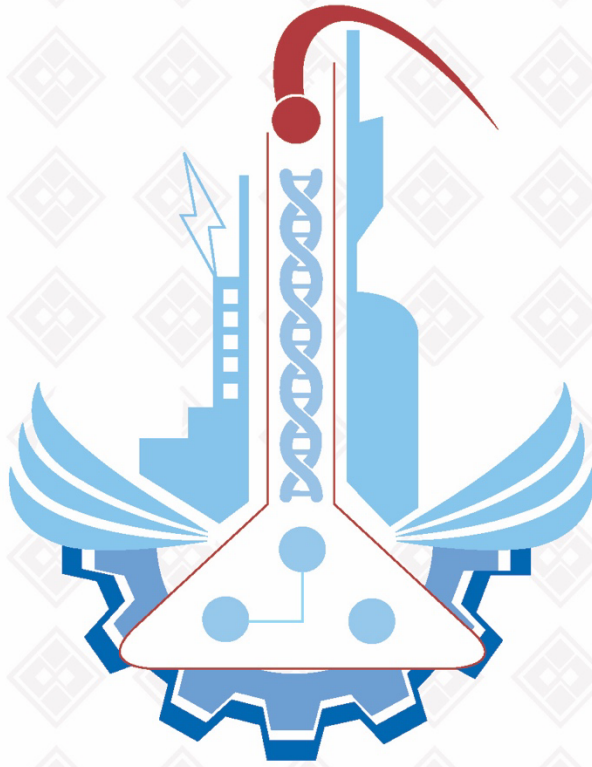


ISSN: 1308-9072

Cilt: 33 / Sayı: 2 / Yıl: 2021

FIRAT ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ



Fırat Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi (MBD)
Cilt:33, Sayı:2, Yıl: 2021
ISSN: 1308 - 9072

İletişim

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

Doç. 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 EFEOĞLU	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 GULDEMİR	F.Ü.Tek. Elekt-Elktr. Müh.	Nilgün GULEC	O.D.T.Ü. Jeoloji Müh.

Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi (MBD)
33-2, 2021

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

- 1. Karaciğer Yetmezliği Teşhisinde Özellik Seçimi Kullanarak Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Başarılarının Ölçülmesi**
Measuring the Success of Machine Learning Methods Using Feature Selection in Diagnosis of Liver Failure
Emre SAYGIN, Muhammet BAYKARA 367-377
- 2. 24 Ocak 2020 Sivrice Depremi Sonrasında Elazığ İlinde Bulunan Minarelerde Meydana Gelen Hasarların Araştırılması ve Değerlendirilmesi**
Investigation and Assessment of Damages in the Minarets Existing at Elazığ After 24 January 2020 Sivrice Earthquake
Musa YETKİN, İbrahim Özgür DEDEOĞLU, Yusuf CALAYIR 379-389
- 3. Kızılcığın Kurutma Karakteristiklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Enerji Gerekliğinin Belirlenmesi**
Experimental Investigation of Drying Characteristics of Cornelian Cherry Fruit and Determination of Energy Requirement
Filiz ÖZGEN 391-400
- 4. Al₂O₃-Su Nanoakışkanının Manyetik Alan Altında Akış Karakteristiklerinin Sayısal Analizi**
Numerical Analysis of Flow Characteristics of Al₂O₃-Water Nanofluid Under Magnetic Field
Murat ERDEM, Müjdat FIRAT, Yasin VAROL 401-412
- 5. Traverten Artıklarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması**
Investigation of Usability of Travertine Waste as Concrete Aggregate
Uğur KIZILTEPE, Yuşa ŞAHİN 413-420
- 6. 1040 Kalite Çeliğin Korozyon Davranışına Farklı Oranlarda İlave Edilen Borun Etkisi**
Effect of Boron Addition on Corrosive Wear Behaviour of AISI 1040 Steel
Engin ÇEVİK, Ferhat SARIÇAM 421-430
- 7. PLD Yöntemiyle Kaplanmış Bakır Oksit İçerikli Hidroksiapatit İnce Filmin Aşınma ve Korozyon Davranışı**
Wear and Corrosion Behaviour of Copper Oxide Doped Hydroxyapatite Thin Film Layer Coated by PLD
S. Yenal VANGÖLÜ 431-440
- 8. Timpanik Membran Görüntü Özellikleri Kullanılarak Sınıflandırılması**
Classification of Tympanic Membrane Using Image Features
Erdal BAŞARAN, Zafer CÖMERT, Yüksel ÇELİK 441-453
- 9. Derin Yapay Sinir Ağları Kullanan Dinamik Bulanık Bilişsel Haritalarla Çoklu Görüde Nesne Takibi**
Multi-View Object Tracking with Dynamic Fuzzy Cognitive Maps Using Deep Neural Networks
Turan Göktuğ ALTUNDOĞAN, Mehmet KARAKÖSE 455-470
- 10. Siber Olaylara Müdahale ve Analiz Süreci**
Cyber Incident Response and Process of Analysis
Muharrem Tuncay GENÇOĞLU, Çağlar SERT 471-479

11. Cu Elementinin Mekanik Özelliklerine Tek Eksenli Çekme Zorlanmasının Etkisi: Moleküler Dinamik Yöntemi <i>The Effect of Uniaxial Tensile Strain on the Mechanical Properties of Cu Element: Molecular Dynamics Method</i> Sefa KAZANÇ, Canan Aksu CANBAY	481-490
12. Manyetik Aktif Karbon ile Modifiye Edilmiş Bitümün Fiziksel ve Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi <i>Investigation of Physical and Rheological Properties of Magnetic Activated Carbon Modified Bitumen</i> Bahadır YILMAZ	491-505
13. Naldöken Civarındaki Guleman Ofiyolitine Ait Magmatik Kayaçların Jeokimyası (GD Elazığ, D Türkiye) <i>Geochemistry of the Magmatic Rocks of Guleman Ophiolite Around Naldöken (SE Elazığ, E Turkey)</i> Esra YILDIRIM, İlker KARABULUT	507-517
14. Türkçe Haber Metinlerinin Çok Terimli Naive Bayes Algoritması Kullanılarak Sınıflandırılması <i>Classification of Turkish News Texts with Multinomial Naive Bayes Algorithm</i> Emrah AYDEMİR, Murat IŞIK, Türker TUNCER	519-526
15. Mühendislikte Etik <i>Ethics in Engineering</i> R. Tuğrul OĞULATA	527-536
16. Sıcak Karışım Asfalt Kaplamanın Su Hasarı Direnci Üzerinde RET Katkısının Etkisi <i>The Effect of RET Additive on the Water Damage Resistance of Hot Mix Asphalt</i> Tacettin GEÇKİL, Maksut SELOĞLU, Ceren Beyza İNCE	537-546
17. Kanser Teşhisinde Protein Haritalama Tekniklerinin Başarımlarının Derin Öğrenme Kