimler bulunmamaktadır.

Yaya yollarının mevcut durumlarını inceleyen farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Lautso ve Murole [8], çevresel faktörlerin yürüme üzerindeki etkisini ele almaktadırlar. Sarkar [9], yolları değerlendirmek için niteliksel bir model önermektedir. Bu modelde güvenlik, konfor, kolaylık, süreklilik, güvenlik ve çekicilik gibi temel faktörler kullanılmaktadır. Dixon [10], Jensen [11], Sarkar [12]'a ait çalışmalar ise bitkisel elemanlar, oturma bankları ve aydınlatma gibi donatıları da dikkate almaktadır. Landis ve diğerleri [13], çalışmalarında, araç hızının azaltılması ve araç ile yayanın kaldırımlar ile ayrılması gibi önlemleri ele almaktadırlar. Üniversite yerleşkeleri ulaşım ağlarının yaya öncelikli planlama ve tasarımı konularında ise araştırma eksiği bulunmaktadır. Üniversite planlama literatürü genellikle yayaları ihmal etmekte, yaya planlama literatürü ise genellikle üniversiteleri ihmal etmektedir [14]. Çalışmaların büyük çoğunluğu kentlere odaklanmaktadır. Nitekim ülkemizde de Yükseköğretim Kurulu'nun, 2015 yılında yerleşkelerdeki ulaşım ağlarının, "yaya öncelikli yol" şeklinde düzenlenmesi konusunda çalışmalar başlatması, konunun önemini ve bilimsel çalışmaların gerekli olduğunu göstermektedir [15].

Kısaca özetlemek gerekirse yerleşke içi yaya öncelikli ulaşım ağları şu özeliklere sahip olmalıdır [3, 16, 17, 18]:

- Güvenlik sağlanmalı ve herkes için erişilebilir olmalı,
- Trafik ve yönlendirme levhalarına sahip olmalı,
- Kullanım kapasitesine uygun miktarda otoparka sahip olmalı,
- Taşıt ve yaya ulaşımı birbirinden güvenli bir şekilde ayrılmış olmalı,
- Bisiklet yolları bulunmalı,
- Yaya geçitleri bulunmalı,
- Yeterli bir altyapı sistemine sahip olmalı,
- İklim şartlarına (güneşlenme, rüzgâr, yağmur) uygun olmalı,
- Zemin kaplaması uygun kalitede olmalı,
- Yeterli sayıda donatı elamanı ve aydınlatma sağlanmalı,

- İlgi çekiciliğin sağlanması için sanatsal öğeler olmalı,
- Gölgeleme elamanları bulundurmalı,
- Uygun bitkisel tasarıma sahip olmalı,
- Yürüme için uygun eğime sahip olmalı,
- Fiziksel ve bitkisel elemanlar bakımlı ve temiz olmalıdır.

Araştırmanın amacı, ulaşım ağı planlama ve tasarım kriterleri açısından Fırat Üniversitesi Yerleşkesi'nin değerlendirilmesi, ulaşım standartlarının iyileştirilmesi için önerilerde bulunulması ve yayalar için daha kullanışlı bir yerleşke ulaştırma altyapısının oluşturulmasına katkı sağlanmasıdır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışmanın ana materyalini Elazığ ilinin kuzeyinde bulunan Fırat Üniversitesi Yerleşkesi ve ulaşım ağı oluşturmaktadır. 1975 yılında kurulan Fırat Üniversitesi'nde 16 fakülte, 2 yüksekokul, 1 devlet konservatuarı, 9 meslek yüksekokulu, 24 araştırma merkezi bulunmaktadır. 2017-2018 Eğitim-Öğretim Yılı itibariyle 9.523 önlisans, 30.803 lisans ve 5.339 lisansüstü olmak üzere toplam 45.665 öğrenci eğitim faaliyetlerine devam etmektedir. Ayrıca, 1.862 akademik ve 1.511 idari personel görev yapmaktadır [19].

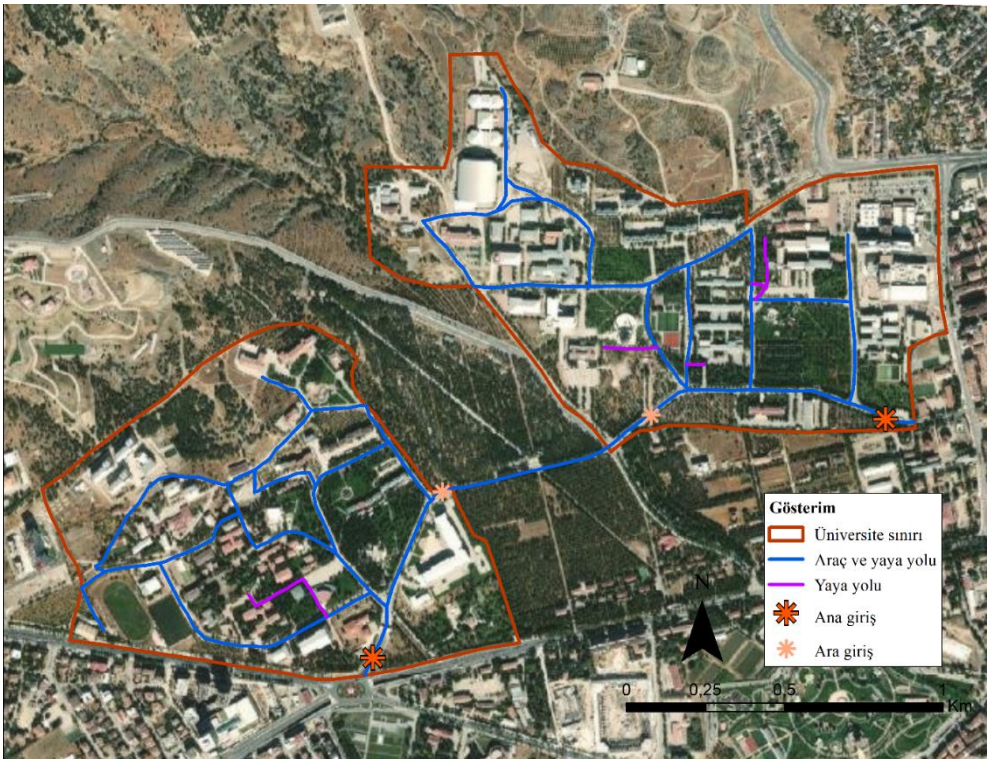
Üniversite yerleşkesi kurulduğu dönemde şehrin dışında konumlanırken, günümüzde şehrin yerleşim alanının merkezinde yer almaktadır. Yerleşkenin yüzölçümü yaklaşık 170 hektardır ve Türkiye'nin üçüncü büyük yerleşkesine sahip üniversitesidir [20]. Yerleşke üniversiteye ait olmayan orman arazisiyle iki ana parçaya ayrılmakta ve doğuda Rektörlük, batıda ise Mühendislik Yerleşkeleri yer almaktadır. Üniversitenin Rektörlük ve Mühendislik Yerleşkeleri'nden olmak üzere iki ana girişi bulunmaktadır (Şekil 1). Ayrıca, iki yerleşkenin ortasında yer alan orman arazisinden geçen ve yerleşkeleri birbirine bağlayan bağlantı yolundan da iki tali (ara) girişi bulunmaktadır.

Yerleşke ulaşım ağı, ana hatlarıyla ayrılmış araç-yaya yolları ve yaya yollarından oluşmaktadır (Şekil 1). Üniversite yerleşkesi, 14 adet ikinci öğretim bölümüne sahip olduğu için akşam saatlerinde de kullanılmaktadır [21]. Üniversitede toplu taşıma araçları düzenli olarak çalışmaktadır.

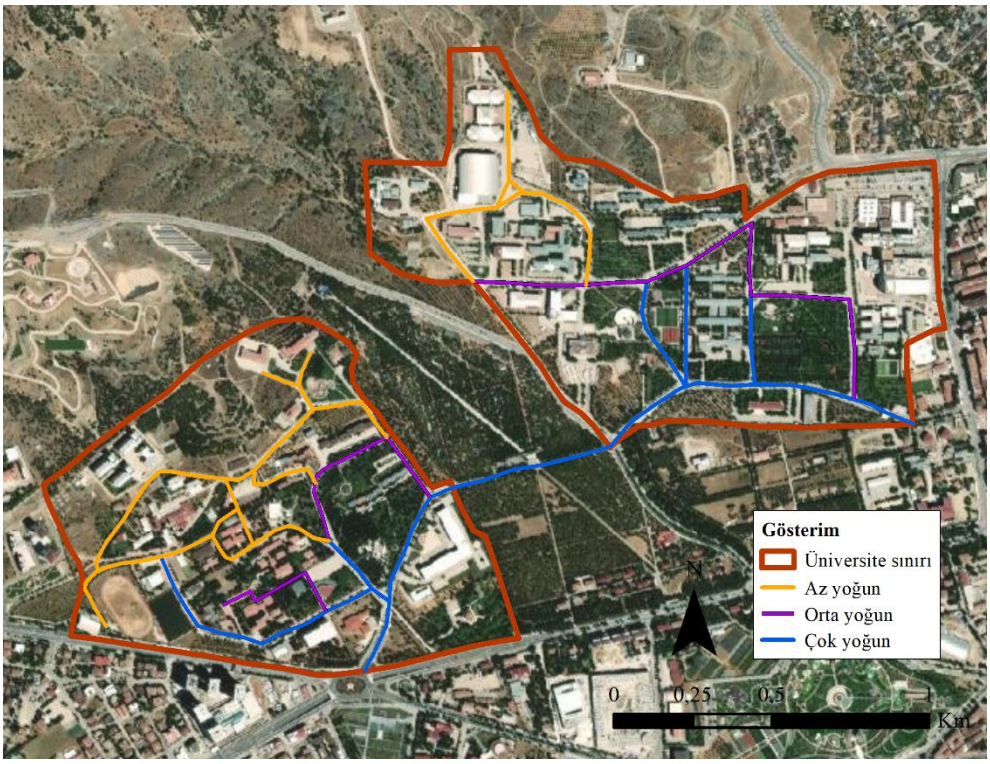
2.2. Yöntem

Araştırma, yerleşke ulaşımı ile ilgili literatür taraması, Fırat Üniversitesi Yerleşkesi ulaşım ağı ile ilgili veri toplama ve doğrudan gözlem yöntemi ile mevcut durum analizi, ulaşım ağının planlama ve tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve bu kriterlere göre değerlendirilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Bu kapsamda, yerleşke ulaşım ağında yayaların en aktif oldukları güzergâhlar, kullanıcı gözlemlerine dayalı analiz edilerek belirlenmiştir (Şekil 2). Fırat Üniversitesi Yerleşkesi ulaşım ağı içerisinde iki yerleşkeyi birbirine bağlayan ana yol (1 numaralı), Mühendislik Yerleşkesi içindeki iki yol (2 ve 3 numaralı) ve Rektörlük Yerleşkesi içindeki yol (4 numaralı) en yoğun kullanıma sahip güzergâhlar olduğundan, ulaşım ağının kalitesini değerlendirmek için seçilmiştir (Şekil 3).

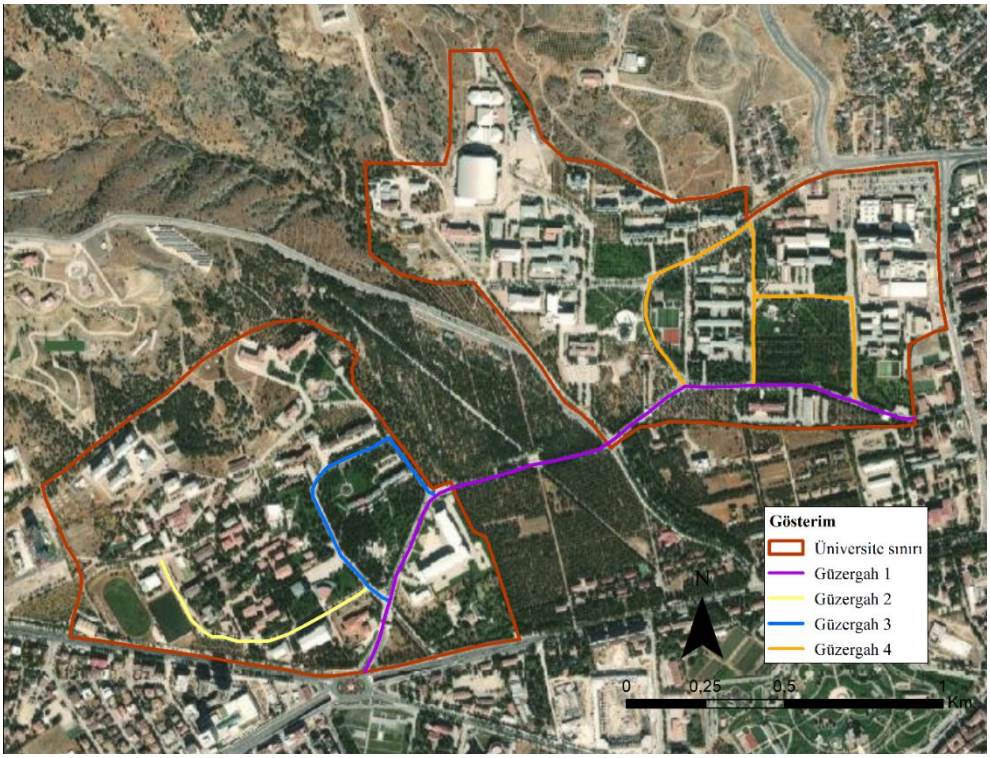
Yaya öncelikli ulaşım ağının planlama ve tasarım kriterlerinin belirlenmesinde Dehghanmongabadi and Hoşkara [17], Fadhil and Waheeb [18], Asadi-Shekari ve arkadaşları [22], Raidine ve arkadaşları [23], Kalaycı Önaç ve Birişçi [24]'nin çalışmalarından yararlanılarak oluşturulan değerlendirme kriterleri grubu kullanılmıştır. Belirtilen değerlendirme kriterleri grubu doğrudan gözlem yöntemi ile elde edilen nitel veriler ve sayma tekniği ile elde edilen nicel veriler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Trafik levhaları, yönlendirme levhaları, hız kesiciler, otoparklar, otobüs durakları ve yaya geçitlerinin sayıları ve konumları belirlendikten sonra ArcGİS 10.5 programı kullanılarak ArcGIS Online Basemap uydu görüntüsü üzerinde sayısallaştırılmıştır. Değerlendirme kriterleri 1 (yetersiz) ile 5 (yeterli) puan arasında ölçeklendirilmiştir. Değerlendirmeler 3 uzman peyzaj mimarı tarafından yapılmıştır. Uzmanların cevaplarının aritmetik ortalaması alınarak tek bir veri elde edilmiştir.



Şekil 1. Fırat Üniversitesi Yerleşkesi ulaşım ağı kullanımı.



Şekil 2. Fırat Üniversitesi Yerleşkesi ulaşım ağı yaya yoğunluk durumu.



Şekil 3. Yerleşke ulaşım ağının değerlendirilmesinde seçilen güzergâhlar.

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Fırat Üniversitesi Yerleşkesi ulaşım ağı içerisinde iki yerleşkeyi birbirine bağlayan ana güzergâh 1 numara ile, Mühendislik Yerleşkesi içindeki iki güzergâh 2-3 numara ile ve Rektörlük Yerleşkesi içindeki güzergâh 4 numara ile belirtilmiştir. Seçilen güzergâhlar, Tablo 1'de belirtilen değerlendirme kriterleri açısından, 1 (yetersiz) ile 5 (yeterli) arasında puanlandırılmıştır.

Tablo 1. Yaya öncelikli ulaşım ağının değerlenmesinde kullanılan kriterler.

Değerlendirme Kriterleri	Güzergâh 1					Güzergâh 2					Güzergâh 3					Güzergâh 4				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Güvenlik			✓			✓							✓					✓		
Erişilebilirlik		✓				✓					✓					✓				
Trafik levhaları					✓				✓			✓								✓
Yönlendirme levhaları					✓					✓					✓					✓
Yavaş trafik hızı					✓					✓					✓					✓
Hız kesici			✓				✓				✓							✓		
Otopark	✓					✓					✓					✓				
Kaldırım				✓			✓					✓						✓		
Bisiklet yolu	✓					✓					✓					✓				
Otobüs durağı		✓						✓					✓				✓			
Yaya geçidi				✓				✓				✓							✓	
Drenaj		✓				✓					✓						✓			
Zemin döşemesi				✓			✓					✓				✓				
Donatı elamanları		✓					✓					✓					✓			
Aydınlatma					✓			✓						✓					✓	
Sanatsal ögeler	✓					✓					✓					✓				
Gölgeleme		✓					✓					✓					✓			
Bitkisel eleman				✓					✓				✓					✓		
Eğim					✓				✓				✓					✓		
Bakım ve temizlik			✓					✓				✓						✓		

"Güvenlik" kriteri yayalar açısından değerlendirildiğinde, 1, 3 ve 4 numaralı güzergâhların ortalama değerde, 2 numaralı güzergâhın ise yetersiz olduğu görülmüştür (Tablo 1). Bu durumun başlıca sebepleri kaldırımın ve aydınlatmanın yetersiz olması ve güvenlik birimlerinin sadece 1 numaralı güzergâh üzerinde bulunmasıdır. Ayrıca, yerleşkeleri birbirine bağlayan 1 numaralı güzergâhı bölen şehir yolunun ise güvenlik zafiyetine sebep olduğu düşünülmektedir.

"Erişilebilirlik" kriteri değerlendirildiğinde tüm güzergâhlar yetersiz bulunmuştur (Tablo 1). Kaldırımlarda fiziksel engelli kullanıcılar için rampa bulunmasına rağmen, bu rampalar Türk Standartları Enstitüsü (TS 12506) standartlarına uymamaktadır [25]. Yerleşke ulaşım ağında kullanılan rampaların eğiminin fazla olması, trafik ve yönlendirme levhalarının kaldırımların üzerine monte edilmesi nedeniyle kaldırımları daraltması, zemin döşemelerinin yıpranması nedeniyle de bozuk yüzeylerin oluşması erişilebilirliği azaltan durumlardır (Şekil 4). Görme engelli kullanıcılar için oluşturulan hissedilebilir yüzeylerin devamlılığının olmaması da bu yüzeylerin kullanışlılığını azaltmaktadır. Yerleşkenin topoğrafik yapısından kaynaklı kuzey-güney doğrultusu üzerinde yer alan yolların eğiminin %5-10 arasında değişmesi ve bazı yerlerde %20'ye [26] çıkması, fiziksel engelli kullanıcıların bireysel hareket edebilme özgürlüğünü kısıtlamaktadır.



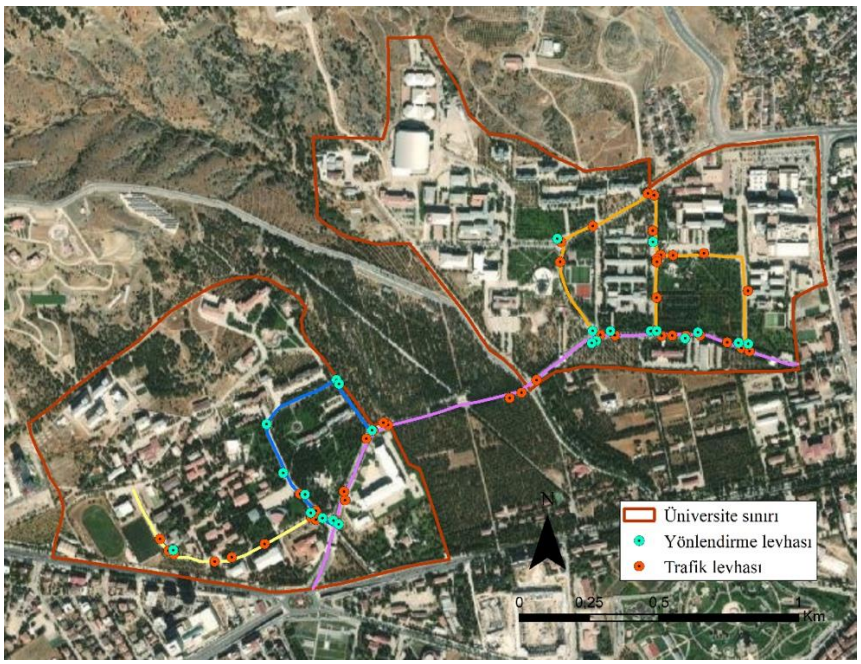
Şekil 4. Yerleşke ulaşım ağının erişilebilirlik sorunu.

Fırat Üniversitesi Yerleşkesi'nde özel ve toplu taşıma araçları yoğun olarak kullanılmaktadır. Yerleşke geneli, "trafik levhaları" kriteri açısından yüksek puan almıştır (Tablo 1). Sürücüler, yaya güvenliğinin sağlanması amacıyla yerleşke içerisinde yasak, tehlike ve bilgi içeren trafik levhaları ile uyarılmaktadır. Yerleşkede 1, 2 ve 4 numaralı güzergâhta, trafik levhaları uygun yerlere yerleştirilmiştir ve rahatlıkla görülebilmektedir (Şekil 4). Fakat 3 numaralı güzergâhta yol ayrımlarında trafik levhası bulunmadığı için yetersiz bulunmuştur. "Yönlendirme levhaları" kriterinin yerleşke genelinde tam puan aldığı görülmektedir. Yönlendirme levhaları, yerleşke hakkında bilgiler vermekte ve yerleşkeyi tanımayan kullanıcılar için rehberlik etmektedir. Yerleşkede yönlendirme levhaları çoğunlukla kavşaklara ve yol ayrımlarına yerleştirilmiştir (Şekil 5).

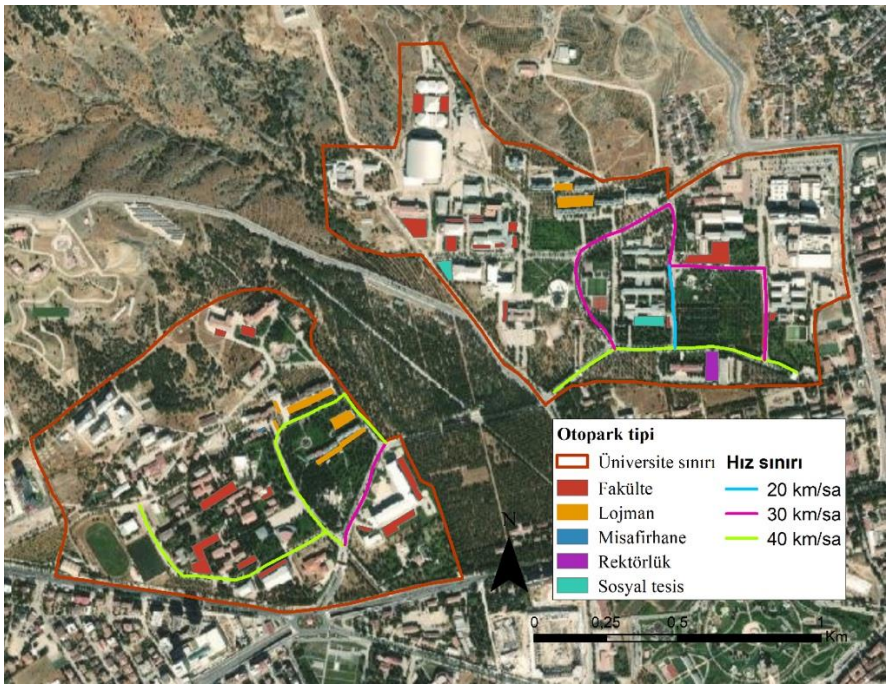
Yerleşke "yavaş trafik hızı" kriteri açısından değerlendirildiğinde, birçok yerde uyarıcı levhaların bulunduğu görülmektedir. Ayrıca trafik hızı, farklı güzergâhlarda 20-30-40 km/sa'yı aşmayacak şekilde belirlenmiştir (Şekil 6). Yaya nüfusunun çok yoğun olduğu yerleşkelerde trafik akışını yavaşlatmak, güvenlik açısından oldukça önemlidir. Uyarıcı levhaların dikkate alınmadığı durumların önüne geçebilmek için hız kesici bariyerler bulunmaktadır. TSE (TS 6283)'ye göre hız kesiciler 50 ile 150 metre arayla birden çok sayıda uygulanabilmektedir. Sürücülerin kolaylıkla görebilmesi için beyaz renkli olmalıdır [27, 28]. Fakat Fırat Üniversitesi Yerleşkesi'nde sarı renklidir. Yerleşkede hız kesiciler, yaya geçitlerine yakın bölgelere yerleştirilmiştir. Fakat bu bariyerler yeterli sayıda ve uygun malzemede olmadığı için "hız kesici" kriterinin yetersiz olduğu saptanmıştır (Şekil 7).

Yerleşke bütününde otopark sorunu göze çarpmaktadır ve bu nedenle tüm güzergâhlarda "otopark" kriteri zayıf puan almıştır (Tablo 1). Yerleşkede bulunan otopark alanları Şekil 6'de gösterilmektedir. Üniversiteye daha az aracın giriş yapmasını sağlayacak herhangi bir uygulama bulunmamaktadır. Bu sebeple mevcut

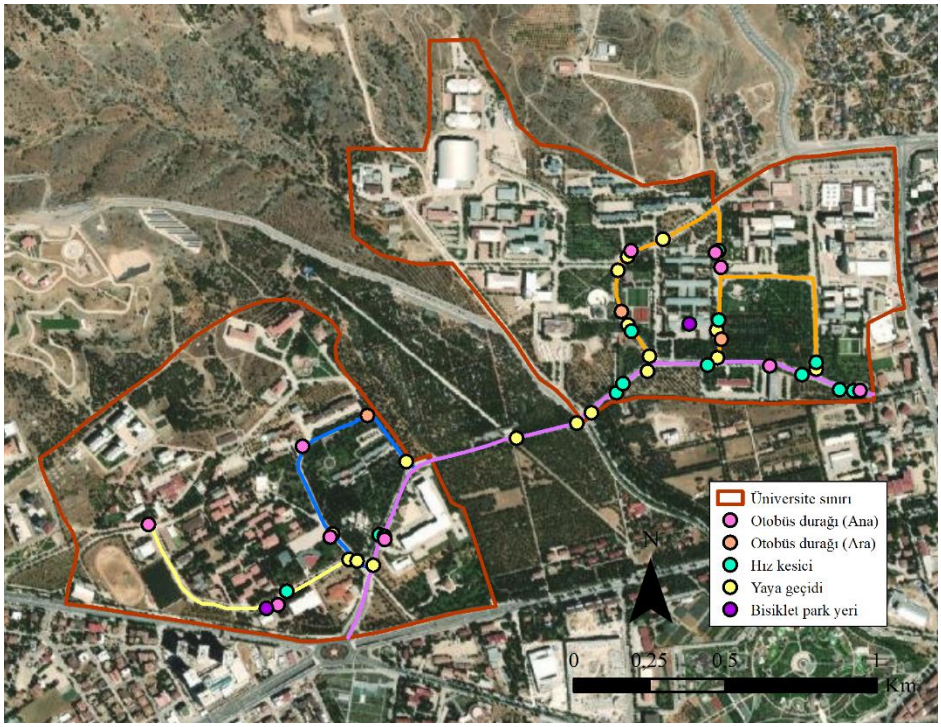
otoparklar talebi karşılayamamakta ve sürücüler araçlarını yol kenarlarına park etmektedir (Şekil 8). Bu durum trafik akışını bozmaktadır. Ayrıca mevcut otoparklarda, otopark alanları tasarım kriterlerine dikkat edilmediği dikkati çekmektedir.



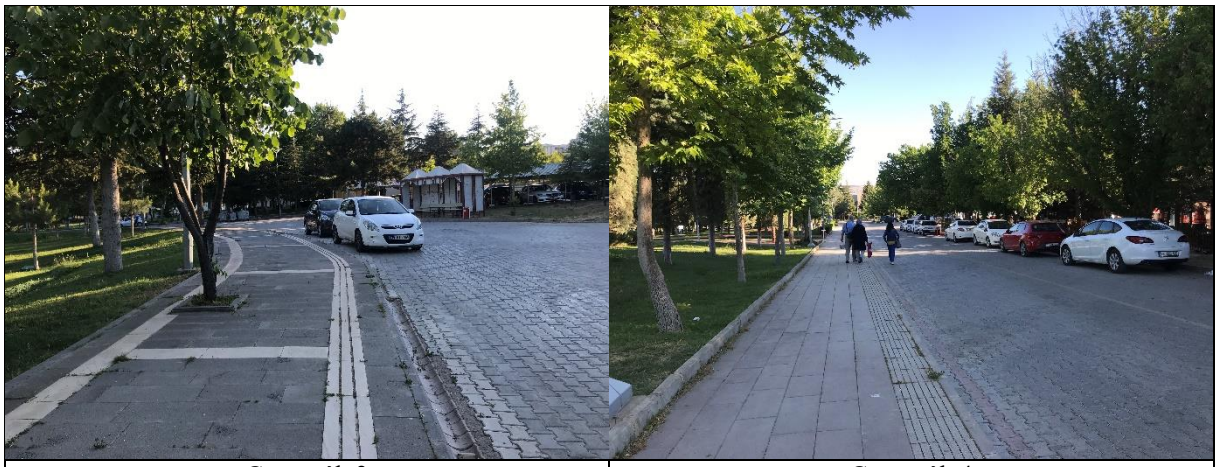
Şekil 5. Yerleşke ulaşım ağında bulunan yönlendirme ve trafik levhaları.



Şekil 6. Yerleşke ulaşım ağında belirlenen hız sınırları ve yerleşkede bulunan otoparklar.



Şekil 7. Yerleşke ulaşım ağında bulunan otobüs durakları, hız kesiciler, yaya geçitleri ve bisiklet park yerleri.



Güzergâh 3	Güzergâh 4

Şekil 8. Yerleşke ulaşım ağının otopark yetersizliği.

"Kaldırım" kriteri, her güzergâhta farklı puan ile değerlendirilmiştir (Tablo 1). İki yerleşkeyi birbirine bağlayan yol, diğer güzergâhlara göre daha yüksek puan almıştır. Yerleşke bütününde kaldırımlar gözlemlendiğinde, kaldırım genişliklerinin değişkenlik gösterdiği ve bazı güzergâhlarda zaman zaman daralıp genişlediği görülmüştür (Şekil 9). Kaldırım üzerine monte edilen bazı levhalar ise yaya geçişini zorlaştırmaktadır. Ayrıca, kaldırım yüksekliklerinin zaman zaman antropometrik verilerden ve TSE (TS 7249) standartlarından uzaklaşarak 15 cm'i geçtiği tespit edilmiştir [29].

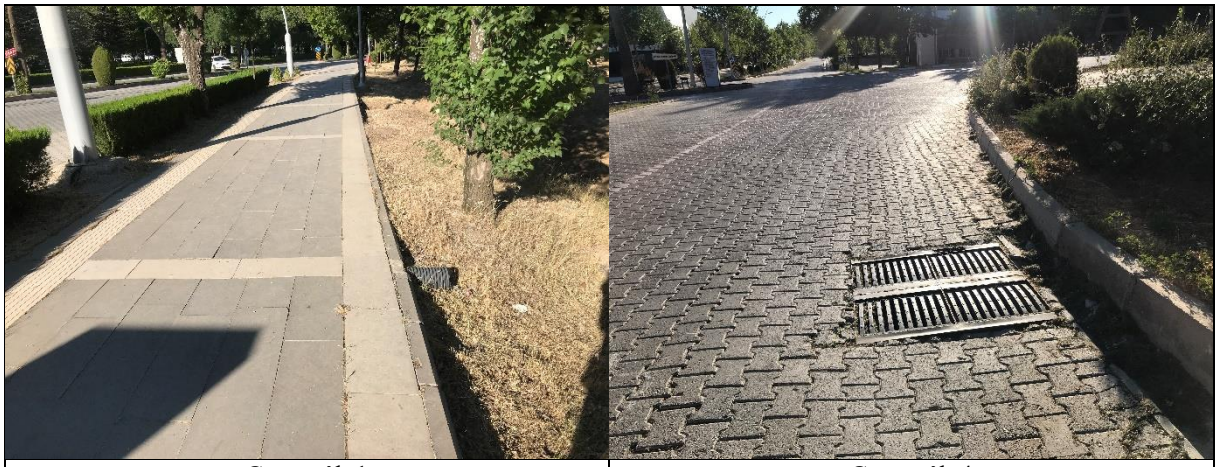


Şekil 9. Yerleşke ulaşım ağında kaldırım sürekliliği sorunu.

Üniversite bütünü "bisiklet yolu" kriterine göre değerlendirildiğinde yetersiz görülmüştür (Tablo 1). Yerleşkenin ulaşım ağı planlamasında yaya ve araç yolu dışında bisiklet yoluna yer verilmemiştir. Bisiklet kullanıcıları taşıt yolundan ilerlemek durumundadır. Bisiklet park yeri ise yerleşke genelinde birkaç yerde bulunmaktadır (Şekil 7). Türkiye'de İstanbul Teknik Üniversitesi, Boğaziçi Üniversitesi, Ege Üniversitesi, Yeditepe Üniversitesi gibi üniversite yerleşkelerinde bisiklet kiralama sistemi ve bisiklet yolları bulunmakta ve böylece sürdürülebilir ulaşım teşvik edilmektedir [30].

Yerleşkede seçilen güzergâhlar üzerinde bulunan durak sayısının yetersiz olması nedeniyle yerleşke "otobüs durağı" kriteri açısından zayıf puan almıştır (Şekil 7). Toplu taşıma araçları, duraklar dışında Mühendislik Fakültesi'nde 1 ve Rektörlük Yerleşkesi'nde 2 yerden yolcu almaktadır (Şekil 7). Ancak, yağmur ve güneşten korunma gibi fiziksel rahatlık sağlama açısından otobüs duraklarının bulunması gereklidir. "Yaya geçidi" kriteri ise yerleşke ulaşım ağında ortalama puan almıştır (Tablo 1). Yerleşke genelinde, mevcut yaya geçitleri bulunmaktadır. Fakat araçların yoğun olduğu 2 ve 3 numaralı güzergâhlardaki sayıları yeterli değildir (Şekil 7).

Güzergâhlar, "drenaj" kriteri açısından değerlendirildiğinde zayıf puan almıştır (Tablo 1). Yerleşke topoğrafyasının eğimli yapısından dolayı yağmur sularının akışa geçerek düz alanlarda toplanması drenaj sisteminin yetersizliğini göstermektedir (Şekil 10).



Güzergâh 1	Güzergâh 4

Şekil 10. Yerleşke ulaşım ağının plansız drenaj sistemi.

Yerleşkenin taşıt yolu zemin döşemesinde kilitli parke taşı, kaldırımlarda ise kilitli parke taşı, parke taşı ve andezit taşı kullanılmıştır. Kaldırımlarda kaygan olmayan malzemelerden yararlanılmıştır. "Zemin döşemesi" kriterinde, 1 numaralı güzergâh yüksek puan alırken, diğer güzergâhlar döşeme bozulmalarından dolayı düşük puan almışlardır (Şekil 11).



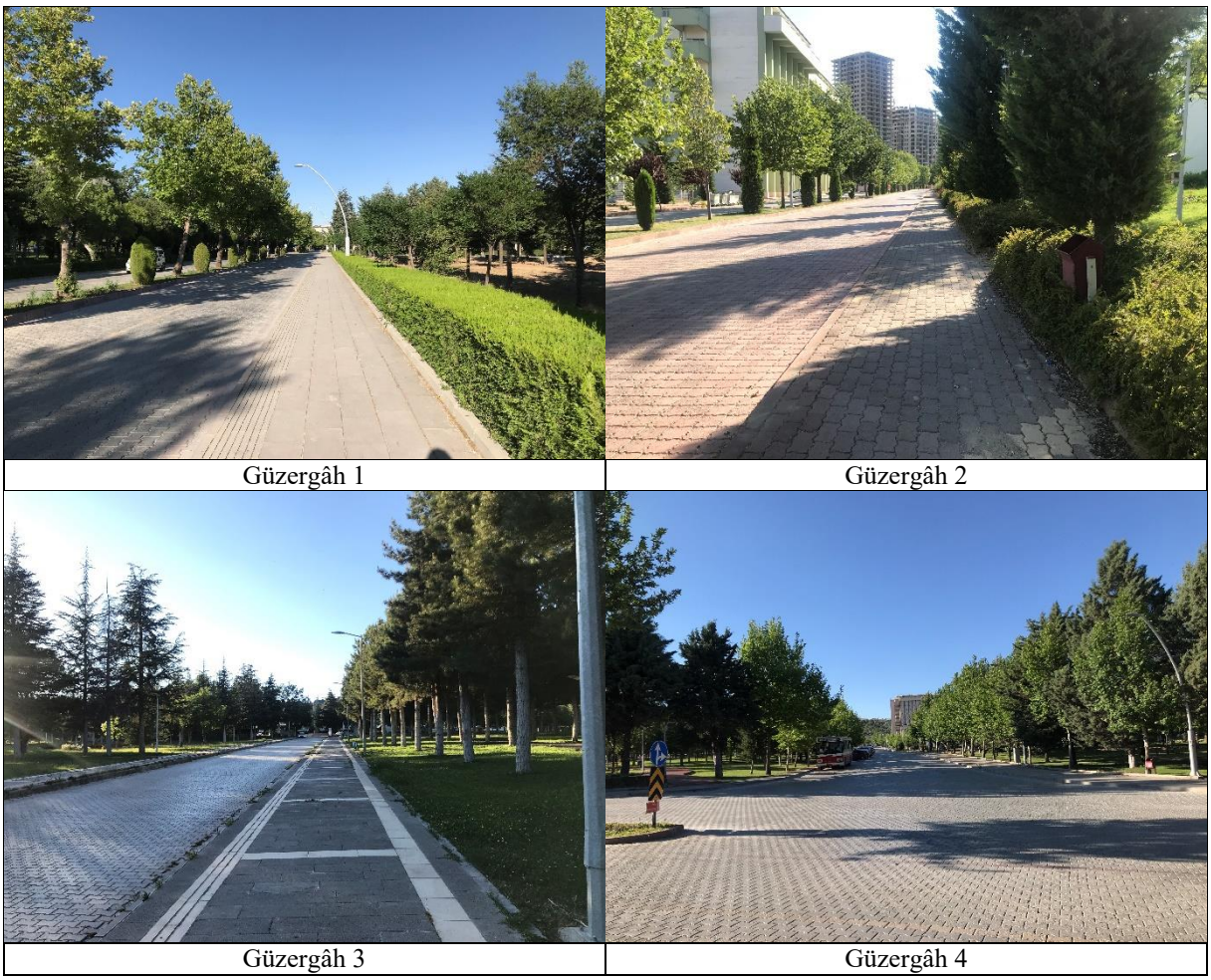
Güzergâh 4	Güzergâh 4

Şekil 11. Yerleşke ulaşım ağında döşeme bozulmaları.

"Donatı elemanları" kriteri tüm güzergâhlarda 2 puan alarak zayıf görülmüştür (Tablo 1). Donatı elemanlarından olan çöp kutusu sayısı ve yerleştirilme aralıkları yeterlidir ve ihtiyacı karşılamaktadır. Ancak, yürüyüş yollarında oturma elemanları bulunmamaktadır. "Aydınlatma" kriteri; 1, 3 ve 4 numaralı güzergâhta yeterli görülürken, 2 numaralı güzergâhta ortalama değerde görülmüştür. Öğrenci yurduna ulaşımda 2 numaralı güzergâh aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak aydınlatmanın yeterli olmaması nedeniyle, güzergâh akşam saatlerinde güvenli bulunmamıştır.

Estetik değere sahip olma, izleyiciye olumlu duygular bırakma, bulunduğu mekânda odak noktası oluşturma, ilgi çekici olma gibi birçok işleve sahip olan sanatsal öğelere yerleşke genelinde yer verilmediği tespit edilmiştir ve yerleşke "sanatsal öğeler" kriteri açısından yetersiz bulunmuştur. Öte yandan, seçilen 4 güzergâhta da herhangi bir gölgeleme elamanı bulunmamaktadır. Yaz aylarında güneşten, kış aylarında yağmurdan koruma sağlanamadığı için yerleşke ulaşım ağı, "gölgeleme" kriteri açısından zayıf puan almıştır (Tablo 1). Gölgeleme için yapısal elemanın dışında bitkisel elemanın kullanımı da zayıf bulunmuştur.

Yapılan gözlem ve değerlendirme sonucunda "bitkisel eleman" kriteri ortalama değerin üzerinde puan almıştır (Tablo 1). Yerleşkenin yeşil alan miktarı yapısal alanlarla karşılaştırıldığında dengeli görülmektedir. Fakat bu yeşil alanların işlevselliği zayıftır. Mevcut bitkilerin yaya yolları ve otoparklarda yeterli gölgelemeyi yapmadığı görülmektedir. Fakat yerleşke bütününde ağaç, ağaççık ve çalı çeşitliliği görsel kaliteyi sağlamaktadır (Şekil 12). Benzer şekilde Colorado Üniversitesi Boulder kampüsünde çeşitli bitkisel kompozisyonları kullanılarak keyifli bir yürüyüş ortamı oluşturulmuştur [7].



Şekil 12. Yerleşke ulaşım ağının bitkisel tasarımı.

Yerleşkenin topoğrafik özelliklerine göre kuzey bölgeler daha eğimlidir ve bu bölgelerden geçen 3 ve 4 numaralı güzergâhlar "eğim" kriteri açısından ortalama puan almıştır (Tablo 1). Bu güzergâhların eğiminin %5-10 arasında değişmesi yayaları ve engelli bireyleri fiziksel açıdan zorlamaktadır. TSE (TS 12506) standartlarına göre kaldırım eğimi %5'ten fazla olmamalıdır [25].

Yerleşkede seçilen güzergâhlar; donatı elemanlarının bakımlı olması, çevrenin temiz olması ve bitki bakımlarının (budama, ilaçlama, sulama, yabancı ot temizliği vb.) zamanında yapılması konularında "bakım ve temizlik" kriteri açısından değerlendirildiğinde ortalama puanlar almıştır (Tablo 1). Çevre temizliği, bitki budaması ve yabancı ot temizliği gibi işlemlerin ise düzenli olarak yapılmadığı belirlenmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Yerleşke ulaşım ağının çevre temizliği ve bitki bakımı sorunu.

4. Sonuç ve Öneriler

Üniversite yerleşkeleri, şehirlere benzer şekilde çalışma, eğitim, barınma, dinlenme vb. farklı fonksiyonları içermektedir. Yıllar içerisinde hızla büyüyen nüfusları, zamanla özel taşıtların kullanımını zorunlu kılmakta ve yerleşke içerisinde trafik sorunlarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu yüzden üniversite yerleşkelerinde farklı ulaşım seçeneklerine de ihtiyaç duyulmaktadır. Sürdürülebilir ve yaşayan yerleşkelerin; yaya öncelikli, konforlu ve iyi tasarlanmış ulaşım ağlarının oluşturulması ile üniversiteye, kente ve bölgeye fayda sağlayabileceği bir gerçektir. Üniversite yerleşkelerinin sürekli geliştirilebilir bir yapıya sahip olması ve fiziksel ihtiyaçlarının devamlı değişmesi, ulaşım ağının uygun stratejilerle planlanmasını gerektirmektedir. Mutlu [31], Ege Üniversitesi Yerleşkesi ile ilgili çalışmasında planlama hedefleri ile birlikte ulaşım ana planı oluşturmanın önemini belirtmektedir.

Fırat Üniversitesi Yerleşkesi için bugüne kadar yaya öncelikli ulaşım ağını değerlendiren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte Türkiye'de bulunan üniversite yerleşkeleri ulaşım ağı odaklı çalışma sayısı da oldukça kısıtlıdır. Örneğin; Kalaycı Önaç ve Birişçi [24] tarafından Ege Üniversitesi Yerleşkesi'nde gerçekleştirilen çalışmanın sonucunda, Fırat Üniversitesi Yerleşkesi'ne benzer şekilde fiziksel ve işlevsel özellikler açısından sorunlar tespit edilmiştir. Darendelioğlu [32]'nun Trakya Üniversitesi Balkan Yerleşkesi'nde yaptığı çalışmada ise, yaya yollarının sürekliliğinin olmaması ve fiziksel özelliklerinin standartlara uymaması gibi sebepler, yerleşke içinde yaya öncelikli ulaşım sisteminin göz ardı edildiğini göstermektedir. Fakat üniversite yerleşkeleri, kullanıcılarının istek ve gereksinimleri dikkate alınarak sürdürülebilir planlama ve tasarım ilkeleri doğrultusunda tasarlanmalıdır. Mekânların etkin bir şekilde kullanımı sağlanmalı ve mekânlar arası organizasyona önem verilmelidir.

Fırat Üniversitesi Yerleşkesi ulaşım ağının, yaya öncelikli planlama ve tasarım kriterleri açısından değerlendirildiği bu çalışmada, yerleşkenin trafik levhaları, yönlendirme levhaları, yavaş trafik hızı, bitkisel eleman kriterleri açısından yeterli; erişilebilirlik, otopark, bisiklet yolu, drenaj, sanatsal ögeler, gölgeleme kriterleri açısından da yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca Güzergâh 1'in diğer güzergâhlara göre yaya öncelikli ulaşım açısından daha yeterli olduğu tespit edilmiştir. Yerleşke içi ulaşım ağında tespit edilen eksiklikler/yetersizlikler hakkında ise bazı öneriler getirilmiştir:

- Yerleşkenin kullanımında güvenlik önlemlerinin arttırılması ve özellikle gece kullanımında mekânın koşulları, aydınlatma türü ve aydınlatma elemanlarının teknik ve fiziksel özelikleri dikkate alınarak, aydınlatmanın arttırılması gerekmektedir. Aydınlatma, yayaların konforu ve güvenliği dikkate alınarak, ulaşım ağında aydınlatılmayan ölü nokta kalmayacak şekilde olmalıdır. Ayrıca güvenlik ve yayaların görünebilir olması amacıyla yapılacak aydınlatmalarda enerji tasarrufu sağlanması için güneş panelli aydınlatma elemanlarının kullanılması avantajlı olacaktır.
- Yerleşkenin erişilebilirliğinin arttırılması amacıyla, kaldırımların ve kaldırımlarda bulunan hissedilebilir yüzeylerin sürekliliğinin sağlanması, kaldırımların standartlara uygun genişlikte olması, rampaların genişliğinin ve eğim derecesinin standartlara uygun biçimde düzenlenmesi, kaldırımlardaki zemin döşemelerinin bozuk yüzeylerinin düzeltilmesi, trafik ve yönlendirme levhalarının kaldırımlardaki geçişi engellemeyecek şekilde ölçülendirilmesi ve konumlandırılması gerekmektedir.
- Yerleşkede trafik hızını yavaşlatmak için yeterli trafik levhası bulunmasına karşın bu levhaları görmeyen veya dikkate almayan kullanıcılar için hız kesicilerin sayısının arttırılması gerekmektedir. Ayrıca hız kesicilerin yaya geçitlerinden önce veya araçların hız yapmasına elverişli yollara yerleştirilmesi, yayaların güvenli bir şekilde karşıdan karşıya geçmesine olanak sağlayacaktır. Yaya geçitlerinin görünürlüğünün arttırılması ve trafiğin yoğun olduğu farklı bölgelerde de sayılarının arttırılması önerilebilmektedir.
- Yerleşkedeki otoparklar; personel, öğrenci ve misafirlerin kullanabileceği şekilde ayrı olmalı ve birimlerin kullanacakları otoparklar belirlenerek düzen sağlanmalıdır. Bu sayede sürücülerin yol kenarlarına park etmesine engel olunmalıdır. Ev-iş arasındaki ulaşımı sağlayan servis sistemi, idari ve akademik personele teşvik edilmelidir. Böylece üniversite içindeki araç sayısı azaltılmalıdır. Mevcut otoparklarda düzenin sağlanması amacıyla otopark çizgileri belirli aralıklarla yenilenmelidir. Ayrıca, otoparklarda bitkilendirme tasarım ilkeleri dikkate alınarak tepe çapı geniş olan ve gölge yapan bitkiler tercih edilmelidir.
- Enerji verimliliği yüksek ve çevre dostu bisikletli ulaşım türü, Fırat Üniversitesi Yerleşkesi'nin sürdürülebilir ulaşım planlaması içinde yer almalı ve kullanıcılara yeni bir ulaşım seçeneği alternatifi sağlanmalıdır. Bunun için yerleşke ile şehir bağlantılı bisiklet yolları ve yerleşke içerisinde bisiklet park alanları oluşturulmalıdır. Ayrıca yaya erişilebilirliğini arttırmak için diğer alternatif ulaşım araçlarının kullanımı (elektrikli scooter vb.) değerlendirilmelidir.
- Üniversite yerleşkesinde özellikle yağmurlu mevsimlerde çözümlenmiş drenaj sistemi olmaması nedeniyle yüzey akış suları eğimin az olduğu bölgelerde toplanmaktadır. Bu durum söz konusu bölgelerde yaya yollarının kullanımını zorlaştırmakta ve yayaların güvenliğini tehlikeye sokmaktadır. Yerleşkede yüzey akışa geçen su miktarı hesaplanarak drenaj sistemleri yeniden tasarlanmalıdır.
- Oturma elemanları ve çeşme gibi donatılar, yerleşkede yetersiz görülen yerlere uygun miktarda ve aralıkta yerleştirilmelidir. Ayrıca, mevcut donatı elemanlarının bakım ve onarımı düzenli yapılmalıdır. Görsel zenginlik, yaşam kalitesi, canlılık sağlayan sanatsal öğelerin ayrıca yürümeye de teşvik etmesi nedeniyle yerleşkelerde yer alması sağlanmalıdır.
- Yerleşkedeki yol kenarı bitkisel tasarımı yayalara gölge sağlayacak şekilde işlevlendirilmelidir. Yazın gölge olması, kışın ise güneş alması amacıyla yaprak döken, geniş tepe tacı yapan ağaçlar tercih edilmelidir. Bitkilerin bakımı ise düzenli yapılmalıdır.
- Toplu taşıma araçlarına daha kısa zamanda ulaşılabilmesi ve bekleme süresi içinde fiziksel konfor elde edilebilmesi için, otobüs durağı sayılarının arttırılması gerekmektedir. Ayrıca yerleşkenin eğimli topoğrafik yapısından dolayı bu bölgelerde yürüme zorlaştığı için toplu taşıma araçları ile erişime olanak sağlanmalıdır.

Yerleşkelerde öncelikli ulaşım türü olarak yürümenin tercih edilmesi için üniversite yönetimlerinin çeşitli önlemler almaları gerekmektedir [33]. Yayanın kendini güvende hissettiği, erişilebilirliğin daha fazla olduğu, kullanışlı, sürekli, ilgi çekici ve iyi tasarlanmış yollar, daha fazla insanı yürümeye teşvik etmektedir. Ayrıca üniversitelerde, yaya ve bisiklet yollarının erişilebilirliği, mekânlar arasındaki bağlantılar ve fiziksel elemanların kalitesi sağlanmalı ve sürekli olarak geliştirilmelidir.

Kaynaklar

[1] Irgatoğlu, A. N. Üniversite Kampusları Fiziksel Gelişim Planlaması ve Tasarımı: Yozgat Bozok Üniversitesi Erdoğan Akdağ Kampusu Örneği, Ankara Üniversitesi, 2011.

[2] Oktay S., Ö. ve Küçükyağcı, P. Ö. Üniversite kampüslerinde sürdürülebilir tasarım sürecinin irdelenmesi, Conference Paper, 2015, 564-571.

[3] Cengiz, C. Bartın hükümet caddesi yaya bölgesi tasarımının irdelenmesi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 2011; 13(20): 80-79.

[4] Modin Mosharraf, H. and Teimourimanesh, M. The importance of pedestrian ways in universities campuses design, Iberian Journal of Social Science, 2021; 1(2).

[5] Çöl, D. Kentsel Ulaştırmada Yaya Alanları, İstanbul Avcılar-Marmara Caddesi Yayalaştırma Projesinin İncelenmesi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.

[6] Üstündağ, K. ve Erturan, A. Yaya Dostu Kentin Sokak Dedektifleri. Herkes İçin Dost Kentler, 2015, 115.

[7] Aldrete-Sanchez, R., Shelton, J. and Cheu, R. L. Integrating the transportation system with a university campus transportation master plan: a case study, Texas Transportation Institute, 2010; 3-18.

[8] Lautso, K. and Murole, P. A study of pedestrian traffic in Helsinki: methods and results, Traffic Engineering and Control, 1974; 15, 446–449.

[9] Sarkar, S. Determination of service levels for pedestrians, with European example, Transportation Research Record, 1993; 1405, 35–42.

[10] Dixon, L. Bicycle and pedestrian level-of-service performance measures and standards for congestion management systems, Transportation Research Record, 1996; 1538, 1–9.

[11] Jensen, S. Pedestrian and bicycle level of service on road way segments, Transportation Research Record, 2007; 2031, 43–51.

[12] Sarkar, S. Qualitative Evaluation of Comfort Needs in Urban Walkways in Major Activity Centers. TRB Annual Meeting. Transportation Research Board, Washington, D.C, 2002.

[13] Landis, B., Vattikuti, V., Ottenberg, R., McLeod, D. and Guttenplan, M. Modeling the roadside walking environment: A pedestrian level of service, Transportation Research Record, 2001; 1773, 82–88.

[14] Holmes, S., Huynh, R. and Millard-Ball, A. Pedestrian planning on college campuses. Planning for Higher Education, 2018; 46(2): 65-80.

[15] Yetimoğlu, M. Yaya Öncelikli Yol Ağına Sahip Bir Üniversite Kampüsünde Hız Kontrolüyle Trafiğin Sakinleştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.

[16] Rubenstein, H. M. Pedestrian Malls, Streetscapes and Urban Spaces. John Wiley&Sons, Inc., 1992.

[17] Dehghanmongabadi, A. and Hoşkara, S. Challenges of promoting sustainable mobility on university campuses: the case of eastern mediterranean university, Sustain 2018; 10 (12): 1–22.

[18] Fadhil, A. and Waheeb, R. A greenway for sustainable transportation of the university campus: Diyala University as a case study, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021; 754 (1).

[19] Anonim. Fırat Üniversitesi Tarihçesi, 2021, http://www.firat.edu.tr/tr/page/menu/tarihce-4056, Erişim: 24.08.2022.

[20] Anonim. Fırat Üniversitesi, 2022, https://www.sabah.com.tr/firat-universitesi, Erişim: 24.08.2022.

[21] Anonim. Fırat Üniversitesi'ndeki Tüm Lisans Programları, 2022, https://yokatlas.yok.gov.tr/lisans-univ.php?u=1039, Erişim: 16.08.2022.

[22] Asadi-Shekari, Z., Moeinaddini, M. and Zaly Shah, M., A. Pedestrian level of service method for evaluating and promoting walking facilities on campus streets, Land Use Policy 2014; 38: 175–193.

[23] Raidine, N. S. and Hamsa, A. A. K. Analysis on pedestrian volume pattern and pedestrian ınfrastructure provision in ıium gombak campus, Int. Conf. Urban Reg. Plan. 2014; 1–17.

[24] Kalaycı Önaç, A. and Birişçi, T. Evaluating Ege Unıversity Campus Transportation Network based on human-oriented design criteria, International Journal of Social Science 2017; 54, 333-349.

[25] TS 12506, Şehiriçi Yollar-Özürlü ve Yaşlılar İçin Sokak, Cadde, Meydan ve Yollarda Yapısal Önlemler ve İşaretlemelerin Tasarım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü.

[26] Arslan, H. ve Şıkoğlu, E. Fırat Üniversitesi Kampüsü Ulaşım Ağı'nın Coğrafi Açıdan İncelenmesinde Mekân Dizim Analizi Yöntemi, Türkiye Kentsel Morfoloji Sempozyumu, 22-23 Ekim 2015, Mersin, 346-367.

[27] TS 6283, Yol Sathı Hız Kontrol Elemanları – Tümsekler (Kasisler), Türk Standartları Enstitüsü.

[28] Kaygısız, Ö. Trafiği Sakinleştirmeye Yönelik Önlemler, Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyumu Kitabı, Ankara, 2010: s.543-562.

[29] TS 7249, Şehir İçi Yollar Boyutlandırma ve Tasarım Esasları, Türk Standartları Enstitüsü.

[30] Anonim. İstanbul Teknik Üniversitesi Koruma ve Güvenlik Müdürlüğü Trafik Bilgi Kitapçığı, 2022, https://www.itu.edu.tr/docs/librariesprovider2/default-document-library/it%C3%BC-trafik-bilgi-kitap%C3%A7%C4%B1%C4%9F%C4%B1.pdf?sfvrsn=de755a65_2, Erişim: 22.08.2022.

[31] Mutlu, M., M. Üniversite yerleşkesi ulaşım ana planı hazırlanması: Ege Üniversitesi Örneği, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.

[32] Darendelioğlu, T. Üniversite kampüslerinin sürdürülebilirlik özelliklerinin incelenmesi: Trakya Üniversitesi Balkan Yerleşkesi örneği, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
[33] Asadi-Shekari, Z., Moeinaddini, M. and Zaly Shah, M., A. Pedestrian level of service method for evaluating and promoting walking facilities on campus streets, Land Use Policy 2014; 38: 175–193.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 855-866, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1143178

Faya Uzak Yer Hareketi Kayıtları Etkisindeki Yapıların Deprem Davranışları ile Yer Hareketi Şiddet Ölçütlerinin Etkinliklerinin Değerlendirilmesi

Cengizhan DURUCAN[*1], Ahmet Nadir ÇAKILCIOĞLU[2]
[1] Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[*1] cdurucan@firat.edu.tr, [2] ahmet.nadir23@gmail.com

(Geliş/Received: 12/07/2022; Kabul/Accepted:15/09/2022)

Özet Bu çalışmada çok sayıda yer hareketi şiddet ölçütlerinin yapı davranışı ile deprem özellikleri arasında ilişki kurmadaki etkinlikleri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında yapıların orta periyot bölgelerinde bulunması durumları dikkate alınmıştır. Değerlendirme yapılırken; (i) hasara bağlı periyot uzaması ve, (ii) yüksek modların davranış üzerindeki etkilerini de dikkate alan yer hareketi şiddet ölçütleri kullanılmıştır. Ayrıca, istenmeyen plastik mekanizmaları en aza indiren, planda ve düşeyde düzenli, simetrik üç boyutlu yapı modelleri kullanılmıştır. Kurulan üç boyutlu yapı modellerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılmış ve elde edilen çatı deplasmanı değerleri, yer hareketi şiddet ölçütleri ile ilişkilendirilmiştir. Elde edilen ilişkiler Pearson Katsayısı, Belirlilik Katsayısı ve Spearman Katsayısı gibi istatistiksel parametreler ile değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar hangi özelliklere sahip olan yer hareketi şiddet ölçütlerinin en etkin olarak hangi yapı tipi için kullanılabileceği konusunda aydınlatıcı veriler sunmuştur. Orta periyot bölgesindeki yapılar için hız ve enerji tabanlı yer hareketi şiddet ölçütleri ile birlikte günümüz şartnamelerinde sıkça kullanılan, belirli bir periyot aralığında ölçeklendirilmiş spektral ivmeye dayalı yer hareketi şiddet ölçütlerinin de etkili olduğu görülmüştür.
Anahtar Kelimeler; spearman katsayısı, pearson katsayısı, zaman tanım alanında analiz, deprem analizi,

Evaluation of Efficiency of Ground Motion Intensity Measures with The Earthquake Responses of Structures Subjected to Far Fault Ground Motion Records

Abstract The efficiencies of many ground motion intensity measures in terms of establishing a relationship between the earthquake response and earthquake properties were evaluated in this study. In scope of the study, the structures at medium period range were considered. The evaluation was performed by using ground motion intensity measures which consider; (i) period elongation due to structural damage and, (ii) the effects of higher modes on the structural response. Moreover, structures with regular plan and elevation geometries with three dimensional and symmetrical structural systems which minimize the unwanted plastic mechanisms were used in the study. The nonlinear time history analyses of the models were performed and the roof displacements of structural models were correlated with ground motion intensity measures. The obtained relationships were evaluated with statistical parameters such as Pearson's Coefficient, Determination Coefficient and Spearman's Coefficient. The results obtained from the study provided illuminating data on which ground motion intensity measures can be used most effectively with which type of structures. For structures in the medium period range, ground motion intensity measures based on velocity and energy are observed to be effective together with the ground motion intensity measures which are based on spectral acceleration scaled within a certain period range, which are frequently used in modern structural codes.
Keywords; Spearman coefficient, Pearson coefficient, time history analysis, earthquake analysis,

1. Giriş

Depremler, maddi ve manevi kayıplara sebep olan doğal afetlerin başında gelmektedir. Bu durum depreme dayanıklı tasarımlar yapılmasını elzem kılmaktadır. Bu sebeple depreme dayanıklı yapı tasarımı üzerine yapılan birçok çalışma vardır. Bu çalışmalar bugün dahi bütün hızıyla devam etmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarlayabilmek için iki temel adım vardır. Birinci adım yapıların maruz kalacağı deprem yüklerinin mümkün olan en büyük doğrulukla öngörülmesi, ikinci adım ise öngörülen deprem yükleri altında yapının istenen/hedeflenen performansı sergilemesi için tasarım yapılmasıdır. Bu çalışma kapsamında ise depreme dayanıklı yapı tasarımının birinci ayağı üzerinde durulacaktır: Yapılara gelen deprem yüklerinin mümkün olan en büyük doğrulukla öngörülmesi üzerine çalışılacaktır.

Yapılara gelen deprem yüklerinin öngörülmesi yer hareketi şiddet ölçütleri (YHŞÖ) kullanılarak yapılır. Bu ölçütler; depremin herhangi bir bilinen özelliği ile yapılara vereceği hasar arasında ilişki kurmak için kullanılır.

[*] Sorumlu yazar: cdurucan@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0002-1933-8218, [2] 0000-0001-8368-9146

Eğer bir depremin vereceği hasarın o depremin hangi özelliğine bağlı olarak değiştiği ideal olarak bilinirse, o depreme maruz kalma ihtimali olan yapılar ona göre tasarlanabilir. Örneğin, "bir yer hareketi kaydında ölçülen en büyük ivme değeri arttıkça o yer hareketi kaydının yapıda meydana getirdiği hasar artacaktır" diyebilirsek, yapıları tasarlarken yer hareketi kaydında meydana gelebilecek en büyük ivme değerini baz alarak bir tasarım yapabiliriz. Böylece, daha büyük ivmeye maruz kalabilecek bölgelerdeki yapılar daha dayanıklı ve/veya daha sünek tasarlanabilir.

Deprem mühendisliği alanında yapılara iletilen deprem yüklerinin yer hareketinin özellikleri ile ilişkisinin belirlenmesi konusunda ciddi mesafe kaydedilmiştir. Modern yapı tasarım şartnameleri, yapının titreşim periyoduna bağlı olarak yapıya gelmesi olası olan en büyük ivmeleri dikkate alarak tasarım yaptırmaktadır. Bunun içinse tasarım ivme spektrumları kullanılmaktadır. Ancak, çok kullanışlı olsalar bile ivme spektrumlarının bazı eksik yönleri, kaybettikleri bazı bilgiler vardır. Bu sebeple alternatif YHŞÖ üzerinde yapılan çalışmalar halen devam etmektedir.

Deprem kayıtlarının en rahat elde edilebilen özellikleri en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı ve en büyük yer deplasmanı gibi üç temel parametredir. Bu parametreler çoğu zaman doğrudan ivmeölçerden alınan kayıtlar üzerinde yapılan basit matematiksel işlemler sonrası elde edilebilir. Parametrelerin elde edilişinin çok pratik olması sebebiyle bu YHŞÖ'lerden bazıları sıkça kullanılmıştır. Ancak, bu ölçütlerin yapı özelliklerini dikkate almaması ve tek başlarına çok anlamlı olmamaları sebebiyle daha gelişmiş şiddet ölçütleri önerilmiştir. Yapı özelliklerini de dikkate alan yapının temel titreşim periyoduna denk gelen spektral ivme, spektral hız ve spektral deplasman gibi spektruma dayalı YHŞÖ oldukça kullanışlıdır. Çünkü deprem ile birlikte yapının özelliklerini de dikkate alırlar. Spektruma dayalı bu ölçütlerin yanında depremin süresini dikkate alan [1] YHŞÖ de vardır. Yer hareketi esnasında ortaya çıkan enerjiyi dikkate alan (HI) [2]en büyük ivme yerine sık tekrarlanan ivme (SMA)[3] veya hız değerlerini (SMV)[3] dikkate alan YHŞÖ de vardır. Bunun yanında, elastik ötesi davranışın meydana geldiği durumlarda, yapısal hasara bağlı olarak yapı periyodunda ki uzamayı dikkate alan[4,5], bir yerine birden çok yer hareketi özelliğini dikkate alan [1] YHŞÖ de vardır. Aşağıda YHŞÖ ile yapı davranışı arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalardan birkaçına yer verilmiştir.

Wu ve arkadaşları [6] PGA(en büyük yer ivmesi), PGV (en büyük yer hızı) ve 1.0 saniyedeki spektral ivme (S_a) değerinin, depremde oluşacak hasar ile yüksek ilişkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Fakat PGA değerinin deprem içeriğindeki büyük ivmeye sahip yüksek frekanslı tek bir dalga sebebiyle özellikle küçük depremler için kararsız kaldığını belirtmişler ve PGA yerine PGV'nin kullanılmasını önermişlerdir. Wu ve arkadaşları [7] başka bir çalışmalarında, yine benzer şekilde PGV'nin PGA'ya kıyasla deprem şiddetini temsil etmede daha başarılı olduğunu göstermişlerdir. Elenas [8] ise yaptığı çalışmada spektral ivmenin ve spektral deprem enerjisinin yapı davranışı ile arasındaki ilişkinin yüksek olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca, PGA ve bazı diğer indekslerin yapı hasarı ile ilişkisinin zayıf olduğunu söylemişlerdir. An ve arkadaşları [9] yaptıkları çalışmada, toprağa gömülü tüneller için YHŞÖ'leri incelemişlerdir. Bu araştırma sonucunda PGA'nın sismik analizlerde diğer YHŞÖ'ne göre yapı davranışı ile daha az ilişkili olduğu ve en büyük yer değiştirme (PGD), Ortalama Karekök Yer Değiştirme (RMSD), Ortalama Karekök Hız (RMSV) ve Özgül Enerji Yoğunluğunun (SED) yapı davranışı ile ilişkisinin daha güçlü olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır. Li ve arkadaşları[10], yaptıkları çalışmada iletişim kulelerinin yüksek katlı çelik yapısı için ideal olan YHŞÖ'nin belirlenmesini incelemişlerdir. Analizlerinde, faya yakın (darbe içeren kayıtlar) ve faya uzak kayıtlar kullanmışlardır. Analizler sonucunda faya uzak kayıtlar için en etkili parametreler; PGA, $S_a(T_1)$, EPA (etkili en büyük ivme) ve CAV (yığışımlı mutlak hız) olarak belirlenmiştir. Fakat, yer hareketi kaydından bağımsız olarak en etkili parametrenin $S_a(T_1)$ olduğunu ifade etmişlerdir. Yılmaz [11] yaptığı çalışmada, tek serbestlik dereceli sistemlerin en büyük deplasman değerleri ve çok serbestlik dereceli sistemlerin en büyük katlar arası ötelenme değerleri ile YHŞÖ arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Sonuç olarak yapı davranışı ile çerçeve yapıların periyot aralıklarını dikkate alan spektral şiddet parametreleri arasında, PGA, PGV ve $S_a(T_1)$'e göre daha kuvvetli bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Hancılar [12] yaptığı analizler sonucunda, genellikle analizini yaptığı bütün yapılarda yapı davranışı ile birinci periyottaki spektral ivmenin ilişkisinin güçlü olduğu sonucunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte yapı periyodunun uzamasıyla birlikte PGD' nin (en büyük yer deplasmanı) etkisinin arttığını göstermişlerdir. Analizlerini yaptıkları uzun periyotlu yapılarda, en etkin parametrenin PGV olduğunu ifade etmişlerdir. Lucchini ve arkadaşları [13] çalışmalarında, çatı deplasmanının 5 adet YHŞÖ ile karşılaştırmasını yapmışlardır. Sonuç olarak yapı davranışı ile spektral ivmenin ilişkisinin zayıf olduğunu buna karşın bu çalışmada da kullanılan ve S* olarak isimlendirilen, yapının elastik ve hasar görmüş durumdaki periyodunu dikkate alan parametrenin etkin olduğunu ortaya koymuşlardır. Kostinakis ve arkadaşları[14] yaptıkları çalışma sonucunda; $S_a(T_1)$ ile birlikte, hızla ilişkili parametrelerin yapısal davranış ile güçlü ilişki sergilediğini ortaya koymuşlardır. Akray [15], yaptığı çalışmada karayollarında bulunan köprülerin analizinde kullanılacak YHŞÖ'lerini incelemiştir. Sonuç olarak

diğer YHŞÖ'lerine kıyasla spektral ivmenin, Housner şiddetinin ve hıza bağlı parametrelerin daha isabetli sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.Yukarıda görüldüğü gibi çok sayıda YHŞÖ geliştirilmesine rağmen, bu YHŞÖ'lerin yapısal hasar ile deprem tehlikesi arasındaki ilişkiyi kurmakta hangi şartlarda ne derece başarılı olduklarını inceleyen çalışmalardan elde edilen sonuçlar tam bir uyum halinde değildir. Kostinakis ve arkadaşları [16] yaptıkları çalışmada, YHŞÖ'ni karşılaştıran çalışmaların genellikle yeni bir YHŞÖ geliştirilmesini konu alan çalışmalar içinde oldukça kısıtlı şekilde yapıldığını belirtmiştir. Kostinakis ve arkadaşları [16]'in yaptığı bu tespite bağlı olarak, bu araştırma kapsamında YHŞÖ'lerinin etkinliklerini karşılaştıran bir çalışma tasarlanmıştır.

Çalışma kapsamında, mevcut YHŞÖ olarak karşımızda duran birçok alternatifin, deprem koşullarında, hangi tip yapılar üzerinde daha etkin çalışarak yapısal hasarla hangi durumlarda net bir ilişki ortaya koyabildikleri incelenecektir. Bu incelemeyi yapmak için öncelikle, yirmi adet faya uzak deprem kaydı seçilmiştir.

Daha sonra analizlerde kullanılacak yapı modelleri oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında 5, 8 ve 10 katlı olmak üzere üç boyutlu, yapı modelleri oluşturulmuştur. Seçilen deprem kayıtları kullanılarak yapıların çatı deplasmanları elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen çatı deplasmanları ile incelenen YHŞÖ arasındaki ilişki ortaya çıkarılmıştır.

2. Kullanılan Yer Hareketi Kayıtları

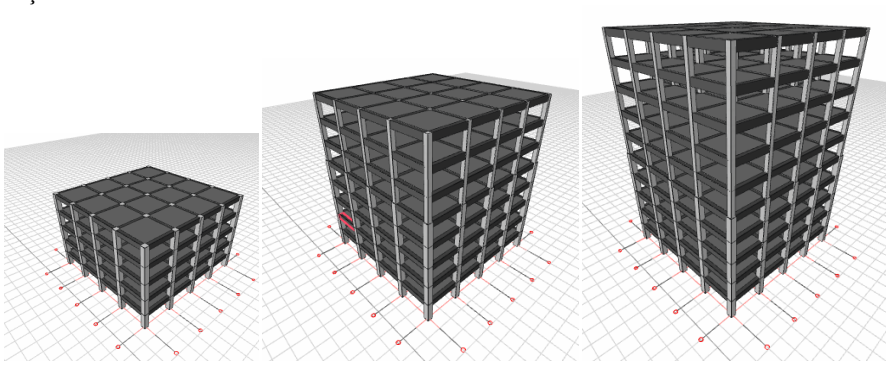
Çalışma kapsamında toplam 20 adet yer hareketi kaydı kullanılmıştır. Bu kayıtlar faya uzak bölgelerden elde edilmiştir. Bilindiği gibi faya yakın yer hareketleri yapılara sıra dışı deprem yüklerinin iletilmesini sağlayabilmektedir. Olası yakın saha fay etkilerini analiz sonuçlarından elemek için çalışma kapsamında seçilen yer hareketi kayıtlarının faya olan uzaklığının 20 km 'den daha büyük olmasına dikkat edilmiştir. Seçilen deprem kayıtlarına ait bilgiler tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Analizlerde kullanılan yer hareketi kayıtlarının özellikleri

Deprem	Kayıt	PGA(g)	PGV(cm/s)	Vs(m/s)	Mesafe(km)	Mw
Northridge	MTW000	0.234	7.4	822	36	6.69
San Fernando 1971/02/09 14:00	PSL270	0.202	10.9	970	22	6.61
Whittier Narrows 1987/10/01 14:42	A-TUJ352	0.178	6.7	446	29	5.99
N. Palm Springs 1986/07/08 09:20	CFR315	0.169	11.7	371	28	6.06
Imperial Valley 1979/10/15 23:16	H-SUP135	0.195	8.8	362	25	6.53
Cape Mendocino 1992/04/25 18:06	SHL000	0.229	7.1	514	29	7.01
Cape Mendocino 1992/04/25 18:06	SHL090	0.189	6.6	514	29	7.01
Kern County 1952/07/21 11:53	TAF111	0.178	17.5	385	39	7.36
Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	TCU095-W	0.378	62	447	45	7.62
Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	CHY047-N	0.186	22.2	273	24	7.62
Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	CHY088-N	0.216	20.5	273	37	7.62
Cape Mendocino 1992/04/25 18:06	EUR090	0.178	28.3	339	40	7.01
Kobe 1995/01/16 20:46	KAK000	0.251	18.7	312	23	6.9
Kobe 1995/01/16 20:46	KAK090	0.345	27.6	312	23	6.9
Loma Prieta 1989/10/18 00:05	A02043	0.274	53.6	133	43	6.93
Loma Prieta 1989/10/18 00:05	A02133	0.22	34.3	133	43	6.93
Kocaeli, Turkey 1999/08/17	ATS000	0.249	40	175	68	7.51
Kocaeli, Turkey 1999/08/17	ATS090	0.184	33.2	175	68	7.51
Loma Prieta 1989/10/18 00:05	A01000	0.2912	37.2	116	44	6.93
Loma Prieta 1989/10/18 00:05	A01090	0.2912	37.2	116	44	6.93

3. Analizlerde Kullanılan Yapı Modelleri

Çalışma kapsamında 3 boyutlu yapı modelleri oluşturulmuş ve analizler doğrudan bu modeller üzerinden gerçekleştirilmiştir. Modeller, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007 [17]'ye göre tasarlanmıştır. Yapı tasarımında kullanılan beton sınıfı C25/30 ve donatı çeliği ise S420'dir.Tasarım aşamasında, zemin sınıfı Z2, yapı önem katsayısı 1, deprem yükü azaltma katsayısı ise 8 olarak kullanılmıştır. Betonarme çerçeve elemanlar kullanılarak tasarlanan yapıların kat yüksekliği 3m olarak belirlenmiştir. Yapılar yatay düzlemde her iki doğrultuda 4 açıklıklı ve açıklık mesafesi 5m olacak şekilde tasarlanmıştır. Yapıların görünüşü Şekil 1'de verilmiştir.



(a) (b) (c)

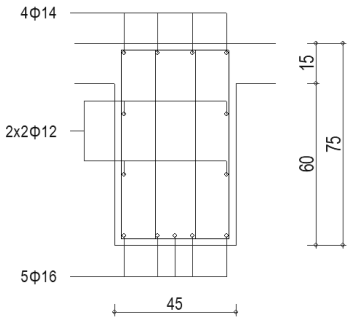
Şekil 1. Çalışmada kullanılan yapılara ait modeller; (a) 5 kat, (b) 8 kat, (c) 10 kat

Betonarme kolonların boyutları ve kullanılan donatı miktarları aşağıdaki tabloda (Tablo 2) sunulmuştur. Kiriş boyutları ise 45 cm x 75 cm olarak kullanılmıştır.

Tablo 2. Kolonların boyutları ve kullanılan donatı miktarı

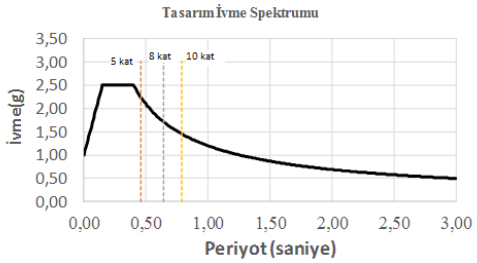
Kolon Boyutları (cm)	Boyuna Donatı		Etriye	
	Çap(mm)	Adet	Çap(mm)	Aralık (cm)
50/50 Kolon	20	8	8	15
60/60 Kolon	14	24	8	15
70/70 Kolon	16	28	8	15
80/80 Kolon	16	32	8	15

Kiriş donatılarına ait detaylı bilgi Şekil 2'de verilmiştir.



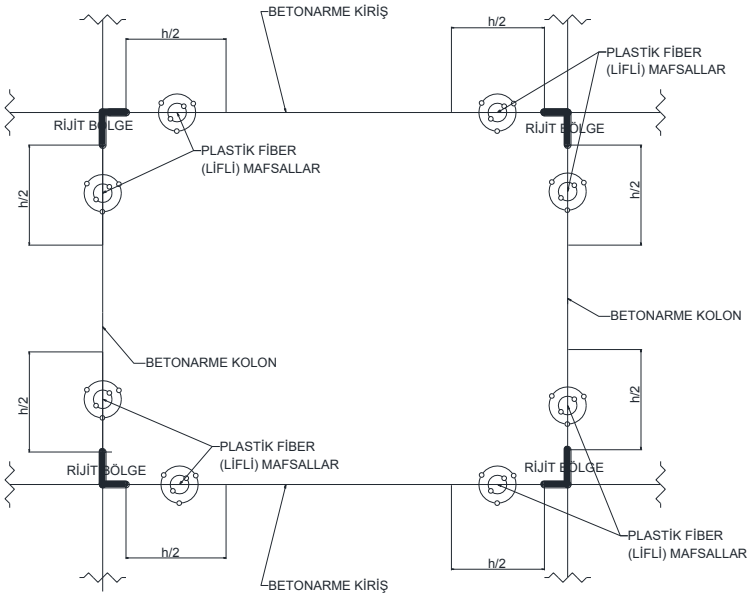
Şekil 2. Çalışmada kullanılan kirişlere ait detaylar.

Yapıların, çatlamış kesit rijitlikleri kullanılarak elde edilen temel titreşim periyotları ise; (i) 5 katlı yapı için T_1=0.46 s, (ii) 8 katlı yapı için T_1=0.64 s ve (iii) 10 katlı yapı için ise T_1=0.79 s olarak hesaplanmıştır. Tasarımda kullanılan ivme spektrumu aşağıdaki şekilde (Şekil 3) verilmiştir. Binaların temel titreşim periyotları şekil üzerinde kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi binaların tamamı orta periyot bölgesinde bulunmakla birlikte 5 katlı bina kısa periyot bölgesine oldukça yakın bir konumdadır.



Şekil 3. Binaların tasarımında kullanılan ivme spektrumu

Yapı modellerinde doğrusal olmayan davranışı dikkate alabilmek için plastik mafsallar kullanılmıştır. Bu plastik mafsallar kolon ve kirişlerin uç bölgelerinde eleman yüksekliğinin yarısı kadar bir uzunlukta yerleştirilmiştir. Plastik mafsal tipi olarak ise lifli plastik mafsallar kullanılmıştır. Bu tip plastik mafsallar moment - eksenel yük etkileşimini dikkate almaktadır. Lifli plastik mafsallar modellenirken her bir mafsalda 5x5 lifler kullanılmıştır. Bu lifler; kabuk beton, çekirdek beton ve donatı için ayrı ayrı malzeme modelleri üzerinden gerilme - birim şekil değiştirme ilişkileri kullanarak kesitin toplam taşıma gücü kapasitesini hesaplamaktadır. Yapı modellerinde kolon-kiriş birleşim bölgeleri tam rijit kabul edilmiştir. Modellerde betonarme döşeme ayrıca modellenmemiş, bunun yerine rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Modellemeye ait detaylar Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Yapı elemanlarının modellenmesine ait detaylar.

4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler

Çalışma kapsamında modellenen üç boyutlu betonarme çerçeve yapıların öncelikle düşey yükler altında doğrusal olmayan statik analizleri yapılarak düşey yüklerin elemanlar üzerine etkimesi sağlanmıştır. Bu düşey yük analizlerinden sonra, onların kaldığı yerden devam eden yatay yönlü (tek yönde) doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Bu analizlerde yapının geometrik kaynaklı ve malzeme kaynaklı doğrusal olmayan davranışı dikkate alınmıştır. Analizler sonucunda yapılarda herhangi bir yumuşak kat oluşumu gözlenmemiştir. Bu sebeple yapısal hasar tek bir katta yoğunlaşarak o kattaki göreli kat ötelenmeleri belirgin derecede daha yüksek hale getirmemiştir. Buna bağlı olarak katlar-arası ötelenmeler yapı yüksekliği boyunca

benzer değerlerde kalmıştır. Yapısal hasar ve şiddet ölçekleri arasındaki ilişkiyi kurmakta, deprem davranış parametresi olarak çatı deplasmanı kullanılmıştır.

5. İncelenen Yer Hareketi Şiddet Ölçekleri

Çalışma kapsamında incelenen YHŞÖ pratik şekilde elde edilebilenler arasından seçilmiştir. Bunun dışında elde edilmesi ve kullanılması oldukça zahmetli olan bazı yeni nesil şiddet ölçütleri bu çalışmanın kapsamına dahil edilmemiştir. Çalışma kapsamında; doğrudan yer hareketi kaydından elde edilebilen; (i) en büyük zemin ivmesi (PGA), (ii) en büyük zemin hızı (PGV) ve en büyük zemin yer değiştirmesi (PGD), (iv) Arias Şiddeti (AI) [18], (v) yığışımlı mutlak hız (CAV) [19], (vi) Housner Şiddeti (HI) [2], (vii) korunan en büyük ivme (SMA) [3], (viii) korunan en büyük hız (SMV) [3], (ix) etkin tasarım ivmesi (EDA) [20], (x) A95 [21] parametresi yer hareketi şiddet ölçütleri kullanılmıştır. Bunun dışında doğrudan yer hareketi parametrelerinden değil, ancak yapıya ait bilgi içeren davranış spektrumlarından elde edilebilen; (i) $S_A(T_1)$, (ii) $S_V(T_1)$, (iii) $S_D(T_1)$ ve (iv) S^* [4] gibi şiddet ölçütleri de kullanılmıştır. Ayrıca son dönemde sıkça kullanılan ve yer hareketi ölçeklendirmesini yapının temel titreşim periyoduna bağlı bir aralık üzerinde gerçekleştiren, böylece yüksek mod etkileri ve hasara bağlı periyot uzamasını dikkate alan YHŞÖ de çalışma kapsamında incelenmiştir. Bu ölçütler; $S_{a,gm1}$ (T_1, $1.6T_1$) [5], $S_{a,gm2}$ ($0.2T$, $1.6T_1$) [6], Ortalama spektral ivme [22], İvme spektrumunun şekli ile deprem süresinin birleşik etkisi (Birleşik) [1] olarak listelenebilir. Bu YHŞÖ'ne ait detaylar ilgili referanslarda bulunabilir. Bununla birlikte, kullanılan YHŞÖ'ne ilişkin özet bilgi Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan YHŞÖ'lere ait özet bilgi

Yer Hareketi Şiddet Ölçeği (YHŞÖ)	Açıklama	Referans
PGA- Zemindeki en büyük ivme	İvme-zaman kaydından okunan en büyük ivme	-
PGV- Zemindeki en büyük hız	Hız-zaman kaydından okunan en büyük hız	-
PGD- Zemindeki en büyük deplasman	Deplasman-zaman kaydından okunan en büyük deplasman	-
AI- Arias Şiddeti	$AI = \frac{\pi}{2g}\int_0^t a(t)^2 dt$	Arias [18]
CAV- Yığışımlı mutlak hız	$CAV = \int_0^t a(t)dt$	EPRI[19]
HI- Housner Şiddeti	$HI = \int_{0.1}^{2.5} PSV(\xi = 0.05, T)dT$	Housner[2]
SMA- Korunan en büyük ivme	İvme kaydındaki mutlak değerce en büyük üçüncü ivme	Nuttli[3]
SMV- Korunan en büyük hız	Hız kaydındaki mutlak değerce en büyük üçüncü hız	Nuttli[3]
EDA- Etkili tasarım ivmesi	9 Hz frekans ile düşük geçişli filtrelenmiş en büyük ivme	Benjamin vd [20]
A95-Arias Şiddeti'ne bağlı ivme değeri	Arias Şiddeti'nin %95'ini kapsayan ivme	Sarma ve Yang, [21]
$S_A(T_1)$-Birinci periyottaki spektral ivme	Yapının birinci periyoduna karşılık gelen spektral ivme	-
$S_V(T_1)$ -Birinci periyottaki spektral hız	Yapının birinci periyoduna karşılık gelen spektral hız	-
$S_D(T_1)$ -Birinci periyottaki spektral deplasman	Yapının birinci periyoduna karşılık gelen spektral deplasman	-
S^*- Periyot uzamasını dikkate alan spektral ivme	$S^* = S_a(T_1) * \sqrt{\left(\frac{S_a(2T_1)}{S_a(T_1)}\right)}$	Cordova vd [4]
$S_{a,gm1}$ (T-1.6T)-Belli aralıktaki spektral ivmelerin geometrik ortalaması	$S_{a,gm1}(T - 1.6T) = \left(\prod_{i=1}^{n} S_a(T_i)\right)^{1/n}$	Adam vd. [5]
$S_{a,gm2}$ (0.2T-1.6T) -Belli aralıktaki spektral ivmelerin geometrik ortalaması	$S_{a,gm1}(0.2T - 1.6T) = \left(\prod_{i=1}^{n} S_a(T_i)\right)^{1/n}$	Adam vd. [5]
Ortalama spektral ivme-Belli aralıktaki spektral ivmelerin geometrik ortalaması	$Sa_{avg}(0.2T - 3T) = \left(\prod_{i=1}^{n} S_a(T_i)\right)^{1/n}$	Eads vd [22]
Birleşik-Depremin süresi ve spektrum şeklinin birleşik etkisi	$IM_{birleşik} = S_a(T) * IM_{süre}^{C_{süre}} * IM_{şekil}^{C_{şekil}}$	Marafi vd [1]

6.Sonuçların İncelenmesinde Kullanılan Parametreler

Bu çalışmada seçilen şiddet ölçütlerinin seçilen deprem davranış parametresi ile ilişkisini incelemek için sıkça başvurulan üç kriter kullanılmıştır. Çalışmada incelenen sismik talep parametresi ise çatı deplasmanıdır. Bölüm 6.1, Bölüm 6.2 ve 6.3' de modellenen yapıların, seçilen yer hareketi kayıtları etkisi altında yapılan doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerinden elde edilen çatı deplasmanları değerlerinin şiddet ölçütleri ile olan ilişkileri sırasıyla; (i) Pearson Katsayısı, (ii) Belirlilik Katsayısı ve (iii) Spearman Korelasyonu

kullanılarak sunulmuştur. Pearson Katsayısı kullanılarak bir korelasyon olup olmadığının incelenmesi için veri setinin normal dağılıma uygun olup olmadığının belirlenmesi gerekir. Pearson Katsayısı ancak normal dağılıma uygun bir veri seti kullanıldığında anlam kazanmaktadır. Bu sebeple analizi yapılacak olan çatı deplasmanı veri setlerinin normal dağılıma uyup uymadığı tek örneklem Kolmogorov-Smirnov [23] testi yapılarak kontrol edilmiştir. Yapılan test sonucu analizi yapılan bütün veri setlerinin normal dağılıma uyduğu tespit edilmiştir.

6.1. Pearson Katsayısı (r) kullanılarak sonuçların incelenmesi

Pearson Katsayısı (r) ; iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin mertebesini ve yönünü göstermektedir. -1 ile +1 arasında değerler alabilen bu katsayının -1 ve +1 olduğu durumlarda incelenen iki değişkenden bir tanesinin diğeri ile tamamen açıklanabileceği anlaşılmaktadır. Öte yandan Pearson Katsayısının sıfır olması durumunda ise incelenen iki değişken arasında hiç bir ilişki olmadığı kabul edilmektedir. Pearson Katsayısının pozitif olması, değişkenlerden biri artarken diğerinin de doğrusal biçimde arttığını, negatif olması ise bir değişen artarken diğer değişkenin de doğrusal biçimde azaldığını göstermektedir. Pearson Katsayısının hesaplanmasında kullanılan eşitlik denklem 1'de verilmiştir. Denklem 1'de x ve y incelenen veri setlerini, $\bar{x}$ ve $\bar{y}$ bu veri setlerinin ortalama değerlerini, n veri sayısını, s_x ve s_y ise standart sapmaları temsil etmektedir. Bu katsayının verdiği sonuçların sağlıklı olabilmesi, ilişkisi incelenen değişkenlerin normal dağılıma uygun olması beklenir. Bu sebeple, bu çalışmada elde edilen ve mühendislik talep parametresi olarak seçilen çatı deplasmanı değerlerine Kolmogorov - Smirnov normallik testi uygulanmış ve değerlerin normal dağılıma uygun olduğu tespit edilmiştir.

$$r = \frac{\sum_{i=}^{n}\left(\frac{x_i-\bar{x}}{s_x}\right)\left(\frac{y_i-\bar{y}}{s_y}\right)}{n-1} \quad (1)$$

6.2 Belirlilik Katsayısı (r^2) kullanılarak sonuçların incelenmesi

Çalışmada kullanılan ikinci kriter ise belirlilik katsayısıdır (r^2). Pearson katsayısı iki değişken arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü ortaya çıkarırken, belirlilik katsayısı ise bir değişkendeki değişimin ne ölçüde diğer değişkene bağlı olduğunu [24] ve bir değişkeni kullanarak diğerinin ne ölçüde öngörülebileceğini ifade etmektedir [25]. Belirlilik katsayısı sıfır ile bir arasında değerler almaktadır. Katsayının değerinin bir olması, bir değişken kullanılarak diğer değişkenin alacağı değerin tamamen öngörülebileceğini göstermektedir. Katsayının birden küçük olması ise bir değişken kullanılarak diğer değişkenin kısmen öngörülebileceğini gösterir. Akray [15] köprülerin talep parametrelerinin YHŞÖ ile ilişkisini incelemek için yaptığı çalışmada, belirlilik katsayısının (r^2) 0.8'den büyük olduğu durumları kuvvetli korelasyon, 0.4'den küçük olduğu durumları zayıf korelasyon ara değerleri ise orta seviye korelasyon olarak tanımlamıştır. Kuvvetli korelasyon durumunda yalnızca şiddet ölçütleri kullanılarak bile sismik talep parametreleri hakkında tahmin yapılabileceğini, orta seviye korelasyon durumunda ise sonuçların temkinli olarak kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Zayıf korelasyon durumunda ise yalnızca ilgili şiddet ölçütüne bakarak talep değerleri üzerine yorum yapılamayacağını belirtmiştir.

6.3 Spearman Korelasyonu (ρ) kullanılarak sonuçların incelenmesi

Çalışmada kullanılan üçüncü kriter ise Spearman Korelasyonudur. Bu katsayı hesaplanırken değişkenlerin aldığı değerlerin büyüklüklerine (küçükten büyüğe veya büyükten küçüğe) göre bir sıralama yapılır. Daha sonra büyüklüklerine göre sıralanmış değerler arasındaki Pearson Katsayısı elde edilir. Böylece iki değişken arasında monotonik olarak artan veya azalan bir ilişki olup olmadığı ölçülür. Bu değişken de yine Pearson Katsayısı gibi -1 ile 1 arasında değerler alır. Spearman Korelasyonunu ifade etmekte kullanılan ρ (rho) değeri -1 veya 1 olduğunda değişkenler arasında kusursuz olarak, sırasıyla, monoton azalan veya azalan bir ilişki var demektir. Öte yandan ρ'nun mutlak değerinin 0.9'dan büyük olması çok güçlü bir monotonluk ilişkisini, 0.7 - 0.9 arasında olması güçlü bir ilişkiyi, 0.5 - 0.7 arasında olması ise orta seviye bir monotonluk ilişkisini gösterir [25].

7. Karşılaştırma Sonuçları

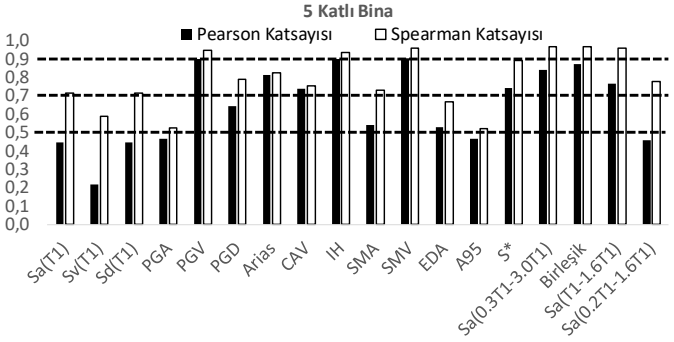
Bu bölümde analizi yapılan binalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Karşılaştırma için kullanılan grafiklerin sonunda yer alan 5 adet şiddet ölçütü (Grup 1); S*, $S_a(0.3xT_1\text{-}3.0xT_1)$, Birleşik, $S_a(1.0xT_1\text{-}1.6xT_1)$, $S_a(0.2xT_1\text{-}1.6xT_1)$ günümüzde yapı şartnamelerinin deprem ölçeklendirmede kullandığı yöntemlerde kullanılan

YHŞÖ'ne benzer YHŞÖ'dir. Bunlar dışında, $S_a(T_1)$, $S_v(T_1)$ ve $S_d(T_1)$ deprem özelliklerinin yanı sıra yapının periyodunu ve sönüm oranını da dikkate alan spektrum tabanlı YHŞÖ'leri (Grup 2), PGA,PGV ve PGD (Grup 3) depremin ivme-zaman, hız- zaman ve deplasman – zaman kayıtlarından doğrudan okunabilen en pratik YHŞÖ'ni, bunların dışında kalan Arias, CAV, IH, SMA, SMV, EDA ve A95 (Grup 4) ise yine depremin ivme-zaman veya hız- zaman kayıtlarının işleme sokulmasıyla elde edilen YHŞÖ göstermektedir.

7.1. Beş Katlı Binanın Analiz Sonuçları

Şekil 5'de 5 katlı binanın analiz sonuçlarından elde edilen çatı deplasmanlarının YHŞÖ ile ilişkisini gösteren Pearson ve Spearman Katsayıları görülmektedir. Bu iki katsayı değerlendirilirken, 0.5'den küçük değerlerin anlamsızlığı, 0.5-0.7 arasındaki değerlerin orta seviyede ilişkiyi, 0.7-0.9 arası değerlerin güçlü ilişkiyi, 0.9'dan büyük değerlerin ise çok güçlü ilişkiyi temsil ettikleri kabul edilmiştir. Boslaugh ve Watters [25] tarafından Spearman Katsayısı için tanımlanan bu limit değerler, benzer ilişkileri göstermesi sebebiyle bu çalışmada Pearson Katsayısını yorumlamak için de kullanılmıştır. Şekil 5 Pearson Katsayısı açısından incelendiğinde çok güçlü ilişkiyi temsil eden (>0.9) 4 adet YHŞÖ'nden, 3 tanesinin PGV, IH, SMV depremin hız-zaman kaydından doğrudan ya da hız- zaman kaydının işleme sokulmasıyla elde edilen YHŞÖ'ler olduğu görülmektedir.

Bunun dışında, Grup 1 olarak isimlendirilen ve günümüz şartnamelerindeki yaklaşımlara benzer olan YHŞÖ'nin 5 katlı yapının çatı deplasmanı ile çok güçlü doğrusal ilişkiler kuramadığı (Pearson Katsayısı < 0.9) ancak, bir tanesi hariç olmak üzere, çatı deplasmanı ile monoton artan güçlü ilişki içinde olduğu söylenebilir (Spearman Katsayısı > 0.9). Bütün binalara ait ortalama, Pearson ve Spearman Katsayılarının birlikte gösterildiği Şekil 8 incelendiğinde bu durum daha kolay görülebilecektir.



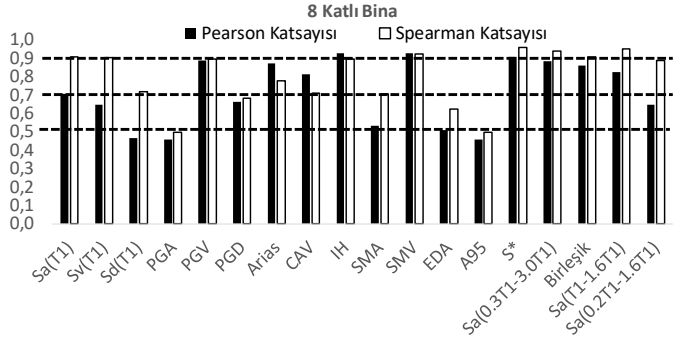
Şekil 5. 5 katlı binanın Pearson ve Spearman Katsayıları

Pearson Katsayının karesinin alınmasıyla elde edilen belirlilik katsayıları da incelendiğinde (Şekil 9), aynı sonuç karşımıza çıkmaktadır. Anılan, 3 adet YHŞÖ'nin belirlilik katsayıları her zaman 0.8'in üzerinde kalarak bu YHŞÖ'lerin çatı deplasmanını tahmin etmekte büyük bir isabet oranıyla kullanılabileceğini göstermiştir. Hızla ilgili YHŞÖ'nin başarı oranının büyük olmasında, analizi yapılan binaların orta periyot bölgesinde olmasının etkisi büyüktür. Bilindiği gibi orta periyot bölgesindeki binalar, yüksek frekanslı ivme dalgaları yerine orta frekanslı hız dalgaları ile rezonansa girme eğilimine sahiptir. Bu eğilim, hız dalgalarının genliği büyüdükçe ortaya çıkan deplasman değerlerinin büyümesine sebep olmaktadır. Aynı ilişki, Spearman Katsayısı açısından incelendiğinde yine benzer sonuçlar görülmektedir. Bunun anlamı ise hıza bağlı PGV, IH ve SMV YHŞÖ'nin büyük miktarda çatı deplasmanı ile doğrusal bir ilişki içinde olduğudur, çünkü, aradaki ilişkinin miktarını doğrusallık şartını ortadan kaldırarak ölçen Spearman Katsayısı değerleri Pearson Katsayısı değerlerinden çok az farklıdır.

7.2. Sekiz Katlı Binanın Analiz Sonuçları

Şekil 6'da 8 katlı binanın analiz sonuçlarından elde edilen çatı deplasmanlarının YHŞÖ ile ilişkisini gösteren Pearson ve Spearman Katsayıları görülmektedir. Sonuçların 5 katlı bina için elde edilenlere oldukça benzer olduğu görülmektedir. İki şekil arasında gözlenebilen en büyük fark, S_a (T_1) ve $S_v(T_1)$'in Pearson ve Spearman Katsayılarındaki ciddi artış olarak karşımıza çıkmaktadır. Grafikler incelendiğinde bu iki YHŞÖ'nün Spearman Katsayılarının, çok güçlü ilişki bandına çıktığı görülmektedir. Bilindiği gibi spektruma dayalı bu

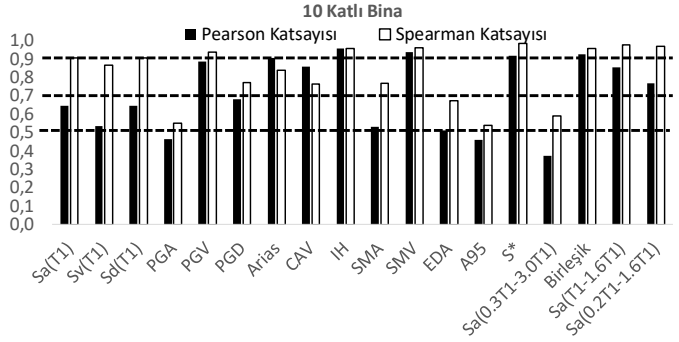
YHŞÖ binanın elastik davranması durumunda çok iyi çalışmaktadır. Ancak bina elastik davranışın ötesine geçtiğinde, binaya aktarılan ivme ve hız dalgalarının genliği ve bunlara bağlı ortaya çıkan deplasmanlar ciddi oranda değişmektedir. Bu değişim, orta ve uzun periyot bölgesindeki yapılar için daha öngörülebilir ve orantılı olarak karşımıza çıkar. Kısa periyot bölgesine yakın yapılarda ise bu konuda belirsizlik oldukça yüksektir. Son dönemde, elastik ötesi deplasman taleplerinin, elastik deplasman taleplerine oranı olarak tanımlanan C_1 katsayısı üzerine tek serbestlik dereceli sistemler kullanılarak yapılan bazı çalışmalar [26] bu durumu ortaya koymaktadır. Kısa periyot bölgesindeki yapılarda ki bu belirsizlik, elastik deplasmanlar için çok iyi çalışan S_a (T_1) ve $S_v(T_1)$'nin etkinliğinin görece kısa periyotlu ve elastik ötesi deplasman yapan yapılarda düşük olmasına sebep olmaktadır. Yapı periyodu uzadıkça, belirsizlik azalmakta ve S_a (T_1) ve $S_v(T_1)$'nin artışıyla birlikte, elastik deplasmanlar gibi plastik deplasmanlarda (doğrusal olarak olmasa da) artmaktadır. Şekil 6'da S_a (T_1) ve $S_v(T_1)$'nin Spearman Katsayılarındaki ciddi artış bunu göstermektedir.



Şekil 6. 8 katlı binanın Pearson ve Spearman Katsayıları

7.3. On Katlı Binanın Analiz Sonuçları

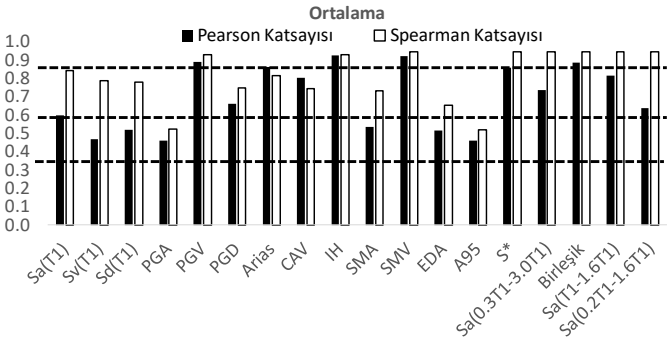
Şekil 7'de 10 katlı binanın analiz sonuçlarından elde edilen çatı deplasmanlarının YHŞÖ ile ilişkisini gösteren Pearson ve Spearman Katsayıları görülmektedir. Şekil 7 ve 6 arasında, Şekil 6 ve 5 arasındakine benzer bir fark olduğu rahatça görülebilir. Yapı periyodu, kısa periyot bölgesinden uzaklaştıkça az da olsa Spearman ve Pearson Katsayılarında bir artış olduğu gözlenmektedir. Bu durumun ciddi bir istisnası ise $S_a(0.3xT_1\text{-}3.0xT_1)$'in Pearson ve Spearman Katsayılarında görülmektedir. Bu YHŞÖ için diğerlerinin aksine Pearson ve Spearman Katsayılarında düşüş görülmektedir. Bunun sebebi ise $S_a(0.3xT_1\text{-}3.0xT_1)$'in üst periyot limiti $3.0xT_1$ olarak karşımıza çıkmaktadır. 10 katlı yapının periyot değeri daha önce 0.79 s olarak verilmişti, bu değeri 3 ile çarptığımızda 2.37 s karşımıza çıkmaktadır. Tasarım spektrumunun verildiği Şekil 3'e bakarsak bu periyot değerinde ivmelerin çok azaldığı açıkça görülmektedir. Gerçek deprem kayıtlarının ivme spektrumlarında bu düşüş daha yüksek olabilmektedir. Bu bölgedeki çok düşük ivme değerlerinin dikkate alınması, düşük ivmelerin ilgili şiddet ölçeğinin hesapladığı değerleri bozmasına ve bu değerlerin çok düşmesine yol açmaktadır. Bu yüzden daha düşük periyotlu yapılarda daha etkin olarak karşımıza çıkan bu şiddet ölçütü, görece olarak daha uzun periyotlu yapılarda etkinliğini büyük ölçüde kaybetmektedir.



Şekil 7. 10 katlı binanın Pearson ve Spearman Katsayıları

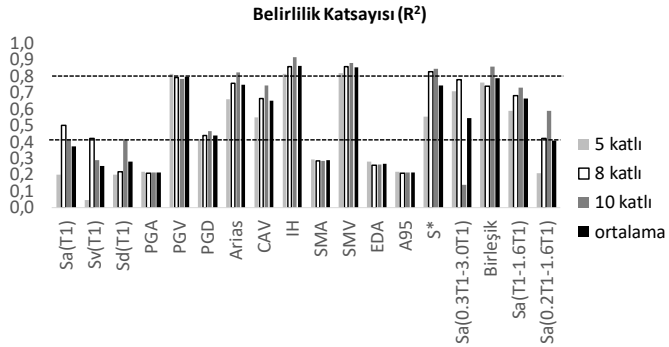
7.3. Bütün binalara ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Bu bölümde analizi yapılan bütün yapıların çatı deplasmanlarının YHŞÖ ile ilişkisinin değişimi incelenmiştir. Şekil 8'de bütün yapıların Pearson ve Spearman Katsayılarının ortalama değerleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, en etkili YHŞÖ enerji ve hız tabanlı; PGV, IH ve SMV ile birlikte günümüz şartnamelerinin kullandırdığına benzer şekilde tasarlanmış olan S*, $S_a(0.3xT_1\text{-}3.0xT_1)$, Birleşik, $S_a(1.0xT_1\text{-}1.6xT_1)$, $S_a(0.2xT_1\text{-}1.6xT_1)$'dir. Adı geçen bütün YHŞÖ'lerinin Spearman katsayıları hem 0.9'dan büyük değerler almakta hem de Pearson Katsayılarından daha büyük değerler almaktadır. Bunun anlamı, bu YHŞÖ'lerinin artışı ile çatı deplasmanı değerlerinin artacağı şeklinde bir önermenin çoğu zaman doğru olduğudur. Bunun yanında adı geçen YHŞÖ'nin bazılarının Pearson Katsayılarının da 0.9'dan büyük olduğu bazılarının da 0.7 ile 0.9 arasında değiştiği görülmektedir. Bunun anlamı ise; (i) Pearson Katsayıları 0.9'dan büyük olan YHŞÖ ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki doğrusaldır önermesinin çoğu zaman doğru olduğudur, (ii) ancak Pearson Katsayıları 0.7 ile 0.9 arasında olan YHŞÖ ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki doğrusaldır önermesinin her zaman doğru olmayabileceğidir.



Şekil 8. Bütün binaların ortalama Pearson ve Spearman Katsayıları

Şekil 9'da ise her bir şiddet ölçütünün her bir yapının çatı deplasmanı ile değişimi arasındaki belirlilik katsayısı görülmektedir. Bu grafikten ise, YHŞÖ kullanılarak çatı deplasmanına ilişkin bir tahmin yapılmak istendiğinde bu tahminin hangi yüzde ile isabetli olduğu anlaşılabilir. Şekilden görüldüğü gibi, PGV, IH, SMV gibi hız ve enerji tabanlı YHŞÖ'ler kullanılarak yapılacak tahminlerin isabet yüzdeleri her bir yapı için %80'in üzerindedir. Öte yandan, birçok şiddet ölçütünün belirlilik katsayılarının 0.4'ün altında kaldığı ve analizi yapılan yapılar için etkin olmadığı görülmüştür.



Şekil 9. Binaların belirlilik katsayısı değerleri

8. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında analizi yapılan 3 boyutlu betonarme çerçeveler, uzak saha depremlere maruz bırakıldığında, ortaya çıkan çatı deplasmanlarının seçilen çok sayıda ki YHŞÖ ile ilişkisi incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Analizi yapılan yapıların tamamı orta periyot bölgesinde olduğundan bu yapıların yer hareketinin ivme dalgaları gibi yüksek frekanslı dalgalar yerine, yer hareketinin hız dalgaları gibi daha düşük frekanslı dalgalar ile rezonansa girdiği görülmüştür. Buna bağlı olarak hız ve enerji tabanlı YHŞÖ'nin analizi

yapılan yapıların çatı deplasmanları ile ilişkisinin diğer YHŞÖ'ne göre daha kuvvetli olduğu ortaya çıkmıştır.

- Spektrum yoluyla ve doğrudan yer hareketinin ivme ve deplasman kaydı üzerinden elde edilen YHŞÖ'lerin çoğu zaman etkin olmaktan uzak olduğu, ancak genelde, çatı deplasmanı ile monoton artan bir ilişkiyi tahmin etmekte başarılı oldukları görülmüştür.
- Bunun yanında, modern şartnamelerin önerdiğine benzer şekilde tasarlanmış olan spektral ivmeye dayalı YHŞÖ'lerin hız ve enerjiye dayalı YHŞÖ kadar olmasa da etkin oldukları görülmüştür.
- Bina periyodunun, kısa periyot bölgesinden uzaklaşmasıyla, YHŞÖ'nin etkinliklerinin genel olarak bir miktar arttığı bu artışın özellikle 5 ile 8 katlı yapılar arasındaki farktan daha net ortaya çıktığı görülmüştür.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, analizi yapılan orta periyot bölgesindeki betonarme çerçeve yapılar için geçerlidir. Daha kısa ve uzun periyot bölgesindeki yapılar için etkin olan YHŞÖ'leri değişebilir. Çalışmada kullanılan yer hareketi kayıtlarından farklı özellikteki, hız ivme ve/veya hız darbesi içeren yer hareketi kayıtları için de etkin olan YHŞÖ değişebilir. Bu tip değişimleri inceleyen çalışmaların yapılması faydalı olacaktır.

Referanslar

[1] Marafi N.A., Berman J.W. and Eberhard, M.O. Ductility-dependent intensity measure that accounts for ground-motion spectral shape and duration. Earthq. Eng. and Struct. D. 2016;45(4):653-672.

[2] Housner, G. W. Intensity of ground motion during strong earthquakes. California Institute of Technology. 1952.

[3] Nuttli O.-W. The relation of sustained maximum ground acceleration and velocity to earthquake intensity and magnitude. US Army Corps of Engineers.1979;16: 71-1.

[4] Cordova P.P., Deierlein G.G., Mehanny S.S.F., Cornell C.A. Development of a two-parameter seismic intensity measure and probabilistic assessment procedure. 2nd U.S.-JapanWorkshop on PBEE Methodology for Reinforced Concrete Building Structures. 2001.

[5] Adam C., Tsantaki S., Ibarra L.F., Kampenhuber D. Record-to-record variability of the collapse capacity of multi-story frame structures vulnerable to P-delta. Proc. of the Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (2ECEES). 2014;August 24-29:12. Istanbul, Turkey, electronic volume (ISBN: 978-605-62703-6-9)

[6] Wu Y. M., Hsiao N. C., Teng T. L. Relationships between strong ground motion peak values and seismic loss during the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake. Natural Hazards. 2004;32(3):357-373.

[7] Wu Y. M., Teng T. L., Shin T. C., Hsiao N. C. Relationship between peak ground acceleration, peak ground velocity, and intensity in Taiwan. Bulletin of the Seismological Society of America. 2003;93(1): 386-396**.**

[8] Elenas A. Correlation between seismic acceleration parameters and overall structural damage indices of buildings. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2000;20(1-4):93-100.

[9] An D., Chen Z., Cui G. Research on seismic ground motion parameters applicable to the safety of rectangular shallow tunnel. Earthquake Engineering and Structural Mechanics. 2022;14:1-10.

[10] Li B., Lai Q., Guo E., Mao C., Li X. Determining the Optimal Scalar Intensity Measure of Floor Communication Towers. Shock and Vibration. 2022;12.

[11] Yılmaz H. Correlation of Deformation Demands with Ground Motion Intensity. Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. 2007.

[12] Hancilar U. Correlations between Ground Motion Intensity Measures and Structural Response Parameters through Nonlinear Dynamic Analyses. PhD Thesis. Bogazici University. Institute of Graduate Studies in Science and Engineering. 2009.

[13] Lucchini A., Mollaioli F., Monti G. Intensity Measures For Response Prediction Of A Torsional Building Subjected To Bi-Directional Earthquake Ground Motion. Bull Earthq Eng. 2011; 9:1499–1518.

[14] Kostinakis K., Athanatopoulou A., Morfidis K. Correlation between ground motion intensity measures and seismic damage of 3D R/C buildings. Engineering Structures. 2014;82:151–167.

[15] Akray, A. Evaluation Of Intensity Measures For Ground Motion Selectıon To Be Used In The Analysıs Of Hıghway Flyover Brıdges. Mıddle East Technıcal Unıversıty. Graduate School of Natural and Applied Sciences. 2019.

[16] Kostinakis K., I.-K. Fontara, A.-M. Athanatopoulou. Scalar structure-specific ground motion intensity measures for assessing the seismic performance of structures: A review. Journal of Earthquake Engineering. 2018; 22 (4):630–65.

[17] TDY 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 2007

[18] Arias, A.: A measure of earthquake intensity, in: Seismic Design for Nuclear Power Plants, edited by: Hansen, R. J., MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 438–483, 1970.

[19] EPRI. A criterion for determining exceedance of the operating basis earthquake. Report No. EPRI NP-5930, Palo Alto, CA.1988.

[20] Benjamin J. R., Associates. A criterion for determining exceedances of the operating basis earthquake (EPRI Report NP-5930). Electric Power Research Institute. 1988.

[21] Sarma S. K., Yang K. S. An evaluation of strong motion records and a new parameter A95. Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 1987;15(1): 119–132.

[22] Eads L., Miranda E., Lignos D.G. Average spectral acceleration as an intensity measure for collapse risk assessment. Earthq Eng Struct Dyn. 2015;44(12):2057-2073.

[23] Massey Jr, F. J. The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. ournal of the American statistical Association. 1951; 46: 68–78.

[24] Boslaugh S, Watters P. Statistics in a nutshell. 1st ed. 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, USA: O'Reilly Media, Inc. 2008. [KİTAP]

[25] Gravetter F. J., Wallnau L. B. Statistics for the behavioral sciences: A short course and student manual. University Press of America. 2004. [KİTAP]

[26] Durucan C, Dicleli M. Ap/Vp specific inelastic displacement ratio for seismic response estimation of structures.Earthq Eng Struct Dyn.2015;44(7):1075-1097.

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 867-877, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1141515

Radyo Haberleşmesinde Evrişimli Sinir Ağı Kullanılarak Yapılan Modülasyon Sınıflandırması

Bircan ÇALIŞIR[1*]
[1]Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[*1] bkamislioglu@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 06/07/2022; Kabul/Accepted: 12/09/2022)

Öz: Bu çalışmada, radyo iletişim sinyalleri için modülasyon tipi sınıflandırması amaçlanmış ve derin öğrenmenin sınıflandırma performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada, modülasyon sınıflandırmasında bir evrişimsel sinir ağının (Convolutional Neural Network-CNN) nasıl kullanılacağı araştırılmaktadır. İlk olarak, sentetik, kanal-bozulmuş dalga biçimleri oluşturulur. Üretilen dalga formlarını veri olarak kullanan bir CNN eğitilir, ardından modülasyon sınıflandırması yapılır. Sonunda, CNN'yi test etmek için Yazılım Tanımlı Radyo (SDR) donanımı ve havadan alınan sinyaller (kablosuz) kullanılır. Simülasyonda taşıyıcı frekans kayması, sembol hızı, çok yollu sönümleme, gecikme yayılımı ve termal gürültünün farklı etkileri göz önünde bulundurulmaktadır. Tüm bu etkiler tam olarak uygun bir şekilde modellenebilir ve ayrıca burada çalışmamızın kapsamı dışında sentetik olarak modellenebilecek birçok ek yayılma etkisi vardır. Bu çalışmada eğitilen CNN; İkili faz kaydırmalı anahtarlama (BPSK), dörtlü faz kaydırmalı anahtarlama (QPSK), (8-PSK), 16 dörtlü genlik modülasyonu (QAM), 64 QAM, 4 darbeli genlik modülasyonu (PAM4), gauss frekans kaydırmalı anahtarlama (GFSK), sürekli faz frekans kaydırmalı anahtarlama (CPFSK), yayın FM (B-FM), çift yan bant genlik modülasyonu (DSB-AM), tek yan bant genlik modülasyonu (SSB-AM) şeklindeki modülasyon tiplerini tanımlamak için kullanılır. Eğitilmiş CNN, 1024 ve 512 örnek için her bir çerçevenin modülasyon tipi hakkında tahminde bulunur ve karşılaştırmalar yapar. Bu araştırmada gösterilen performans ödünleşimleri, veri sembolleri ve eğitim sembolleri üretimindeki temel parametreleri dikkate alır, algılamayı geliştirir ve bu tür sistemlerin optimizasyonu üzerine gelecekteki çalışmalara odaklanır.

Anahtar kelimeler: CNN, DL, Modülasyon.

Modulation Classification Using A Conventional Neural Network in Radio Communications

Abstract: Modulation type classification for radio communications signals is purposed and examined the effect of deep learning on the classification performance in this paper. In this work, search how to use a convolutional neural network (CNN) in modulation classification is searched. Firstly, synthetic, channel-impaired waveforms are generated. A CNN is trained that used the generated waveforms as data, then, modulation classification is realized. In the end, Software-defined radio (SDR) hardware and over-the-air signals are utilized to test the CNN. Different effects of carrier frequency offset, symbol rate, multipath fading, delay spread, and thermal noise in the simulation are considered. All of these impacts can be fully modeled decently and also, there are many additional dispersion influences that can be modeled synthetically beyond the scope of our work here. The CNN that is trained in this paper identifies such as; Binary phase-shift keying (BPSK), Quadrature phase-shift keying (QPSK), (8-PSK), 16-quadrature amplitude modulation (QAM), 64 QAM, 4-pulse amplitude modulation (PAM4), Gaussian frequency-shift keying (GFSK), Continuous phase frequency shift keying (CPFSK), Broadcast FM (B-FM), Double sideband amplitude modulation (DSB-AM), Single sideband amplitude modulation (SSB-AM). The trained CNN predicts and makes comparisons about the modulation type of each frame for 1024 and 512 channel-impaired samples in this paper. Trade-offs of the performance shown in this paper consider key parameters in data symbols and training symbols generation, enhance sensing and focus future workings on the optimization of such systems.

Key words: CNN, DL, Modulation.

1. Giriş

Kablosuz haberleşme sistemlerinde önemli işlemlerden biri sinyallerin modülasyonudur. Modülasyon tanıma işlemi genellikle hem sinyal algılama hem de demodülasyon için kullanılır. İletilen sinyalin alıcı tarafında doğru bir şekilde demodüle edilmesi halinde, sinyal iletimi sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilebilir. Ancak, daha üst düzey ve karmaşık gereksinimlerin artması ve kablosuz iletişim tekniklerinin gelişmesiyle birlikte, kablosuz

* Sorumlu yazar: bkamislioglu@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0002-2838-1357

iletişim sistemlerinde kullanılan modülasyon yöntemlerinin ve parametrelerin sayısında hızlı bir artış gözlemlenmektedir. Bu artış nedeniyle modülasyon yöntemlerinin tam olarak nasıl belirleneceği daha zor hale gelmektedir. Geleneksel modülasyon tanımlama teknikleri genellikle, yumuşak koşullar altında yanlış olabilen ve ayrı bir kontrol kanalı kullanılarak iletilebilen sinyal ve kanal parametreleri hakkında önceden bilgiye sahiptir. Kablosuz sistemlerde iletilen bilginin geçtiği ortam değiştikçe modülasyon şemalarının sıklıkla değişmesi beklendiğinden, otonom modülasyon tanıma tekniklerinin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu durum sinir ağları kullanılarak yeni modülasyon tanımlama tekniklerinin düşünülmesine yol açmıştır [1].

Evrişimsel Sinir Ağı (CNN), son zamanlarda görüntülerin sınıflandırılmasında ve ses sinyallerinin işlemesinde sağlam ve etkili bir yöntem olarak kabul edilmiştir. Literatürde bu yöntemle ilgili doğal dil işleme ve video algılama gibi alanlarda da başarılı uygulamalar bulunmaktadır [2]. Spektrumdaki parazit takibi, radyo arızasının tespiti, dinamik spektruma erişim ve birçok düzenleyici ve savunma uygulaması için, radyo spektrumunu hızlı bir şekilde anlama ve etiketleme yeteneği önemli bir etkinleştirme faktörüdür. Çok sayıda radyo iletişim sisteminde, üzerinde işlem yapılabilen ve kompakt bir şekilde taşınabilen hassas ve doğru etiketler için karmaşık bir yüksek veri hızlı RF bilgi akışıyla işbirliği yapmak kritik bir öneme sahiptir [3].

Son on yılda, derin öğrenme (Deep Learning-DL) olarak bilinen algoritmalar ve optimizasyon teknikleri ile geliştirilen sinir ağı yapılarında hızlı bozulmalar yaşanmaktadır [4-6]. DL'nin son zamanlarda bilgisayarlı görme (Computer Vision-CV), ses ve doğal dil işlemede son teknoloji makine öğrenmesinin (Machine Laerning-ML) yerini aldığı görülmektedir. DL, yüksek sayıda serbest parametreye sahip çok büyük sinir ağı modellerinin öğrenilmesi için yeni kurulmuş kapasitesi nedeniyle, yüksek düzeyde kontrol edilebilen hedeflere dayanan ham yüksek boyutlu girdi verileri üzerinde doğrudan öğrenme özelliklerini mükemmel bir şekilde geliştirmiştir [7-10].

Bu çalışmada, radyo sinyal türlerinin geniş veri kümesi, kablosuz yayılma ortamının gerçekçi bir şekilde simülasyonu, yeni veri kümesinin havadan (OTA) ölçülmesi (yani gerçek yayılma etkileri) amaçlanmıştır. Eşzamanlı olarak kablosuz veri talebi, gelişmiş radyo verimliliğine duyulan ihtiyacı artırıyor. Spektral tahsisi ve parazit azaltmayı iyileştirmek için yüksek kaliteli spektrum algılama ve uyarlama, bunu başarabileceğimiz önemli bir yoldur. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki FCC ve Avrupa'daki muadilleri ciddiye almakta ve bu fikirlerin bazılarından yararlanan spektrum politikası izlemektedir. Hava Radyo iletişimi, makine öğrenimi topluluğu için bir dizi ilginç zorluk ve fırsatla benzersiz bir sinyal işleme alanı sunar. Bu alanda uzman özellikleri ve karar kriterleri kapsamlı bir şekilde geliştirilmiş ve uzun yıllardır belirli kriterler altında optimallik için analiz edilmiştir. Bununla birlikte, son birkaç yılda, görüntü işleme ve ses tanımaya uygulanan makine öğrenimindeki eğilim, etkin bir şekilde, uzman özelliklerin işlenmesinden ziyade verilerden özellik öğrenme yönündedir ve bu, bu alanda benzer bir değişimi değerlendirmemiz gerektiğini düşündürmektedir.

2. Sinyallerin Sınıflandırılması

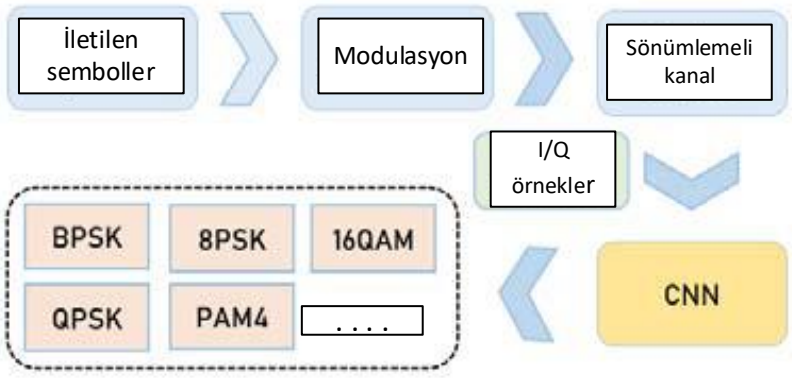
Bu bölümde, bu makalenin geri kalanında kullanılacak radyo sinyali sınıflandırma yöntemleri incelenmiştir.

I. Temel Yöntem

Temel yöntem, daha yüksek dereceli sinyallerin listesini ve diğer toplam sinyal davranışı istatistiklerini içerir. Burada, önemli ölçüde tek bir karar ağacı veya destek vektör makinesinden (SVM) daha iyi performans gösteren modülasyonları sınıflandırmak için gradyan destekli ağaçların (XGBoost) [11] topluluk modeli kullanılır.

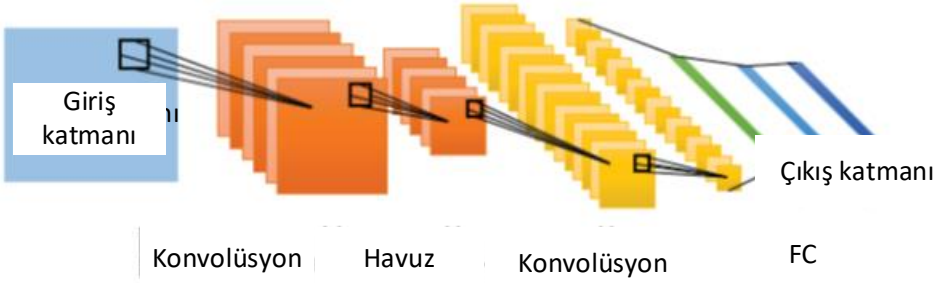
II. Evrişimli Sinir Ağı (CNN)

CV'de (Bilgisayar Görüşü) yaygın olarak kullanılan evrişimli sinir ağı (CNN) mimarisi, sınıflandırıcılarda [12,13] tam bağlı (Fully Connected-FC) katmanlar tarafından izlenen bir dizi evrişimsel katman içerir. Oxford Üniversitesi'nde [14] Görsel Geometri Grubu (VGG), bu tür ağların nasıl yapılandırılacağı sorusu araştırılmış ve ağ mimarileri için birkaç temel tasarım ilkesi geliştirilmiştir. Bu CNN'deki özellikler, normalleştirme değeri birim varyans olan her bir iletişim sinyali örneğinin ham I/Q (In-Phase and Quadrature) örnekleri olarak tanımlanır. Ham radyo sinyaline herhangi bir özellik çıkarma veya diğer ön işleme uygulanmaz, ağın doğrudan yüksek boyutlu veriler üzerinde ham zaman serisi özelliklerini öğrenmesine izin verilir. Karmaşık değerli otomatik farklılaşma pratik kullanım için henüz yeterince gelişmediğinden, gerçek değerli ağlar kullanılır.



Şekil 1. Önerilen CNN destekli sinyal modülasyon tanımlama sisteminin mimarisi.

Bu bölümde, farklı modülasyon modlarına sahip sinyalleri tanımak için CNN'yi benimsiyoruz ve nihai hedefimiz yukarıdaki onbir modülasyon modunu doğru bir şekilde tanımlamaktır. Şekil 1'de gösterildiği gibi, iletim sembolleri modülasyon ile dijital sinyallere değiştirilir. Ardından sayısaldan analoğa dönüştürme ve analog sinyalleri sönümleme kanalına gönderme yoluyla modüleli sinyaller elde edilir. IQ örneklerini elde etmek için veriler önceden işlendikten sonra, CNN destekli sinyal modülasyon tanımlama sistemi sinyallerinin modülasyonunu doğru bir şekilde tanımlayabilir [15].



Şekil 2. CNN'nin temel yapısı evrişim (Convolution) katmanı, havuzlama (pool) katmanı ve FC katmanını içerir.

CNN, ileri beslemeli bir sinir ağıdır ve çok katmanlı algılayıcının bir çeşididir. Şekil 2'de gösterildiği gibi, CNN, evrişim katmanı ve havuzlama katmanının genellikle değiştiği bir model kullanır, böylece çıkarılan öznitelikler daha açıklayıcı öznitelikler oluşturmak üzere birleştirilir. Son tam bağlı (FC) katman, verimli tanıma elde etmek için kullanılır. CNN, yerel algı ve ağırlık paylaşımı olmak üzere iki avantajı olduğu için birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yerel algı, ağın kısmen bağlı olduğu ve her nöronun sadece bir önceki katmandaki bazı nöronlara bağlı olduğu anlamına gelir. Bu şekilde, yerel bilgi, küresel bilgi elde etmek için daha yüksek bir düzeyde bütünleştirilir. Ağırlık paylaşımı, ağırlık sayısını azaltabilen ve ağın optimize edilmesini kolaylaştırabilen konvolüsyon sürecindeki konvolüsyon çekirdeği aracılığıyla gerçekleştirilir. Dahası, aşırı uydurma riski de büyük ölçüde azalır.

Giriş katmanının ileriye doğru yayılması, CNN ileri yayılma algoritmasının ilk adımıdır. Burada aktivasyon fonksiyonu σ(n) olarak seçilir ve gizli ve çıktı katmanlarının çıktı değerleri a'dır. Bu durumda, l'inci katmanın çıktısı şu şekilde ifade edilebilir:

$$a^l = \sigma(z^l) \\ = \sigma(a^{l-1} \otimes W^l + b^l) \tag{1}$$

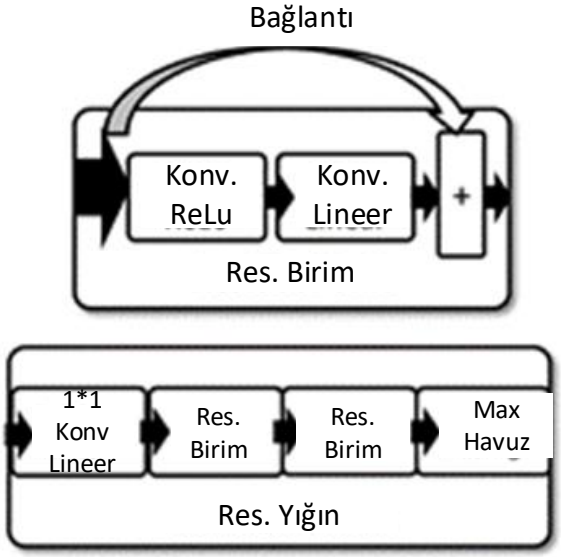
Denklem 1'de a^{l-1}, (l-1).nci katmanın çıktısının vektörünü temsil eder. W^l, l.nci katmanın lineer katsayılarının ağırlık matrisini gösterir. b^l, l'inci katmanın önyargı vektörünü gösterir ve $\otimes$, konvolüsyon hesaplamasını temsil eder. M alt matrisleri şeklinde de yazılabilir.

$$a^l = \sigma(z^l) \\ = \sigma(\sum_{k=1}^{M} z_k{}^l) \\ = \sigma(\sum_{k=1}^{M} a_k{}^{l-1} \otimes W_k^l + b^l) \tag{2}$$

Denklem 2'de $a_k{}^{l-1}$, k'inci alt matrisin çıktısının vektörünü temsil eder (l-1).nci katmanın, W_k^l l-inci katmanın lineer katsayılarının k.nci alt matrisinin ağırlık matrisini gösterir. Toplu normalleştirme (Batch Normalization-BN) katmanı, giriş değerlerini standartlaştırmak için ağ yapısı boyunca tanıtılır. Bir yandan, eğitimde gradyan kaybolması sorununu etkili bir şekilde hafifletebilir, öte yandan, modun eğitimini hızlandırabilir [16-20].

III. Artık Sinir Ağı (RN)

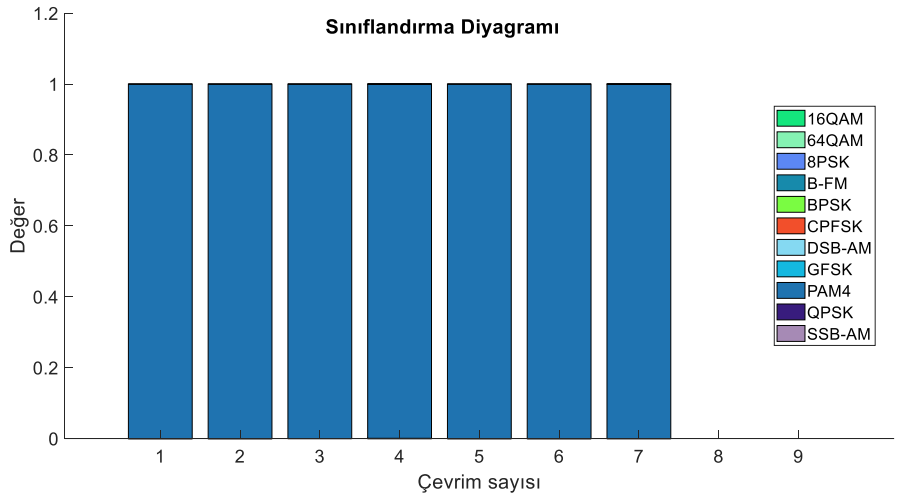
Geleneksel CNN'de sadece birkaç katmana sahip küçük bir evrişimsel sinir ağı kullanılır. Bununla birlikte, derin artık ağlar (RN'ler) görüşü CV alanında etkileyici bir şekilde gelişim göstermiştir [21-23]. Şekil 3'te gösterilen RN şemasında, özelliklerin ağ üzerinden çoklu ölçeklerde ve derinliklerde çalışmasına izin veren atlama veya baypas bağlantılarının görünümü güçlü bir şekilde kullanılmaktadır. RN'ler zaman serisi radyo sınıflandırması için araştırılır ve daha az dönem eğittiği, ancak doğruluk açısından önemli performans geliştirmeleri sağlamadığı kabul edilir.



Şekil 3. RN ağ katmanları gösterimi.

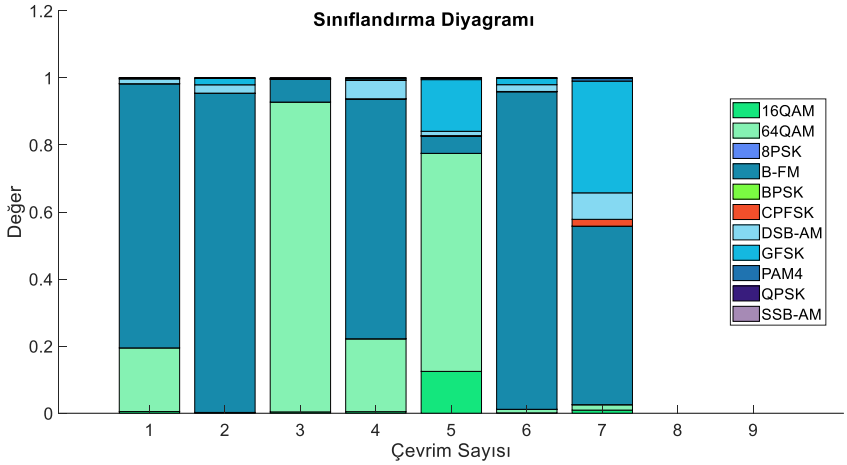
3. Veri Seti Üretim Yaklaşımı ve Uygulamalar

Pratikte yaygın olarak kullanılan modülasyonlar olan ayrık ikili semboller (dijital modülasyonlar) ve sürekli semboller (analog modülasyonlar), iyi tanımlanmış bir veri seti oluşturmak için üretilirler. Bu makale, çok çeşitli tek taşıyıcılı modülasyon düzenlerini içeren 11 farklı analog ve digital modülatörü araştırmaktadır. Çalışmamızda, eğitilmiş olan CNN, 1024 ve 512 kanal-bozulmuş kalıpları kullanır ve her döngüde modülasyon tipini tahmin eder. Merkez frekansı ve örnekleme zamanı kayması ile bozulmuş Rician çok yollu sönümleme kanalı ve AWGN, CNN'yi test etmek için sentetik sinyaller üretir ve CNN, döngülerdeki modülasyon tipini tahmin etmek için kullanılır [24-28].



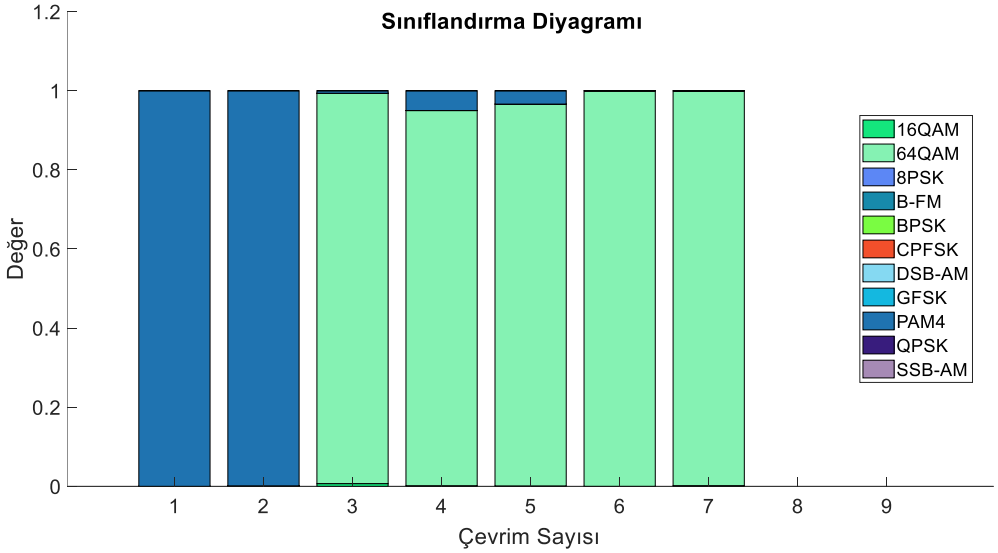
Şekil 4. Farklı modülasyon yöntemlerinin sınıflandırma sonuçları fs=200 kHz ve çevrim başına örnek sayısı 1024.

Önerilen CNN modelini eğitmek için IQ örnekleri kullanılır. Faz içi bileşen ve kareleme bileşeni, vektörün yön problemleridir. Eş fazlı bileşen, vektör yönü ile aynı sinyal bileşeniyken, kareleme bileşeni vektör sinyaline diktir.

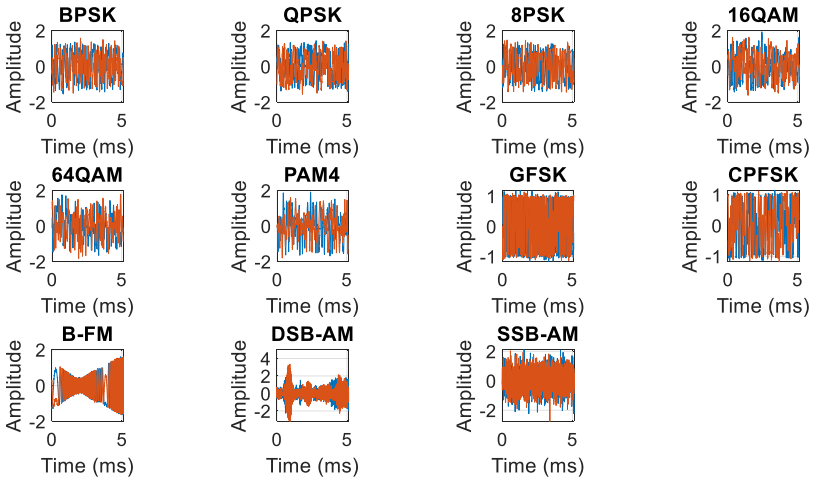


Şekil 5. Farklı modülasyon yöntemlerinin sınıflandırma sonuçları fs=200 Hz ve çevrim başına örnek sayısı 1024.

Çerçeve başına 1024 örnek için, farklı modülasyon yöntemlerinin sınıflandırma sonuçları fs=200 kHz Şekil 4'de, fs=200 Hz için farklı modülasyon yöntemlerinin sınıflandırma puanları Şekil 5'te gösterilmiştir, fs=200 MHz farklı modülasyon yöntemlerinin sınıflandırma sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir.

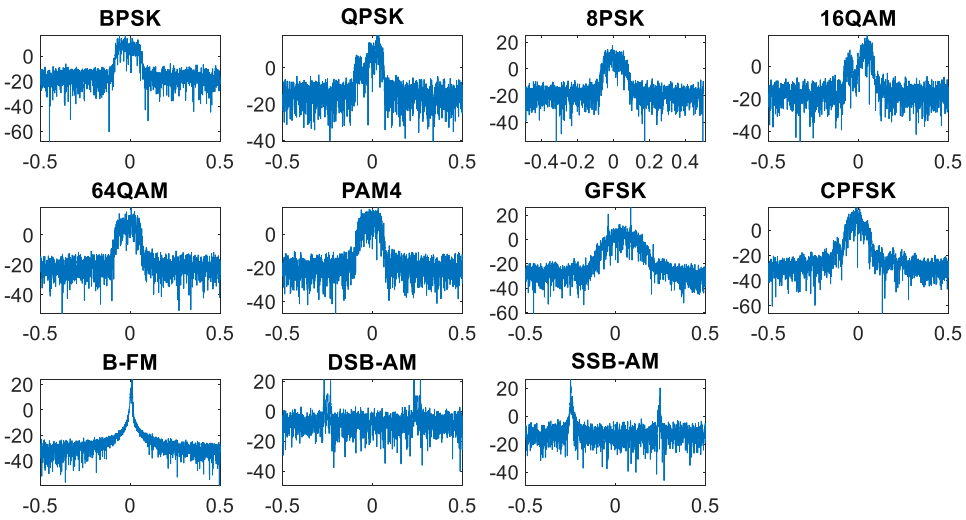


Şekil 6. Farklı modülasyon yöntemlerinin sınıflandırma sonuçları fs=200 MHz ve çevrim başına örnek sayısı 1024.



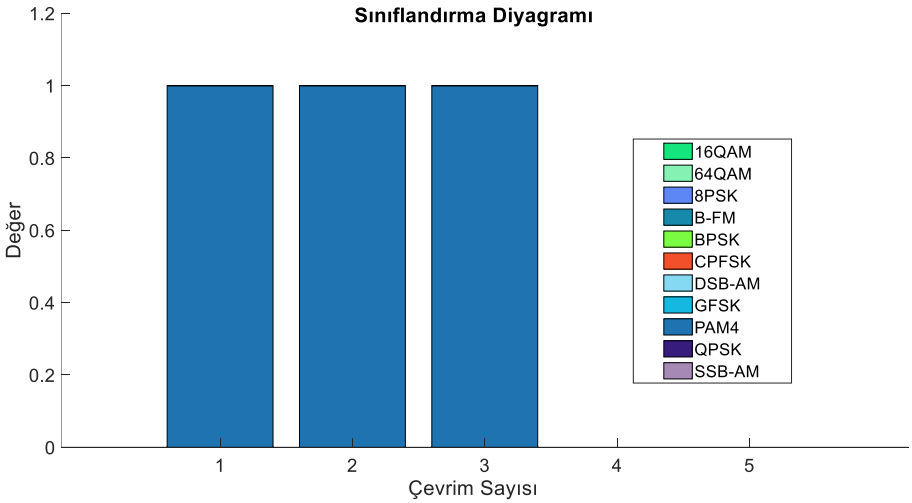
Şekil 7. Farklı modülasyon yöntemlerinin zaman düzlemi yanıtı.

30 dB SNR değeri için farklı modülasyon yöntemlerinin zaman alanı yanıtı genlik ve zaman ekseninde Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 8. Farklı modülasyon yöntemlerine ait güç spektral yoğunluğu.

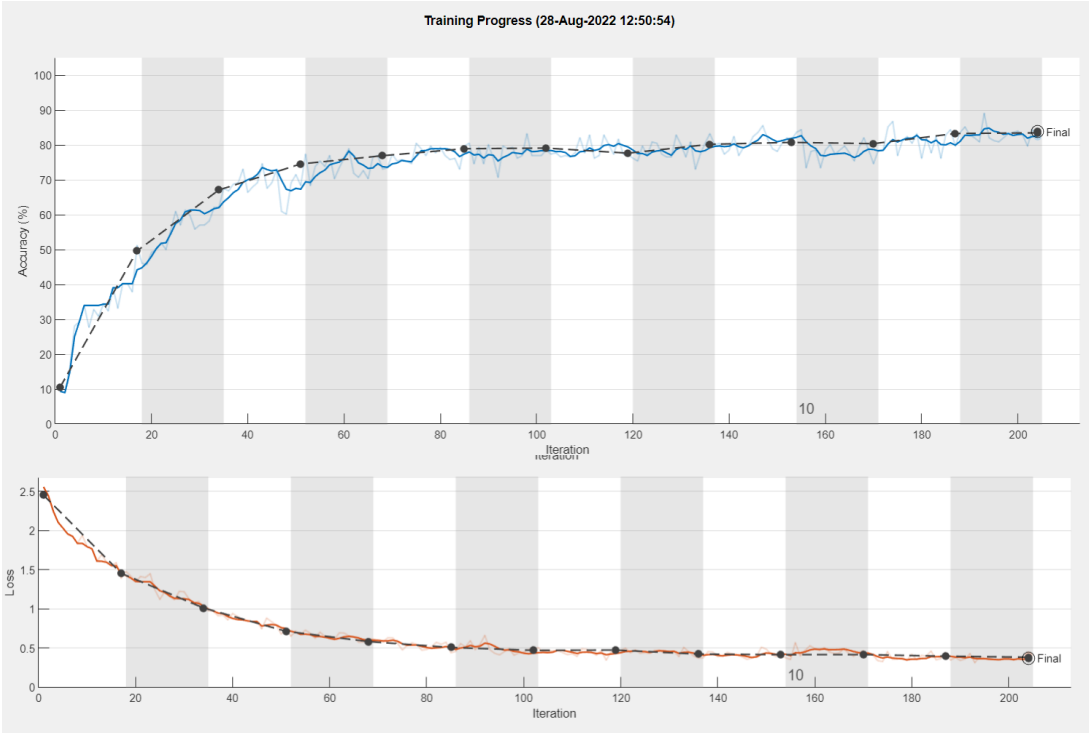
Şekil 8, bu yazıda kullanılan modülasyon yöntemlerinin güç spektral yoğunluğunu normalize frekans ve dB cinsinden genlik eksenlerinde vermektedir.



Şekil 9. Farklı modülasyon yöntemlerinin sınıflandırma sonuçları fs=200 kHz ve çevrim başına örnek sayısı 512.

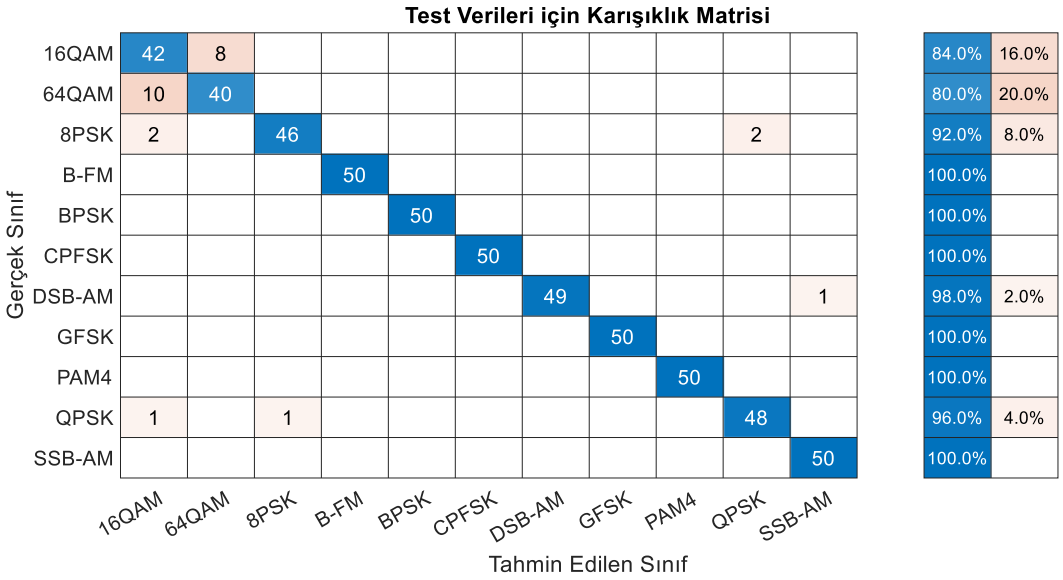
Çevrim başına 512 örnek için, farklı modülasyon yöntemlerinin sınıflandırma sonuçları fs=200 kHz Şekil 9'da gösterilmiştir. Bu makale, 6 konvolüsyon katmanından ve 1 tam bağlantı (FC) katmandan oluşan bir CNN sunmaktadır. Bir toplu normalleştirme (BN) katmanı, doğrusal birim (ReLU) etkinleştirme katmanını düzeltir ve her konvolüsyon katmanını bir maksimum havuzlama (pool) katmanı takip eder. Maksimum havuzlama katmanı, son konvolüsyon katmanındaki ortalama havuzlama katmanının yerini alır. Ardından, 256 mini batch size boyutuna sahip bir SGDM çözücü kullanmak için trainingOptions'ı yapılandırılır. Daha fazla çevrim sayısı daha fazla eğitim avantajı sağlamadığından, maksimum çevrim sayısını 12'ye ayarlanır. Varsayılan olarak, 'ExecutionEnvironment' özelliği 'auto' olarak ayarlanmıştır; burada trainNetwork işlevi, varsa bir GPU kullanır veya yoksa CPU kullanır. GPU'yu kullanmak için Parallel Computing Toolbox lisansına sahip olmanız gerekir. Bir NVIDIA Titan Xp GPU'da ağın eğitilmesi yaklaşık 25 dakika sürer. Test çerçeveleri için sınıflandırma

doğruluğunu elde ederek eğitilmiş ağ değerlendirilir. Sonuçlar, ağın bu dalga formu grubu için yaklaşık %98 doğruluk elde ettiğini göstermektedir [29-30].



Şekil 10. Öngörülen modülasyonun eğitim ilerleme diyagramı.

Şekil 10'da öngörülen modülasyonun eğitim ilerleme diyagramı gösterilmektedir. Yineleme doğruluğu %98.70, tahminde geçen süre sonu 14 saniye olarak elde edilmiştir.



Şekil 11. Test verileri için karışıklık matrisi: Tahmin edilen modülasyon sınıfı ve gerçek modülasyon sınıfı ilişkisi.

Karışıklık matrisi, alıcı işlem karakteristiği (Receiver Operating Characteristic-ROC) eğrisi çiziminin temelidir ve aynı zamanda tanıma modelinin doğruluğunu ölçmek için en temel, en sezgisel ve en basit yöntemdir. Doğruluk değerlendirmesi için standart bir formattır. Kappa katsayısı κ tutarlılık testi için kullanılır ve tanıma doğruluğunu ölçmek için de kullanılabilir. Aynı zamanda, karışıklık matrisine dayalı olarak kappa katsayısı hesaplanır ve Denklem 3 ile verilen şekilde ifade edilebilir.

$$\kappa = \frac{p_0 - p_e}{1 - p_e} \tag{3}$$

Denklem 3'te p_0 gerçek tutarlılık oranını temsil eder ve p_e teorik tutarlılık oranını belirtir.

Test verileri için karışıklık matrisi: Tahmin edilen modülasyon sınıfı ve gerçek modülasyon sınıfı ilişkisi SNR oranı 30 dB için Şekil 11'de verilmiştir. Matrisin gösterdiği gibi, ağ 16-QAM ve 64-QAM çerçevelerini karıştırır. Her çerçeve yalnızca 128 sembol taşıdığından ve 16-QAM, 64-QAM'ın bir alt kümesi olduğundan bu sorun beklenmektedir. Ağ ayrıca QPSK ve 8-PSK çerçevelerini karıştırır, çünkü bu modülasyon türlerinin takımyıldızları, sönümleme kanalı ve frekans kayması nedeniyle faz döndürüldüğünde benzer görünür.

Bu makale, uygulanabilir ve oldukça iyi çalışan radyo sinyali verilerinin zaman serileri üzerinde evrişimli ağların bir uygulamasını sunar. İlk olarak, çevrim başına 1024 örnek için, farklı modülasyon yöntemlerinin sınıflandırma sonuçları sırasıyla 200 Hz, 200 kHz ve 200 MHz için grafiklerle gösterilmektedir. Örnekleme frekansı değiştikçe sınıflandırma değerleri de farklı değerler almaktadır. Daha sonra kullanılan modülatörlerin zaman düzlemi alanı tepkileri Şekil 7 ile kullanılan modülatörlerin güç spektral yoğunluğu Şekil 8 ile verilmiştir. Ek olarak çevrim başına örnek sayısı 512 olması durumunda 200 kHz için farklı modülasyon yöntemlerinin sınıflandırma sonuçları Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9'da çevrim sayısı azaldığından, sınıflandırma sonuçları Şekil 4'e göre daha azalmıştır. Çalışmanın sonunda, sınıflandırma performansını test etmek için doğruluk ve kayıp eğrileri aracılığıyla eğitim ilerleme diyagramı elde edilir. Şekil 10'daki eğitim ilerleme diyagramı, eğitimin doğruluğu %98.70, tahminin geçen süresi 14 saniye olarak ölçülen modülasyon sınıflandırmasına yönelik güçlü ve muhtemelen son teknoloji bir doğruluk yaklaşımını temsil eder.

4. Sonuçlar

DL yöntemleri, özellikle kısa süreli gözlemler için radyo sinyali tanıma duyarlılığının ve doğruluğunun iyileştirilmesi için etkili yöntemlerdir. CNN ağ mimarisi, performans geliştirme için etkili bir yöntemdir ve performans, daha büyük filtrelerden, farklı yapılardan ve havuzlama katmanlarından önemli ölçüde etkilenebilir, ancak bu çalışmada uygunluk tam olarak araştırılmamıştır. Bu sınıflandırma alanı, kablosuz sinyal işleme ve

bilişsel radyo etki alanlarının son teknolojiden önemli ölçüde etkileneceği, onları daha çok makine öğrenimi ve veri güdümlü girişimlerle ilgilendireceği geniş bir araştırma ve uygulama dizisi için olgunlaşmıştır. Ayrıca, bu yaklaşım ek modülasyon sınıflarını kolayca ölçeklendirir ve radyo iletiminde sağlam ve düşük SNR sınıflandırmasına dayalı güçlü bir aday olarak kabul edilebilir. Bu sınıf sistemler için hala mevcut olan en doğru veri kümelerinin ve eğitim rejimlerinin nasıl öğrenileceği hakkında öğrenilecek çok şey olduğu gerçeği göz önüne alındığında, bu belgede, veri oluşturma ve eğitimde belirtilen performans ödünleşimleri, anlayışı geliştirir ve bu tür sistemleri optimize etmek için gelecekteki çabaları merkeze alır. Bu konuda, gerçekçi sistemlerin tasarımında hala çözülmesi gereken birçok açık soru olduğu görülmektedir. Gelecekte, pratik uygulamaları dikkate almak için örneğin OFDM sistemlerinde farklı alt taşıyıcılar için farklı modülasyon modları tespiti gerçekleştirilebilir.

Kaynaklar

[1] Timothy J. O, Pemula L, Batra D, Charles C. T. Radio transformer networks: Attention models for learning to synchronize in wireless systems. In Signals, Systems and Computers, 2016; IEEE 50th Asilomar Conference on; pp. 662-666.

[2] He K, Zhang X, Ren S, Sun J. Deep residual learning for image recognition. CoRR, abs/1512.03385, 2015.

[3] Goodfellow I, Bengio Y, and Courville A, Deep Learning. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2016.

[4] Lowe D. G, Distinctive image features from scale-invariant keypoints, International Journal Computer Vision, vol. 60, no. 2, pp. 91–110, 2004.

[5] Vidal-Naquet M, Ullman S. Object recognition with informative features and linear classification, in Proc. Int. Conf. Comput. Vis., 2003, vol. 3, pp. 281–288.

[6] Imai S. Cepstral analysis synthesis on the mel frequency scale. Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Process., 1983, vol. 8, pp. 93–96.

[7] OShea T. J, Corgan J, Clancy T. C. Convolutional radio modulation recognition networks. Proc. Int. Conf. Eng. Appl. Neural Netw., 2016, pp. 213–226.

[8] O'Shea T, Hoydis J. An introduction to deep learning for the physical layer. IEEE Trans. Cogn. Commun. Netw., vol. 3, no. 4, pp. 563–575, 2017.

[9] Razavian A. S, Azizpour H, Sullivan J, Carlsson S. CNN features off-the-shelf:An astounding baseline for recognition. Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. Workshops, 2014, pp. 806–813.

[10] O'Shea, T. J, Roy T, Clancy T. C. Over-the-Air Deep Learning Based Radio Signal Classification. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing. Vol. 12, Number 1, 2018, pp. 168–179.

[11] Chen T, Guestrin C. Xgboost: A scalable tree boosting system. Proc. 22nd ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discovery Data Mining, 2016, pp. 785–794.

[12] Spooner, C. M, Mody A. N, Chuang J, Petersen J. Modulation recognition using second-and higher-order cyclostationarity. Proc. 2017 IEEE Int. Symp. Dyn. Spectr. Access Netw., 2017, pp. 1–3.

[13] Abdelmutalab A, Assaleh K, El-Tarhuni M. Automatic modulationclassification based on high order cumulants and hierarchical polynomialclassifiers. Phys. Commun., vol. 21, pp. 10–18, 2016.

[14] Simonyan K, Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv:1409.1556, 2014.

[15] Gui G, et al. Flight delay prediction based on aviation big data and machine learning. IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 69, no. 1, pp. 1065– 1069, 2020.

[16] Mao B, Fadlullah Z. Md, Tang F, Kato N, Akashi O, Inoue T, Mizutani K. Routing or computing? The paradigm shift towards intelligent computer network packet transmission based on deep learning. IEEE Trans. Comput., vol. 66, no. 11, pp. 1946–1960, Nov. 2017.

[17] Tang F, Fadlullah Z. M, Mao B, Kato N. An intelligent traffic load prediction-based adaptive channel assignment algorithm in SDNIoT: A deep learning approach. IEEE Internet Things Journal, vol. 5, no. 6, pp. 5141–5154, 2018.

[18] Gacanin H. Autonomous wireless systems with artificial intelligence: A knowledge management perspective. IEEE Veh. Technology Magazine, vol. 14, no. 1, pp. 51–59, 2019.

[19] Sun J, Shi W, Han Z, Yang J, Gui G. Behavioral modeling and linearization of wideband RF power amplifiers using BiLSTM networks for 5G wireless systems. IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 68, no. 11, pp. 10348–10356, 2019.

[20] Gui G, Huang H, Song Y, Sari H. Deep learning for an effective nonorthogonal multiple access scheme. IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 67, no. 9, pp. 8440–8450, 2018.

[21] Huang H., et al. Deep learning for super-resolution channel estimation and DOA estimation based massive MIMO system. IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 67, no. 9, pp. 8549–8560, Sept. 2018.

[22] Huang H, Song Y, Yang J, Gui G. Deep-learning-based millimeterwave massive MIMO for hybrid precoding. IEEE Trans. Veh. Technol. vol. 68, no. 3, pp. 3027–3032, Mar. 2019.

[23] Huang H. et al. Deep learning for physical-layer 5G wireless techniques: Opportunities, challenges and solutions. IEEE Wirel. Commun., in press, doi: 10.1109/MWC.2019.1900027.
[24] Huang H, Peng Y, Yang J, Xia W, Gui G. Fast beamforming design via deep learning. IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 69, no. 1, pp. 1065–1069, 2020.
[25] Sun X, Gui G, Liu R, Li Y, An Y. ResInNet: A novel deep neural network with feature reuse for internet of things. IEEE Internet of Things J., vol. 6, no. 1, pp. 679–691, 2019.
[26] Sun X, Li Y, Gui G. Sari H. Echo-state restricted Boltzmann machines: A perspective on information compensation. IEEE Access, vol. 7, no. 1, pp. 16281–16290, 2019.
[27] Xie W, Hu S, Yu C, Zhu P, Peng X, Ouyang J. Deep learning in digital modulation recognition using high order cumulants. IEEE Access, vol. 7, pp. 63760–63766, 2019.
[28] Wang D., et al. Modulation format recognition and osnr estimation using cnn-based deep learning. IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 29,no. 19, pp. 1667–1670, 2017.
[29] Wang Y, Liu M, Yang J, Gui G. Data-driven deep learning for automatic modulation recognition in cognitive radios. IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 68, no. 4, pp. 4074–4077, 2019.
[30] Wang W. et al. LightAMC: Lightweight automatic modulation classification using deep learning and compressive sensing. IEEE Trans. Veh. Technol., in press, doi: 10.1109/TVT.2020.2971001

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 879-887, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1137246

Derin Öğrenme Yöntemiyle Alzheimer Hastalığının Tespiti

Gözde Sena KARABAY[1*], Mehmet ÇAVAŞ[2]
[1,2] Mekatronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[*1] senakarabay@hotmail.com, [2] mcavas@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 28/06/2022; Kabul/Accepted: 07/09/2022)

Öz: Alzheimer hastalığı yaygın olarak görülen bir demans türü olup, ilerleyen ve tedavisi bulunmayan nörodejeneratif bir hastalıktır. Hastalığı teşhis edebilmek için birçok görüntüleme tekniği kullanılmaktadır. Bu tekniklerden biri Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) tekniğidir. Erken teşhis edilmesi hastalığın ilerlemesini yavaşlatmak ve gerekli önlemleri alma konusunda hasta ve ailesi için büyük önem taşımaktadır. Erken ve doğru teşhis için derin öğrenme yöntemleriyle bu konuda destekleyici çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda hastalığın seyrini takip etmek için de derin öğrenme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada hastalığın teşhisi için AlexNet, MobileNetV2 mimarileri ve ESA (Evrişimsel Sinir Ağları) modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Toplamda 6400 adet MR görüntüsü kullanılarak her iki mimariden özellik çıkarma işlemi yapılarak bu özellikler birleştirilmiştir. KBA (Komşuluk Bileşen Analizi) algoritması kullanılarak özellik seçimi yapılmış ve DVM (Destek Vektör Makineleri) ile sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışılan modelde %100 doğruluk değeri hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Alzheimer hastalığı tespiti, Derin öğrenme, ESA, DVM.

Detection of Alzheimer's Disease with Deep Learning Method

Abstract: Alzheimer's disease is a common type of dementia that is a progressive neurodegenerative disease with no cure. Many imaging techniques are used to diagnose the disease. One of these techniques is Magnetic Resonance Imaging (MRI). Early diagnosis is of great importance for the patient and his family in slowing the progression of the disease and taking the necessary precautions. Supportive studies have been carried out on this subject with deep learning methods for early and accurate diagnosis. At the same time, deep learning methods are used to follow the course of the disease. This study was carried out using AlexNet and MobileNetV2 architectures and CNN (Convolutional Neural Network) model. These features were combined by extracting features from both architectures using a total of 6400 MR images. Feature selection was made using the NCA (Neighbourhood Components Analysis) algorithm and classification were performed with SVM (Support Vector Machine). 100% accuracy value was calculated in the studied model.

Keywords: Alzheimer's disease detection, Deep learning, CNN, SVM.

1. Giriş

Teknoloji geliştikçe insan yaşamı daha kolay ve sürdürülebilir hale gelmektedir. Bu anlamda yapay zekâ büyük önem taşımaktadır. Günümüzde neredeyse her alanda yapay zekâ uygulamalarını görmek mümkün hale gelmiştir. Özellikle sağlık alanında bu anlamda çok ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Hastalıkların teşhisi, hastaların takip edilmesi ve tedavi süreçleri ile ilgili önemli destekleyici kolaylıklar sağlamaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde erken teşhis hastalığın etkili bir şekilde tedavi edilebilmesi için büyük önem arz etmektedir. Yapay zekâ bu anlamda hem hastalığın teşhis edilmesinde hem de tedavi sürecinde önemli bir etkiye sahiptir. Geliştirilen algoritmalar sayesinde hastalıkların teşhisinde büyük başarımlar elde edilmiş ve sağlık alanına önemli katkılar sağlamıştır.

Yapay zekânın alt dalı makine öğrenmesi, makine öğrenmesinin alt dalı ise derin öğrenmedir. İki yöntemin de ayrı ayrı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Derin öğrenmenin en büyük avantajı dışarıdan özellik çıkarımının yapılmasına ihtiyaç duyulmadan bu özellikleri kolaylıkla kendisinin çıkarabilmesidir. Ayrıca birden fazla katmandan oluştuğu için yapılan çalışmalarda başarı oranının daha yüksek olduğu görülmüştür. Hastalıkların teşhisini yapabilmek ve hastalıkların seyrini takip edebilmek için tespit edilmesi istenilen hastalığa yönelik verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verilerin sayısı arttıkça başarı oranı da buna bağlı olarak artmaktadır.

Alzheimer hastalığının teşhisi zordur. 2021 yılında yayınlanan rapora göre insanların %30'unun yanlış teşhis edildiği belirtilmektedir. Ayrıca Alzheimer hastalığının teşhisinin yapılmasının diğer bir zorluğu da maliyetli olmasıdır. Özellikle düşük gelirli ülkelerde testler yapılsa bile bunları inceleyebilecek yeterli uzmanın olmayışı

[*] Sorumlu yazar: senakarabay@hotmail.com Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0001-6640-9245, [2] 0000-0002-0130-1644

ciddi problemlere neden olmaktadır [1]. Bu vb. olumsuzluklardan dolayı derin öğrenme yöntemiyle hastalığın teşhis edilmesinin önemli faydalar sağlayacağı düşünülmektedir.

Alzheimer hastalığı, ilk olarak 1907 yılında Dr. Alois Alzheimer tarafından tanımlanmıştır. Frankfurt am Main akıl hastanesine yatırılan 51 yaşındaki bir kadın hastada tespit edilmiştir. Hastalık ilerledikçe hastada karmaşık semptomlar görülmüş ve bu semptomlar arasında ciddi hafıza kaybının yer aldığı tespit edilmiştir. Bir takım nesneler gösterildiğinde onları doğru şekilde adlandırmakta ancak hemen ardından her şeyi unuttuğu tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra hastada anlayamama problemi, halüsinasyonlar, okumada zorluk çekme gibi durumların yaşandığı ve hastanın dört buçuk yıllık hastalık sürecinden sonra vefat ettiği görülmüştür [2].

Hastalık genellikle 60 yaşından sonra ortaya çıkmakta, nadir de olsa 30 yaş grubunda da görülebilmektedir. Hastalık sürekli ve kademeli bir şekilde ilerlemekte ve semptomların başlangıcından itibaren hastanın 8-10 yıl arası yaşam sürdürmesi beklenmektedir [3]. 2021 yılına ait verilere göre demans, dünyadaki ölüm nedenleri arasında 7. sıradadır. Dünyada demansla yaşayan 55 milyon insan bulunmaktadır. 2030 yılında bu sayının 78 milyona ulaşabileceği tahmin edilmektedir. Alzheimer's Disease International (ADI), dünya genelinde demans hastası olan kişilerin tahmini olarak %75'inin teşhis edilmediğini belirtmektedir. Bunun en büyük nedenlerinden biri bu hastalığın maliyetinin yüksek olmasıdır [1]. Alzheimer hastalığının 65 yaş ve üzerindeki kişilerde görülme oranı %3-11, 85 yaş ve üzerindeki kişilerde görülme oranı ise %20-47 arasındadır. Yaş ilerledikçe Alzheimer riski de artmaktadır [4].

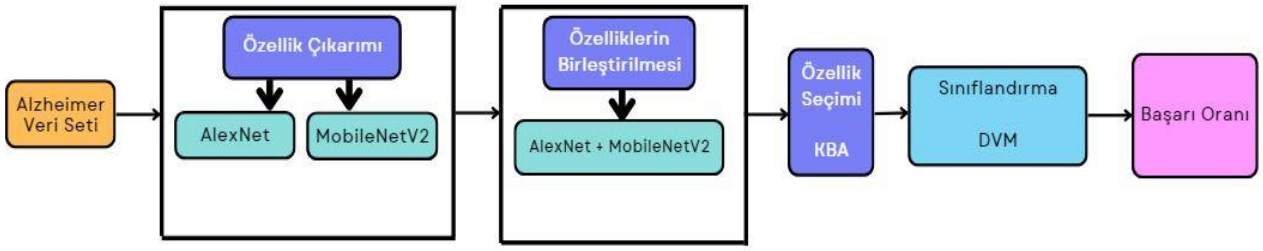
Alzheimer hastalığını tespit etmek için bazı tıbbi görüntüleme tekniklerinden faydalanılmaktadır. Bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans görüntüleme (MRG), pozitron emisyon tomografi (PET) gibi görüntüleme yöntemleriyle Alzheimer hastalığı teşhis edilmektedir.

Liu ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada [5], 4 sınıflı bir veri seti kullanılarak Alzheimer hastalarına ait 311 adet MR görüntüsünden faydalanılmıştır. Çoklu sınıflandırma problemi için DVM'nin one-against-one yöntemi kullanılarak alınan sonuçlar değerlendirildiğinde 4 sınıf için %47,42 başarı elde edilmiştir. Islam ve Zhang'ın yapmış olduğu çalışmada [6], OASIS veri seti kullanılmış ve bu veri setindeki Alzheimer hastalarına ait 4 sınıflı, 416 adet MR görüntülerinden faydalanılarak Inception-V4 mimarisi kullanılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde %73,75 başarı elde edilmiştir. Ramzan ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada [7], ADNI veri tabanı kullanılmış ve Alzheimer hastalarına ait rs-fMRI görüntülerinden faydalanılarak bu veri setinde 6 sınıfa ait 138 adet görüntü kullanılmış ve alınan sonuçlar değerlendirildiğinde %97,92 başarı elde edilmiştir. Subramoniam ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada [8], 4 sınıflı veri seti kullanılarak Alzheimer hastalarına ait 6400 adet MR görüntüsünden faydalanılmış ve VGG-16, VGG-19, ResNet-18, ResNet-34, ResNet-50, ResNet-101 mimarileri sırasıyla kullanılırken en iyi sonuçlar ResNet-101 mimarisinden %99,70 başarı elde edilmiştir. Ghazal ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada [9], 4 sınıflı veri seti kullanılmıştır. Alzheimer hastalarına ait 6400 adet MR görüntüsünden faydalanılarak ADDTLA sistem modeli önerilmiş ve %91,70 başarı elde edilmiştir. Guerrero ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada [10], ADNI ve ADNI-GO veri setleri kullanılmıştır. ADNI veri setinde 4 sınıfa ait 511 adet görüntü, ADNI-GO veri setinde 2 sınıfa ait 363 görüntü bulunmaktadır. ADNI veri setinde %71, ADNI-GO veri setinde %65 başarı elde edilmiştir.

Bu çalışmada evrişimsel sinir ağları (ESA), özellik çıkarımı için AlexNet ve MobileNetV2 mimarileri ve destek vektör makinesi (DVM) sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Alzheimer hastalığı tespitinin zor ve maliyetli olması göz önünde bulundurulduğunda bu çalışmanın hem hastalık teşhisinde hem de hastalığın evrelerini belirlemede faydalı olacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada MATLAB programı ve derin öğrenme modellerinden biri olan evrişimsel sinir ağları kullanılarak MR görüntülerinin analizleri yapılmıştır. Analizler için derin öğrenme mimarilerinden AlexNet ve MobileNetV2 mimarileri ve 10-k çapraz doğrulama kullanılarak 6400 adet görüntü 270x270 boyutuna yükseltilmiştir. Çalışmanın başarı oranını arttırmak için özellik çıkarma işlemi gerçekleştirilerek MobileNetV2 mimarisinden 1000 adet özellik, AlexNet mimarisinden 4096 adet özellik çıkartılmıştır. Bu özellikler birleştirilerek 6400x5096 boyutunda özellik matrisi elde edilmiş ve KBA (Komşuluk Bileşen Analizi) algoritmasıyla ilk 1000 özellik seçilerek DVM ile sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Şekil 1'de çalışmaya ait akış diyagramı verilmektedir.



Şekil 1. Çalışmaya ait akış diyagramı

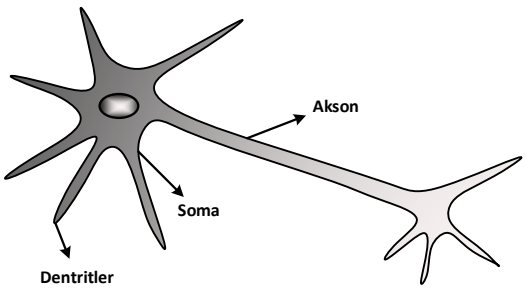
2.1. Derin öğrenme

Derin öğrenme, insanların çözebildiği karmaşık problemleri çözmeyi hedefleyen, veri, algoritma ve donanım bilgisi gerektiren sistemlerin tasarlanması üzerine geliştirilmiş disiplinler arası bir çalışma alanıdır. Birden fazla katman içerir ve özellik çıkarımını kendisi yapmaktadır. Günümüzde kullanılan farklı derin öğrenme modelleri bulunmakla birlikte çalışma alanına ve verilere göre değişiklik göstermektedir. Görüntü verileri için evrişimsel sinir ağları kullanılmaktadır. Yinelemeli sinir ağları (YİSA), genellikle sesten yazıya, yazıdan sese dönüştürmek için kullanılmaktadır. Ayrıca borsada veya zaman serisi verileri için de kullanılmaktadır. Çekişmeli üretici ağlar (Generative Adversarial Networks - GAN) ise resim, müzik ve şiir gibi verilerin yeni örneklerle üretilmesi için kullanılmaktadır. GAN'lar bunların yanı sıra düşük çözünürlüklü görüntüleri iyileştirmek için ve sentetik veri üretimi için de kullanılmaktadır. Derin öğrenme, görüntü sınıflandırmada, ses tanıma ve sorulan sorulara cevap verebilme yeteneğinde insan seviyesine kadar yaklaşılmıştır.

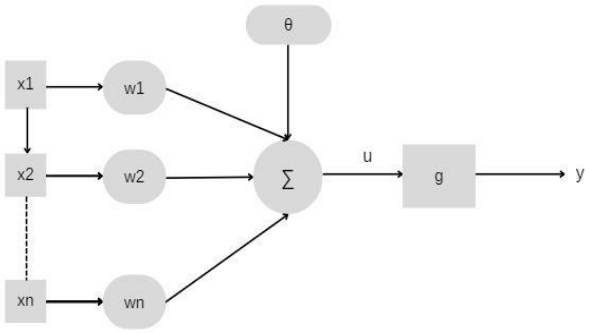
2.1.1. Yapay sinir ağları

Yapay sinir ağları (YSA), biyolojik sinir ağlarının matematiksel modelidir. Yapay sinir ağının temel taşı yapay nöronlardır. Biyolojik sinir ağları davranışlarını ve tepkilerini çevrelerinden aldıkları girdilere göre öğrenmektedir. Yapay sinir ağları da tıpkı biyolojik sinir ağları gibi öğrenebilmektedir. Burada üç farklı öğrenme yöntemi kullanılmaktadır ki, bunlar denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve pekiştirmeli öğrenmedir. Yapay sinir ağları öğrenme verileri ve öğrenme kuralları doğrultusunda girdilere göre uygun çıkışı üretebilmektedir. Yapay sinir ağları örüntü tanıma, regresyon analizi, zaman serisi, sınıflandırma, fonksiyon yaklaşımı, veri işleme, filtreleme, kümeleme ve karar verme gibi problemlerde kullanılabilmektedir [11].

Biyolojik nöronlar, Şekil 2'deki gibi üç ana bölümden oluşmakta ve bunlar dendritler, hücre gövdesi (soma) ve aksonlardır. Yapay nöronlar ise Şekil 3'teki gibi girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış değerinden oluşmaktadır [12].



Şekil 2. Biyolojik nöron [12]



Şekil 3. Yapay nöron [12]

Yapay nöronun her girdi değeri ağırlıklarla çarpılmakta ve bir sonraki adımda bu değerler toplama fonksiyonunda toplanmaktadır. Belirli eşik değerinden geçirildikten sonra aktivasyon fonksiyonundan geçirilmekte ve çıkış elde edilmektedir. Öğrenme yöntemlerinden hangisi kullanılırsa kullanılsın öğrenmenin görevi, maliyet fonksiyonunu düşürmek için öğrenme verilerine bağlı olarak ağırlık ve bias değerlerini ayarlamaktır [11].

Geri yayılım algoritması, sürekli çıktılı ileri beslemeli ağlarda kullanılmaktadır. Eğitim sırasında ağdaki tüm ağırlıklar rastgele sayılara ayarlanmakta ve ağ, her girdi için rastgele çıktı üretmektedir. İstenilen çıktı ile bu çıktı arasındaki kare farkı ölçülerek eğitimdeki tüm bu kare farklarının toplamına ağın toplam hatası denilmektedir. Geri yayılımdaki temel amaç toplam hatanın en aza indirgenmesi için gerekli ağırlık değerlerinin bulunmasıdır. Geri yayılımda her defasında ağırlıklar ve eşik değerleri değiştirilmekte ve bu şekilde hata değeri giderek küçültülerek problemin çözümü için en iyi sinir ağı elde edilmektedir [13].

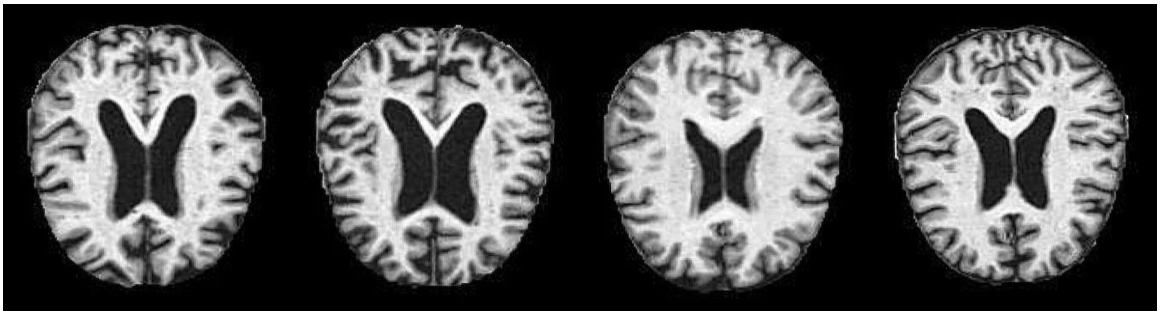
2.1.2. Evrişimsel sinir ağları

Evrişimsel sinir ağları, görüntüler içerisinde örüntü tanıma da kullanılmaktadır. Görüntüye ait özelliklerin mimariye kodlanmasına izin vererek ağı görüntü odaklı görevler için daha uygun hale getirirken aynı zamanda daha az parametre kullanılmasını sağlamaktadır. Bazı durumlarda overfitting (aşırı uyma) yaşanmaktadır. Overfitting, ağın etkili bir şekilde öğrenmeyip ezberleme yapmasıdır ve bu durumun önüne geçmek için daha az parametre kullanılmaktadır [14].

Giriş katmanına görüntü verisi eklenmekte ve evrişim katmanında özellik haritaları denilen yeni görüntüler elde edilmektedir. Bu katmanda ağırlıklar ve ağırlıklı toplamlar yerine görüntüleri dönüştüren filtreler kullanılmaktadır. Bunlara evrişim filtreleri denilmektedir. Evrişim katmanının içerdiği filtre sayısı kadar özellik haritası oluşturularak [16] modelin karmaşıklığını azaltmak için depth (derinlik), stride (adım kaydırma) ve zero-padding (sıfır ekleme) işlemleri uygulanmaktadır [14]. ESA'nın performansını artırmak için en uygun aktivasyon fonksiyonu seçilmekte ve bu yapıda genellikle ReLU aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır [17]. Bir sonraki katman olan pooling (havuzlama) katmanı boyut azaltmak için kullanılırken bu katmanda belli filtreler tanımlanarak belirli stride (adım kaydırma) değeriyle görüntü üzerinde gezdirme işlemi yapılabilmektedir. Piksellerin maksimum değerlerini (maksimum havuzlama) veya ortalama değerini (ortalama havuzlama) alarak bu işlem gerçekleştirilerek boyut küçültülmektedir. Dropout katmanı ise ezberleme katmanıdır ve büyük veriler kullanıldığı için ağ ezberleme işlemi yapmaktadır. Bunun önüne geçmek için bu katmanda ağdaki bazı düğümler kaldırılmaktadır [18]. Tam bağlantılı katmanda ise bir önceki katmandaki tüm nöronlar alınmakta ve bu katmanın her bir nöronuna bağlanmaktadır. Son tam bağlantılı katmanın ardından bir çıktı katmanı gelmekte ve burada sınıflandırma işlemi için genellikle softmax sınıflandırıcısı kullanılmaktadır. Bir diğer sınıflandırma yöntemi olarak DVM kullanılmaktadır [19].

2.2. Çalışmada kullanılan veri seti

Bu veri seti Alzheimer hastalarının MR görüntülerinden oluşmaktadır ve toplamda 6400 adet görüntü bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan bütün görüntüler açık erişimi bulunan Kaggle sitesinden alınmıştır. Şekil 4'te gösterildiği gibi veriler, hafif seviye, orta seviye, Alzheimer bulunmayan ve çok hafif seviye olmak üzere toplamda dört sınıftan oluşmaktadır.



Şekil 4. (a) hafif seviye, **(b)** orta seviye, **(c)** Alzheimer bulunmayan, **(d)** çok hafif seviye [20]

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma, Intel(R) Core(TM) i5-4210U CPU @ 1.70GHz ~ 2.40 GHz işlemci, 8 GB Ram'e sahip Windows 10 işletim sistemi ile MATLAB 2021b sürümünün classification learner toolbox'ı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de sınıflandırıcılara göre tahmin değeri ve başarı oranları verilmiştir.

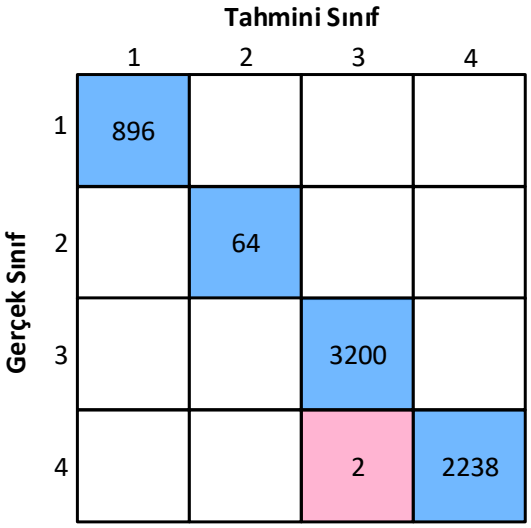
Tablo 1. Çalışılan modelin sınıflandırıcılara göre tahmin değeri ve başarı oranı

Sınıflandırıcı	Doğru Tahmin	Yanlış Tahmin	Başarı Oranı (%)
Karar Ağaçları	3863	2537	60,4
Lineer Diskriminant	5304	1096	82,9
Naif Bayes	3791	2609	59,2
DVM	6355	45	99,3
K- En Yakın Komşuluk	**6398**	**2**	**100**
Topluluk	**6397**	**3**	**100**
Nöral Ağlar	6064	336	94,8
Çekirdek	6111	289	95,5

Tablo 1'de görüldüğü gibi Karar Ağaçları (Fine Tree) sınıflandırıcısı ile %60,4 doğruluk değeri hesaplanmıştır. Lineer Diskriminant sınıflandırıcısı ile %82,9 doğruluk değeri hesaplanmıştır. Naif Bayes (Kernel Naive Bayes) sınıflandırıcısı ile %59,2 doğruluk değeri hesaplanmıştır. DVM (Cubic SVM) sınıflandırıcısı ile %99,3 doğruluk değeri hesaplanmıştır. K- En Yakın Komşuluk (Fine KNN) sınıflandırıcısı ile %100 doğruluk değeri hesaplanmıştır. Topluluk (Subspace KNN) sınıflandırıcısı ile %100 doğruluk değeri hesaplanmıştır. Nöral Ağlar (Wide Neural Network) sınıflandırıcısı ile %94,8 doğruluk değeri hesaplanmıştır. Son olarak Çekirdek (SVM Kernel) sınıflandırıcısı ile %95,5 doğruluk değeri elde edilmiştir. Buna göre en iyi sonuçlar K- En Yakın Komşuluk ve Topluluk sınıflandırıcısı ile elde edildiği görülmektedir. Şekil 5'te K- En Yakın Komşuluk hata matrisi sonucu ve Şekil 6'da Topluluk hata matrisi sonucu verilmiştir. Tablo 2'de sınıflandırıcıların bir adet görüntü üzerinde harcadığı eğitim ve test sürelerinin yaklaşık değerleri verilmektedir.

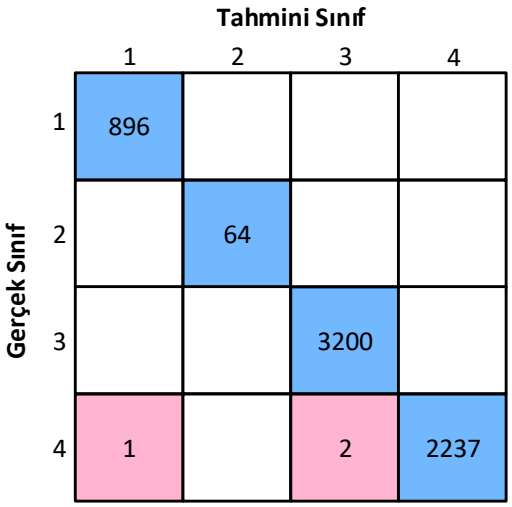
Tablo 2. Bir adet görüntüye ait performans süreleri

Sınıflandırıcı	Eğitim Süresi (sn)	Test Süresi (sn)
Karar Ağaçları	0,028	0,006
Lineer Diskriminant	0,003	0,001
Naif Bayes	0,6	0,137
DVM	0,253	0,058
K- En Yakın Komşuluk	**0,440**	**0,102**
Topluluk	**0,525**	**0,123**
Nöral Ağlar	0,159	0,042
Çekirdek	0,45	0,103



Şekil 5. K- En Yakın Komşuluk hata matrisi sonucu

Şekil 5'e göre K- En Yakın Komşuluk sınıflandırıcısında dördüncü sınıfa ait 2 adet görüntüyü üçüncü sınıfa ait olarak tespit etmiştir.



Şekil 6. Topluluk hata matrisi sonucu

Şekil 6'ya göre Topluluk sınıflandırıcısında dördüncü sınıfa ait 1 adet görüntüyü birinci sınıfa ait olarak, 2 adet görüntüyü ise üçüncü sınıfa ait olarak tespit etmiştir. Çalışılan modelde sınıflandırıcılara ait performans sonuçları 4 sınıfın ortalama değerleri alınarak Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Sınıflandırıcılara ait performans sonuçları

Sınıflandırıcı	MCC	Duyarlılık	Özgüllük	Hassasiyet	F1-Skor
Karar Ağaçları	0,255	0,460	0,836	0,402	0,411
Lineer Diskriminant	0,787	0,864	0,928	0,853	0,859
Naif Bayes	0,439	0,548	0,842	0,659	0,576
DVM	0,989	0,994	0,996	0,990	0,992
K- En Yakın Komşuluk	**0,999**	**0,999**	**0,999**	**0,999**	**0,999**
Topluluk	**0,999**	**0,999**	**0,999**	**0,999**	**0,998**
Nöral Ağlar	0,924	0,953	0,978	0,939	0,946
Çekirdek	0,895	0,971	0,983	0,866	0,908

Alzheimer hastalığının tespiti üzerine çalışmalar günümüzde hâlâ devam etmektedir. Derin öğrenme yöntemleri geliştikçe hastalığın teşhis edilmesinde de başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Tablo 4'te yapılan çalışma ile literatürdeki bazı çalışmalar karşılaştırılmıştır.

Tablo 4. Çalışılan model ile literatürdeki sonuçların karşılaştırılması

Çalışma	Veri Sınıf Sayısı	Veri Sayısı	Başarı Oranı (%)
Liu ve arkadaşları [5]	4	311	47,42
Islam ve Zhang [6]	4	416	73,75
Ramzan ve arkadaşları [7]	6	138	97,92
Subramoniam ve arkadaşları [8]	4	6400	99,70
Ghazal ve arkadaşları [9]	4	6400	91,70
Guerrero ve arkadaşları [10]	4	511	71
	2	363	65
Çalışılan Model	4	6400	100

Tablo 4'te görüldüğü gibi Liu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [5], 4 sınıftan oluşan 311 adet görüntüden %47,42 doğruluk değeri elde edilmişken, Islam ve Zhang yapmış oldukları çalışmada [6], 4 sınıftan oluşan 416 adet görüntüden %73,75 doğruluk değeri elde etmişlerdir. Ramzan ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada [7], 6 sınıftan oluşan 138 görüntüden %97,92 doğruluk değeri elde edilmişken, Subramoniam ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada [8], 4 sınıftan oluşan 6400 adet görüntüden %99,70 doğruluk değeri elde etmişlerdir. Ghazal ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada [9], 4 sınıftan oluşan 6400 adet görüntüden %91,70 doğruluk değeri elde edilmiştir. Guerrero ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada [10], 4 sınıftan oluşan 511 adet görüntüden %71 doğruluk değeri elde edilmişken, 2 sınıftan oluşan 363 görüntüden %65 doğruluk değeri elde edilmiştir. Yapılan çalışma literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların başarılı olduğu görülmektedir.

4. Sonuçlar

Yapay zekâ her geçen gün farklı alanlarda farklı uygulamalar için kullanılmakta ve her geçen gün kullanım alanı ve kullanıcı sayısı artmaktadır. Özellikle sağlık alanında yapılan çalışmalar neticesinde gelinen noktada insan hayatına katkısı inanılmaz seviyeye ulaşmıştır. Bu gelişim özellikle hastalıkların tanı ve tedavisinde, hastaların takip edilmesinde vb. birçok alanda doktorlara ve hastalara büyük avantajlar sağlamaktadır. Özellikle kanser başta olmak üzere birçok hastalığın erken teşhisi hastalığın etkili bir şekilde tedavi edilebilmesinde hayati önem arz etmektedir. Bu vb. hususlar dikkate alındığında yapay zekâ ile birlikte geliştirilen algoritmalar sayesinde önemli katkılar sağlamaktadır.

Yapılan bu çalışmada 4 sınıfa ait 6400 adet MR görüntüsü kullanılmış, AlexNet ve MobileNetV2 mimarileri ile özellik çıkarma işlemi ile birlikte DVM sınıflandırma yöntemi kullanılarak en yüksek başarı değeri %100 olarak elde edilmiştir.

Alzheimer hastalığının teşhisi, tedavisi, tedavi maliyeti vb. dikkate alındığında bu çalışmanın katkı sağlayacağı düşünülmekle birlikte aynı zamanda hastalara uygulanan tedavilerde de yardımcı olabileceği öngörülmektedir.

Kaynaklar

[1] Alzheimer's Disease International & McGill University. World Alzheimer Report 2021, 2021.

[2] Stelzmann R., Schnitzlein HN, Murtagh FR. An English Translation of Alzheimer's 1907 Paper, "Über eine eigenartige Erkankung der Hirnrinde". Clinical Anatomy 1995; 8(6): 429-431.

[3] Small GW, Rabins PV, Barry PP, Buckholtz NS, Dekosky ST, Ferris SH, Finkel SI, Gwyther LP, et al. Diagnosis and treatment of Alzheimer disease and related disorders: consensus statement of the American Association for Geriatric Psychiatry, the Alzheimer's Association, and the American Geriatrics Society. The Journal of the American Medical Association 1997; 278(16): 1363-1371.

[4] Alzheimer Hastalığı Nedir?. https://www.alzheimerdernegi.org.tr/alzheimer-hastaligi-nedir/. Erişim tarihi: Nisan 2022

[5] Liu S, Liu S, Cai W. Early Diagnosis of Alzheimer's Disease with Deep Learning, IEEE, 2014.

[6] Islam J, Zhang Y. A Novel Deep Learning Based Multi-class Classification Method for Alzheimer's Disease Detection Using Brain MRI Data. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) 2017; 10654: 213-222.

[7] Ramzan F, Khan MUG, Rehmat A, Iqbal S, Saba T, Rehman A, Mehmood Z. A Deep Learning Approach for Automated Diagnosis and Multi-Class Classification of Alzheimer's Disease Stages Using Resting-State fMRI and Residual Neural Networks. Journal of Medical Systems 2020; 44(2): 1-16.

[8] Subramoniam M, Aparna TR, Anurenjan PR, Sreeni KG. Deep Learning-Based Prediction of Alzheimer's Disease from Magnetic Resonance Images. Intelligent Vision in Healthcare 2022: 145-151.

[9] Ghazal TM, Abbas S, Munir S, Khan MA, Ahmad M, Issa GF, Zahra SB, Khan MA, Hasan MK. Alzheimer disease detection empowered with transfer learning, Computers, Materials Continua 2022; 70: 5005–5019.

[10] Guerrero R, Wolz R, Rao AW, Rueckert D. Manifold population modeling as a neuro-imaging biomarker: Application to ADNI and ADNI-GO, Neuroimage 2014; 94: 275–286.

[11] Suzuki K. Artificial Neural Networks: Methodological Advances and Biomedical Applications. London: IntechOpen, 2011.

[12] Da Silva IN, Spatti DH, Flauzino RA, Liboni LHB, dos Reis Alves SF. Artificial Neural Networks. Switzerland: Cham: Springer International Publishing, 2017.

[13] Krogh A. What are artificial neural networks?. Nature Biotechnology 2008; 26(2): 195-197.

[14] O'Shea K, Nash R. An Introduction to Convolutional Neural Networks. arXiv Prepr. arXiv151108458. 2015.

[15] Convolutional Neural Network | Deep Learning | Developers Breach. https://developersbreach.com/convolution-neural-network-deep-learning/. Erişim: 13 Mayıs 2022

[16] Kim P. MATLAB Deep Learning. Califonia: Apress Berkeley, 2017.
[17] Gu J, Wang Z, Kuen J, Ma L, Shahroudy A, Shuai B, Liu T, Wang X, et al. Recent advances in convolutional neural networks. Pattern Recognition 2018; 77: 354-377.
[18] İnik Ö, Ülker E. Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri. Gaziosmanpasa Journal of Scientific Research 2017; 6(3): 85-104.
[19] Guo T, Dong J, Li H, Gao Y. Simple convolutional neural network on image classification. 2017 IEEE 2nd International Conference on Big Data Analysis, ICBDA 2017; 10-12 March 2017; Beijing, China. pp. 721-724.
[20] Alzheimer's Dataset (4 class of Images). https://www.kaggle.com/datasets/tourist55/alzheimers-dataset-4-class-of-images. Erişim: 2 Eylül 2022

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 889-898, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1133877

Hafif Beton Üretimi İçin Gerekli Olan Hafif Agrega Miktarının Yapay Sinir Ağı ile Tahmin Edilmesi

Rabia Nur SAĞLAM[1*], Merve AÇIKGENÇ ULAŞ[2], Kürşat Esat ALYAMAÇ[3]
[1,3] İnşaat Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[2] Mimarlık, Mimarlık Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[1*] rabianaydin@gmail.com , [2] merveacikgenc@firat.edu.tr , [3] kealyamac@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 21/06/2022; Kabul/Accepted: 07/09/2022)

Öz: Bu çalışmanın amacı hafif beton üretilirken hedef mukavemet için gerekli olan hafif agrega miktarının tayin edilmesi ve gelecek çalışmalarda üretilecek hafif betonlar için pratik bir karışım tasarımı sunmaktır. Bu amaçla literatürde yer alan hafif beton ile ilgili çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışmalarda bulunan hafif betonlara ait veriler sınıflandırılmış ve listelenmiştir. Literatürden hafif betonlara ait karışım bileşenleri ve hedef basınç dayanımı değerleri alınmıştır. Literatürden alınan deneysel veriler ile bir Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. Bu modelde su, çimento, normal agrega, toz, kimyasal katkı, hedef basınç mukavemet ve hafif agrega tipi giriş olarak kullanılmıştır. Modelin çıkışı ise hafif agrega miktarı olarak belirlenmiştir. Düzenlenen veriler geliştirilen YSA modeli kullanılarak hafif beton bileşimindeki hafif agrega miktarının tahmininde kullanılmıştır. Geliştirilen model çıkışları ile literatürden alınmış deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Geliştirilen YSA modeli ile elde edilen sonuçlar ile deneysel veriler arasındaki farklar uygun sınırlar içerisinde bulunmuştur. Sonuç olarak geliştirilen YSA modelinin hedeflenen çıkışı başarılı bir şekilde ve yüksek doğrulukta tahmin ettiği görülmektedir. Böylece hedef basınç dayanımı belirlenmiş olan bir hafif beton karışımı için hafif agrega miktarı hızlı, pratik ve yüksek doğrulukta tahmin edilmiş olacaktır.

Anahtar kelimeler: Hafif beton, hafif agrega, hedef basınç dayanımı, yapay sinir ağı

Prediction of the Amount of Lightweight Aggregate Required for Lightweight Concrete Production by Artificial Neural Network

Abstract: The aim of this study is to determine the amount of lightweight aggregate required for target strength while producing lightweight concrete and to present a practical mix design for lightweight concrete to be produced in future studies. For this purpose, the studies on lightweight concrete in the literature were examined in detail. The data of lightweight concretes found in these studies are classified and listed. Mixture components and target compressive strength values of lightweight concretes were taken from the literature. An ANN model was developed with experimental data from the literature. In this model, water, cement, normal aggregate, powder, chemical additive, target compressive strength and lightweight aggregate type are used as inputs. The output of the model was determined as the amount of lightweight aggregate. The arranged data were used to estimate the amount of lightweight aggregate in the lightweight concrete composition by using the developed ANN model. The developed model outputs were compared with the experimental data taken from the literature. The differences between the results obtained with the developed ANN model and the experimental data were found within appropriate limits. As a result, it is seen that the developed ANN model predicts the targeted output successfully and with high accuracy. Thus, the amount of lightweight aggregate will be estimated quickly, practically and with high accuracy for a lightweight concrete mixture for which the target compressive strength has been determined.

Key words: Lightweight concrete, lightweight aggregate, target compressive strength, artificial neural network

1. Giriş

Beton, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir [1]. Her malzemede olduğu gibi betonun da avantajlarının yanında dezavantajları bulunmaktadır ve teknolojinin gelişimi ile bu dezavantajların giderilmesi mümkün olabilmektedir. Zamanla betondan beklenen farklı ihtiyaçlar da hesaba katıldığında, ortaya birçok farklı tipte özel beton türleri çıkmıştır. Sözü edilen bu özel betonlar türlerinden biri de Hafif Betonlardır (HA) [2]. Hafif beton teknik, ekonomik ve çevresel bazı faydalarından ötürü son yıllarda kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır[3].

[*] Sorumlu yazar: rabianaydin@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: [1] 0000-0003-3015-0766, [2] 0000-0001-8986-7791, [2] 0000-0002-3226-4073

Hafif beton, çimento, su, agrega ve hafif agrega kullanılarak üretilen bir beton türüdür. Geleneksel betonda olduğu gibi kimyasal ve mineral katkılar da içerebilmektedir [2]. TS EN 206-1'e [4] göre ise etüv kurusu yoğunluğu 800-2000 kg/m^3 arasında olan betonlar hafif beton olarak adlandırılır. Hafif Beton üretiminde kullanılan hafif agregalar, doğal ve yapay agrega olmak üzere iki çeşittir. Yapay hafif agrega üretimi maliyetli olacağından Hafif Beton üretiminde, genellikle doğal agrega kullanımı tercih edilir. Doğal hafif agregalar volkanik kayaçların veya tortul taşların kırılmasıyla elde edilen agregalardır. Yapay hafif agregalar ise doğal taşların ısıl işlem görmesi sonucunda veya endüstriyel atıklar sonucunda elde edilen agregalardır. Pomza, volkanik tüf, volkanik cüruf gibi agregalar doğal hafif agregalara örnek olarak verilebilir. Genleştirilmiş kil, perlit, vermikülit gibi agregalar ise yapay hafif agregalar olarak kullanılmaktadır. Ayrıca hafif agregalar fonksiyonlarına göre de sınıflandırılırlar. Perlit ve vermikülit hafif agregaları kullanılarak yalıtım hafif betonu elde edilir. Pomza ve volkanik cüruf gibi hafif agregalar kullanılarak yarı taşıyıcı hafif beton, genleştirilmiş kil, şist ve arduvaz gibi hafif agregalar kullanılarak ise taşıyıcı hafif beton üretilebilir [2].

Hafif Beton gibi özel betonların üretim sürecinde istenilen taze ve sertleşmiş özelliklere sahip beton karışımını oluşturmak için fazla sayıda deneme karışımı üretmek gerekmektedir. Bu şekilde talep edilen özelliklerdeki beton karışımını tasarlama süreci zaman ve maliyet açısından dezavantajlı olmaktadır. Tasarım sürecindeki bu dezavantajı azaltabilecek pratik karışım hesaplarına ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaca binaen, bu çalışmada, hafif beton karışım hesabında kullanılabilecek bir Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen YSA modeli ile Hafif Beton üretimi sürecinde hedef basınç dayanımı ve kullanılacak hafif agrega tipi belirli ise karışımda ihtiyaç duyulacak hafif agrega miktarının tahmin edilmesi amaçlanmaktadır.

YSA inşaat mühendisliğinde özellikle yapı malzemesi alanında çeşitli problemleri çözümlemek için sürekli olarak kullanılmaktadır. YSA'nın özellikle beton basınç dayanımını tahmin eden modellerin yer aldığı çalışmalara, literatürde sıkça rastlanmaktadır [6]. Waris vd. [7] çalışmalarında betonun basınç dayanımını (fc) tahmin etmek için YSA kullanılması yaklaşımı önerilmiştir. Farklı parametre kombinasyonları kullanarak betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişler ve modellerinin başarılı olduğunu gözlemlemişlerdir. Nagarajan vd. [8] çalışmalarında yapay hafif agregalardan olan sinterlenmiş uçucu kül kullanılmıştır. Bu çalışmada betonun mekanik özelliklerinden basınç dayanımını belirlemek için YSA kullanılmıştır. Bu sayede laboratuvar ortamında çok sayıda deneme yapmadan geliştirilen formülasyonla zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanacağını savunmuşlardır. Danial Jahed ve Panagiotis G. [9] çalışmalarında çimento esaslı harçların basınç dayanımını tahmin etmek için YSA seçmiş ve önermişlerdir. YSA'nın basınç dayanımını tahmin etmede başarılı olduğunu savunmuşlardır. Bingol vd. [10] yüksek sıcaklık altındaki süngertaşı agregasıyla üretilmiş hafif betonların basınç dayanımını tahmin etmek için YSA yaklaşımını kullanmışlardır. YSA girişleri hedef sıcaklık, süngertaşı agrega oranı ve ısıtma süresi iken hedef çıkış basınç dayanımı olarak belirlendi. Modellerinin yüksek doğrulukta ve başarılı olduğunu savunmuşlardır. Çalış vd. [11] bazalt elyaf takviyeli hafif betonun daha iyi anlaşılmasını sağlamak için YSA tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. YSA modelinde giriş olarak topraklanmış kalsiyum karbonat (GCC), bazalt lifi (BF), Çimento (C),ince agrega (FA), pomza agregası (PA) giriş olarak kullanılırken, basınç dayanımı (CS) eğilme mukavemeti (FS) hedef çıkış olarak belirlemişlerdir. Bu çalışma sonucunda R^2 değerinin %84 ve %86 olduğu ve oldukça güvenilir bir sonuç elde edildiği savunulmuştur. Pranamika vd. [12] çalışmalarında MRA ve YSA kullanarak hafif betonun mekanik özelliklerini doğru bir şekilde tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında 3, 7, 14, 28 günde basınç ve kayma gerilmelerini karşılaştırmışlardır. Nagarajan vd. [8] çalışmalarında sinterlenmiş uçucu kül agregasından yapılmış hafif agregalı betonun basınç dayanımı, yarma çekme dayanımı ve eğilme dayanımını tahmin etmek için YSA modeli geliştirmişlerdir. Giriş olarak çimento, sinterlenmiş uçucu kül, ince agrega, süper akışkanlaştırıcı, su/çimento oranı kullanılırken hedef çıkış basınç, kayma, eğilme dayanımı olarak belirlenmiştir. Geliştirdikleri model ile veriler kıyaslandığında korelasyon katsayılarının 0,90'ın üzerinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Young Yoon vd. [13] çalışmalarında hafif betonun basınç dayanımı ve elastik modülü için başarılı bir YSA tabanlı tahmin modelini sunmuşlardır.

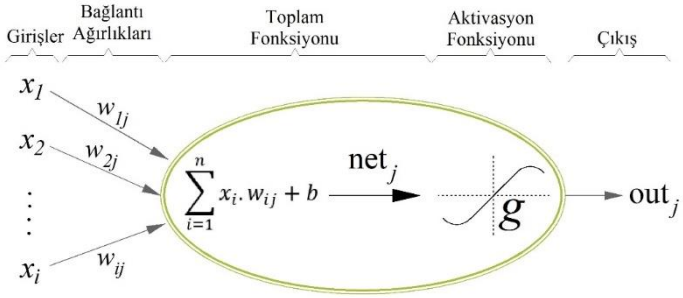
Literatür incelendiğinde YSA metodu kullanılan çalışmalarda genelde beton basınç dayanımının tahmin edilmeye çalışıldığı görülmüştür. Bu çalışmada ise literatürden farklı olarak hedef çıkış, hafif beton bileşiminde yer alan hafif agrega miktarı olarak belirlenmiştir. Böylece hedeflenen özelliklere uygun Hafif Beton karışımında ihtiyaç duyulacak hafif agrega miktarı, 4 tip hafif agrega için tahmin edilebilecektir.

Bu çalışmanın temel amacı, hafif betonlar için pratik bir karışım hesabı modeli geliştirmek olduğundan, bu çalışmada sunulan metot ile Hafif Betonların kullanımının arttırılmasına katkı sağlanacaktır. Çalışmada literatürde yer alan 4 tip farklı hafif agrega kullanılarak üretilmiş hafif beton karışımlarına ait deneysel veriler sınıflandırılmış ve listelenmiştir. Literatürden elde edilmiş 180 farklı örnekten oluşan bir veri seti YSA ile Hafif Beton bileşimindeki hafif agrega miktarını tahmin etmek için kullanılmıştır. Geliştirilen YSA modelinde çimento, su, normal agrega, toz, kimyasal katkı miktarlarının yanında hafif agrega tipi ve beton hedef basınç dayanımı girişleri oluşturmuştur. Sonuçta, bütün bu girişlere karşılık geliştirilen YSA modeli hafif agrega miktarını tahmin etmekte

başarılı olmuştur. Çalışmada ayrıca YSA modelinin ağırlıklarından yola çıkılarak model matematiksel formüller haline getirilmiştir. Böylece hafif beton karışımlarının tasarım sürecinde kullanıcıların bir yazılıma ihtiyaç duymaksızın bu formüller ile hızlı, pratik ve ekonomik bir şekilde üretim yapabilmesi mümkün olacaktır.

2. Yapay Sinir Ağı modelinin geliştirilmesi

Yapay Sinir Ağı (YSA), insan beyninin nörofiziksel yapısından yararlanılarak ortaya çıkarılan ve beyindeki biyolojik sinir ağları ile benzer özellikte olan yapay bilgi işleme sistemleridir [14]. YSA'nın insan beyninin çalışma işlevini örnek alarak mevcut verilerden öğrenme ve çok sayıda farklı değişkenle işlem yapabilme gibi pek çok sayıda önemli özellikleri vardır. YSA'nın temel yapı taşı yapay sinir hücresidir. Çok sayıda yapay sinir hücresi YSA'nın katmanlarında bir araya gelip birbirleri ile bağlantı kurarak YSA'yı oluştururlar [5]. Şekil 1 de basit bir yapay sinir hücresi görülmektedir.

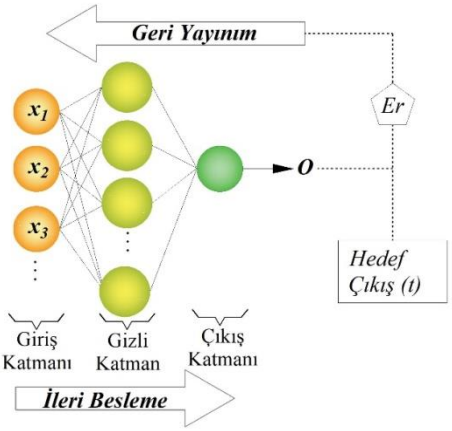


Şekil 1. Yapay sinir hücresi

Basit bir yapay sinir hücresi Şekil 1'de görüldüğü gibi 5 temel bileşenden meydana gelir. Bu bileşenler girişler (x_i), bağlantı ağırlıkları (w_i), toplam fonksiyonu (net_j), aktivasyon fonksiyonu (g) ve çıkış (out_j) olarak görülmektedir. Yapay sinir hücresine gelen girişler bağlantı ağırlıkları ile çarpılarak toplam fonksiyonu ile toplanır. Toplam fonksiyonunun sonucu aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek hücre çıkışı oluşturulur. Yapay sinir hücreleri, yapay sinir ağının katmanlarında belirli sayılarda bir araya gelir, bir hücrenin çıkışı diğer hücrenin girişi olur ve bağlantı ağırlıkları yardımıyla yapay sinir hücreleri birbirlerine bağlanırlar. Bu şekilde yapay sinir hücrelerinin bir araya geldiği sisteme ise yapay sinir ağı denir [5].

Yapay sinir hücrelerinde Gauss, sigmoid, rampa vb. birçok farklı aktivasyon fonksiyonu kullanılabilmektedir. Bu fonksiyonlar problemin tipine göre seçilebilirken, deneme yanılma yolu ile de veriye uygun çıkışı üretebilecek fonksiyon belirlenebilir. Bu çalışmada geliştirilen YSA modelinin hücrelerinde, Denklem 1'de görülen tanjant hiperbolik sigmoid aktivasyon fonksiyonu tercih edilmiştir.

$$g(x) = \frac{2}{1+\exp(-2*x)} - 1 \tag{1}$$



Şekil 2. İleri beslemeli örnek bir YSA modeli

YSA modelinin geliştirilmesi sürecindeki ilk adım, YSA mimarisinin belirlenmesidir. [15]. YSA mimarisi, bir giriş katmanı, bir veya birden çok gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşur. Giriş ve çıkış katmanlarındaki nöronların sayısı sırasıyla giriş ve çıkış değişkenlerinin sayısıyla aynıdır. Şekil 2'de ileri beslemeli tipik bir YSA mimarisi verilmiştir. İleri beslemeli bir YSA'nın katmanlarındaki nöronlar, sadece sonraki katmandakilere bağlanır. Aynı veya önceki katmanlardaki nöronlar arasında bir bağlantı yoktur. Bir katmanın çıkışları, bir sonraki katmanın girişleri olur. Katmanlardaki yapay sinir hücreleri, bir sonraki katmanın hücrelerine bağlantı ağırlıkları ile bağlıdır. İleri beslemeli YSA'nın bir diğer özelliği ise ağ çıkışı ile hedef değer arasındaki hata değerine göre ağ ağırlıklarını güncellemesidir. Bu işleme geri besleme denir. Böylece hata miktarı belirli bir değerin altına düşene kadar geri besleme YSA'nın eğitimi sürecinde devam eder. YSA çıkışı, hedef değere yeterince yaklaştığında eğitim tamamlanıp, YSA yeni veri ile test edilir. Test sürecinde de başarılı çıkışlar üretebilen YSA problemi öğrenmiş olur [5].

Bu çalışmada uluslararası literatürde yer alan deneysel Hafif Beton verileri toplanmıştır. Geliştirilen YSA modeli için toplamda 180 farklı örnekten oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Tablo 1'de veriler her bir referanstan gelen veri setinin değişim aralığını gösterecek şekilde özet olarak düzenlenmiştir. Su (S), çimento (Ç), normal ağırlıklı agrega (NA), toz malzeme (T), kimyasal katkı (KK), beton basınç dayanımı (f_c), Hafif agrega Tipi (Tip) ve hafif agrega (HA) deneysel verilerinin minimum ve maksimum değerleri, literatürden alınan her bir kaynak için Tablo 1'de görülmektedir. Çalışmada kullanılan hafif agrega tipleri sırasıyla genleştirilmiş kil, ops (palmiye kabuğu), eps (genişletilmiş polistren) ve volkanik tüf'dür. Bu tipleri sayısal olarak ifade edebilmek için numara verilmiştir. Buna göre tip 1 genleştirilmiş kil, tip 2 ops (palmiye kabuğu), tip 3 eps (genişletilmiş polistren) ve tip 4 volkanik tüf olarak numaralandırılmıştır. Tablo 2'de ise bütün veri setinin istatistiksel özellikleri görülmektedir. Su (S), çimento (Ç), normal ağırlıklı agrega (NA), toz malzeme (T), kimyasal katkı (KK), beton basınç dayanımı (f_c), Hafif agrega Tipi (Tip) ve hafif agrega (HA) bütün deneysel verilerinin maksimum, ortalama, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. YSA modelinin geliştirilmesi için kullanılan deneysel Hafif Beton verileri

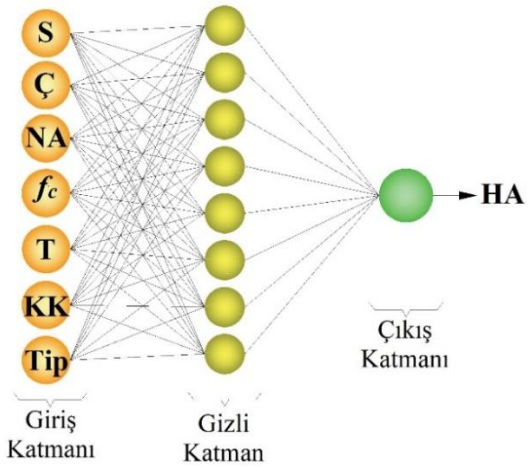
Kaynak No:	Su, S (kg/m^3)	Çimento, Ç (kg/m^3)	Normal Agrega, NA (kg/m^3)	Toz, T (kg/m^3)	Kimyasal Katkı, KK (kg/m^3)	Basınç Dayanımı, f_c (MPa)	Hafif Agrega Tipi, Tip	Hafif Agrega, HA (kg/m^3)
[18]	180	415	850	0	2.05	40.8	1	400
[19]	133.3	369	703	154	5.3	25	1	300
[20]	175-262	460-741	12.3-793	40-65	2.5-11.5	62-63	1	335-409
[21]	143	443	660	49	0	90	1	646
[22]	163.8-220	400-470	672-714.4	0-47	0	34.2-55.8	1	456-484.1
[23]	195-200	280-480	345-570	28-48	3-5.5	38-49.5	1	700-726
[24]	198.44-288.97	440-710	185.49-251.94	44-71	6.6-10.65	39.5-51.9	1	432.8-587.9
[25]	120-160	250-350	500	0	0	15.5-29	1	290-310
[26]	230-250	420-450	0	0	2.6	29.19-42.95	1	1057-1270
[27]	159	318-530	265	0-212	0	43.4-58.6	1	400
[28]	157.5-351	450-705	676-1403	0	0	26.8-75	1	350
[29]	192.5	350	825	0	0	19.2-43.7	1	350
[30]	155-163	586-640	0	0	0	46.1-72.3	1	1194-1227.5
[31]	260.88-288.97	440-710	191.7-250.8	44-71	0	39.5-53.6	1	447.3-585.2
[32]	175	450	624-755	0	1.37-1.96	32-47	1	477
[33]	177-234	480-550	746-1050	0	5.5-9.36	42.75-48.33	2	273-420
[34]	161.3-192.5	360-550	726-1033	0	0	34.29-53.05	2	333-435
[35]	175	150-500	780	0	1.5-5	23-34.8	2	420
[36]	187.2-378	370-675	446.9-1010.1	0	0-3.5	6.3-20.25	2	264.6-502.85
[37]	161-192	360-550	713-891	0	4.4-6.5	34.29-53.05	2	333-588
[38]	190	500	490-980	0	7.5	31-37	2	310-687
[39]	158.4-176	275-550	978-1226	0-275	5.5	30.04-46.08	2	78-326
[40]	172-201.6	400-420	722.4-764	0	4-8.4	16.3-21.8	2	394.8-412
[41]	241.1-302.3	450	0	0	0	12-32.6	3	1211-1284
[42]	246.6-250	320-400	197.3-200	0-80	1--4	22.5-39	4	887.9-900

Tablo 2. Giriş ve çıkış verilerinin istatistik özellikleri

	Girişler							Çıkış
	Su, S (kg/m^3)	Çimento, Ç (kg/m^3)	Normal Agrega, NA (kg/m^3)	Toz, T (kg/m^3)	Kimyasal Katkı, KK (kg/m^3)	Basınç Dayanımı, f_c (MPa)	Hafif Agrega Tipi, Tip	Hafif Agrega, HA (kg/m^3)
Maksimum	351	741.00	1050	275.00	11.25	90.00	4	1284
Ortalama	212.66	469.16	563.91	26.27	2.56	37.19	1.64	524.32

Minimum	120.00	150.00	0.00	0.00	0	6.30	1	78
Std. Sapma	51.01	112.14	355.73	51.20	3.19	15.78	0.81	287.45

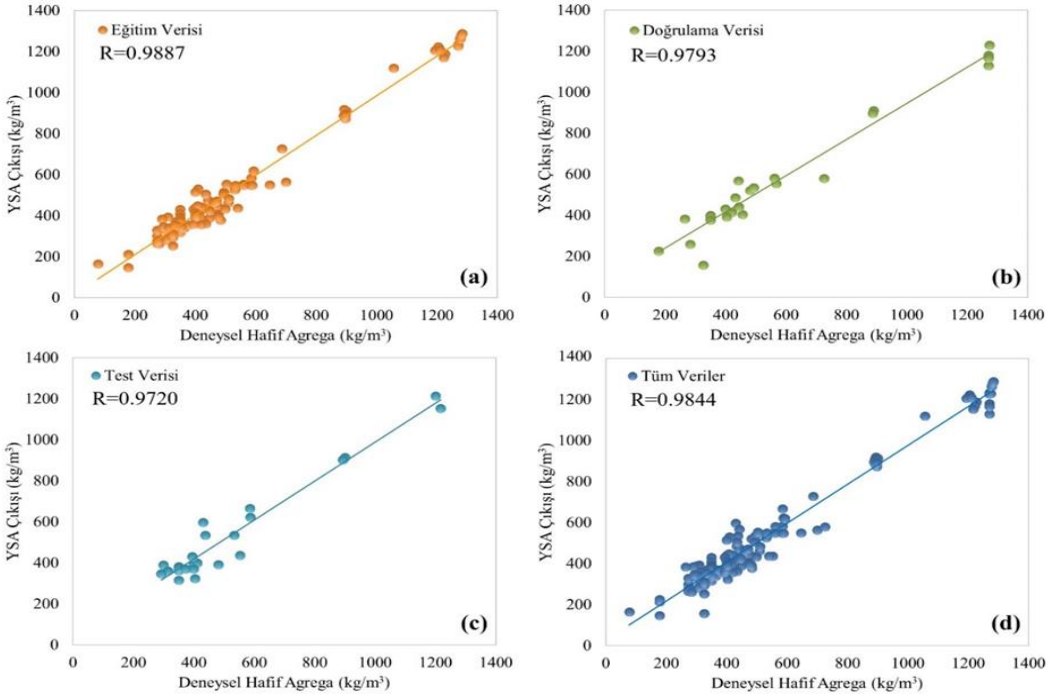
Geliştirilen YSA modelinde hafif beton bileşiminde ihtiyaç duyulabilecek Hafif Agrega (HA) miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla geliştirilen YSA modelinin girişleri ise hafif beton bileşimindeki su miktarı (S), çimento miktarı (Ç), normal agrega miktarı (NA), toz malzeme miktarı (T), kimyasal katkı miktarı (KK), 28 günlük hedef beton basınç dayanımı (f_c) ve hafif agrega tipi (Tip)'dir. (Şekil 3) Şekil 3'de görülen YSA modeli, bir giriş katmanı, bir gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşmaktadır. YSA modeli, 7 adet giriş, gizli katmanında 8 adet yapay sinir hücresi ve 1 adet çıkışa sahiptir. Giriş katmanında ve gizli katmandaki tüm hücrelere aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant hiperbolik sigmoid aktivasyon fonksiyonu (Denklem 1) uygulanmıştır. Çıkış katmanındaki yapay hücrede ise doğrusal bir aktivasyon fonksiyonu (g(x)=x) kullanılmıştır.



Şekil 3. Bu çalışmada geliştirilen YSA modeli

3. Bulgular ve tartışma

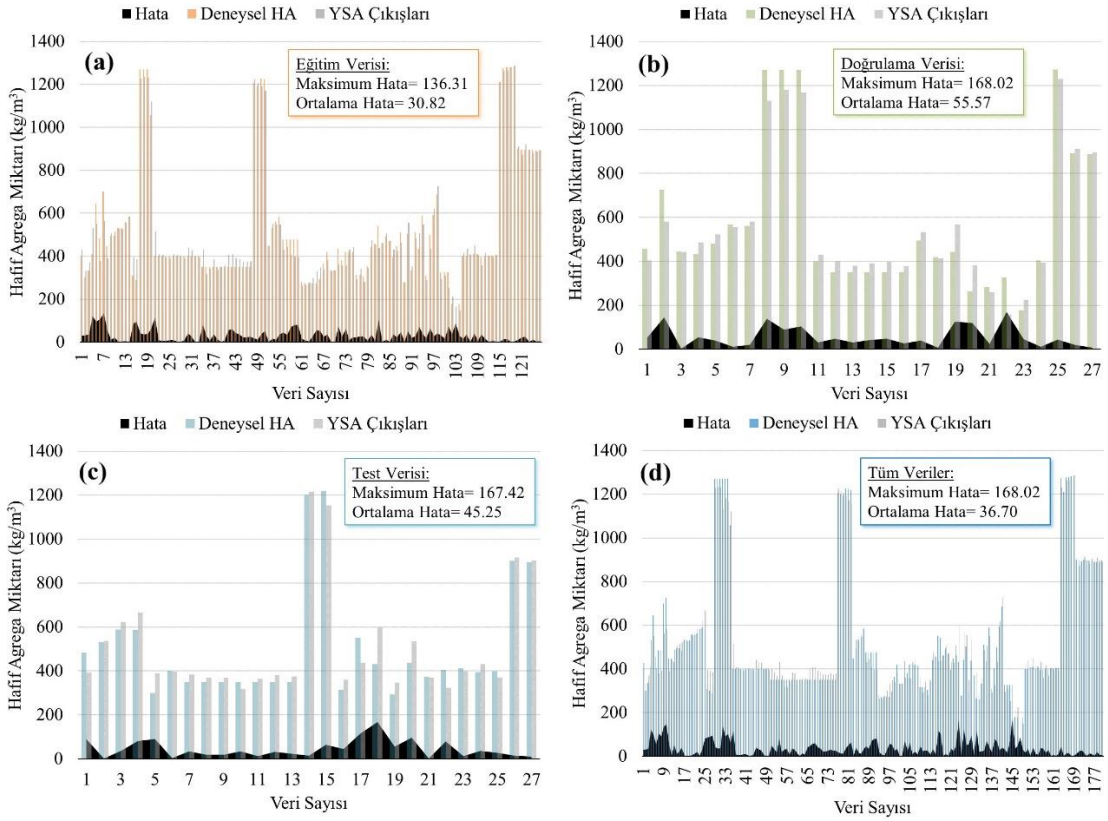
Bu çalışmanın amacı, hedef basınç dayanımı belirlenmiş hafif betonlar üretirken karışımda ihtiyaç duyulabilecek hafif agrega (HA) miktarının tahmin edilmesidir. Bu amaçla, çalışmada geliştirilen YSA'nın girişleri, beton bileşiminde yer alan su (S), çimento (Ç), normal agrega (NA), toz (T), kimyasal katkı (KK) miktarları ile betonun hedef basınç dayanımı (f_c) ve kullanılacak hafif agreganın tipidir (Tip). Çıkış ise HA miktarıdır.



Şekil 4. ANN çıktıları ile deneysel HA miktarları arasındaki doğrusal ilişki:
a) eğitim, b) doğrulama, c) test ve d) tüm veri kümeleri

Literatürden elde edilen 180 adet deney verisi kullanılarak bir YSA modeli geliştirilmiştir. Verilerden rastgele seçilen 126 adet veri YSA modelini eğitmek için kullanılmıştır. Daha sonra rastgele seçilen 27 adet veri doğrulama aşamasında kullanılmış ve geriye kalan 27 adet veri de test aşamasında kullanılmıştır. Geliştirilen YSA modelinin eğitim, doğrulama ve test süreçleri sonunda verdiği HA çıktıları ile deneysel HA verileri arasındaki doğrusal korelasyonlar Şekil 4'te verilmiştir. Eğitim, doğrulama, test ve tüm veri kümelerinin korelasyon değerleri sırasıyla 0.9887, 0.9797, 0.9720 ve 0.9844'tür (Şekil 4a, 4b, 4c ve 4d). Eğitim veri kümesine yüksek doğrulukta çıktılar üreten YSA modelinin, doğrulama ve test veri kümelerine de %97 oranında doğru sonuçlar üretebildiği görülmektedir. Geliştirilen YSA modelinin eğitim aşamasından geçip doğrulama ve test aşamasındaki veri kümelerine de oldukça yüksek doğrulukla çıktı üretebilmesi, YSA'nın bu problemi öğrenmekte başarılı olduğunu göstermiştir. Geliştirilen YSA, hedef basınç dayanımı ve beton bileşimi parametrelerinden Hafif Beton karışımı için gerekli HA miktarını %95'in üzerinde doğru tahmin edebilmektedir.

Şekil 5'te ise Deneysel HA ile YSA modelinin çıkışları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Aynı zamanda Şekil 5'de, deneysel veriler ile YSA çıkışları arasında hesaplanan farklar da hata grafikleri şeklinde görülmektedir. Ortalama hata değerleri eğitim, doğrulama, test ve tüm veri kümeleri için sırasıyla 30.82, 55.57, 45.25 ve 36.70 kg/m^3'tür (Şekil 5a, 5b, 5c, 5d). Bu deneysel veri ile YSA çıkışı arasındaki farklar, tahmin edilen HA için oldukça düşüktür. Şekil 5'teki düşük hata değerleri de geliştirilen YSA modelinin bu problemde başarılı çıktılar üretebildiğini göstermektedir.



Şekil 5. ANN çıktıları ile deneysel HA miktarları arasındaki hata miktarlarının değişimi: eğitim, b) doğrulama, c) test ve d) tüm veri kümeleri

Behnood ve Golafshani [43] ve Açıkgenç Ulaş [44], YSA'nın bağlantı ağırlıklarını kullanarak YSA modelini matematiksel bir denkleme çevirmeyi başarmışlardır. Bu denklemler sayesinde kullanıcılar, YSA yazılımına ihtiyaç duymaksızın tahmin yapabilme olanağına sahiptirler. Bu çalışmada da geliştirilen YSA modelinin bağlantı ağırlıklarından geliştirilen denklemler aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\text{net}_1 = -0.00888\,\text{S} - 0.00147\,\text{C} + 0.006532\,\text{NA} + 0.02992\,\text{TOZ} - 0.34285\,\text{KK} - 0.00957\,f_c - 0.95784\,\text{TIP} + 3.048227 \quad (2)$$

$$\text{net}_2 = 0.000468\,\text{S} + 0.000294\,\text{C} + 0.002697\,\text{NA} + 0.00735\,\text{TOZ} + 0.13556\,\text{KK} - 0.03336\,f_c + 0.134686\,\text{TIP} - 3.80424 \quad (3)$$

$$\text{net}_3 = 0.009971\,\text{S} + 0.002316\,\text{Ç} - 0.00214\,\text{NA} - 0.01583\,\text{TOZ} + 0.169673\,\text{KK} + 0.002397\,f_c - 0.78201\,\text{TIP} - 0.60855 \quad (4)$$

$$\text{net}_4 = -0.00198\,\text{S} - 0.00394\,\text{Ç} + 0.002031\,\text{NA} + 0.004992\,\text{TOZ} + 0.098636\,\text{KK} + 0.035379\,f_c + 0.091259\,\text{TIP} + 1.10088 \quad (5)$$

$$\text{net}_5 = 0.013242\,\text{S} - 0.0026\,\text{Ç} - 0.00164\,\text{NA} - 0.01316\,\text{TOZ} + 0.409167\,\text{KK} + 0.048985\,f_c - 0.18495\,\text{TIP} - 2.87549 \quad (6)$$

$$\text{net}_6 = -0.00276\,\text{S} + 2.28E-05\,\text{Ç} + 0.000985\,\text{NA} - 0.00995\,\text{TOZ} + 0.15787\,\text{KK} + 0.051859\,f_c + 0.662918\,\text{TIP} - 3.27051 \quad (7)$$

$$\text{net}_7 = -0.0068\,\text{S} - 0.00426\,\text{Ç} - 0.00095\,\text{NA} + 0.004815\,\text{TOZ} - 0.19729\,\text{KK} - 0.01728 f_c - 1.44778\,\text{TIP} + 9.384726 \quad (8)$$

$$\text{net}_8 = -0.01302\,\text{S} - 0.00529\,\text{Ç} - 0.00095\,\text{NA} + 0.004815\,\text{TOZ} - 0.19729\,\text{KK} - 0.01728 f_c - 1.44778\,\text{TIP} + 9.384726 \quad (9)$$

$$\begin{aligned}\text{HA}\ (\text{kg/m}^3) = {} & [-354.021 \times g(\text{net}_1)] - [122.904 \times g(\text{net}_2)] \\ & - [47.595 \times g(\text{net}_3)] - [274.527 \times g(\text{net}_4)] \\ & + [157.058 \times g(\text{net}_5)] - [18.836 \times g(\text{net}_6)] \\ & + [224.101 \times g(\text{net}_7)] + [361.363 \times g(\text{net}_8)] + 399.9378\end{aligned} \quad (10)$$

Denklem 2-9'daki net_1, net_2, net_3, net_4, net_5, net_6, net_7 ve net_8 gizli katmandaki nöronların toplam fonksiyonlarıdır. YSA'nın da girişleri olan S, Ç, NA, T, KK, f_c ve Tip ise başta da ifade edildiği gibi sırasıyla su, çimento, normal agrega, toz, kimyasal katkı miktarları, hedef basınç dayanımı ve hafif agreganın tipidir. Denklem 10'daki HA, hafif agrega miktarıdır. Ayrıca g(net) fonksiyonu ise Denklem 1 ile aynı olan tanjant hiperbolik sigmoid aktivasyon fonksiyonudur. Hafif Beton bileşimindeki gerekli HA tahmini yapan bu formüllerin, Tablo 2'de verilen istatistiksel aralıklarda geçerli ve güvenilir olduğunun da unutulmaması gerekir.

4.Sonuçlar

Bu çalışmanın amacı hedef basınç dayanımı belli olan hafif beton üretiminde kullanılması gereken hafif agrega miktarının tahmin edilmesidir. Bu amaçla literatürde yer alan hafif beton ile ilgili çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu amaçla girişleri su, çimento, normal agrega, toz, kimyasal katkı miktarları ile hedef basınç dayanımı ve hafif agrega tipi olan bir YSA modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin sözü edilen giriş parametrelerinden hafif agrega miktarını tahmin etmesi sağlanmıştır. Geliştirilen model sayesinde bu çalışmaya ait elde edilen sonuçlar aşağıda şu şekilde özetlenebilir:

- Geliştirilen YSA modelinin başarılı ve yüksek doğrulukta sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir. YSA modeli, hedef basınç dayanımı belli olan hafif beton üretiminde kullanılması gereken hafif agrega miktarını tahmin etme problemini başarılı bir şekilde öğrenmiştir. Geliştirilen YSA modelinde eğitim, doğrulama ve test aşamasında korelasyon değerlerinin %95'in üzerinde olduğu görülmüştür.
- Genel olarak YSA tabanlı bir modeli oluşturulurken paket yazılımlar gerekmektedir. Fakat bu çalışmada bağlantı aralıkları kullanılarak YSA'nın matematiksel bir denklemi ortaya çıkarılmıştır. Geliştirilen denklem sayesinde kullanıcılar, yazılıma ihtiyaç duyulmaksızın gerekli hafif agrega miktarını kolaylıkla tahmin edilebilecektir.
- Özellikle ortaya koyulan denklemler sayesinde hafif betonlar için pratik bir karışım tasarımı geliştirildiği düşünülmektedir. Bu sayede hafif beton üretimi sürecinde deneme karışımlarının sayılarının minimize edileceği düşünülmektedir. Böylece işçilik, zaman ve maliyetten tasarruf sağlanacaktır.
- Sonuç olarak farklı tür agregalarla oluşturulmuş dağınık veri kümelerinden YSA metodu kullanılarak pratik ve yüksek doğrulukta karışım tasarımının elde edebilmenin mümkün olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada literatürdeki sınırlı sayıda veri kullanılarak analiz yapılmış ve başarılı cevaplar elde edilmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda veri sayısının artmasıyla YSA'nın hafif beton karışım tasarımlarında daha güvenilir ve başarılı sonuçlar elde edeceği düşünülmektedir. Geliştirilen denklem sayesinde özel betonlar sektöründe olan hafif beton araştırma çalışmalarının artacağı, bu sayede kullanım alanlarının genişlemesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Makalenin yazarlarından Rabia Nur SAĞLAM YÖK 100/2000 bursiyeridir. Katkılarından dolayı YÖK'e teşekkür ederiz. Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Fonu tarafından, MF.19.38 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1] B. Baradan, *Yapı Malzemesi II*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, 2000.
[2] S. (Satish) Chandra and L. Berntsson, *Lightweight aggregate concrete : science, technology, and applications*. 2002.
[3] V. Khonsari, E. Eslami, and A. Anvari, "Effects of expanded perlite aggregate (EPA) on the mechanical behavior of lightweight concrete," in *Proceedings of the 7th international conference on fracture and mechanics of concrete & concrete structure (FraMCoS-7), Jeju, Korea*, 2010, pp. 1354–1361.
[4] "TS EN 206-1," 2002, vol. 13535, no. 1998.
[5] M. Açikgenç, M. Ulaş, and K. E. Alyamaç, "Using an Artificial Neural Network to Predict Mix Compositions of Steel Fiber-Reinforced Concrete," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 40, no. 2, pp. 407–419, 2015, doi: 10.1007/s13369-014-1549-x.
[6] H.-G. Ni and J.-Z. Wang, "Prediction of compressive strength of concrete by neural networks," *Cem. Concr. Res.*, vol. 30, no. 8, pp. 1245–1250, 2000.
[7] M. I. Waris, J. Mir, V. Plevris, and A. Ahmad, "Predicting compressive strength of CRM samples using Image processing and ANN," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 899, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/899/1/012014.
[8] D. Nagarajan, T. Rajagopal, and N. Meyappan, "A comparative study on prediction models for strength properties of LWA concrete using artificial neural network," *Rev. la construcción*, vol. 19, no. 1, pp. 103–111, 2020.
[9] D. J. Armaghani and P. G. Asteris, *A comparative study of ANN and ANFIS models for the prediction of cement-based mortar materials compressive strength*, vol. 4. Springer London, 2020.
[10] A. F. Bingöl, A. Tortum, and R. Gül, "Neural networks analysis of compressive strength of lightweight concrete after high temperatures," *Mater. Des.*, vol. 52, pp. 258–264, 2013.
[11] G. Calis, S. A. Yıldızel, and U. S. Keskin, "Application of an artificial neural network for predicting compressive and flexural strength of basalt fiber added lightweight."
[12] R. Pranamika, "Predictive study on Mechanical strength of Lightweight concrete using MRA and ANN," *Turkish J. Comput. Math. Educ.*, vol. 12, no. 10, pp. 7774–7792, 2021.
[13] J. Y. Yoon, H. Kim, Y.-J. Lee, and S.-H. Sim, "Prediction model for mechanical properties of lightweight aggregate concrete using artificial neural network," *Materials (Basel).*, vol. 12, no. 17, p. 2678, 2019.
[14] H. Ergezer, M. Dikmen, and E. Özdemir, "Yapay sinir ağları ve tanıma sistemleri," *PiVOLKA*, vol. 2, no. 6, pp. 14–17, 2003.
[15] R. Hecht-Nielsen, "Theory of the backpropagation neural network," in *Neural networks for perception*, Elsevier, 1992, pp. 65–93.
[16] T. Gupta, K. A. Patel, S. Siddique, R. K. Sharma, and S. Chaudhary, "Prediction of mechanical properties of rubberised concrete exposed to elevated temperature using ANN," *Measurement*, vol. 147, p. 106870, 2019.
[17] E. M. Golafshani, A. Behnood, and M. Arashpour, "Predicting the compressive strength of normal and High-Performance Concretes using ANN and ANFIS hybridized with Grey Wolf Optimizer," *Constr. Build. Mater.*, vol. 232, p. 117266, 2020.
[18] S. C. Kou, G. Lee, C. S. Poon, and W. L. Lai, "Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes," *Waste Manag.*, vol. 29, no. 2, pp. 621–628, 2009, doi: 10.1016/j.wasman.2008.06.014.
[19] S. Yang, X. Yue, X. Liu, and Y. Tong, "Properties of self-compacting lightweight concrete containing recycled plastic particles," *Constr. Build. Mater.*, vol. 84, pp. 444–453, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.03.038.
[20] K. M. A. Sohel, K. Al-Jabri, M. H. Zhang, and J. Y. R. Liew, "Flexural fatigue behavior of ultra-lightweight cement composite and high strength lightweight aggregate concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 173, pp. 90–100, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.276.
[21] R. V. Balendran, F. P. Zhou, A. Nadeem, and A. Y. T. Leung, "Influence of steel fibres on strength and ductility of normal and lightweight high strength concrete," *Build. Environ.*, vol. 37, no. 12, pp. 1361–1367, 2002, doi: 10.1016/S0360-1323(01)00109-3.
[22] K. S. Chia and M. H. Zhang, "Water permeability and chloride penetrability of high-strength lightweight aggregate concrete," *Cem. Concr. Res.*, vol. 32, no. 4, pp. 639–645, 2002, doi: 10.1016/S0008-8846(01)00738-4.
[23] M. N. Haque, H. Al-Khaiat, and O. Kayali, "Strength and durability of lightweight concrete," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 26, no. 4, pp. 307–314, 2004, doi: 10.1016/S0958-9465(02)00141-5.
[24] J. A. Rossignolo and M. V. C. Agnesini, "Durability of polymer-modified lightweight aggregate concrete," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 26, no. 4, pp. 375–380, 2004, doi: 10.1016/S0958-9465(03)00022-2.
[25] J. Alduaij, K. Alshaleh, M. Naseer Haque, and K. Ellaithy, "Lightweight concrete in hot coastal areas," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 21, no. 5–6, pp. 453–458, 1999, doi: 10.1016/S0958-9465(99)00035-9.
[26] T. Y. Lo, H. Z. Cui, and Z. G. Li, "Influence of aggregate pre-wetting and fly ash on mechanical properties of lightweight concrete," *Waste Manag.*, vol. 24, no. 4, pp. 333–338, 2004, doi: 10.1016/j.wasman.2003.06.003.
[27] B. Chen and J. Liu, "Experimental application of mineral admixtures in lightweight concrete with high strength and workability," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 6, pp. 1108–1113, 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.03.001.
[28] J. A. Bogas and A. Gomes, "A simple mix design method for structural lightweight aggregate concrete," pp. 1919–1932, 2013, doi: 10.1617/s11527-013-0029-1.

[29] J. A. Bogas, J. De Brito, and J. M. Figueiredo, "Mechanical characterization of concrete produced with recycled lightweight expanded clay aggregate concrete," *J. Clean. Prod.*, vol. 89, pp. 187–195, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.11.015.

[30] K. S. Youm, J. Moon, J. Y. Cho, and J. J. Kim, "Experimental study on strength and durability of lightweight aggregate concrete containing silica fume," *Constr. Build. Mater.*, vol. 114, pp. 517–527, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.165.

[31] J. A. Rossignolo, M. V. C. Agnesini, and J. A. Morais, "Properties of high-performance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 25, no. 1, pp. 77–82, 2003, doi: 10.1016/S0958-9465(01)00046-4.

[32] B. Zhang and C. S. Poon, "Use of Furnace Bottom Ash for producing lightweight aggregate concrete with thermal insulation properties," *J. Clean. Prod.*, vol. 99, pp. 94–100, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.03.007.

[33] P. Shafigh, M. Z. Jumaat, and H. Mahmud, "Oil palm shell as a lightweight aggregate for production high strength lightweight concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 4, pp. 1848–1853, 2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.11.075.

[34] P. Shafigh, M. Z. Jumaat, H. Bin Mahmud, and U. J. Alengaram, "A new method of producing high strength oil palm shell lightweight concrete," *Mater. Des.*, vol. 32, no. 10, pp. 4839–4843, 2011, doi: 10.1016/j.matdes.2011.06.015.

[35] P. Shafigh, M. Z. Jumaat, H. Bin Mahmud, and U. J. Alengaram, "Oil palm shell lightweight concrete containing high volume ground granulated blast furnace slag," *Constr. Build. Mater.*, vol. 40, pp. 231–238, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.10.007.

[36] M. A. Mannan and C. Ganapathy, "Mix design for oil palm shell concrete," *Cem. Concr. Res.*, vol. 31, no. 9, pp. 1323–1325, 2001, doi: 10.1016/S0008-8846(01)00585-3.

[37] P. Shafigh, H. Bin Mahmud, and M. Z. Jumaat, "Oil palm shell lightweight concrete as a ductile material," *Mater. Des.*, vol. 36, pp. 650–654, 2012, doi: 10.1016/j.matdes.2011.12.003.

[38] P. Shafigh, H. Bin Mahmud, M. Z. Bin Jumaat, R. Ahmmad, and S. Bahri, "Structural lightweight aggregate concrete using two types of waste from the palm oil industry as aggregate," *J. Clean. Prod.*, vol. 80, pp. 187–196, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.05.051.

[39] P. Shafigh, U. Johnson Alengaram, H. Bin Mahmud, and M. Z. Jumaat, "Engineering properties of oil palm shell lightweight concrete containing fly ash," *Mater. Des.*, vol. 49, no. 2013, pp. 613–621, 2013, doi: 10.1016/j.matdes.2013.02.004.

[40] M. A. Mannan and C. U. Ganapathy, "Engineering-properties-of-concrete-with-oil-palm-shell-as-coarse-aggregate_2002_Construction-and-Building-Materials," *Constr. Build. Mater.*, vol. 16, pp. 29–34, 2002.

[41] F. K. Alqahtani, G. Ghataora, M. I. Khan, and S. Dirar, "Novel lightweight concrete containing manufactured plastic aggregate," *Constr. Build. Mater.*, vol. 148, pp. 386–397, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.011.

[42] M. J. Shannag, "Characteristics of lightweight concrete containing mineral admixtures," *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 2, pp. 658–662, 2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.07.025.

[43] Behnood A, Golafshani EM.2018, Predicting the compressive strength of silica fume concrete using hybrid artificial neural network with multi-objective grey wolves. J Clean Prod.;202:54–64.

[44] Acikgenc Ulas M,2022,. Development of an artificial neural network model to predict waste marble powder demand in eco-efficient self-compacting concrete. Structural Concrete, doi: 10.1002/suco.202200043.

Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi
34(2), 899-922, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1142747

Veri Füzyonu: Veri Kaynakları, Mimariler, Zorluklar ve Çözüm Yaklaşımları

Berna ÇENGİZ[1*], **Resul DAŞ**[2]
[1,2]Yazılım Mühendisliği,Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[*1]brnpolatt@gmail.com,[2]rdas@firat.edu.tr,

(Geliş/Received: 09/07/2022; **Kabul/Accepted: 08/08/2022)**

Öz: Nesnelerin İnterneti, yeni teknoloji ve cihazları kullanarak insan müdahelesi olmadan nesnelerin iletişimini ve karar verme yetilerini sağlayan insanların problemlemlerine çözüm sağlayan sistemlerdir. Nesnelerin İnterneti çözümleri insanların konfor, güvenilirlik, hareketlilik, sağlık ve refah seviyesinin yükseltilmesinde etkin rol almaktadır. Karmaşık ve zorlu uygulamalar içeren IoT çözümlerinden elde edilen büyük veriler, birbirinden farklı ve çok kaynaklı heterojen veri kümelerini içerebilir. Sensör teknolojilerini kullanan teknolojik çözümlerinde veri ve sensör füzyonu işlemleri büyük önem taşımaktadır. Veri boyutunun azaltılması, veri trafik yoğunluğunu optimize edilmesi ve ham verilerden yararlı bilgileri çıkarılması gibi işlemlerin gerçekleştirebilmesi kritik ve çok önemlidir. Bu bağlamda, veri birleştirme sürecinde, sorunlu verilerin düzeltilmesi, veri güvenilirliğinin arttırılması ve veri bütünlüğünün korunması hedeflenmektedir. Akıllı sistemler kullanılarak gerçekleştirilen IoT çözümlerinde en çok yaşanan veri füzyonu zorluklarının tespit edilmesi ve olası çözüm yaklaşımlarının sunulması çalışmamızın özgün yönünü ön plana çıkartmaktadır. Bu makale çalışmasında, güncel literatür çalışmaları detaylıca incelenmiş, akıllı şehirlerde uygulanan IoT çözümlerindeki veri tipleri, füzyon seviyeleri, kullanılan yöntem ve elde edilen sonuçlar tablo halinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, Büyük Veri, Akıllı Şehirler, Veri Füzyonu, Enerji Tüketimi

Data Fusion: Data Sources, Architectures, Challenges and Solution Approaches

Abstract: The Internet of Things (IoT) are internet-based systems that provide solutions to people's problems that enable communication of objects and decision-making skills without human intervention by using new technologies and devices. Internet of Things solutions play an active role in raising people's comfort, reliability, mobility, health and well-being. Big data generated from IoT solutions with complex and demanding applications can contain heterogeneous datasets with different and multiple sources. Data and sensor fusion processes are of great importance in technological solutions using sensor technologies. It is critical and very important to be able to perform operations such as reducing data size, optimizing data traffic density, and extracting useful information from raw data. In this context, it is aimed to correct problematic data, increase data reliability and protect data integrity in the data fusion process. Identifying the most common data fusion challenges in IoT solutions using smart systems and presenting possible solution approaches highlights the unique aspect of our work. In this study, current literature studies are examined in detail, data types, fusion levels, methods used and results obtained in IoT solutions applied in smart cities are presented in tabular form.

Keywords: Internet of Things, Big Data, Smart Cities, Data Fusion, Energy Consumption.

1. Giriş

İnsan yaşamını kolaylaştırmak ve hayat kalitesini arttırmak için birçok alanda kendisine yer bulan Nesnelerin İnterneti, fiziksel dünyadaki ve siber uzaydaki nesnelerin birbirleri ile iletişim halinde olduğu bir topluluk sunmaktadır. IoT, fiziksel nesnelerin iletişimi, bilgi paylaşımı ve faaliyetlerini kontrol etme bakımından görme, duyma, düşünme ve karar verme gibi insan özelliklerini taklit etme yeteneği taşımaktadır. Bu yetenekler, basit nesneleri gerçek zamanlı olarak çalışabilen, koşullara uyum sağlayabilen ve insan müdahalesi veya denetimi olmadan işlev görebilen akıllı cihazlara dönüştürmektedir. IoT sistemleri, elde ettikleri verileri bir araya getirmek, diğer nesnelerle iletişim halinde kalmak ve üzerinde analiz yapmak için işlemciler, sensörler ve iletişim donanımı gibi birleşik sistemleri kullanan web özellikli akıllı cihazları içermektedir [1]. Nesnelerin İnterneti toplanan verilerin yardımıyla etrafımızda gördüğümüz herşey hakkında bilgiye sahip olması ve bir öngörüde bulunabilmesi toplumların daha akıllı hale gelmesine olanak tanımaktadır. Son yıllarda popüler olan Akıllı Şehir Sistemleri [2]–[8], IoT ile birlikte birçok açıdan ele alınabilmektedir. Bugün dünya nüfusunun %50'den fazlası şehirlerde yaşamakta ve önümüzdeki 30 yıl içerisinde kentsel alan yerleşiminin %68'e ulaşacağı düşünülmektedir. Birleşmiş Milletler'e göre, dünya nüfusu 2050'de 2,5 milyar artacağı tahmin edilmektedir. Bu muazzam büyüme, şehirlerin sürdürülebilir yönetimi ve kalkınmasının yanı sıra vatandaşlar için daha iyi yaşam kalitesini garanti etme yeteneği de dahil olmak

* Sorumlu yazar: brnpolatt@gmail.com. Yazarların ORCID numarası: [1]0000-0002-1564-0604, [2]0000-0002-6113-4649,

üzere birçok zorluğu beraberinde getirecektir. Bu nedenle, akıllı şehirlerin geliştirilmesi, artan nüfusun çeşitli ihtiyaçlarının karşılanması için hem etkili hem de acil bir çözüm olarak düşünülmelidir. Akıllı şehirlerde eyleme dönüştürülebilir bilgiler oluşturmak için çok sayıdaki IoT cihazının uzaktan ve gerçek zamanlı olarak takibi, yönetimi ve çalıştırılmasına ihtiyaç vardır. Akıllı bir şehrin en temel özelliği yüksek düzeyde bilgi teknolojisi entegrasyonu ve bilgi teknolojisinin sağlam bir şekilde uygulanması yer almaktadır [5]. Akıllı sensörler ve aktüatörler şehirlerin farklı bölgelerine yerleştirilerek büyük miktarda veri toplanmasına sağlamaktadır [9]. Toplanan veriler, yararlı bir biçimde sunulabilmesi için önce saklanmalı, analiz edilmeli ve işlenmelidir. Akıllı şehir çevre izleme, kontrol, kaynak yönetimi, anormallik tespiti gibi temel ve önemli durumlarda veri kaynaklarının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Akıllı şehir uygulama alanlarında paralel veri kaynaklarının mevcudiyeti ile birden çok veri kaynağını birleştiren veri birleştirme teknikleri, akıllı şehir platformu entegrasyonunun merkezinde yer almaktadır. Veri birleştirmenin ana hedefleri, veri güvenilirliğini arttırırken ve birden fazla veri kaynağından bilgi çıkarımı yaparken sorunlu verileri ele almaktır. Veri birleştirme, birden çok kaynaktan gelen büyük hacimli verilerin optimum kullanımı için etkili bir yoldur [10]. Çok sensörlü veri birleştirme, tek bir sensör veya kaynaktan mümkün olmayan çıkarımlara ulaşmak için birden fazla sensör ve kaynaktan gelen bilgileri birleştirmeyi amaçlamaktadır. Farklı fiziksel özelliklere sahip sensörlerden gelen bilgilerin birleştirilmesi, karar verme ve akıllı makinelerin kontrolünü daha anlaşılır kılmaktadır.

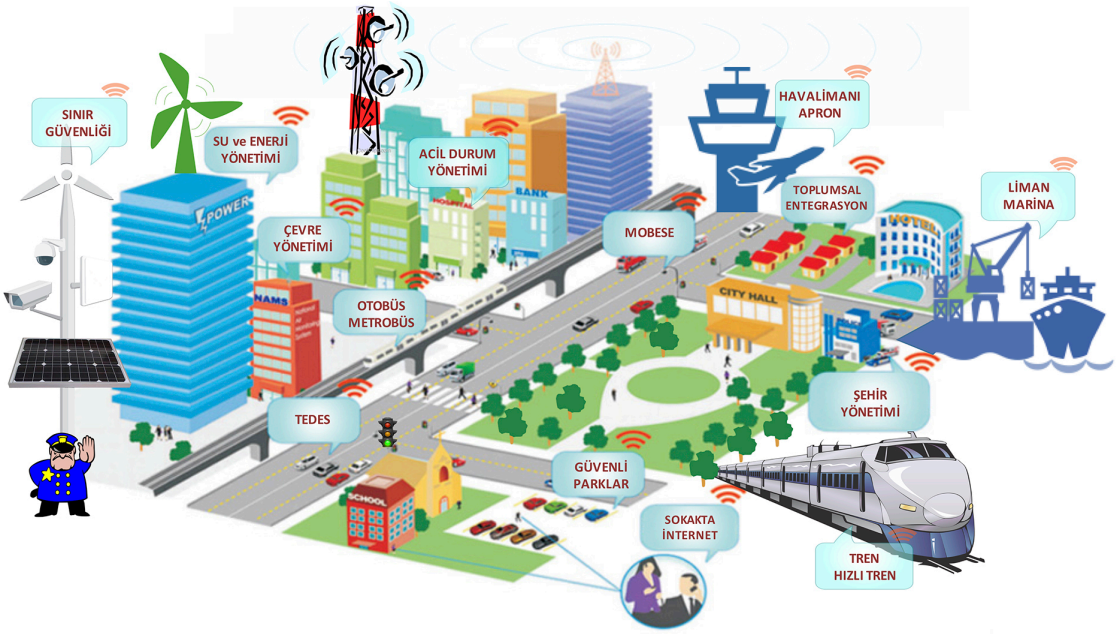
Bu makale çalışmada 4 ana bölümden oluşmaktadır. Bölüm 2'de akıllı şehirler kapsamında gerçekleştirilen akıllı uygulamalar sunulmuştur. Özellikle sensör ve veri füzyonu uygulamalarının etkin kullanıldığı akıllı yapılar incelenmiştir. Çalışmamızın 3.bölümünde veri füzyonu kavramı detaylıca incelenmiş, veri kaynaklar, veri füzyon mimarileri sunulmuştur. Bu kapsamda güncel literatür çalışmaları tablo halinde verilmiştir. Veri füzyonu süreçlerinde yaşanan zorlukların giderilmesi için önerilen çözüm yaklaşımları ise çalışmanın özgün yönünü olarak ön plana çıkmaktadır. Son olarak 4. bölümde sonuç sunulmuştur.

2. Akıllı Şehirler

Akıllı şehir, sürdürülebilir bir metropol, yenilikçi ticaret ve vatandaşları için zenginleştirilmiş yaşam kalitesi oluşturmak için gelişmiş yeni teknolojileri kullanan, yüksek teknolojili, bağlantıları yüksek bir şehir olarak tanımlanır[11]. Şekil'de 1 görüldüğü gibi Akıllı sistem teknolojileriyle birlikte kentsel alanlar bilgi iletişim teknolojisini kullanan dijital şehirlere dönüşmektedir. Bu teknolojinin kentsel alana uygulanması kentsel alan yönetimi, ekonomi, endüstri, yaşam kalitesi, çevre izleme, insan hareketliliği ve altyapı gibi faaliyetlerin geliştirilmesinde büyük rol oynamaktadır.

2.1 Akıllı Yaşam

Akıllı yaşam, kentsel alanlardaki yaşam kalitesi, çalışma verimliliği, konfor seviyesi ve güvenlik gibi kavramlara internet temelli çözümler barındırmayı hedeflemektedir. Akıllı ev, akıllı sağlık bu alanın araştırma çerçevesi içerisinde bulunmaktadır. Bu alanda insan temelli verilerin doğrudan kullanılabilir olması güvenlik sorunlarını da beraberinde getirmektedir. İnternet aracılığıyla evin güncel durumu hakkında bilgi alış verişi yapabilen akıllı evler, konut sakinlerinin günlük aktivitelerinin incelenmesi ve yaşam kalitesinin arttırılması açısından önemlidir. Akıllı evlerin modern teknolojiye ayak uyduran yaşam tarzının artması enerji tüketimini de arttırmaktadır ve dolayısıyla enerji tüketimi konusu önemli bir konu haline gelmektedir. IoT ve derin öğrenme teknikleri de dahil olmak üzere yeni teknolojiler, enerji verimliliği ve tasarruf sağlamak için enerji kullanımlarını gerçek zamanlı olarak izleyebilmektedir. Akıllı ev sistemleri birçok IoT cihazı ve sensörü bünyesinde barındırmaktadır. Bu cihazlar ortamdan verileri toplayarak enerji tüketimini izler ve daha düşük enerji maliyetleri için analiz yaparlar[7]. Teknolojinin sağlık alanında yaygınlaşması yaşlı nufus ve kronik hastalığı olan bireyler için yeni çözüm önerileri sunmaktadır. Akıllı sağlık hizmeti, sağlık kayıtlarına sorunsuz bir şekilde erişmek, bireyleri, kaynakları ve kuruluşları birbirine bağlamak ve daha sonra bunları etkin bir şekilde yönetmek için giyilebilir cihazlar, Tıbbi Nesnelerin İnterneti (IoMT), gelişmiş makine öğrenimi algoritmaları ve kablosuz iletişim teknolojisi gibi teknolojileri kullanan bir çerçevedir [12]. Sağlık hizmetlerine ayrılmış nesnelerin internetinde (IoT), farklı vücut sensörlerinden, çevresel sensörlerden ve kameralar, ses kaydediciler vb. gibi diğer veri kaynaklarından heterojen veriler toplanabilir. Bu heterojen verilerin toplanması, senkronizasyonu, işlenmesi ve birleştirilmesi kritik öneme sahiptir [13]. IoT'de sağlık hizmetleri için gerçek zamanlı aktivite izleme, düşme tespiti, anormallik tespiti ve hastalık teşhisi [14]–[17]



Şekil 1: Akıllı şehirler kapsamında gerçekleştirilen akıllı uygulamalar

gibi uygulama örnekleri verilebilmektedir. Çoklu sensör füzyon teknikleri, daha iyi hizmet kalitesi için birlikte işlenecek birbiriyle alakasız birkaç cihazı ve veri kaynağını birleştiren tekniklerdir. Yukarıda belirtilen farklı kaynaklardan daha iyi sonuçlar elde etmek için çoklu sensör veri füzyonu sunulmaktadır [18].

2.2 Akıllı Kentsel Alan Yönetimi

Akıllı bir şehir sürdürülebilirlik ve yaşanabilirlik açısından gerçek zamanlı olarak verilerden yararlanabilmeli, böylece dayanıklılık hedeflerini ilerletmek için bireysel, organizasyonel ve toplu düzeylerde etkili ve verimli karar alabilmelidir. Akıllı kentsel alan yönetimi akıllı topluluk, akıllı yönetim, akıllı şehir planlaması, akıllı bina gibi alanları kapsamaktadır. Akıllı topluluk, bireyler ve kurumlar için bilgi teknolojisinin kullanıldığı bir mahalleden daha büyük alana hizmet sağlayan bir topluluktur. Yerel yönetim, iş dünyası, sağlık ve genel kamuoyunun olumlu bir şekilde dönüşümünü sağlamak için teknolojiyi kullanan bir kümesel alandır [19].

Vatandaşların sokak arızaları, çukurlar veya bozuk sokak lambaları gibi yaygın kentsel sorunları bildirmelerine yardımcı olmak ve yerel kamu idaresinin bu sorunlara hızlı bir şekilde müdahale edip düzeltmesini desteklemek için akıllı bir kentsel arıza raporlama platformu [20], akıllı ulaşım sistemlerini kullanan bir afet yönetim sistemi [21], sürücü yardım sistemleri için yolda bulunabilecek çok sayıda nesneyi tanımak amacıyla çeşitli sensörler ve karar algoritmaları kullanılarak [22] akıllı yönetim ve şehir planlaması yapılabilmektedir.

Diğer bir alan olan kentsel bina yönetimi, bina kaynaklarının yönetimini otomatikleştirirken bina sakinine binanın enerji tüketim oranını anlaması için bir platform sağlamaktadır. Küresel binalar, toplam enerji tüketiminin ve karbon emisyonunun yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır. Bu nedenle, enerji verimli ve yeşil binaların ilerlemesi için yeni akıllı bina enerji yönetimi teknolojilerinin geliştirilmesi önemlidir. Nesnelerin İnterneti teknolojisinin ve hesaplama yeteneğinin hızla gelişmesiyle birlikte, yapay zeka teknolojisi kontrol ve optimizasyonunda önemli katkıları bulmaktadır. Genel bir yapay zeka teknolojisi olarak, derin pekiştirmeli öğrenme, karşılaşılan birçok zorluğun üstesinden gelmektedir [23]. Bina yönetim sistemi, iyi tanımlanmış bir dizi kontrol girdisi kullanılarak bina parametrelerinin izlenebildiği ve kendi kendine ayarlanabildiği çeşitli akıllı binalara uygulanabilmektedir [24]. Gao ve arkadaşları merkezi bir tesis veri tabanı oluşturmak için düşük maliyetli bilgisayarlar, sensör modülleri, geliştirilmiş yazılım aracıları ve mevcut bina Wi-Fi ağını kullanan IoT özellikli bir veri toplama çerçevesi önermektedir [25]. Shapi ve arkadaşları Microsoft Azure bulut tabanlı makine öğrenimi platformunda enerji tüketimi için tah-

mine dayalı bir model geliştirerek sorunları çözmeyi amaçlamaktadır. Tahmine dayalı modelin algoritması için Destek Vektör Makinesi, Yapay Sinir Ağı ve k-En Yakın Komşu olmak üzere üç metodoloji önermişlerdir [26].

2.3 Akıllı Çevre

Akıllı çevre, bir şehrin iç ve dış çevresini kapsayan belirli bir alan çerçevesini inceler [2]. Akıllı çevre uygulamalarında IoT, mekansal ve zamansal bilgilerle sensörlerin entegrasyonu kullanılarak elde edilebilen kapsamlı, çok seviyeli ve tamamen kapsanan bir ekolojik izleme ağı oluşturmak için kullanılır [11]. Çevresel alanlarda IoT ve büyük verilerin inşası ve uygulanması, özellikle endüstride stratejik yeni bir ortamın geliştirilmesi, tanıtılması ve yönetimi için önemli bir durum teşkil etmektedir [3]. Akıllı çevresel uygulamalar için IoT'de önemli ilerleme kaydedilmiş olsa da, büyük hacimli veri hesaplama zekası tekniklerini yakalamak, depolamak, işlemek ve analiz etmek hala zorlu bir görev olabilmektedir. İstenen sonuçları elde etmek için akıllı ortam uygulamaları, yüksek hızlı veri akışları üzerinden gerçek zamanlı veya hatta neredeyse gerçek zamanlı işleme gerektirir; bu da hızlı, verimli ve büyük ölçekli veri akışı analizi gerektirir [27]. Akıllı çevre; peyzaj izleme, kentsel şehir modelleme, atık yönetimi gibi uygulama alanlarında geliştirmeler yapmaktadır. Dağlar ve ormanlar gibi bir kentsel kentin çevresindeki doğal kaynaklar, bir kentin önemli varlıkları olarak kabul edilir. Şehir alanının modellenmesinde en yaygın veri kaynakları, kullanmadan önce [28], [29] gibi veri iyileştirmeleri gerekmektedir. Akıllı şehirlerde, atıkların verimli yönetimi, IoT'nin ele alma eğiliminde olduğu çevre için çok önemli bir zorluktur [30]. Atık yönetimi [31], [32] , bir şehirde üretilen atığın, vatandaşların atıklarını ürettiği başlangıcından, toplama, taşıma ve depolama, yakma veya geri dönüşüm olabilecek nihai konaklama yerine varmasına kadar izlenmesi için gerekli tüm faaliyetleri kapsar. Etkin ve verimli bir katı atık yönetim programının yokluğunda, hem endüstriyel hem de evsel kentsel faaliyetlerden kaynaklanan atıklar sağlık risklerine neden olabilir ve çevreye zarar verebilir. Pardini ve arkadaşları atık yönetimini optimize etmeyi ve sürece bir vatandaşı dahil etmeyi amaçlayan bir çözüm (donanım, yazılım ve iletişim) önermektedir [33].

2.4 Akıllı Endüstri

Akıllı endüstri ve üretim, üretim değer zincirindeki tüm bileşenlerden gerçek zamanlı olarak ilgili sensör verilerinin ve süreç bilgilerinin elde edilmesini gerektirmektedir [34]. Veri biliminin ana hedeflerinden biri, kritik olayları ve hasarları öngörmek için endüstriyel makinelerde, araçlarda ve süreçlerde anormal davranışları etkili bir şekilde tahmin etmek ve sonuçta önemli ekonomik kayıpları ve güvenlik sorunlarını öngörmektir [35]. Akıllı endüstrinin, akıllı üretim, akıllı bakım, akıllı tarım alanlarındaetkilerini görmek mümkündür. Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışı, üreticileri akıllı üretim ve dijitalleşmeye daha fazla yatırım yapmaya teşvik etmektedir. Günümüzde üretimin birçok aşamasında kullanılan yeni kavramların dünya genelinde gözlemlenmesi mümkündür. Endüstri 4.0, esas olarak fabrikalardaki otomasyon sistemlerini geliştirebilecek bir bilgi teknolojisi altyapısı oluşturarak geleneksel üretim ortamlarının verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır [36]. Endüstri 4.0, bir üretim ortamındaki insan operatörlerin zamanlarının çoğunu daha yaratıcı ve iletişim görevlerine harcadığını, parçaların ve malların taşınması gibi rutin işlemler ise mobil robotlar gibi otonom cihazlar tarafından yürütüldüğünü öne sürmektedir. Gültekin ve arkadaşları birden fazla bağlı sensörden ölçülen sinyalleri kullanan bir ATV (Otonom Transfer Araçları) aracının akıllı arıza algılamasına odaklanmaktadır [37]. IoT, akıllı fabrika ortamında harcanan enerji miktarının yönetimi, ürün kalitesinin artırılması, fabrika atık yönetimi, operasyonel ve kesinti maliyetlerinin azaltılması, müşteri deneyiminin kalitesi ve yatırım getirisinin iyileştirilmesi gibi durumlarda etkinleştirici olarak hizmet verebilmektedir [38]. Wang ve arkadaşları akıllı üretime yönelik Endüstriyel İnternet tarafından desteklenen dijital ikiz tabanlı büyük veri sanal ve gerçek füzyon (DT-BDVRL) referans çerçevesi önermektedir [39]. Tarımsal üretimi artırmak amacıyla son yıllarda tarım sektöründe IoT ve büyük veri gibi yeni çözümler ve teknolojiler uygulanmaya başlanmıştır. Uygulamalarının birincil motivasyonu, akıllı tarımın hızla artan gelişimi ve sürdürülebilir çevre yönetiminin geleceğindeki kaçınılmaz rolüdür [40]. Akıllı tarım [5], [41], [42] sektöründe, otomasyon çözümleri ve teknolojileri, mekanik makineler, bilgi, karar verme araçları, hizmetler ve yazılımlar sorunsuz bir şekilde entegre edilerek çiftçilerin üretkenliği, ürün kalitesini ve karlılığı artırmalarına yardımcı olmaktadır.

2.5 Akıllı Ekonomi

Akıllı ekonomi, bir şehre potansiyel ticari değer sağlayan tedarik zinciri, lojistik, finans merkezi ve turizme kadar uzanan genel ticari faaliyetlerdir [2]. Akıllı ticaret, akıllı tedarik zinciri, akılllı turizm akıllı ekonominin ilgilendiği güncel çalışma alanlarıdır.

Akıllı ticaret [43]–[45] günümüzde modern e-ticaret platformları, müşterilerine ulaşmak ve daha iyi anlamak için çok modlu veri kaynaklarını kullanmaktadır. Bu, e-ticaret satıcılarının müşterilerine daha iyi ürün tavsiyeleri vermesine ve müşterilerin kararlarını kolayca vermelerine yardımcı olur. Mobilite, kredi kartı satın almaları ve sosyal medya etkileşimleri gibi müşteri verilerini birleştirmek, modern tavsiye sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Akıllı üretim kavramı, bireysel makinelerin basit sayısallaştırılmasından ve otomasyonundan, makinelerin IoT teknolojilerini kullanarak birbirine bağlanmasına ve hareket halindeyken kararlar almak için bağlı sistemlerden gelen verilerin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Müşterilere sunulan hizmeti iyileştirmeye ve süreç israfını azaltmaya odaklanan akıllı tedarik zinciri [46]–[50] en yaygın olarak benimsenen süreç yönetim sistemlerinden biri olarak kabul edilmektedir.

Akıllı bir şehir aynı zamanda sosyal - kültürel hayata da odaklanır ve kentsel sosyal etkileşimleri geliştirebilir. Akıllı şehirler, teknolojinin muazzam gelişimi ile turizm alanını hızlı bir şekilde ileriye taşımaktadır. Akıllı turizm [51], [52] seyahat deneyimlerini daha zengin, verimli ve sürdürülebilir kılmak için dönüştürmek için gelişmiş bilgi teknolojilerinin kullanımıyla birlikte çeşitli kaynaklardan elde edilen verileri toplamak ve analiz etmek için desteklenen yeni bir turizm kapsamını yansıtır.

2.6 Akıllı İnsan Hareketliliği

Akıllı insan hareketliliği [53]–[55], insanların hareket etme şeklini daha iyi anlamak ve iyileştirmek için sakinlerin hareketinin farklı yönleriyle ilgili çeşitli veri kaynaklarını toplamak, yönetmek ve analiz etmektir. Akıllı konum tabanlı çalışmalar ve akıllı ulaşım sistemleri akıllı insan hareketliliği uygulama alanlarındandır. Traunmueller ve arkadaşları kalabalık kentsel ortamlarda hareketlilik yörüngelerini modellemek için büyük ölçekli WiFi araştırma istek verilerini kullanan bir model geliştirmişlerdir [56]. Arazi kullanımı, insan hareketliliği arasındaki ilişkileri incelemek amaçlı Chen ve arkadaşları cep telefonu izleme verilerini kullanarak insan hareketliliğinin erişilebilirlik üzerindeki etkilerini incelemişlerdir[57]. IoT teknolojisi genişledikçe, insanların hayatlarını daha iyi hale getirmek için yeni uygulamalar meydana gelmektedir. IoT'nin ulaşım alanına girmesiyle birlikte ulaşım sistemleri algılamaya ve düşünmeye başlayarak Akıllı ulaşım sistemlerinin [58], [59] gelişmesine yol açmıştır. Akıllı ulaşım, daha fazla iyileştirme için birçok fırsat olduğu için birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Akıllı ulaşımın en önemli ilgi alanlarından biri navigasyon veya rota optimizasyonudur[60]. Kullanıcıların mobil cihazlarından [61] veya yol üzerinde belirli konumlara yerleştirilmiş yan birimlerden gelen verileri kullanmaya [62], uygulamalar trafik sıkışıklığını tahmin etmeye çalışır ve seyahat sürelerini en aza indirgemek için optimum rota seçenekleri önerir ve bu nedenle araç emisyonlarını ve enerji tüketimini azaltır.

2.7 Akıllı Alt Yapı

Akıllı altyapı kavramı, belirli bir coğrafi alanın insanlar, yönetişim, çevre, ekonomi, hareketlilik ve yaşam koşulları gibi farklı unsurları içeren kapsamlı bir sistem olarak tanımlanan akıllı şehir fikrinden türetilmiştir[63]. Akıllı şebeke, akıllı enerji, akıllı tesis, akıllı iletişim akıllı alt yapı alanında dikkat çeken başlıklardır. Akıllı şebekeler, geleneksel elektrik sistemlerinin modernizasyonunu temsil eder. Geleneksel güç ağlarını IoT teknolojileriyle donatmak, akıllı şebeke kavramını ortaya çıkarır[64]. Geleneksel güç sistemlerinde bilgi ve iletişim teknolojileri geliştirilip uygulandıkça, akıllı şebeke siber-fiziksel sistemlerinin gelişimi de artmaktadır[65]. Akıllı şebeke ağlarında güvenlik ve gizlilik en önemli endişelerdendir. Khan ve arkadaşları bu sorunların üstesinden gelmek için, akıllı şebekelerde güvenlik ve gizlilik özelliği sağlayan bir kimlik doğrulama ve anahtar anlaşma protokolü önermektedir[66]. Enerji talebindeki üstel artışı karşılamak, karbon emisyonunu azaltmak ve düşük maliyeti azaltmak için araştırmacılar, yenilenebilir enerji kaynakları ile yeni enerji üretimi yöntemleri üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Rehman ve arkadaşları elektrik şebekesi ve yenilenebilir enerji kaynakları, yani güneş enerjisi, kontrol edilebilir ısı ve güç ve rüzgar enerjisi kapsamında enerji kullanım planlaması ve yönetimine dayalı bir çalışma yapmışlardır [67].

IoT, çeşitlendirilmiş ağların, kablosuz teknolojilerin ve cihazların entegrasyonunu sağlamaktadır. Bu durum çeşitli cihazların kendi aralarında akıllı iletişim sağlamaya yardımcı olmaktadır. Kentsel bir şehirde iletişim, çeşitli uygulama platformlarının birbirleriyle iletişim kurması için temel bir altyapı olmaya devam etmektedir. Her biri farklı amaçlara hizmet ettiği için tüm iletişim platformları ve standartları eşit olarak tasarlanmamıştır. Bu nedenle, değişen gereksinimleri karşılamak için farklı standartlar ve protokoller oluşturulmuştur. Artırılmış gerçeklik, yüksek çözünürlüklü video akışı, sürücüsüz arabalar, akıllı çevre, e-sağlık hizmetleri vb. gibi Nesnelerin İnterneti (IoT) merkezli kavramlarla yaşamın her alanında karşılaşmak mümkün. Bu uygulamalar daha yüksek veri hızları, geniş bant genişliği, artırılmış kapasite, düşük gecikme süresi ve yüksek verim gerektirmektedir. Ortaya çıkan bu kavramların ışığında IoT, heterojen ağlar (HetNets) arasında kesintisiz bağlantı sağlayarak dünyada büyük bir yaratmaktadır. Beşinci Nesil (5G) hücresel ağlar, IoT teknolojisinin her yerde dağıtımı için temel etkinleştirme teknolojileri sağlamaktadır.

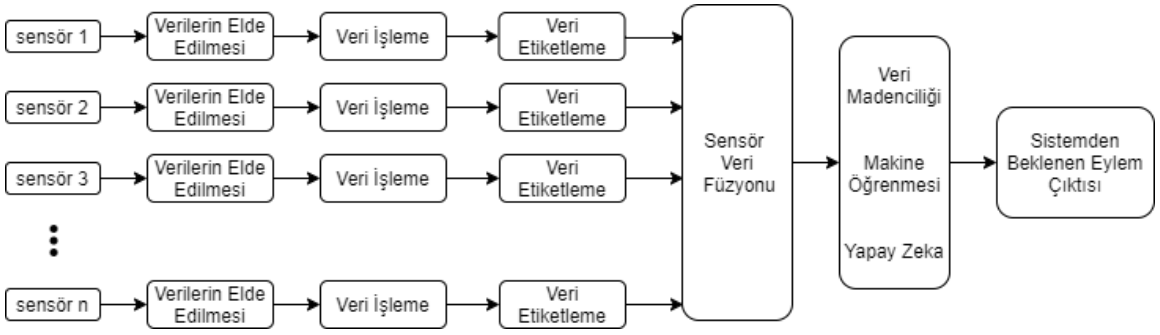
Tablo 1: Akıllı yapılarda enerji tüketimi üzerine yapılmış veri füzyonu uygulamalarının incelenmesi

Referans	**Uygulama Alanı**	**Amaç**	**Veri Tipi**	**Füzyon Seviyesi**	**Yöntem**	**Sonuçlar**
[68]	Akıllı Bina	Sensör füzyonu kullanılarak enerji verimliliği ve konfor kontrolü için bina doluluk izlemesi	Fiziksel veri	Sensör seviyesi	ANFIS	Tek bir sensörden elde edilemeyen gelişmiş güvenilirliğe sahip bilgi çıkarımı sağlanmıştır.
[69]	Kamusal Alan	Enerji tüketimi farkındalığı ve yönetimi	Hibrit veri kaynakları	-	Kural tabanlı bir karar-destek makinası	GreenSoul ile geliştirilmiş gündelik şeyler (örneğin cihazlar, ışık ve HVAC sistemleri) enerji tüketimini son kullanıcılara sezgisel olarak gösterecek, böylece kullanıcıları eğitecek ve daha duyarlı hale getirecektir.
[70]	Akıllı Ev	Giyilebilir akıllı teknoloji, yapay zeka ve sensör birleştirme teknolojisini entegre ederek çok sensörlü veri birleştirme teknolojisi tabanlı bir akıllı ev sistemi geliştirmek	Fiziksel veri kaynakları	Sinyal seviyesi	3D Hareket tanıma algoritması	Kullanılan algoritmalarda farklı çaprazlama oranlarıyla %92,0, %94,8, %95,3 ve %87,7 başarım elde edilmiştir.
[71]	Akıllı Ofis	Düşük çözünürlüklü ve düşük maliyetli ısı sensörleri kullanarak büyük iç mekan ortamlarının doluluğunu belirlemek	Fiziksel veri kaynakları	Sensör seviyesi	Yapay Sinir Ağları-CNN	Deneysel tasarımların ve elde edilen sonuçların, geleceğin akıllı alanları için doluluk tahmini çözümlerinin bulunmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
[57]	Akıllı Ofis	Doluluk tahmini oluşturmak için veriye dayalı modeller ile doluluk modellerini birleştiren bir füzyon çerçevesi sunmak	Fiziksel veri kaynakları	Sensör seviyesi	Aşırı öğrenme makinesi (ELM)	Önerilen füzyon çerçevesi, farklı metodolojiler arasında tahmin doğruluğu ve algılama doğruluğu (varlık/yokluk) için sırasıyla %5-14 ve %3-12 civarında iyileştirmeler sağlayabildiğini göstermiştir.
[72]	Üniveriste Kampüsü	WiFi cihaz sayısı, elektrik enerjisi talebi ve su tüketim oranı - kullanarak doluluk tahmini yapmak	Fiziksel veri kaynakları	Özellik seviyesi-Karar Seviyesi	k-means kümeleme algoritması	Çalışma, karar düzeyi füzyonu ile doluluk-veri kaynağı ilişkisine dayalı kümelemenin %13,22 doğruluk elde ettiğini göstermektedir.
[73]	Akıllı Ofis	Ofis binalarında çeşitli elektrik yüklerini, aydınlatma yüklerini, bina sakinlerini ve iç ısı kazanımlarını tahmin etmek	Fiziksel veri kaynakları	-	Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) Ağları	Önceden belirlenmiş çizelgelerle karşılaştırıldığında , LSTM'ler, 1. bina da tahmin hatalarını %12'den %8'e ve 2. bina da %26'dan %16'ya düşürdüğü görülmüştür.
[74]	Otel	Bina sakinlerine bilgi ve özel tavsiyeler aktararak enerji verimliliğinin nasıl daha da geliştirilebileceğini göstermek	Fiziksel ve kullanıcı veri kaynakları	-	-	Bu çalışma enerji, iç mekan çevre kalitesi ve sağlık konularında birleşik geri bildirim sağlayarak bütünsel bir yaklaşım uygulanmasının gerekliliğinin altını çizmektedir.
[75]	Akıllı Bina	Akıllı bina içinde çeşitli düşük maliyetli sensörlerin veri birleştirmesine dayalı bir doluluk tespit sistemi oluşturmak	Fiziksel veri kaynakları	Sensör seviyesi	Sınıflandırma (MLP, kNN, DT ve RF)	Daha fazla sensör kullanılarak sakinlerin sayısının daha güvenilir bir şekilde tespit edilmesi ve tahmin edilmesini kolaylaştırılılacağı sonucuna varılmaktadır.
[76]	Akıllı Ofis	Veriye dayalı doluluk tahmini için çoklu verileri füzyon işlemine tabi tutarak üç makine öğrenimi algoritmasının karşılaştırmalı analizi	Fiziksel veri kaynakları,	Sensör seviyesi	kNN, SVM, YSA	Sonuçlar, yalnızca ANN modellerinin birleştirilmiş bir veri setinden yararlanabileceğini, kNN ve SVM modellerinin ise bireysel veri setlerine benzer performans gösterdiğini göstermektedir.
[77]	Akıllı Ofis	Bina fiziğine dayalı doluluk tahmini yapmak amcıyla makine öğrenimi tabanlı modelleri entegre etmek için bir veri birleştirme çalışması önermektedir	Fiziksel veri kaynakları	Sensör seviyesi	YSA	Yapılan çalışmada gerçek zamanlı doluluğun ortalama mutlak hatası 2,18'e düşürülebilmektedir ve dört seviyeli doluluk için doğruluğu yaklaşık %84,36'dır.
[78]	Akıllı Kampüs	Çok kaynaklı verileri normalleştirmek, analiz etmek ve tahmin etmek için kullanılabilecek çok boyutlu bir durumsal bilgi birleştirme yöntemi önermektedir	Hibrit veri kaynakları	Bilgi Seviyesi	kNN	Beklenen enerji tasarrufu hedefine ulaşmak için farklı durumlara göre ekipman kullanarak enerji hızlı ve doğru bir şekilde kontrol edilebilir, kampüste su ve elektrik kullanımının verimliliğini artırılabilir

3. Veri Füzyonu

Veri füzyonu (data fusion) kelimesi çoklu algılayıcı füzyon (multi-sensor fusion), çoklu algılayıcı veri füzyonu (multi-sensor data fusion), algılayıcı füzyon (sensor fusion), algılayıcı ver füzyonu (sensor data fusion), bilgi füzyonu (information fusion), iz birleştirme (combination of evidence), gibi tanımlamaları da içermektedir. Ayrıca kaynaşım (merging), birleşim (combinating), sinerji (synergy), tamamlama ve toplama (integration and aggregation), algılayıcı yönetimi (sensor management), algılayıcı koordinasyonu (sensor coordination), algılayıcı planlaması ve kontrolü (sensor plannig and control) gibi ifadeler de füzyon ile aynı kavramı belirtmektedir. Veri füzyonu esas olarak bir bilgi bütünleştirmesi problemidir. Bu yöntem çoklu algılayıcıdan gelen verilerin birleştirilerek ilgili durum için tek bir algılayıcı kullanımından daha iyi bir analiz yapılmasına ve daha iyi kararların verilmesini sağlamaktadır.

Veri Füzyonu Yönteminin basit bir yapıya sahip olduğu düşünülmektedir ancak füzyon sistemlerinin tasarlanması ve uyarlanması oldukça karmaşık bir işlemdir. Sistemin modellenmesi şekil 2, verilerin birleştirilmesi, sensör verilerinin analizi ve bilgi çıkarımı zorlu bir süreçtir. Uygun yapıdaki verilerin eksikliği füzyon performansını etkilemektedir.



Şekil 2: Veri Füzyonu

3.1 Veri Kaynakları

IoT sistemlerinde farklı kaynaklardan çeşitli veriler elde edilir. Bu veri türleri aşağıdaki gibi Fiziksel Veri Kaynakları, Siber Veri Kaynakları, Kullanıcı Veri Kaynakları ve Hibrit Veri Kaynakları olmak üzere dört başlıkta kategorize edilmektedir.

3.1.1 Fiziksel Veri Kaynakları

Fiziksel veri kaynakları, ortama dağıtılmış sensörlerden elde edilir. Fiziksel sensörlerin örnekleri arasında sıcaklık, nem, hava kalitesi, mesafe, ses, görüntü verilerinin elde edilebildiği cihazlar ve sensörler örnek verilebilir. Bu sistemler bir enerji verimliliği sistemine uygulanmak istenirse eğer, binaların içinde toplanan sıcaklık, nem, parlaklık, CO2 emisyonları gibi veriler iç ortam ortamdan toplanan fiziksel veri kaynaklarıdır. Dış hava koşullarından toplanan fiziksel veri kaynakları ise sisteme daha fazla bağlamsal veri eklemek için çevrimiçi kaynaklardan dış ortam çevre verilerinin toplanmasıdır. Bu tür veriler sıcaklık, nem, rüzgar hızı/yönü ve güneş radyasyonunu içermektedir.

3.1.2 Siber Veri Kaynakları

Siber veri kaynakları, sosyal medya bilgileri, web erişim verileri ve açık veri kümeleri gibi İnternet alanından yaygın olarak elde edilen verileri ifade etmektedir. Sosyal medya verileri genellikle veri madenciliği teknikleri ile elde edilmektedir. Web erişim verileri web uygulamaları programlama arayüzünden (API) elde edilebilir. Açık veri kümeleri ise telekom operatörü veya hazır verilere sahip bir şirket gibi üçüncü taraf satıcılardan gelen verileri ifade etmektedir.

3.1.3 Kullanıcı Veri Kaynakları

Kullanıcı etkinlikleriyle ilgili bilgileri ifade eder. Katılımcı veri kaynakları, akıllı yapı kullanıcıların cep telefonları, giyilebilir cihazlar, tabletler vb. gibi kişisel cihazlarının katkıda bulunduğu kitle algılama [79] ve kitle kaynak kullanımı verilerini içerir. Kullanıcılar verileri gönüllü olarak veya bazı teşvik mekanizmaları aracılığıyla sağlamaktadır. Kullanıcının doluluk oranı, termostat ayarları, pencere ve kapı açıklıkları gibi fiziksel aktivitelerini izlemek için sensörler yerleştirilerek kullanıcı verileri elde edilebilmektedir.

3.1.4 Hibrit Veri Kaynakları

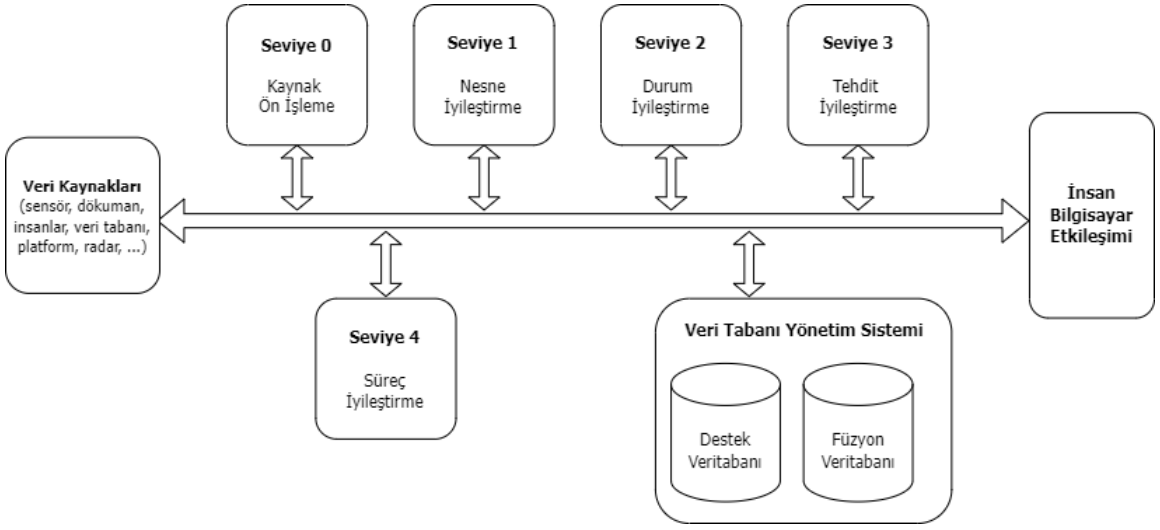
Hibrit veri kaynakları, farklı veri kaynaklarından elde edilen verilerin birleştirilmesini ifade etmektedir. Örneğin katılımcı ve fiziksel sensör verilerinin birleştirilmesiyle, tek veri kaynağına kıyasla daha yüksek verim elde edebilir.

3.2 Veri Füzyonu Mimarileri

Sensörler tarafından üretilem ham veriler, veri eksikliği, veri çelişkisi ve veri tutarsızlığı gibi birçok nedenden dolayı tahmin veya diğer uygulamalar için genellikle iyi sonuçlar vermeyebilir. Bu nedenle, veri kusuru ile başa çıkmak için farklı yöntemler mevcuttur. Ayrıca ham verilerden tek seferde yüksek değerli bilgi çıkarımı yapılamamaktadır. Verileri sistematik olarak işlemek için hiyerarşik bir dönüşüme ihtiyaç vardır. Veri birleştirme, verileri işlemek için birkaç parçadan oluşan karmaşık bir sistem olduğundan, her parçanın işlevlerini ve karakterlerini tanımlamak için ifadeleri veya terminolojileri birleştirmek gerekmektedir. Bu bölümde yaygın olarak kullanılan bazı veri birleştirme mimarileri tanıtılmaktadır.

3.2.1 Joint Directors of laboratories

JDL veri füzyon modeli, bir veri füzyon sistemindeki her bir süreci tanımlamak için bir dizi kavram ve işlevi tanımlayan işlevsel bir modeldir. Şekil 3 JDL veri füzyon mimarisini göstermektedir. Veri işleme düzeyleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 3: JDL Mimarisi

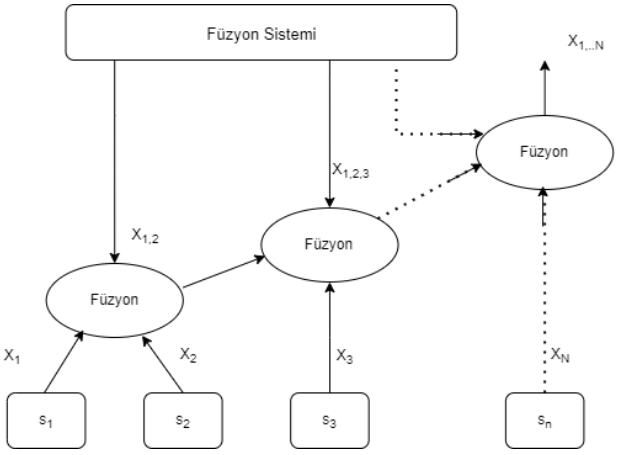
- **Seviye 0 – Kaynak Ön İşleme:** Sinyal veya piksel seviyelerindeki ham verilerle ilgilenen en düşük veri işleme seviyesidir. Bir sonraki adımlar için bu seviyede verilerin iyi hazırlaması gerekmektedir. Bu nedenle asıl görevi, verileri daha sonraki işlemler için uygun bir düzeye dönüştürmektir. Bu veri işleme adımı, sistem yükünü azaltabilir.

- **Seviye 1 – Nesne İyileştirme:** Bu seviye de nesnelerin kimlik bilgileri çıkarılmaktadır. Belirli bir varlığı tanımlamaya odaklanır. Bir varlığın konumu, yönü, durumu ve diğer nitelikleri hakkındaki tüm statik bilgiler toplanır ve tutarlı bir modelde birleştirilir. Ardından sistem, daha ileri bir tahmin için hem zaman boyutundan hem de mekansal boyuttan kapsamlı bir görünüm elde edebilir.
- **Seviye 2 – Durum İyileştirme:** Nesnenin önceki seviyeden edindiği bilgilere dayanarak, bu seviye nesnenin çevresiyle ilgili bilgi edinimini kapsamaktadır. Nesnelerin kendi aralarındaki etkileşim ve ortamla ilişkisi seviye 2'nin temel odak noktasıdır.
- **Seviye 3 – Tehdit İyileştirme:** Riskleri, güvenlik açıklarını ve operasyonel olasılığı tahmin eden seviyedir. Belirsizlik seviyesi yüksek olduğundan, seviye 3'te zorlu bir süreç bulunmaktadır.
- **Seviye 4 – Süreç İyileştirme:** Bu seviye, tüm işleme seviyelerinin yönetildiği kısımdır. Diğer seviyeleri gerçek zamanlı olarak izleme, sistemin performansını kaydetme ve sistem verimliliğini artırmak için kararlar almaktadır. Örneğin bu seviyede sistem, ne tür bilgilerin yetersiz olduğunu bulabilmekte, kaynaklardan veri alma açısından her seviyenin çalışmasını onaylayabilmekte ve tüm sistemi yönlendirebilmektedir.
- **Kaynaklar:** Sistem kaynakları, sensörler (yerel sensörler veya dağıtılmış sensörler), veri tabanları vb. gibi temel bileşenleridir.
- **İnsan-bilgisayar etkileşimi:** Komutlar, bilgi sorgulamaları, sistem sonuçları ve kararları hakkında mesajlar vb. dahil olmak üzere sistem üzerinde sorunsuz bir şekilde işlemleri yürütmeye olanak tanımaktadır. Aslında İnsan-bilgisayar etkileşimi, insan ve bilgisayar arasındaki iletişimi sağlar.
- **Veri yönetimi:** Bu bileşen, verileri ham veri ve bilgiler içeren farklı biçimlerde depolamaktadır. Farklı işleme seviyeleri, veri yönetimiyle sıklıkla etkileşime girmektedir. Bu seviyenin görevleri arasında veri alma, veri depolama, veri güvenliği ve veri sıkıştırma yer almaktadır. Dahil edilen büyük miktarda veri ve hızlı etkileşim ihtiyacı, veri yönetimini zor bir görev haline getirmektedir.

3.2.2 Luo and Kay Mimarisi

Luo ve Kay, çoklu sensör entegrasyonu ve füzyonu üzerinde yaptıkları çalışmalar [80] ile Şekil4'de gösterildiği gibi, kullanılan entegre verilerin soyut seviyesine dayalı yeni bir çoklu sensör füzyonun genel mimarisini oluşturmaktadır. Luo ve Kay mimarisinde, sensörlerden gelen ham veriler bir bilgi sisteminin düğümlerinde birleştirilir. Örneğin, sensör 1 ve 2'den gelen veriler, veri $x_{1,2}$ olarak birleştirilebilir. Bundan sonra, çıktı verileri $x_{1,2}$, bir sonraki füzyon düğümünde sensör 3'ten gelen verilerle birleşerek veri $x_{1,2,3}$'e dönüştürülür. $x_{1,2,...n}$ füzyon düğümü en son füzyonun sonucudur. Farklı seviyelerden oluşan füzyon sürecinde her seviye farklı girdi veri modelleri ile ilgilenir, çeşitli sistemlerde çeşitli amaçlar için uygulanmaktadır.

- **Sinyal Seviyesi:** Sensör verileri, doğrudan birleştirilecek füzyon modellerine girdi olarak verilmektedir. Bu füzyon işleminden sonra verilerin gürültü oranı düşeceği için daha yüksek doğruluk ve sistem verimini arttıracak özelliklerle ortaya çıkmaktadır. Ham veriler birbirine paralelse bu düzeyde füzyon işlemine tabi tutulabilirler. Sinyal seviyesi füzyonu bazen gerçek zamanlı füzyon senaryolarında meydana gelir veya sinyallerin ön işlenmesinde ek bir adım olabilmektedir. Düşük seviyeli füzyon veya ham veri füzyonu olarakta adlandırılmaktadırlar.
- **Piksel Seviyesi:** Sinyal seviyesi füzyonunun görüntü işleme için kullanılan özel bir durumudur. Piksel düzeyinde füzyon, segmentasyon gibi bazı görüntü işleme uygulamalarını desteklemektedir.
- **Özellik Seviyesi:** Füzyon işlemi öncesinde gerekli özellikleri elde edebilmek için sensör verileri ön işlemden geçirilmektedir. Bu seviyede karar düzeyindeki veriler elde edebilir. Özellik düzeyinde veri birleştirme, orta düzey birleştirme veya karakteristik düzey birleştirme olarakta bilinmektedir.
- **Karar Seviyesi:** Karar seviyesindeki veri birleştirme, yüksek seviyeli birleştirme olarakta adlandırılmaktadır. Düşük seviyeli füzyonla karşılaştırıldığında, karar seviyesi füzyon yöntemleri genellikle ön sınıflandırma oluşturur ve farklı veri türlerini birleştirerek daha doğru füzyon sonuçları elde edilebilir.

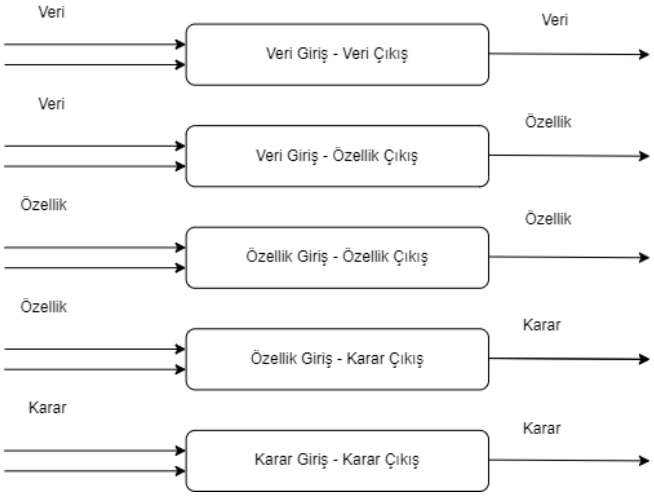


Şekil 4: Luo ve Kay Mimarisi

Luo ve Kay mimarisi, karar verme ve tahmin etme amaçlı yüksey düzeyde bilgi çıkarımı için hiyerarşik bir füzyon sistematiği kullanmaktadır. Yani ham sensör verilerinden anlamlı bir bilgi çıkarımına kadar geçen süre bir işlem sırasına dayanmaktadır.

3.2.3 Dasarathy Mimarisi:

Üç katmanlı mimarideki bazı belirsiz koşulların daha kesin bir tanımına gerek duyan Dasarathy 1997'de Luo ve Kay'in üç katmanlı (veri-özellik-karar) füzyon mimarisine ek olarak, I/O (giriş/çıkış) karakterizasyonuna göre füzyon aşamalarını beşe yükselterek daha net bir tanımlama ortaya koymuştur[80]. Şekil 5'de gösterildiği gibi eski mimari I/O perspektifi de dikkate alınarak genişletilmiş oldu.



Şekil 5: Dasarathy Mimarisi

- **Veri Giriş - Veri Çıkış:** Veri füzyonunun en temel basamağıdır. Girdi verilerini daha kullanılabilir hale getirmeye çalışmaktadır. Sinyal işleme ve görüntü işlemeyi içermektedir.
- **Veri Giriş - Özellik Çıkış:** Veri setleri önce özellik adı verilen bazı soyut bilgilere entegre edilir. Bu füzyon uygulanarak ham verilerden bazı basit ve sezgisel sonuçlar elde edilebilmektedir.

- **Özellik Giriş- Özellik Çıkış** Veri girişlerinden farklı olarak, özellik girişleri önceden çıkarılmış olan bazı iyileştirilmiş özellikleri belirleyebilmektedir.

- **Özellik Giriş-Karar Çıkış:** Veri füzyonu algoritmaları genellikle bu mimariyi kullanmaktadır. Sınıflandırma amaçlı kullanımı ön plana çıkmaktadır. Bu füzyonun bir başka örneği de örüntü tanımadır. Çoklu sensörlerden iletilen özellikler girdileri ile bir karar oluşturularak bilgi çıkarımı yapılmaktadır.

- **Karar Giriş-Karar Çıkış:** Dasarathy mimarisindeki en yüksek füzyon seviyesidir. Alt seviyedeki veya yerel füzyon düğümlerindeki bazı kararları dikkate alarak daha kapsamlı bir karar bilgileri elde edilebilmektedir.

3.3 Veri Füzyonundaki Zorluklar ve Çözüm Yaklaşımları

Veri füzyonu performansının en üst seviyeye çıkarılabilmesi için bir takım zorlukların üstesinden gelinmelidir. IoT uygulamalarında sensörlerin dağıtıldığı ortamlarının karmaşıklığı ve veri türlerinin çeşitliliği bu zorlukların genel nedenleridir. Veri füzyonunda karşılaşılan zorluklar bu bölümde incelenmektedir.

3.3.1 Veri Kusurları

Veri kusurları, veri birleştirme yöntemleri için çözülmesi gereken temel ve yaygın bir problemdir. Sensörlerin üretmiş oldukları veriler kesin olmayan, tutarsız ve eksik verilerdir. Veri kusurları mevcut bilgiler ve güçlü matematiksel araçlarla modellenerek veri kalitesi iyileştirilebilir. Veri kusuru füzyon kalitesini ciddi şekilde etkileyeceği için veri birleştirme ile kesin ve faydalı veriler çıkarılamayabilir. Uygulama ortamındaki sensör ölçümlerinden gürültü kaynaklı tutarlı olmayan veriler elde edilebilmektedir. Bu tutarsızlıklar veri düzensizliğine sebep olmaktadır. Bir füzyon modeli bu veri tutarsızlığına neden olan etkenleri ayırt edemiyorsa, bu sorun veri füzyon kalitesini etkileyecektir. Veri tutarsızlığı sorununun üstesinden gelebilmek için Veri birleştirme teknikleri etkili bir şekilde kullanılmalıdır.

Çözüm yaklaşımı: Sensörlerden alınan veriler ile bilgi çıkarımı ve karar verme yetileri geliştirmek amacıyla veri analizi yapılırken belirsizlikler ortadan kaldırılmalıdır. Veri kaynakları tutarsız, kusurlu, eksik veriler üretebilmektedir. Veri işleme katmanında, verinin gürültüden arındırılması, aykırı olan verilerin değer tespiti, eksik veri atama gibi farklı sorunların giderilmesini amaçlanmaktadır. Veri birleştirme yöntemi kaliteyi etkileyecek sorunları ortadan kaldırmayı hedeflemektedir. Sorunlu verilerin giderilmediği durumlarda güvenilirlik problemi oluşmaktadır. IoT'de eksik veriler yaygın olmakla birlikte analiz yapan öğrenme algoritmaları bu verilerin eksik olmadığını kabul ederler. Dolayısıyla veri analitiği yüksek olmayan sonuçlar üretebilmektedir. Hatalı sensör verileri, zayıf ağ bağlantıları, çevresel faktörler, eş zamanlama işlem yapabilme problemleri eksik verilerin oluşma nedenleridir. Gauss Karışım Modeli (GMM) [81], Mekansal ve zamansal korelasyon [82], [83] Artımlı Uzay-Zaman Modeli (ISTM) [84], Olasılıksal Matris Çarpanlara ayırma (PMF) [85] eksik veri sorununda kullanılan yöntemlerdendir. Sensör düğümleri dağıtık ve heterojen bir yapıya sahiptir.Fiziksel dünyada çevresel faktörlerinde etkisiyle bu ağ yapısı sorunlara neden olmaktadir. Bu durum orjinal IoT sensör verilerinin daha fazla farklı sonuç vermesine ve aykırı değer üretmeye yatkın bir hale getirmektedir. Veri analizi yapılırken bu aykırı değerlerin tespiti önemli bir aşamadır. Aykırı değer tespiti için Çoğunluk Oylaması [86], Sınıflandırma [87], Temel Bileşen Analizi [PCA] [88] kullanılmaktadır.

3.3.2 Çakışan Veriler

Sensörlerden veya akıllı yapılardan alınan aynı, yani mükerrer veriler varsa bu durum da büyük bir problemdir. Bağımsız şekilde ele alınamayan problemler temsil hatası oluşturabilir. Çakışan veriler kirli veri olarak adlandırılır ve veri analizi sonuçlarını kötü etkileyebilir. Genellikle Kanıtsal İnanç ve Dempster-Shafer teorilerini uygulayan sistemlerde ortaya çıkar. [89]

Çözüm yaklaşımı: Dempster'ın kombinasyon kuralı kullanılırken çakışan verilerin birleştirilmesi sorunlu olabileceğinden, veri çakışmasının derecesini makul ve etkili bir şekilde yargılamak çok önemlidir. Bu konu ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Çakışan katsayı tabanlı ifade yöntemleri, mesafeye dayalı çakışma ifade yöntemleri gibi yöntemler uygulanabilmektedir[90].

3.3.3 Veri Hizalama

Farklı sensörlerden alınan veriler çeşitlilik gösterebilmektedir. Veri birleştirme işlemi gerçekleştirilmeden önce bu verilerin ortak bir çerçevede hizalanması gerekmektedir, bu durum veri hizalama veya veri kaydı olarak adlandırılmaktadır. Veri setinin birden fazla hesaplanması durumunda veya kaynaştırıldığında korelasyon zorluğu meydana gelmektedir. Özellikle tahmine dayalı bir füzyon sisteminde ilişkili verilerin veri füzyonu algoritmaları tarafından ortadan kaldırılması sistemi olumlu yönden etkileyecektir.

3.3.4 Önemsiz Veriler

IoT sistemleri geniş çaplı uygulama alanlarına sahip oldukları için farklı durumları algılama amaçlı yüzlerce sensör bulunabilir. Elde edilen büyük veri içerisinde önemsiz ve yararsız verilerde bulunmaktadır. Veri birleştirme işlemi yapmadan önce alakalı verilerin seçilmesi gerekmektedir.

Çözüm yaklaşımı: Tek bir kaynaktan gelen veri, beklenen çıktıyı sağlamak için yetersiz kalabilmektedir. Sistem bütünsel olarak ele alındığında aynı tür ya da farklı tür birden fazla veri kaynağının birleştirilmesi daha verimli sonuçlar ortaya çıkaracaktır. Örneğin günlük bir nesnenin tanınması için görme, işitme,tatma ve algılama gibi birçok duyunun aynı anda kullanılması gerekmektedir. Sensör verilerinin birleştirilmesi de IoT sistem çıktısını iyileştirecektir.

3.3.5 Heterojen Veriler

İnsanların duyu organları ve amaçları farklı olduğu gibi herbir sensöründe farklı amacı bulunmaktadır. Dolayısıyla IoT uygulama alanında sensörlerden alınan veri türleri çeşitlilik göstermektedir. Veri birleştirme yöntemleri bir sistemden üst düzey bilgi çıkarımı yapabilmek için farklı veri türlerini birleştirebilmelidir.

Çözüm yaklaşımı: Sowe ve arkadaşları büyük veri bulut platformunda heterojen sensör verilerini yönetmek için anahtar bir ara katman yazılımı olarak bir Hizmet Kontrollü Ağ (SCN) içeren entegre bir loT mimarisi önermektedirler [91]. Önerilen bu mimari, sensörlerden elde edilen büyük verilerini etkin bir şekilde yönetmek için bir şablon veya sistematik bir çözüm biçimi sağlayabilir ve sonuç olarak veri yoğun araştırma toplulukları için gelişmiş hizmetler sağlamak için değerli bilgilerin çıkarımını yapabilmektedir.

3.3.6 Füzyon Konumu

Verilerin merkezi bir düğümde ya da yerel bir düğümde birleşririlmesi bant genişliği ve maliyet açısından önemlidir. Merkezi bir düğümde gerçekleştirilen füzyon işlemi daha fazla bant genişliği gerektirmektedir. Veri Füzyonu yaparken maliyet ve füzyon kalitesi dengesi sağlanmak zorundadır.

Veri Madenciliği, Makine Öğrenmesi ve Yapay Zekada yaşanan gelişimler birçok kaynaktan elde edilen verilerin analizi ve bilgi çıkarımı için veri birleştirme mimarisine etkileri büyüktür. Örneğin akıllı ulaşım sistemlerinde toplu taşımayı iyileştirmek için bir veri kaynağından elde edilen verilen yeterli olmayıp birkaç sensör bilgisi birleştirilerek üst düzey bilgi çıkarımı sağlanabilmektedir. Yeni nesi yapay zeka teknikleri maliyet ve füzyon kalitesi açısından kıymetlidir.

3.3.7 Dinamik Yapılı Füzyon

Üretilen verilerin gerçek zamanlı olması durum tahmini yapmanın belirli süre zarfında gerçekleştirilmesi zorluğunu beraberinde getirmektedir. Füzyon mekanizması doğru veri sırasını ayırt edebilmeli ve zamanla değişen sistemi doğru bir şekilde takip edebilmelidir.

Çözüm yaklaşımı: IoT sistemlerinde oluşturulan sensör verileri, çoğunlukla gerçek zamanlı karar verme ile veri analizine ihtiyaç duyar. Sensör verileri yüksek hızlı, büyük hacimli ve dinamik değerler içermektedir. Ayrıca sensör verileri, gerekli veri analizini ve gerçek zamanlı karar verme işlemini gerçekleştirirken çok fazla gürültü oluşur. Gürültü, sinyalin orijinal vektörleri üzerinde istenmeyen değişiklikler meydana getiren ilişkisiz bir sinyal bileşenidir [92]Gürültü özelliği, kaynakların gereksiz şekilde işlenmesine ve kullanılmasına yol açar. Dalgacık dönüşüm yöntemi, sinyalleri gürültüden arınmada yüksek başarım göstermektedir. Zaman-frekans düzeyinde sinyal analizini hedefleyen Sürekli Dalgacık Dönüşümü (CWT) ve bir zaman düzeyinde sinyal analizini hedefleyen Ayrık Dalgacık Dönüşümü (DWT) olmak üzere iki tür dalgacık dönüşümü vardır.

4. Sonuç

Bir füzyon işlemi için çok çeşitli veri kaynakları, özdeş sensörlerden kaynaklanacak şekilde belirtilmemiştir. Doğrudan füzyon veya dolaylı füzyon şeklinde ayırt edilebilir. Doğrudan füzyon, bir dizi heterojen veya homojen sensörden, yumuşak sensörlerden ve sensör verilerinin geçmiş değerlerinden gelen sensör verilerinin birleştirilmesidir. Dolaylı veri birleştirme ise çevre ve insan girdisi hakkında ön bilgi gibi birçok bilgi kaynaklarını kullanır. Çoklu sensör veri füzyonu, ölçüm ve algılama yoluyla ortamın daha doğru bir tahminini yapmak için birden fazla sensörden gelen verileri birleştirmek için gelişmekte olan bir teknolojidir. Akıllı sistemler kapsamında yer alan akıllı şehirler, akıllı yapılar, akıllı yaşam, akıllı çevre, akıllı ekonomi gibi bir çok alanda veri ve sensör füzyonu uygulamaları aktif rol almaktadır. Özellikle bu uygulamalarda veri bazlı yaşanan zorluklar bulunmaktadır. Veri ve sensör füzyonu işlemlerinde çok çeşitli parametreler ve süreçler bulunduğundan sıkıntılı ve zorlu süreçler yaşanmaktadır. Bu nedenle bu süreçlerin hatasız ve sıkıntısız giderilebilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma ile yaşanan veri bazlı füzyon zorlukları incelenmeiş ve çözüm yaklaşımları kısaca sunulmuştur.

5. Bilgilendirme

Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı doktora öğrencisi Berna ÇENGİZ'ın Doktora Tezi, TÜBİTAK tarafından "2211-C Öncelikli Alanlar Yurt İçi Doktora Burs Programı" kapsamında desteklenmektedir.

Kaynakça

[1] M. M. Gaber, A. Aneiba, S. Basurra, *et al.*, "Internet of things and data mining: From applications to techniques and systems," *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, vol. 9, no. 3, May 1, 2019, ISSN: 1942-4787. DOI: 10.1002/widm.1292.

[2] B. P. L. Lau, S. H. Marakkalage, Y. Zhou, *et al.*, "A survey of data fusion in smart city applications," *Information Fusion*, vol. 52, pp. 357–374, Dec. 1, 2019, ISSN: 1566-2535. DOI: 10.1016/j.inffus.2019.05.004. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253519300326 (visited on 06/07/2022).

[3] F. Alam, R. Mehmood, I. Katib, N. N. Albogami, and A. Albeshri, "Data fusion and IoT for smart ubiquitous environments: A survey," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 9533–9554, 2017, ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2697839. [Online]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/document/7911293/ (visited on 06/07/2022).

[4] J. Liu, T. Li, P. Xie, S. Du, F. Teng, and X. Yang, "Urban big data fusion based on deep learning: An overview," *Information Fusion*, vol. 53, pp. 123–133, Jan. 1, 2020, ISSN: 1566-2535. DOI: 10.1016/j.inffus.2019.06.016. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253519301393 (visited on 05/18/2022).

[5] R. Kumar, R. Mishra, H. P. Gupta, and T. Dutta, "Smart sensing for agriculture: Applications, advancements, and challenges," *IEEE Consumer Electronics Magazine*, vol. 10, no. 4, pp. 51–56, Jul. 1, 2021, ISSN: 2162-2248, 2162-2256. DOI: 10.1109/MCE.2021.3049623. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/9316711/ (visited on 06/13/2022).

[6] A. Shamsuzzoha, J. Nieminen, S. Piya, and K. Rutledge, "Smart city for sustainable environment: A comparison of participatory strategies from helsinki, singapore and london," *Cities*, vol. 114, p. 103 194, Jul. 1, 2021, ISSN: 0264-2751. DOI: 10.1016/j.cities.2021.103194. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275121000925 (visited on 06/16/2022).

[7] S. B. Atitallah, M. Driss, W. Boulila, and H. B. Ghézala, "Leveraging deep learning and IoT big data analytics to support the smart cities development: Review and future directions," *Computer Science Review*, vol. 38, p. 100 303, Nov. 1, 2020, ISSN: 1574-0137. DOI: 10.1016/j.cosrev.2020.100303. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574013720304032 (visited on 05/26/2022).

[8] A. S. Syed, D. Sierra-Sosa, A. Kumar, and A. Elmaghraby, "IoT in smart cities: A survey of technologies, practices and challenges," *Smart Cities*, vol. 4, no. 2, pp. 429–475, Jun. 2021, Number: 2 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, ISSN: 2624-6511. DOI: 10.3390/smartcities4020024. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2624-6511/4/2/24 (visited on 06/28/2022).

[9] R. Frank, *Understanding Smart Sensors*. Artech House, 2013, 390 pp., Google-Books-ID: v4G9jKBCghMC, ISBN: 978-1-60807-507-2.

[10] R. Das and I. Turkoglu, "Creating meaningful data from web logs for improving the impressiveness of a website by using path analysis method," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 3, pp. 6635–6644, Apr. 1, 2009, ISSN: 0957-4174. DOI: 10.1016/j.eswa.2008.08.067. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417408005952 (visited on 08/08/2022).

[11] C. Gomez, S. Chessa, A. Fleury, G. Roussos, and D. Preuveneers, "Internet of things for enabling smart environments: A technology-centric perspective," *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, vol. 11, no. 1, pp. 23–43, Jan. 1, 2019, Publisher: IOS Press, ISSN: 1876-1364. DOI: 10.3233/AIS-180509. [Online]. Available: https://content.iospress.com/articles/journal-of-ambient-intelligence-and-smart-environments/ais180509 (visited on 06/07/2022).

[12] G. Muhammad, F. Alshehri, F. Karray, A. E. Saddik, M. Alsulaiman, and T. H. Falk, "A comprehensive survey on multimodal medical signals fusion for smart healthcare systems," *Information Fusion*, vol. 76, pp. 355–375, Dec. 1, 2021, ISSN: 1566-2535. DOI: 10.1016/j.inffus.2021.06.007. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253521001330 (visited on 06/01/2022).

[13] R. M. Abdelmoneem, E. Shaaban, and A. Benslimane, "A survey on multi-sensor fusion techniques in IoT for healthcare," in *2018 13th International Conference on Computer Engineering and Systems (ICCES)*, Dec. 2018, pp. 157–162. DOI: 10.1109/ICCES.2018.8639188.

[14] M. Gochoo, S. B. U. D. Tahir, A. Jalal, and K. Kim, "Monitoring real-time personal locomotion behaviors over smart indoor-outdoor environments via body-worn sensors," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 70 556–70 570, 2021, Conference Name: IEEE Access, ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3078513.

[15] R. Gravina, P. Alinia, H. Ghasemzadeh, and G. Fortino, "Multi-sensor fusion in body sensor networks: State-of-the-art and research challenges," *Information Fusion*, vol. 35, pp. 68–80, May 1, 2017, ISSN: 1566-2535. DOI: 10.1016/j.inffus.2016.09.005. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S156625351630077X (visited on 06/03/2022).

[16] Z. Qin, Y. Zhang, S. Meng, Z. Qin, and K.-K. R. Choo, "Imaging and fusing time series for wearable sensor-based human activity recognition," *Information Fusion*, vol. 53, pp. 80–87, Jan. 1, 2020, ISSN: 1566-2535. DOI: 10.1016/j.inffus.2019.06.014. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253519302180 (visited on 06/03/2022).

[17] S. Qiu, L. Liu, H. Zhao, Z. Wang, and Y. Jiang, "MEMS inertial sensors based gait analysis for rehabilitation assessment via multi-sensor fusion," *Micromachines*, vol. 9, no. 9, p. 442, Sep. 2018, Number: 9 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, ISSN: 2072-666X. DOI: 10.3390/mi9090442. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2072-666X/9/9/442 (visited on 06/03/2022).

[18] T. Diethe, N. Twomey, M. Kull, P. Flach, and I. Craddock, "Probabilistic sensor fusion for ambient assisted living," arXiv, arXiv:1702.01209, Feb. 3, 2017, type: article. DOI: 10.48550/arXiv.1702.01209. arXiv: 1702.01209[cs,stat]. [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/1702.01209 (visited on 06/03/2022).

[19] H. Lindskog, "Smart communities initiatives," Jan. 1, 2004.

[20] S. Consoli, D. Reforgiato Recupero, M. Mongiovi, V. Presutti, G. Cataldi, and W. Patatu, "An urban fault reporting and management platform for smart cities," in *Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web*, ser. WWW '15 Companion, New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, May 18, 2015, pp. 535–540, ISBN: 978-1-4503-3473-0. DOI: 10.1145/2740908.2743910. [Online]. Available: https://doi.org/10.1145/2740908.2743910 (visited on 06/06/2022).

[21] Z. Alazawi, O. Alani, M. B. Abdljabar, S. Altowaijri, and R. Mehmood, "A smart disaster management system for future cities," in *Proceedings of the 2014 ACM international workshop on Wireless and mobile technologies for smart cities*, ser. WiMobCity '14, New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Aug. 11, 2014, pp. 1–10, ISBN: 978-1-4503-3036-7. DOI: 10.1145/2633661.2633670. [Online]. Available: https://doi.org/10.1145/2633661.2633670 (visited on 06/06/2022).

[22] P. Xu, F. Davoine, J.-B. Bordes, H. Zhao, and T. Denœux, "Multimodal information fusion for urban scene understanding," *Machine Vision and Applications*, vol. 27, no. 3, pp. 331–349, Apr. 1, 2016, ISSN: 1432-1769. DOI: 10.1007/s00138-014-0649-7. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/s00138-014-0649-7 (visited on 06/07/2022).

[23] L. Yu, S. Qin, M. Zhang, C. Shen, T. Jiang, and X. Guan, "A review of deep reinforcement learning for smart building energy management," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 15, pp. 12 046–12 063, Aug. 2021, Conference Name: IEEE Internet of Things Journal, ISSN: 2327-4662. DOI: 10.1109/JIOT.2021.3078462.

[24] R. Eini, L. Linkous, N. Zohrabi, and S. Abdelwahed, "Smart building management system: Performance specifications and design requirements," *Journal of Building Engineering*, vol. 39, p. 102 222, Jul. 1, 2021, ISSN: 2352-7102. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.102222. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221000784 (visited on 06/07/2022).

[25] X. Gao, P. Pishdad-Bozorgi, D. R. Shelden, and S. Tang, "Internet of things enabled data acquisition framework for smart building applications," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 147, no. 2, p. 04 020 169, Feb. 1, 2021, Publisher: American Society of Civil Engineers, ISSN: 1943-7862. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001983. [Online]. Available: https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0001983 (visited on 06/07/2022).

[26] M. K. M. Shapi, N. A. Ramli, and L. J. Awalin, "Energy consumption prediction by using machine learning for smart building: Case study in malaysia," *Developments in the Built Environment*, vol. 5, p. 100 037, Mar. 1, 2021, ISSN: 2666-1659. DOI: 10.1016/j.dibe.2020.100037. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266616592030034X (visited on 06/07/2022).

[27] Y. Hajjaji, W. Boulila, I. R. Farah, I. Romdhani, and A. Hussain, "Big data and IoT-based applications in smart environments: A systematic review," *Computer Science Review*, vol. 39, p. 100 318, Feb. 1, 2021, ISSN: 1574-0137. DOI: 10.1016/j.cosrev.2020.100318. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574013720304184 (visited on 06/08/2022).

[28] M. Wu, C. Wu, W. Huang, *et al.*, "An improved high spatial and temporal data fusion approach for combining landsat and MODIS data to generate daily synthetic landsat imagery," *Information Fusion*, vol. 31, pp. 14–25, Sep. 1, 2016, ISSN: 1566-2535. DOI: 10.1016/j.inffus.2015.12.005. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253515001177 (visited on 06/08/2022).

[29] Y. Zeng, W. Huang, M. Liu, H. Zhang, and B. Zou, "Fusion of satellite images in urban area: Assessing the quality of resulting images," in *2010 18th International Conference on Geoinformatics*, ISSN: 2161-0258, Jun. 2010, pp. 1–4. DOI: 10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5568105.

[30] M. Marchiori, "The smart cheap city: Efficient waste management on a budget," in *2017 IEEE 19th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 15th International Conference on Smart City; IEEE 3rd International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)*, Dec. 2017, pp. 192–199. DOI: 10.1109/HPCC-SmartCity-DSS.2017.25.

[31] A. A. Khan, A. A. Sajib, F. Shetu, S. Bari, M. S. R. Zishan, and K. Shikder, "Smart waste management system for bangladesh," in *2021 2nd International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*, Jan. 2021, pp. 659–663. DOI: 10.1109/ICREST51555.2021.9331159.

[32] Y. A. Fatimah, K. Govindan, R. Murniningsih, and A. Setiawan, "Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of indonesia," *Journal of Cleaner Production*, vol. 269, p. 122 263, Oct. 1, 2020, ISSN: 0959-6526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122263. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620323106 (visited on 06/08/2022).

[33] K. Pardini, J. J. P. C. Rodrigues, O. Diallo, A. K. Das, V. H. C. de Albuquerque, and S. A. Kozlov, "A smart waste management solution geared towards citizens," *Sensors*, vol. 20, no. 8, p. 2380, Jan. 2020, Number: 8 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s20082380. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/1424-8220/20/8/2380 (visited on 06/08/2022).

[34] H. P. Breivold, "Internet-of-things and cloud computing for smart industry: A systematic mapping study," in *2017 5th International Conference on Enterprise Systems (ES)*, ISSN: 2572-6609, Sep. 2017, pp. 299–304. DOI: 10.1109/ES.2017.56.

[35] A. Diez-Olivan, J. Del Ser, D. Galar, and B. Sierra, "Data fusion and machine learning for industrial prognosis: Trends and perspectives towards industry 4.0," *Information Fusion*, vol. 50, pp. 92–111, Oct. 1, 2019, ISSN: 1566-2535. DOI: 10.1016/j.inffus.2018.10.005. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253518304706 (visited on 06/08/2022).

[36] J. Leng, D. Wang, W. Shen, X. Li, Q. Liu, and X. Chen, "Digital twins-based smart manufacturing system design in industry 4.0: A review," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 60, pp. 119–137, Jul. 1, 2021, ISSN: 0278-6125. DOI: 10.1016/j.jmsy.2021.05.011. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612521001151 (visited on 06/08/2022).

[37] Ö. Gültekin, E. Cinar, K. Özkan, and A. Yazıcı, "Multisensory data fusion-based deep learning approach for fault diagnosis of an industrial autonomous transfer vehicle," *Expert Systems with Applications*, vol. 200, p. 117 055, Aug. 15, 2022, ISSN: 0957-4174. DOI: 10.1016/j.eswa.2022.117055. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417422004699 (visited on 06/08/2022).

[38] V. U. Ihekoronye, C. I. Nwakanma, G. O. Anyanwu, D.-S. Kim, and J.-M. Lee, "Benefits, challenges and practical concerns of IoT for smart manufacturing," in *2021 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, ISSN: 2162-1233, Oct. 2021, pp. 827–830. DOI: 10.1109/ICTC52510.2021.9620771.

[39] P. Wang and M. Luo, "A digital twin-based big data virtual and real fusion learning reference framework supported by industrial internet towards smart manufacturing," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 58, pp. 16–32, Jan. 1, 2021, ISSN: 0278-6125. DOI: 10.1016/j.jmsy.2020.11.012. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612520301990 (visited on 06/08/2022).

[40] V. K. Quy, N. V. Hau, D. V. Anh, *et al.*, "IoT-enabled smart agriculture: Architecture, applications, and challenges," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 7, p. 3396, Jan. 2022, Number: 7 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, ISSN: 2076-3417. DOI: 10.3390/app12073396. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2076-3417/12/7/3396 (visited on 06/09/2022).

[41] A. Vangala, A. K. Das, N. Kumar, and M. Alazab, "Smart secure sensing for IoT-based agriculture: Blockchain perspective," *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 16, pp. 17 591–17 607, Aug. 2021, Conference Name: IEEE Sensors Journal, ISSN: 1558-1748. DOI: 10.1109/JSEN.2020.3012294.

[42] M. Ayaz, A. Uddin, Z. Sharif, A. Mansour, and H. Aggoune, "Internet-of-things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk," *IEEE Access*, vol. PP, pp. 1–1, Aug. 1, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2932609.

[43] K. M. Nahiduzzaman, M. Holland, S. Sikder, P. Shaw, K. Hewage, and R. Sadiq, "Urban transformation toward a smart city: An e-commerce–induced path-dependent analysis," *Journal of Urban Planning and Development*, vol. 147, p. 04 020 060, Mar. 1, 2021. DOI: 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000648.

[44] W. Wenji, "Recognition of rural e-commerce smart assistant system based on smart voice technology," *International Journal of Speech Technology*, Sep. 3, 2021, ISSN: 1572-8110. DOI: 10.1007/s10772-021-09887-z. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/s10772-021-09887-z (visited on 06/14/2022).

[45] D. Zhang, L. G. Pee, and L. Cui, "Artificial intelligence in e-commerce fulfillment: A case study of resource orchestration at alibaba's smart warehouse," *International Journal of Information Management*, vol. 57, p. 102 304, Apr. 1, 2021, ISSN: 0268-4012. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2020.102304. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268401220315036 (visited on 06/14/2022).

[46] X.-F. Shao, W. Liu, Y. Li, H. R. Chaudhry, and X.-G. Yue, "Multistage implementation framework for smart supply chain management under industry 4.0," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 162, p. 120 354, Jan. 1, 2021, ISSN: 0040-1625. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120354. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004016252031180X (visited on 06/14/2022).

[47] T. Dzhuguryan and A. Deja, "Sustainable waste management for a city multifloor manufacturing cluster: A framework for designing a smart supply chain," *Sustainability*, vol. 13, no. 3, p. 1540, Jan. 2021, Number: 3 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su13031540. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2071-1050/13/3/1540 (visited on 06/14/2022).

[48] B. K. Dey, S. Bhuniya, and B. Sarkar, "Involvement of controllable lead time and variable demand for a smart manufacturing system under a supply chain management," *Expert Systems with Applications*, vol. 184, p. 115 464, Dec. 1, 2021, ISSN: 0957-4174. DOI: 10.1016/j.eswa.2021.115464. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417421008769 (visited on 06/14/2022).

[49] S. Gupta, V. A. Drave, S. Bag, and Z. Luo, "Leveraging smart supply chain and information system agility for supply chain flexibility," *Information Systems Frontiers*, vol. 21, no. 3, pp. 547–564, Jun. 1, 2019, ISSN: 1572-9419. DOI: 10.1007/s10796-019-09901-5. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/s10796-019-09901-5 (visited on 06/14/2022).

[50] S. S. Bhattacharyya, D. Maitra, and S. Deb, "Study of adoption and absorption of emerging technologies for smart supply chain management: A dynamic capabilities perspective," *International Journal of Applied Logistics (IJAL)*, vol. 11, no. 2, pp. 14–54, Jul. 1, 2021, Publisher: IGI Global, ISSN: 1947-9573. DOI: 10.4018/IJAL.2021070102. [Online]. Available: https://www.igi-global.com/article/study-of-adoption-and-absorption-of-emerging-technologies-for-smart-supply-chain-management/www.igi-global.com/article/study-of-adoption-and-absorption-of-emerging-technologies-for-smart-supply-chain-management/279068 (visited on 06/14/2022).

[51] W. Wang, N. Kumar, J. Chen, *et al.*, "Realizing the potential of internet of things for smart tourism with 5g and AI," vol. 34, no. 6, Oct. 23, 2020, Accepted: 2021-03-09T03:08:27Z, ISSN: 0890-8044. DOI: 10.1109/MNET.011.2000250. [Online]. Available: https://repository.um.edu.mo/handle/10692/31690 (visited on 06/14/2022).

[52] P. Lee, W. C. Hunter, and N. Chung, "Smart tourism city: Developments and transformations," *Sustainability*, vol. 12, no. 10, p. 3958, Jan. 2020, Number: 10 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su12103958. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/10/3958 (visited on 06/14/2022).

[53] S. Hasan, C. M. Schneider, S. V. Ukkusuri, and M. C. González, "Spatiotemporal patterns of urban human mobility," *Journal of Statistical Physics*, vol. 151, no. 1, pp. 304–318, Apr. 1, 2013, ISSN: 1572-9613. DOI: 10.1007/s10955-012-0645-0. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/s10955-012-0645-0 (visited on 06/14/2022).

[54] L. Rosa, F. Silva, and C. Analide, "Mobile networks and internet of things: Contributions to smart human mobility," in *Distributed Computing and Artificial Intelligence, 17th International Conference*, Y. Dong, E. Herrera-Viedma, K. Matsui, S. Omatsu, A. González Briones, and S. Rodríguez González, Eds., ser. Akıllı Sistemlerdeki Gelişmeler ve Bilgi İşlem, Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 168–178, ISBN: 978-3-030-53036-5. DOI: 10.1007/978-3-030-53036-5_18.

[55] L. Rosa, H. Faria, R. Tabrizi, S. Gonçalves, F. Silva, and C. Analide, "Sentiment analysis based on smart human mobility: A comparative study of ML models," in *Bio-inspired Systems and Applications: from Robotics to Ambient Intelligence*, J. M. Ferrández Vicente, J. R. Álvarez-Sánchez, F. de la Paz López, and H. Adeli, Eds., ser. Bilgisayar Bilimleri kitap serisindeki Ders Notlarının, Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 55–64, ISBN: 978-3-031-06527-9. DOI: 10.1007/978-3-031-06527-9_6.

[56] M. W. Traunmueller, N. Johnson, A. Malik, and C. E. Kontokosta, "Digital footprints: Using WiFi probe and locational data to analyze human mobility trajectories in cities," *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 72, pp. 4–12, Nov. 1, 2018, ISSN: 0198-9715. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2018.07.006. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971517305914 (visited on 06/14/2022).

[57] Z. Chen, M. K. Masood, and Y. C. Soh, "A fusion framework for occupancy estimation in office buildings based on environmental sensor data," *Energy and Buildings*, vol. 133, pp. 790–798, Dec. 1, 2016, ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.10.030. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816312543 (visited on 03/31/2021).

[58] J. Yan, J. Liu, and F.-M. Tseng, "An evaluation system based on the self-organizing system framework of smart cities: A case study of smart transportation systems in china," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 153, p. 119 371, Apr. 1, 2020, ISSN: 0040-1625. DOI: 10.1016/j.techfore.2018.07.009. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162518301021 (visited on 06/14/2022).

[59] L. Guevara and F. Auat Cheein, "The role of 5g technologies: Challenges in smart cities and intelligent transportation systems," *Sustainability*, vol. 12, no. 16, p. 6469, Jan. 2020, Number: 16 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su12166469. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/16/6469 (visited on 06/14/2022).

[60] F. Zantalis, G. Koulouras, S. Karabetsos, and D. Kandris, "A review of machine learning and IoT in smart transportation," *Future Internet*, vol. 11, no. 4, p. 94, Apr. 2019, Number: 4 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, ISSN: 1999-5903. DOI: 10.3390/fi11040094. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/1999-5903/11/4/94 (visited on 06/14/2022).

[61] J. Yang, Y. Han, Y. Wang, B. Jiang, Z. Lv, and H. Song, "Optimization of real-time traffic network assignment based on IoT data using DBN and clustering model in smart city," *Future Generation Computer Systems*, vol. 108, pp. 976–986, Jul. 1, 2020, ISSN: 0167-739X. DOI: 10.1016/j.future.2017.12.012. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X17310609 (visited on 06/14/2022).

[62] A. Al-Dweik, R. Muresan, M. Mayhew, and M. Lieberman, *IoT-based multifunctional Scalable real-time Enhanced Road Side Unit for Intelligent Transportation Systems*. Apr. 1, 2017, 1 p., Pages: 6. DOI: 10.1109/CCECE.2017.7946618.

[63] A. Selim, P. Yousef, and M. Hagag, "Smart infrastructure by (PPPs) within the concept of smart cities to achieve sustainable development," pp. 182–198, Jan. 1, 2018.

[64] M. Gündüz and R. Das, *A comparison of cyber-security oriented testbeds for IoT-based smart grids*. Mar. 1, 2018, 1 p., Pages: 6. DOI: 10.1109/ISDFS.2018.8355329.

[65] M. Z. Gunduz and R. Das, "Cyber-security on smart grid: Threats and potential solutions," *Computer Networks*, vol. 169, p. 107 094, Mar. 14, 2020, ISSN: 1389-1286. DOI: 10.1016/j.comnet.2019.107094. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128619311235 (visited on 06/16/2022).

[66] A. A. Khan, V. Kumar, M. Ahmad, and S. Rana, "LAKAF: Lightweight authentication and key agreement framework for smart grid network," *Journal of Systems Architecture*, vol. 116, p. 102 053, Jun. 1, 2021, ISSN: 1383-7621. DOI: 10.1016/j.sysarc.2021.102053. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383762121000461 (visited on 06/16/2022).

[67] A. U. Rehman, Z. Wadud, R. M. Elavarasan, *et al.*, "An optimal power usage scheduling in smart grid integrated with renewable energy sources for energy management," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 84 619–84 638, 2021, Conference Name: IEEE Access, ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3087321.

[68] T. Ekwevugbe, N. Brown, and D. Fan, "A design model for building occupancy detection using sensor fusion," in *2012 6th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (DEST)*, ISSN: 2150-4946, Jun. 2012, pp. 1–6. DOI: 10.1109/DEST.2012.6227924.

[69] G. Apostolou, S. Krinidis, D. Ioannidis, *et al.*, "GreenSoul□ a novel platform for the reduction of energy consumption in communal and shared spaces," in *2016 4th International Symposium on Environmental Friendly Energies and Applications (EFEA)*, Sep. 2016, pp. 1–6. DOI: 10.1109/EFEA.2016.7748783.

[70] Y.-L. Hsu, P.-H. Chou, H.-C. Chang, *et al.*, "Design and implementation of a smart home system using multisensor data fusion technology," *Sensors*, vol. 17, no. 7, p. 1631, Jul. 2017, Number: 7 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s17071631. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/1424-8220/17/7/1631 (visited on 04/13/2022).

[71] S. Arvidsson, M. Gullstrand, B. Sirmacek, and M. Riveiro, "Sensor fusion and convolutional neural networks for indoor occupancy prediction using multiple low-cost low-resolution heat sensor data," *Sensors*, vol. 21, no. 4, p. 1036, Jan. 2021, Number: 4 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s21041036. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/1424-8220/21/4/1036 (visited on 04/13/2022).

[72] A. K. Das, P. H. Pathak, J. Jee, C.-N. Chuah, and P. Mohapatra, "Non-intrusive multi-modal estimation of building occupancy," in *Proceedings of the 15th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems*, Delft Netherlands: ACM, Nov. 6, 2017, pp. 1–14, ISBN: 978-1-4503-5459-2. DOI: 10.1145/3131672.3131680. [Online]. Available: https://dl.acm.org/doi/10.1145/3131672.3131680 (visited on 04/20/2022).

[73] Z. Wang, T. Hong, and M. A. Piette, "Data fusion in predicting internal heat gains for office buildings through a deep learning approach," *Applied Energy*, vol. 240, pp. 386–398, Apr. 15, 2019, ISSN: 0306-2619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.02.066. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919303630 (visited on 04/20/2022).

[74] V. Barthelmes, V. Fabi, S. Corgnati, and V. Serra, "Human factor and energy efficiency in buildings: Motivating end-users behavioural change," in *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)*, S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander, and Y. Fujita, Eds., vol. 825, Series Title: Advances in Intelligent Systems and Computing, Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 514–525, ISBN: 978-3-319-96067-8 978-3-319-96068-5. DOI: 10.1007/978-3-319-96068-5_58. [Online]. Available: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-96068-5_58 (visited on 04/25/2022).

[75] F. Fiebig, S. Kochanneck, I. Mauser, and H. Schmeck, "Detecting occupancy in smart buildings by data fusion from low-cost sensors: Poster description," in *Proceedings of the Eighth International Conference on Future Energy Systems*, Shatin Hong Kong: ACM, May 16, 2017, pp. 259–261, ISBN: 978-1-4503-5036-5. DOI: 10.1145/3077839.3081675. [Online]. Available: https://dl.acm.org/doi/10.1145/3077839.3081675 (visited on 05/12/2022).

[76] W. Wang, J. Chen, and T. Hong, "Occupancy prediction through machine learning and data fusion of environmental sensing and wi-fi sensing in buildings," *Automation in Construction*, vol. 94, pp. 233–243, Oct. 1, 2018, ISSN: 0926-5805. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.07.007. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580518302656 (visited on 05/15/2022).

[77] W. Wang, T. Hong, N. Xu, X. Xu, J. Chen, and X. Shan, "Cross-source sensing data fusion for building occupancy prediction with adaptive lasso feature filtering," *Building and Environment*, vol. 162, p. 106 280, Sep. 1, 2019, ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.106280. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132319304901 (visited on 05/15/2022).

[78] X. Jing, S. Li, J. Cheng, and J. Guo, "Multidimensional situational information fusion method for energy saving on campus," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 38, no. 4, pp. 4793–4807, Apr. 30, 2020, ISSN: 10641246, 18758967. DOI: 10.3233/JIFS-191513. [Online]. Available: https://www.medra.org/servlet/aliasResolver?alias=iospress&doi=10.3233/JIFS-191513 (visited on 05/17/2022).

[79] S. H. Marakkalage, S. Sarica, B. P. L. Lau, *et al.*, "Understanding the lifestyle of older population: Mobile crowdsensing approach," *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, vol. 6, no. 1, pp. 82–95, 2019, Conference Name: IEEE Transactions on Computational Social Systems, ISSN: 2329-924X. DOI: 10.1109/TCSS.2018.2883691.

[80] R. Luo, C.-C. Yih, and K. L. Su, "Multisensor fusion and integration: Approaches, applications, and future research directions," *IEEE Sensors Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 107–119, Apr. 2002, Conference Name: IEEE Sensors Journal, ISSN: 1558-1748. DOI: 10.1109/JSEN.2002.1000251.

[81] Z. Gao, W. Cheng, X. Qiu, and L. Meng, "A missing sensor data estimation algorithm based on temporal and spatial correlation," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 11, no. 10, p. 435 391, Oct. 1, 2015, Publisher: SAGE Publications, ISSN: 1550-1329. DOI: 10.1155/2015/435391. [Online]. Available: https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1155/2015/435391 (visited on 05/31/2022).

[82] I. Mary and L. Arockiam, "Imputing the missing data in IoT based on the spatial and temporal correlation," *2017 IEEE International Conference on Current Trends in Advanced Computing (ICCTAC)*, 2017. DOI: 10.1109/ICCTAC.2017.8249990.

[83] Y. Li and L. E. Parker, "Nearest neighbor imputation using spatial–temporal correlations in wireless sensor networks," *Information Fusion*, Special Issue: Resource Constrained Networks, vol. 15, pp. 64–79, Jan. 1, 2014, ISSN: 1566-2535. DOI: 10.1016/j.inffus.2012.08.007. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253512000711 (visited on 05/31/2022).

[84] P. Li, E. A. Stuart, and D. B. Allison, "Multiple imputation: A flexible tool for handling missing data," *JAMA*, vol. 314, no. 18, pp. 1966–1967, Nov. 10, 2015, ISSN: 1538-3598. DOI: 10.1001/jama.2015.15281.

[85] N. Vijayakumar and B. Plale. "Prediction of missing events in sensor data streams using kalman filters." (2007), [Online]. Available: https://www.semanticscholar.org/paper/Prediction-of-Missing-Events-in-Sensor-Data-Streams-Vijayakumar-Plale/57c2a42693e615dc5cf4ae27eb2d3cce933732c2 (visited on 05/31/2022).

[86] Faculy of Computer Science, Østfold University College, Halden 1783, Norway, A. Shahraki, and Ø. Haugen, "An outlier detection method to improve gathered datasets for network behavior analysis in IoT," *Journal of Communications*, pp. 455–462, 2019, ISSN: 23744367. DOI: 10.12720/jcm.14.6.455-462. [Online]. Available: http://www.jocm.us/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=221&id=1372 (visited on 05/31/2022).

[87] M. Hasan, M. M. Islam, M. I. I. Zarif, and M. M. A. Hashem, "Attack and anomaly detection in IoT sensors in IoT sites using machine learning approaches," *Internet of Things*, vol. 7, p. 100 059, Sep. 1, 2019, ISSN: 2542-6605. DOI: 10.1016/j.iot.2019.100059. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542660519300241 (visited on 05/31/2022).

[88] A. Gaddam, T. Wilkin, M. Angelova, and J. Gaddam, "Detecting sensor faults, anomalies and outliers in the internet of things: A survey on the challenges and solutions," *Electronics*, vol. 9, no. 3, p. 511, Mar. 2020, Number: 3 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, ISSN: 2079-9292. DOI: 10.3390/electronics9030511. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2079-9292/9/3/511 (visited on 05/31/2022).

[89] P. Smets, "Analyzing the combination of conflicting belief functions," *Information Fusion*, vol. 8, no. 4, pp. 387–412, Oct. 1, 2007, ISSN: 1566-2535. DOI: 10.1016/j.inffus.2006.04.003. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253506000467 (visited on 05/31/2022).

[90] Z. Zhang, T. Liu, D. Chen, and W. Zhang, "Novel algorithm for identifying and fusing conflicting data in wireless sensor networks," *Sensors*, vol. 14, no. 6, pp. 9562–9581, Jun. 2014, Number: 6 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s140609562. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/1424-8220/14/6/9562 (visited on 07/08/2022).

[91] S. K. Sowe, T. Kimata, M. Dong, and K. Zettsu, "Managing heterogeneous sensor data on a big data platform: IoT services for data-intensive science," in *2014 IEEE 38th International Computer Software and Applications Conference Workshops*, Jul. 2014, pp. 295–300. DOI: 10.1109/COMPSACW.2014.52.

[92] R. Krishnamurthi, A. Kumar, D. Gopinathan, A. Nayyar, and B. Qureshi, "An overview of IoT sensor data processing, fusion, and analysis techniques," *Sensors*, vol. 20, no. 21, p. 6076, Jan. 2020, Number: 21 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s20216076. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/1424-8220/20/21/6076 (visited on 05/31/2022).

Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi
34(2), 923-931, 2022

Araştırma Makalesi
https://doi.org/10.35234/fumbd.1100543

Elazığ İli Hal Köyü'nde Hayvan Yemi Olarak Kullanılan Farklı Tür Ağaç Yapraklarının (Gazellerin) Yem Kalite Özelliklerinin Karşılaştırılması

Halil KARAN[1*] , Mehmet BAŞBAĞ[2]
[1]Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Sivrice MYO., Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
[2] Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye
[*1] hkaran@firat.edu.tr, [2] mbasbag@dicle.edu.tr

(Geliş/Received: 08/04/2022; Kabul/Accepted:27/06/2022)

Özet: Bu çalışma; Elazığ Merkeze bağlı Hal Köyü'nde yetişen ağaçların sonbahar aylarında dökülen yapraklarının (gazel) yem kalitesini belirlemek amacıyla 2020 yılında yürütülmüştür. Araştırmada, deneme materyali olarak 9 farklı ağaç yaprağı (her bitkiden 3 örnek) kullanılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre ham protein (HP) %7.38-15.69, asit deterjan lif (ADF) %15.39-34.98, nötral deterjan lif (NDF) %19.22-43.49, sindirilebilir kuru madde (SKM) %61.65-76.92, kuru madde tüketimi (KMT) %2.77-6.25, nispi yem değeri (NYD) 149.79-372.39, toplam sindirilebilir besin maddeleri (TSBM) % 56.13-78.66, nispi yem kalitesi (NYK) 143.99- 399.37, potasyum (K) %0.35-1.68, magnezyum (Mg) %0.57-0.80, kalsiyum (Ca) %2.08-2.69, fosfor (P) %0.21-0.52, kalsiyum/fosfor (Ca/P) 4.59-12.44, potasyum/kalsiyum+magnezyum (K/Ca+Mg) 0.11-0.52 arasında değişim göstermiştir. Farklı bitki yaprakları kalite standartları bakımından değerlendirildiğinde; HP bakımından kiraz, söğüt ve şeftali yaprakları 2. grupta yer alırken, asma ve elma 3. grupta, adi alıç ve armut 4. grupta, zerdali ve ceviz 5. grupta yer almıştır. ADF, NDF, SKM, KMT, NYD, TSBM ve NYK bakımından ise tüm bitki yaprakları genel olarak prime grupta yer almıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağaç, yaprak, ham protein, NDF, mineral maddeler,

Comparison of Feed Quality Characteristics of Different Species of Tree Leaves Used as Animal Feed in Elazig Province Hal Village

Abstract: The study was carried out determine the feed quality of the leaves (Autumn leaves) of different tree species grown in the garden areas of Hal Village in Elazig province in 2020. In the research, 9 different tree leaves were used as materials (3 samples from each plant). According to analysis results, means of the investigated traits among the species were observed as followings; crude protein (CP) 7.38-15.69%, acid detergent insoluble fiber (ADF) 15.39-34.98%, neutral detergent insoluble fiber (NDF) 19.22-43.49%, digestible dry matter (DDM) 61.65-76.92%, dry matter intake (DMI) 2.77-6.25%, relative feed value (RFV) 149.79-372.39, total digestible nutrient content (TDN) 56.13-78.66%, relative feed quality (RFQ) 143.99-399.37, potassium (K) 0.35- 1.68%, magnesium (Mg) 0.57-0.80%, calcium (Ca) 2.08-2.69%, phosphorus (P) 0.21-0.52%, calcium / phosphorus (Ca / P) 4.59-12.44, potassium / calcium + magnesium (K / Ca + Mg) 0.11-0.52. When different tree leaves are examined in terms of quality standards; In terms of CP, cherry, willow, and peach are in the 2nd group, grapevine and apple are in the 3rd group, common hawthorn and pear is in the 4th group, wild apricot and walnut are in the 5th group. In terms of ADF, NDF, DDM, DMI, RFV, TDN and RFQ, all plant leaves were generally in the prime group.

Keyword: Tree, leaf, crude protein, NDF, mineral substances,

1. [1]Giriş

Doğal çayır-mera alanları 3.5 milyar ha ile dünya tarım alanlarının %72'sini, kara parçalarının ise %27'sini oluşturmaktadır [1]. Ülkemizde çayır ve mera alanları 14.6 milyon ha olup, bu miktar toplam alanın %19'unu, tarım alanlarının ise %37.4'ünü kapsamaktadır [2]. Ülkemiz çayır-mera alanlarının yaklaşık %34.8'i Doğu Anadolu Bölgesinde bulunmakta olup [3] Elazığ il sınırları içerisinde 226.034 ha çayır-mera alanı bulunmaktadır [4]. Ülkemizde ve dolayısıyla ilimizde yem bitkileri ekiliş alanları Tarım Bakanlığı'nın vermiş olduğu desteklerle yıldan yıla artışlar göstermiş olsa da, kaliteli yem üretimi hala istenilen düzeye ulaşamamıştır [5]. Elazığ ilinde hayvanların beslenmesinde saman, halen önemli bir kaba yem kaynağı durumundadır.

Ülke hayvancılığının problemleri arasında yem sorunu ilk sıralarda yer almaktadır. Ülkede hali hazırda en önemli kaba yem kaynağı çayır-mera alanlarıdır. Ancak, günümüzde ülkemiz çayır-mera alanlarının zamansız ve aşırı otlatılmaları neticesinde verim ve kaliteleri önemli ölçüde düşmüştür. Şüphesiz bu durum Elazığ ilinin çayır-

*Sorumlu yazar: hkaran@firat.edu.tr, Yazarların ORCİD Numarası: [1]0000-0002-9064-5827, [2]0000-0002-7853-7604

meraları için de geçerlidir. Elazığ ili meralarında otlatmanın yapılmadığı kış aylarında ek kesif yem haricinde hayvanlara kaba yem olarak başta saman olmak üzere, yonca, fiğ, mısır dane ve silajı ağırlıklı olarak verilmektedir. Bunlardan başka özellikle çalışmanın yapıldığı Elazığ Merkeze Bağlı Hal Köyü'nde ağaçlardan dökülen yaprakların hayvan beslenmesinde çok uzun zamanlardan beri kullanıldığı bilinmektedir. Dünyada genel olarak dut yaprağı üzerine çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Süt sığırları rasyonlarına yoğun yem yerine dut yaprağı kullanımının süt verimlerinde herhangi bir olumsuzluk yaratmadığı, yem maliyetini düşürmek için kullanılabileceği ifade edilmektedir [6-7]. Çalı ve ağaç yaprakları arasında potansiyel olarak önemli yem kaynaklarını tanımlamak ve bunları ruminantların rasyonlarına dahil etmek için, dünyanın birçok gelişmekte olan bölgelerinde artan bir eğilimin olduğu [8], sindirilebilir besinlerin verimi bakımından bunların diğer birçok yem bitkisiyle karşılaştırılabileceği, hatta bunların birçok yem bitkisinden daha iyi olabileceği ifade edilmiştir [9].

Bu çalışma ile yörede yetişen ve meyve üretimi amaçlı yetiştirilen ağaç yapraklarının (gazellerin) hayvan besleme açısından yem kaliteleri değerlendirilmiştir.

2.Materyal ve Yöntem

Elazığ Merkeze bağlı Hal Köyü bahçelik alanlarında doğal olarak yetişen ve yetiştirilen 9 farklı ağaç türü [adi alıç (*Crataegus monogyna* Jacq.), kiraz (*Prunus avium* L.), asma (*Vitis vinifera* L.), zerdali (*Prunus armeniaca* L.), söğüt (*Salix alba* L.), ceviz (*Junglas regia* L.), armut (*Pyrus communis* L.), şeftali (*Prunus persica* L.), elma (*Malus communis* L.)] yapraklarından alınan örnekler çalışmanın materyalini oluşturmuştur. Bitkilerden yaprak örnekleri (gazel) 2020 yılı sonbahar mevsiminde Kasım ayında (sonbahar ilk donlarında yapraklar döküldüğünde) yaprakların dökülme döneminde (her bitkiden 3 örnek) alınmıştır. Alınan örnekler havadar, yağmur almayan sundurma altında kurutulmuştur.

Kurutulmuş bitki örnekleri Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tohumluk Laboratuvarında, değirmende (IKA A11 Basic) öğütüldükten sonra 1 mm elekte elenerek analize hazır hale getirilmiştir. Daha sonra bu örnekler Dicle Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBTAM) laboratuvarında NIRS (Near Infrared Spectroscopy, Foss Model 6500) cihazında analiz edilerek [10-11], ham protein (HP), asit deterjan lif (ADF), nötral deterjan lif (NDF), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), fosfor (P) ve potasyum (K) değerleri ölçülmüştür.

Asit deterjan lif ve nötral deterjan lif değerlerinden faydalanılarak bitki türlerinin; sindirilebilir kuru madde (SKM), kuru madde tüketimi (KMT) ve nispi yem değeri (NYD) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır [12]. Ayrıca kalite analizinde elde edilen sonuçlar yardımıyla Ca/P ve K/(Ca+Mg) değerleri hesaplanmıştır. Toplam sindirilebilir besin maddesi (TSBM) [13]'e göre, nispi yem kalite değeri (NYK) ise [14]'e göre hesaplanmıştır.

SKM (%) = 88.9 - (0.779 x % ADF)
KMT (%) = 120 / NDF
TSBM (%) = (96.35-(0.779 x % ADF))
NYD = (% SKM x % KMT) / 1.29
NYK =[KMT*(96.35-(ADF*1.15))]/1.23

Araştırmada incelenen yaprakların yem kalite dereceleri, [15] tarafından geliştirilen ve Tablo 1'de belirtilmiş olan sınıflandırmaya göre yapılmıştır.

Tablo 1. Baklagil, buğdaygil ve baklagil-buğdaygil karışımları için kalite standartları.

Kalite Standartları	HP	ADF	NDF	SKM	KMT	NYD
	KM (%)			(%)	(%)	
Prime*	> 19	<< 31	<< 40	> 65	> 3.0	> 151
1	17-19	31-35	40-46	62-65	3.0-2.6	151-125
2	14-16	36-40	47-53	58-61	2.5-2.3	124-103
3	11-13	41-42	54-60	56-57	2.2-2.0	102-87
4	8-10	43-45	61-65	53-55	1.9-1.8	86-75
5	<< 8	> 45	> 65	<< 53	<< 1.8	<< 75

*En iyi kalite

Yapraklarde nispi yem kalite (NYK) standartları [16]'ya göre oluşturulmuştur (Tablo 2).

Tablo 2. Yem bitkilerinde NYK standartları

Kalite Standartları	NYK
Çok iyi	>140
İyi	110-139
Orta	90-109
Kötü	<75

Çalışmada, elde edilen veriler, SPSS istatistik paket programı yardımıyla varyans analizine tabi tutulmuş ve ağaç yapraklarının (gazel) kalite özellikleri arasındaki farklılıklar "Duncan" çoklu karşılaştırma testiyle karşılaştırılmıştır.

3.Araştırma Bulguları ve Tartışma

Ham protein (HP)

İncelenen 9 farklı bitki türüne ait yaprakların (gazel) HP oranları ortalama %11.65 olarak bulunurken, %7.38-15.69 arasında değişim göstermiştir. Tüm türler içerisinde en yüksek HP değeri söğüt yaprağından (%15.69) elde edilirken, bunu sırasıyla kiraz (%15.19), şeftali (%14.03) ve elma (%12.70) yaprakları izlemiştir. En düşük HP değeri ise zerdali yaprağından (%7.38) elde edilmiştir (Çizelge 1). HP oranına göre kalite standartları bakımından, kiraz, söğüt ve şeftali yaprağı 2. grupta yer alırken, asma ve elma yaprağı 3. grupta, adi alıç ve armut yaprağı 4. grupta, zerdali ve ceviz yaprağı 5. grupta yer almıştır (Çizelge 2). Daha önce yapılan çalışmalarda HP oranı; adi alıçta %8.67-10.16 [17-18], söğütte %8.87-16.90 [19-23],elmada % 6.56-10.80 [24-26], kirazda %2.76 [27], asmada ortalama olarak %4.58 [28], şeftalide %11.75-22.90 [25,29,30,31] olarak elde edilmiştir. Ham protein oranına ilişkin elde edilen bulgular; adi alıç ve şeftalide literatür bulgularıyla uyumlu iken, söğüt, asma, elma ve kiraz yaprakları literatür bulgularından yüksek çıkmıştır. Bu durum muhtemelen, bitkilerin genotipleri, ekolojik koşullar ve yaprakların alınma dönmeleri gibi farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir.

Asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF)

Yemlerde sindirilebilirliğin belirtisi olan ADF oranı, yemler içerisinde bulunan selüloz, lignin ve çözünmeyen külün toplamını ifade eden önemli bir yem kalite parametresi olup, kaliteli bir yem için ADF oranının mümkün olduğu kadar düşük olması arzu edilir [32-34]. İncelenen 9 farklı bitki türü yapraklarının ADF oranları %15.39-34.98 arasında değişirken, ortalaması %23.74 olarak bulunmuştur. En yüksek ADF değeri ceviz yaprağından (%34.98) elde edilirken, bunu asma (%27.05), armut (25.16) ve söğüt (%24.70) yaprakları izlemiştir. En düşük ADF değeri kiraz yaprağından (%15.39) elde edilmiştir (Çizelge 1). ADF'ye göre yapılan kalite standartlarına göre ceviz 1. grupta diğer yapraklar prime grupta yer almıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda ADF oranı, adi alıçta %18.73-24.33 [17-18], söğütte %18.50-38.70 [19,20,21,23], elmada %15.40-27.67 [24-26], kirazda %20,0 [27], asmada ortalama olarak %24.83 [28], şeftalide %15.32-18.73 [25,29,30] olarak elde edilmiştir. ADF oranına ilişkin elde edilen bulgular; adi alıç, söğüt, elma yaprakları literatür bulguları ile uyumlu iken, kirazda düşük, şeftali ve asmada yüksek çıkmıştır.

Nötral deterjanda çözünmeyen lif (NDF)

Ruminantların rasyonları, optimum çiğneme aktivitesi, rumen fermentasyonu, süt yağı yüzdesi ve iyi bir kuru madde tüketimi için yeterli partikül boyutuna sahip olmalıdır ve rasyonlar-NDF içeriği optimum olan kaba yemlerden oluşmalıdır [35]. Yem bitkilerinde NDF düzeyinin artması, hayvanda tokluk hissine neden olmakta, dolayısıyla yem tüketimini sınırlamaktadır [36]. İncelenen bitkilerin NDF oranları %19.22-43.49 arasında değişirken, ortalaması %28.80 olarak bulunmuştur. İncelenen bitkiler arasında en yüksek NDF değeri söğüt yaprağından (%43.49) elde edilirken, bunu ceviz (38.21) ve armut (31.34) yaprakları izlemiştir. En düşük NDF değerleri ise

kiraz (%19.22) ve şeftali (%22.11) yapraklarından elde edilmiştir (Çizelge 1). NDF'ye göre oluşturulan kalite standartlarına göre, söğüt 1. grupta, çalışılan diğer bitki yaprakları ise prime grupta yer almıştır. (Çizelge 2). Daha önce yapılan çalışmalarda NDF oranı, adi alıçta %28.63-51.12 [17-18], söğütte %32.20-43.95 [19,20,21,23], elmada %23.00-35.36 [24-26], kirazda %27.60 [27], asmada ortalama olarak %32.47 [28], şeftalide %23.55-29.80 [25,29,30] olarak elde edilmiştir. Nötral deterjan lif oranına ilişkin elde edilen bulgular; söğüt, elma ve şeftali yaprakları literatür bulgularıyla uyumlu iken, adi alıç, kiraz ve asmadan elde edilen bulgular literatür bulgularından düşük çıkmıştır.

Sindirilebilir kuru madde (SKM)

Bitki türlerinin SKM oranları %61.65-76.92 arasında değişirken, ortalama %70.41 olarak bulunmuştur. İncelenen bitkiler arasında en yüksek SKM değeri kirazdan (%76.92) elde edilirken, bunu sırasıyla şeftali (%73.57), adi alıç (%71.84), zerdali (%71.70) ve elma (%71.24) yaprakları izlemiştir. En düşük SKM değeri ise ceviz (%61.65) yaprağından elde edilmiştir (Çizelge 1). SKM'ye göre kalite standartları bakımından ceviz yaprağı 1. grupta, çalışılan diğer bitki yapraklarının SKM'si prime grupta yer almıştır (Çizelge 2). Daha önce yapılan çalışmalarda SKM oranı, adi alıçta %69.17-74.31 [17-18], söğütte %58.75-74.49 [19,20,21,23], elmada %67.35-76.90 [24-26], kirazda %73.32 [27]), asmada ortalama olarak %69.56 [28], şeftalide %74.31-76.97 [25,29,30] olarak elde edilmiştir. SKM oranlarına ilişkin elde edilen bulgular, kirazda yüksek, adi alıç, söğüt, elma, şeftali ve asmadan elde edilen bulgular literatür bulgularıyla uyumlu çıkmıştır.

Kuru Madde Tüketimi (KMT)

Kuru madde tüketim oranları %2.77-6.25 arasında değişirken, ortalaması %4.44 olarak bulunmuştur. İncelenen bitkiler arasında en yüksek KMT değeri kiraz yaprağında (%6.25) elde edilirken, bunu sırasıyla şeftali (%5.43), elma (%4.97) yaprakları izlemiştir. En düşük KMT değeri ise söğüt yaprağından (%2.77) elde edilmiştir (Çizelge 1). KMT'ye göre kalite standartları bakımından söğüt 1. grupta, çalışılan diğer bitki yaprakları ise prime grupta yer almıştır (Çizelge 2). Daha önce yapılan çalışmalarda KMT oranı, adi alıçta %2.35-4.19 [17-18], söğütte %2.73-3.73 [19,20,21,23], elmada %3.39-5.22 [24-26], kirazda %4.35 [27], asmada ortalama olarak %3.70 [28], şeftalide %4.03-5.10 [25,29,30] olarak elde edilmiştir. Çalışmada, söğüt, elma ve asma yapraklarından elde edilen KMT değerleri literatür bulgularından uyumlu çıkarken, adi alıç, kiraz ve şeftalide yüksek çıkmıştır.

Nispi yem değeri (NYD)

Yaprakların NYD oranları 149.79-372.39 arasında değişirken, ortalaması 245.31 olarak bulunmuştur. İncelenen bitkiler arasında en yüksek NYD değeri kiraz yaprağından (372.39) elde edilirken, bunu sırasıyla şeftali (309.70), adi alıç (270.50) ve zerdali (266.29) yaprakları izlemiştir. En düşük NYD değeri ise söğüt yaprağından (149.79) elde edilmiştir (Çizelge 1). NYD'ye göre kalite standartları bakımından, söğüt ve ceviz yaprakları 1. grupta yer alırken, çalışılan diğer tüm bitki yaprakları ise prime grupta yer almıştır (Çizelge 2). Daha önce yapılan çalışmalarda NYD oranı, adi alıçta 127.2-241.4 [17-18], söğütte 124.4-215.2 [19,20,21,23], elmada 177,2-311.0 [24-26], kirazda 247.1 [27], asmada ortalama olarak 199.3 [28], şeftalide 234.9-304.0 [25,29,30] olarak elde edilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen NYD bulguları, söğüt ve elmada uyumlu çıkarken, adi alıç, kiraz, şeftali ve asmada yüksek çıkmıştır.

Toplam sindirilebilir besin maddeleri (TSBM)

Toplam sindirilebilir besin maddeleri değeri, yem maddelerinin kullanılabilir enerji içeriklerini temsil eder ve bunlar, hayvancılık için yeterli enerji arzını sağlamak için son derece önemli değerlerdir [37]. İncelenen yaprakların TSBM oranları %56.13-78.66 arasında değişirken, ortalaması %69.06 olarak bulunmuştur. İncelenen bitkiler arasında en yüksek TSBM değeri kiraz yaprağından (%78.66) elde edilirken, bunu sırasıyla şeftali (%73.72), zerdali (%70.95), adi alıç (%71.13) yaprakları izlemiştir. En düşük TSBM değeri ise ceviz yaprağından (%56.13) elde edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda TSBM oranı, adi alıçta %68.37-74.81 [17-18], söğütte %51.85-75.08 [19,20,21,23], elmada %64.53-78.64 [24-26], kirazda %73.35 [27], asmada ortalama olarak %67.80 [28], şeftalide %74.81-78.73 [25,29,30] olarak elde edilmiştir. TSBM değerine ilişkin elde edilen bulgular, literatür bulguları ile kıyaslandığında; şeftalide düşük, kirazda yüksek, adi alıç, söğüt, elma ve asmada uyumlu çıkmıştır.

Nispi yem kalitesi (NYK)

İncelenen yaprakların NYK değeri 143.99-399.37 arasında değişirken, ortalaması 253.78 olarak bulunmuştur. NYK bakımından en yüksek değer kiraz yaprağından (399.37) elde edilirken, bunları sırasıyla şeftali (325.47), elma (283.86), adi alıç (281.37), zerdali (276.37) yaprakları izlemiştir, en düşük NYK değeri ise ceviz yaprağından (143.99) elde edilmiştir (Çizelge 1). Tablo 2'ye göre oluşturulan nispi yem kalitesi; tüm yapraklarda çok iyi kalitede olduğu görülmüştür (Çizelge 2). Daha önce yapılan çalışmalarda NYK değeri, adi alıçta 130.5-254.9 [17-18]), söğütte %115.1-227.5 [19,20,21,23], elmada 178,0-333.6 [24-26], kirazda 259.3 [27]), asmada 203.7 [28], şeftalide 249.6-326.2 [25,29,30] olarak elde edilmiştir. NYK değerine ilişkin, asma, elma, söğüt ve şeftali yapraklarından elde edilen bulgular literatür bulguları ile uyum gösterirken, adi alıç ve kirazda yüksek çıkmıştır.

Çizelge 1. Bazı ağaç yapraklarına ait ham protein (HP), asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF), nötral deterjanda çözünmeyen lif (NDF), sindirilebilir kuru madde (SKM), kuru madde tüketimi (KMT), nispi yem değeri (NYD), toplam sindirilebilir besin maddeleri (TSBM), nispi yem kalitesi (NYK) ve oluşan gruplar.

Ağaç Türü	**HP (%)**	**ADF (%)**	**NDF (%)**	**SKM (%)**	**KMT (%)**	**NYD**	**TSBM (%)**	**NYK**
Adi Alıç (*Crataegus monogyna*)	9.49^{ef}	21.91^{cd}	24.91^{d}	71.84^{bc}	4.85^{c}	270.50^{c}	71.16^{bc}	281.37^{c}
Kiraz (*Prunus avium*)	15.19^{ab}	15.39^{e}	19.22^{e}	76.92^{a}	6.25^{a}	372.39^{a}	78.66^{a}	399.37^{a}
Asma (*Vitis vinifera*)	12.48^{cd}	27.05^{b}	30.36^{c}	67.83^{d}	3.95^{d}	207.91^{d}	65.24^{d}	209.74^{d}
Zerdali (*Prunus armeniaca*)	7.38^{f}	22.08^{cd}	25.09^{d}	71.70^{bc}	4.79^{c}	266.29^{c}	70.95^{bc}	276.37^{c}
Söğüt (*Salix alba*)	15.69^{a}	24.70^{bc}	43.49^{a}	69.66^{cd}	2.77^{e}	149.79^{e}	67.95^{cd}	153.38^{e}
Ceviz (*Junglas regia*)	7.64^{ef}	34.98^{a}	38.21^{b}	61.65^{e}	3.15^{e}	150.76^{e}	56.13^{e}	143.99^{e}
Armut (*Pyrus communis*)	10.21^{de}	25.16^{bc}	31.34^{c}	69.30^{cd}	3.84^{d}	206.20^{d}	67.42^{cd}	210.45^{d}
Şeftali (*Prunus persica*)	14.03^{abc}	19.68^{d}	22.11^{de}	73.57^{b}	5.43^{b}	309.70^{b}	73.72^{b}	325.47^{b}
Elma (*Malus communis*)	12.70^{bcd}	22.67^{cd}	24.44^{d}	71.24^{bc}	4.97^{bc}	274.29^{c}	70.29^{bc}	283.86^{c}
Ortalama	**11.65**	**23.74**	**28.80**	**70.41**	**4.44**	**245.31**	**69.06**	**253.78**
P	**	**	**	**	**	**	**	**

(**): Aynı sütun içerisinde farklı harf grubu ile gösterilen ortalamalar %1 seviyesine göre farklıdır.

Çizelge 2. Yapraklare ait kalite standartları [15] ve nispi yem kalitesi [16] standartları.

Ağaç Türü	**HP**	**ADF**	**NDF**	**SKM**	**KMT**	**NYD**	**NYK**
Adi Alıç (*Crataegus monogyna*)	4	P	P	P	P	P	Çok İyi
Kiraz (*Prunus avium*)	2	P	P	P	P	P	Çok İyi
Asma (*Vitis vinifera*)	3	P	P	P	P	P	Çok İyi
Zerdali (*Prunus armeniaca*)	5	P	P	P	P	P	Çok İyi
Söğüt (*Salix alba*)	2	P	1	P	1	1	Çok İyi
Ceviz (*Junglas regia*)	5	1	P	1	P	1	Çok İyi
Armut (*Pyrus communis*)	4	P	P	P	P	P	Çok İyi
Şeftali (*Prunus persica*)	2	P	P	P	P	P	Çok İyi
Elma (*Malus communis*)	3	P	P	P	P	P	Çok İyi

P:Prime

Mineral Maddeler
Potasyum (K)

Potasyum yetersizliği ender meydana gelen bir mineral olmakla beraber yüksek düzeyde konsantre yemlerle beslenen besi sığırlarında ortaya çıkabilir. Bu olgularda büyümenin gecikmesi, kaslarda genel zayıflama, sallantılı yürüyüş, pika, ishal, karnın gerilmesi, zayıflama ve bunu izleyen ölüm gözlenir [38]. İncelenen yaprakların K oranları %0.35-1.68 arasında değişirken ortalaması %1.11 olarak bulunmuştur. İncelenen bitkiler arasında en yüksek K değeri ceviz yaprağından (%1.68) elde edilirken, bunu sırasıyla şeftali (%1.57), kiraz (%1.47) ve armut (%1.07) yaprakları izlemiştir. En düşük K değeri ise söğüt yaprağından (%0.35) elde edilmiştir (Çizelge 3). Kaba yemlerde K oranı %1,5-3,0 [39] arasında olmalıdır. Ceviz ve Şeftali yaprakları normal sınır değerlerinde bulunurken, diğer yapraklarda ise bu oran düşük çıkmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda K oranı; elmada %2.01 [26]), asmada %0.21 [28]) olarak elde edilmiştir. K oranına ilişkin elmada elde edilen bulgu literatür bulgusundan düşük, asmada elde edilen bulgudan ise yüksek çıkmıştır.

Magnezyum (Mg)

Anti stres minerali olarak bilinen magnezyum, yemlerde olması gereken seviyenin altında bulunması durumda "Çayır Tetanisi" olarak bilinen felçlik durumunun oluşması ile eksikliğini gösterir [40-41] Buna ilaveten magnezyum eksikliğinde hayvanlarda; kas kasılması, titremeler, sendeleme, hızlı soluma, iştah kaybı, büyüme döneminde iskelet deformasyonu, büyüme gecikmesi ve süt azalması gibi semptomlar görülür [42]. İncelenen yaprakların Mg oranları %0.57-0.80 arasında değişirken, ortalaması %0.69 olarak bulunmuştur. İncelenen bitkiler arasında en yüksek Mg değeri ceviz yaprağından (%0.80) elde edilirken, bunu sırasıyla zerdali (%0.77), adi alıç (%0.74), asma, şeftali, elma (%0.67) yaprakları izlemiştir. En düşük Mg değeri ise söğüt yaprağından (%0.57) elde edilmiştir (Çizelge 3). Kaba yemlerde Mg oranı %0,12-020 [39] arasında olmalıdır. Çalışılan bitki yapraklarının hepsinde bu oran yüksek çıkmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda elmada %0.21 Mg oranı elde edilmiştir [26]. Çalışmada elma yaprağına ilişkin elde edilen bulgu literatür bulgusundan yüksek çıkmıştır.

Kalsiyum (Ca)

Kalsiyum; yetersizliğinde hayvanlarda büyüme geriliği, kemik ve iskelette zayıflık, süt ve yumurta veriminde düşüklük, süt humması, tetani ve güç doğum gibi anormallikler görülür [35]. İncelenen yaprakların Ca oranları %2.08-2.78 arasında değişirken, ortalaması %2.46 olarak bulunmuştur. İncelenen yapraklar arasında en yüksek Ca değeri cevizden (%2.78) elde edilirken, bunu sırasıyla adi alıç (%2.69), zerdali (%2.65) ve söğüt (%2.60) yaprakları izlemiştir. En düşük Ca değeri ise armut yaprağından (%2.08) elde edilmiştir (Çizelge 3). Kaba yemlerde Ca oranı %0,25-0,50 [39] arasında olmalıdır. Çalışılan bitki yapraklarının hepsinde bu oran yüksek çıkmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda Ca oranı; söğütte %2.20 [23], elmada %1.22 [26]), asmada %0.39 [28]) olarak elde edilmiştir. Çalışmada Ca ilişkin elde edilen bulgular, söğütte kısmen uyumlu çıkarken, elma ve asmadan elde edilen bulgular literatür bulgularından yüksek çıkmıştır.

Fosfor (P)

Fosfor; eksikliğinde pika olarak adlandırılan iştah bozukluğu olan hayvanların odun, kumaş parçaları gibi yenilmeyecek olan yabancı maddeleri yemesine, üreme bozukluklarına, kızgınlık siklusu bozukluklarına ve verim düşüklüklerine sebep olmaktadır [35]. İncelenen yaprakların P oranları %0.0.21-0.52 arasında değişirken, ortalaması %0.32 olarak bulunmuştur. İncelenen bitkiler arasında en yüksek P değeri asma yaprağından (%0.52) elde edilirken, bunu sırasıyla elma (%0.34), kiraz, söğüt (%0.33) ve şeftali (%0.32) yaprakları izlemiştir. En düşük P değeri ise söğüt (%0.21) yaprağından elde edilmiştir (Çizelge 3). Kaba yemlerde P oranı %0,20-035 [39] arasında olmalıdır. Çalışılan bitki yapraklarından elde edilen P oranı, asmada yüksek diğer bitki yapraklarında normal çıkmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda P oranı; söğütte %0.21 [23], elmada %0.02 [26]) olarak elde edilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular söğütte uyumlu çıkarken, elmada ise literatür bulgusundan yüksek çıkmıştır.

Kalsiyum/fosfor (Ca/P)

Genel olarak Ca/P oranının 2:1 olması tavsiye edilmekte, fazlalığında hayvanlarda süt hummasına neden olduğu bildirilmektedir [43]. İncelenen yaprakların Ca/P oranları 4.59-12.44 arasında değişirken, ortalaması 8.27

olarak bulunmuştur. İncelenen yapraklar arasında en yüksek Ca/P değeri söğüt yaprağından (12.44) elde edilirken, bunu sırasıyla zerdali (9.96) ve adi alıç (9.62) yaprakları izlemiştir. En düşük Ca/P oranı ise asma yaprağından (4.59) elde edilmiştir (Çizelge 3). Tavsiye edilen 2:1 oranından tüm yaprakların yüksek çıktığı görülmüştür. Bu oranın yüksek olması, hayvanların sürekli bu yapraklar ile beslenmemesi gerektiği, yaprakların ara ürün olarak değerlendirilmesinin Ca ve P dengesi açısından daha uygun olacağı anlamını taşımaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda Ca/P oranı; söğütte 10.48 [23], elmada 61.00 [26] olarak elde edilmiştir. Ca/P oranına ilişkin elde edilen bulgular, söğütte kısmen uyumlu çıkarken elmada elde edilen bulgudan düşük çıkmıştır.

Potasyum/(kalsiyum+magnezyum) [K/(Ca+Mg)]

Yem bitkilerinde K/(Ca+Mg) oranının 2.2'den düşük olması tavsiye edilmektedir [44], ahır tetanisi bakımından bu oran önemlidir. İncelenen yaprakların K/(Ca+Mg) oranları 0.11-0.52 arasında değişirken, ortalaması 0.36 olarak bulunmuştur. İncelenen yapraklar arasında en yüksek K/(Ca+Mg) değeri şeftali yaprağından (0.52) elde edilirken, bunu sırasıyla elma (0.49) kiraz, ceviz (0,48) yaprakları izlemiştir. En düşük K/(Ca+Mg) oranı ise söğüt yaprağından (0.11) elde edilmiştir (Çizelge 3). Yapılan çalışmada tüm yaprakların K/(Ca+Mg) oranı istenilen oransal değerlerde olduğu görülmüştür. Daha önce yapılan çalışmalarda elmada 1.41 [26] olarak elde edilmiştir. Çalışmada elde etiğimiz K/(Ca+Mg) oranlarına ilişkin bulgu elmada elde edilen literatür bulgusundan düşük çıkmıştır.

Çizelge 3. Bazı ağaç yapraklarına ait potasyum (K), magnezyum (Mg), kalsiyum (Ca), fosfor (P), (Ca/P), K/(Ca+Mg) değerleri ve oluşan gruplar.

Ağaç Türü	**K(%)**	**Mg(%)**	**Ca(%)**	**P(%)**	**Ca/P**	**K/(Ca+Mg)**
Adi Alıç (*Crataegus monogyna*)	0.53^{c}	0.74^{abc}	2.69^{a}	0.28^{bc}	9.62^{b}	0.16^{b}
Kiraz (*Prunus avium*)	1.47^{ab}	0.66^{cd}	2.39^{bcd}	0.33^{bc}	7.34^{cd}	0.48^{a}
Asma (*Vitis vinifera*)	0.61^{c}	0.67^{bcd}	2.35^{cd}	0.52^{a}	4.59^{e}	0.21^{b}
Zerdali (*Prunus armeniaca*)	1.35^{ab}	0.77^{ab}	2.65^{ab}	0.27^{cd}	9.96^{b}	0.39^{a}
Söğüt (*Salix alba*)	0.35^{c}	0.57^{d}	2.60^{abc}	0.21^{d}	12.44^{a}	0.11^{b}
Ceviz (*Junglas regia*)	1.68^{a}	0.80^{a}	2.78^{a}	0.33^{bc}	8.44^{bc}	0.48^{a}
Armut (*Pyrus communis*)	1.07^{b}	0.63^{d}	2.08^{e}	0.27^{cd}	7.92^{cd}	0.39^{a}
Şeftali (*Prunus persica*)	1.57^{a}	0.67^{bcd}	2.39^{bcd}	0.32^{bc}	7.55^{cd}	0.52^{a}
Elma (*Malus communis*)	1.39^{ab}	0.67^{bcd}	2.18^{de}	0.34^{b}	6.58^{d}	0.49^{a}
Ortalama	**1.11**	**0.69**	**2.46**	**0.32**	**8.27**	**0.36**
P	**	**	**	**	**	**

(**): Aynı sütun içerisinde farklı harf grubu ile gösterilen ortalamalar %1 seviyesine göre farklıdır.

4.Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma ile, bölgede çok eski yıllardan beri büyükbaş ve küçükbaş hayvanlara ara öğün olarak yedirilen farklı ağaç yapraklarının (gazellerin) besin içerikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ağaç yapraklarından sırasıyla; en yüksek kalite değerleri kiraz, şeftali, adi alıç ve zerdali yapraklarından, en düşük kalite değeri ise ceviz yaprağından elde edilmiştir. Ülkenin hayvancılık ve bahçecilik faaliyetlerine bakıldığında, Elazığ ilinin önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Yaprakların hayvancılık için ciddi anlamda bir değere sahip olduğu, aynı zamanda meyve bahçeleri için hastalıkların kontrolü açısından dökülen bu yaprakların toplanmasının ve hayvancılığa katkı sunduktan sonra organik gübre olarak tekrardan doğada kullanılmasının iyi bir döngü olacağı, ülkenin ve bölgenin yem açığının olduğu günümüzde hayvanların kaba yem ihtiyacının karşılanmasında alternatif yem kaynağı olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmaktadır.

Kaynaklar

[1] Avcıoğlu, R., H. Soya, H. Kendir, 2010. Meralarımızın Korunma ve Kullanımı. Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi Ankara.

[2] Anonim, 2014. http://www.rapory.tuik.gov.tr Erişim Tarihi: 19/07.2014.

[3] Altın, M., A. Gökkuş, A. Koç, 2011. Çayır ve Mera Yönetimi (1.Cilt) Tarım Köyişleri Bakanlığı TÜGEM, 376 s.

[4] Anonim, 2021. Tarım İl Müdürlüğü Çayır-Mera ve Yem Bitkileri Şb. (E.Tarihi-22.01.2021)

[5] Sayar M.S., Anlarsal A.E., Başbağ M., 2010. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yem bitkileri tarımının mevcut durumu

[6] sorunları ve çözüm önerileri. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 14(2) , 59-67, Şanlıurfa.

[7] Benavídes, J., I. Hernández, J. Ésquivel, J. Vasconcelos, J. González, E. Espinosa, 2002. Supplementation of grazing dairy cattle with mulberry in Costa Rica. (Mulberry for Animal Production. Ed. M.D. Sánchez. FAO Animal Production and health Paper, ISBN:92-5-104568-2), Rome.

[8] Boschini, C.F., 2002. Nutritional quality of mulberry cultivated for ruminant feeding. (Mulberry for Animal Production. Ed. M.D. Sánchez. FAO Animal Production and health Paper. ISBN:92-5-104568-2). Rome.

[9] Devendra, C., 1990. Shrubs and tree fodders for farm animals. Proceedings of a workshop in Denpasar. Indonesia. 24-29 July. 1989. IDRC. Ottawa, Canada

[10] Sanchez, M.D., 2000. Annex 1. Mulberry. An Exceptional forage available almost worldwide. Animal Production and Health Division, FAO, Rome.

[11] Başbağ, M., Çaçan, E., Sayar, M.S., Karan, H. 2018a. Identification of certain agricultural traits and inter-trait relationships in the *Helianthemum ledifolium* (L.) MILLER var. lasiocarpum (Willk.) Bornm. Pakistan Journal of Botany, 50(4): 1369-1373.

[12] Başbağ, M., Çaçan, E., Sayar, M.S., Karan, H. 2018b. Bazı tıbbi ve aromatik bitkilerin yem kalitesi açısından değerlendirilmesi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 5(3): 246-252. doi: 10.19159/tutad.425216

[13] Morrison, J.A., 2003. Hay and pasture management. Chapter 8. Extension Educator, Crop Systems Rockford Extension Center. http://iah.aces.uiuc.edu/pdf/AgronomyHB/ 08chapter.pdf.

[14] Schroeder JW (1994). Interpreting forage analysis. North Dakota State University,

[15] http: // www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/hay /r1080w.htm.

[16] Rohweder, D.A., R.F. Barnes, N. Jorgensen, 1978. Proposed hay grading standart based on laboratory analyses for evaluating quality. Journal of Animal Science, 47: 747-759.

[17] Lacefield GD. 1988. Alfalfa Hay Quality Makes the Difference. University of Kentucky Department of Agronomy AGR-137, Lexington, KY. https://uknowledge.uky.edu/anr_reports/32/ 17 Mart 2022

[18] NRC., 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th edn. NAS-NRC. Washington.

[19] Temel, S., 2007. Erdemli (Mersin) Yöresi Makiliklerindeki Çalı Türlerinin Tespiti Ve Yem Değerlerinin Belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Erzurum.

[20] Kara, K., B.K. Güçlü, E. Baytok, 2015. Comparison of nutrient composition and anti-methanogenic Properties of different Rosaceae species. Journal of Animal and Feed Sciences, 24(4): 308-314.

[21] Jayanegara, A., H.P.S. Makkar, K. Becker, 2009. The use of principal component analysis in identifying and integrating variables related to forage quality and methane production. J. Indonesian Trop. Anim. Agric, 34(4): 241-247.

[22] Oruç, A., M. Avcı, 2018. Bazı kaba yemlere farklı seviyelerde ilave edilen söğüt ağacı (*Salix alba*) yaprağının in vitro sindirim ve metan oluşumu üzerine etkisi. Harran Üniv. Vet. Fak. Dergisi, 7(1): 60-66.

[23] Basyony, M.M., I.A.E.G. Erman, R.M.A. Dohreig, 2018. Evaluation of Egyptian tree willow (*Salix safsafs*) leaves and its feeding affect on productive performance of New Zealand white rabbits. Egyptian Journal of Rabbit Science, 28 (1): 39-62.

[24] Nabi, S., K.N. Qaisar, P.A. Khan, S.A. Rather, B. Nabi, 2018. Seasonal nutrient profile of some preferred fodder tree species of Kashmir Valley. International Journal of Chemical Studies, 6(1): 1311-1314.

[25] Martin, B., 2019. The suitability of willow trees as animal forage and their application in Zoological Institutions. A Thesis Presented to The University of Guelph in Partial fulfillment of requirements for the degree of Master of Science in Animal Biosciences Guelph. Ontario, Canada.

[26] Nahand, M.K., R.S. Doust-Nobar, N. Mahari-Sis, R. Bady-Sar, S. Mahmoudi, A. Aali, 2011. Determining the Nutritional Value of Apple Tree Leaves for Ruminants Using the Nylon Bags Technique. International Journal of Animal and Veterinary Advances, 3(2): 87-90.

[27] Temel, S., M. Pehluvan, 2015. Evaluating orchard and poplar leaves during autumn as an alternative fodder source for livestock feding. Cien. Inv. Agr. 42(1):27-33.

[28] Gourlie, S., 2016. Apple leaves and bark as forage items for zoo managed monogastric herbivores. A thesis presented to The University of Guelph in Partial fulfillment of requirements for the degree of Masters of Science in Animal Biosciences. Guelph, Ontario, Canada.

[29] Nahand, M.K., R.S. Doust-Nobar, N. Mahari-Sis, S. Mahmoudi, 2012. Determination of feed value of cherry, apricot and almost tree leaves in ruminant using in situ method. Open Veterinary Journal, 2: 83-87.

[30] Kok, D., E. Ates, I. Korkutal, E. Bahar, 2007. Forage and nutritive value of the pruning residues (leaves plus summer lateral shoots) of four grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars at grape harvest and two post-harvest dates. Spanish Journal of Agricultural Research, (4): 517-521.

[31] Niazi, M.R., G. Habib, M.M. Siddiqui, 1999. Nutrient composition and vitro digestibility of leaves of some wild and cultivated trees of Balochistan for ruminant livestock. The Pakistan Journal of Forestry. 49(1-4).
[32] Salem, A.Z.M., Z. Chuan-she, T. Zhi-liang, M. Mellado, M.C. Salazar, M.M.M.Y., Elghandopur, N.E. Odongo, 2013. In vitro Ruminal Gas Production Kinetics of Four Fodder Trees Ensiled Withor Without Molasses and Urea. Journal of Integrative Agriculture, 12(7): 1234-1242
[33] Khan, S., K. Anvar, K. Kalim, A. Saeed, S.Z. Shah, Z. Ahmad, H.M. Ikram, S. Khan, Safirullah 2014. Nutritional evaluation of some top fodder tree leaves and shrubs of district Dir (Lower), Pakistan as a quality livestock feed. Int. J. Curr. Microbiol. APP. Sci, 3(5): 941-947.
[34] Van Soest P. J., 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant (2nd Ed.). p. 528. Cornell University Press. Ithaca. N.Y.
[35] Kutlu, H.R., 2008. Yem Değerlendirme ve Analiz Yöntemleri. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Ders Notu., Adana.
[36] Sayar, M.S., Han, Y. Yolcu H, Yücel, H. 2014. Yield and quality traits of some perennial forages as both sole crops and intercropping mixtures under irrigated conditions. Turkish Journal of Field Crops, 19(1): 59-65.
[37] Anonim, 2019a. https://nutrilab.com.tr/tr/laboratuvar/analiz-Parametreleri-11/ (E.T. 02.09.2019)
[38] Yavuz M., 2005. Bazı ruminant yemlerinin nispi yem değeri ve in vitro sindirim değerlerininbelirlenmesi. Gazi-osmanpaşa Üniversitesi ZiraatFakültesi Dergisi 22 (1): 97-101.
[39] Jayanegara, A., Ridla, M., Nahrovi., Laconi,E.B. 2019. Estimation and validation of total digestible nutrient values of forage and concentrate feedstuffs IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 546, Issue 4
[40] Anonim, 2019b. http://www.asctarim.com.tr/tr/bilgi_bankasi/Mineraller_ve_Önemi (E.04.09.2019)
[41] Küçükersan, S., 2022.https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/26496/mod_resource/content/1/CAYIR-MERA-YESIL-YEMLER-.pdf 07.06.2022
[42] Ensminger M.E., Oldfield J.E., Heinemann W.W. 1990. Feeds & Nutrition, second ed., The Ensminger Publishing Company, California, U.S.A., p: 890.
[43] Başbağ, M., Çaçan, E., Aydın, A., Sayar M.S**.** 2011. Güneydoğu Anadolu Bölgesi doğal alanlarından toplanan bazı fiğ türlerinin ot yönünden kalite özelliklerinin belirlenmesi. Uluslararası Katılımlı I. Ali Numan Kıraç Tarım Kongresi ve Fuarı 27-30 Nisan 2011, Poster Bildiri, Cilt: 1, s: 143-152, Eskişehir.
[44] Anonim, 2019c. http://www.akdenizmineral.com.tr/tarimhayvancilik/ (E.T. 04.09.2019)
[45] Açıkgöz, E., 2001. Yem Bitkileri. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No: 182, Bursa, 584s.
[46] Kidambi, S.P., A.G. Matches, T.C. Griggs, 1989. Variability for Ca, Mg, K, Cu, Zn and K/(Ca+Mg) ratio among 3 wheat grasses and sainfoin on the southern high Plains. Journal of Range Management, 42: 316-322.

Fırat Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi

Telif Hakkı Devir Formu / Copyright Form

Biz aşağıda gerekli bilgileri bulunan,

[Yazarların Adı / Author names]
.....
.....tarafımızdan yazılmış,
[Makale Adı / Article title]
.....
.....
.....
başlıklı makale içeriği, sunduğu sonuç, bilgi, bulgu ve yorumları konusunda, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü'nün hiç bir sorumluluk taşımadığını kabul ederiz.

Sunduğumuz makalenin orijinal olduğunu; herhangi bir başka dergiye yayınlanmak üzere gönderilmediğini; daha önce yayınlanmadığını; tümüyle yada bir bölümü herhangi bir kongre/sempozyum da sunulup fakat tam metin olarak basılmadığını ve orijinal telif hakkı devri formu ile birlikte Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü'ne gönderildiğini garanti ederiz.

Makalenin telif hakkından feragat etmeyi kabul ederek sorumluluğu üstlenir ve imza ederiz. Bu vesileyle makalenin telif hakkı Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü' ne devredilmiştir. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü makalenin yayınlanabilmesi konusunda yetkili kılınmıştır. Bununla birlikte yazarların aşağıdaki hakları saklıdır:

Aşağıdaki ve diğer bütün durumlarda makalenin Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi tarafından yayınlandığına dair referans verilmelidir.

1. Telif Hakkı dışında kalan patent v.b. bütün tescil edilmiş haklar.
2. Makaleyi satmamak koşulu ile kendi amaçları için çoğaltma hakkı.
3. Yazarın gelecekteki kitaplar ve dersler gibi çalışmalarında; makalenin tümü ya da bir bölümünü ücret ödemeksizin kullanma hakkı.

Bütün yazarlar tarafından imzalanması gerekiyor: (Sorumlu yazar/Corresponding author*)

Yazarın Adı ve Soyadı / Author Names	İmzası / Signature	Tarih / Date
1 ……		….
2 ……		
3 ……		
4 ……		
5 ……		

NOT: Eksik imza durumunda sorumluluk imzalayan yazarlara aittir. Lütfen formu doldurunuz, imzalayanız ve aşağıdaki adrese metinle birlikte gönderiniz.
Adres: Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Editörlüğü, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 23119-Elazığ.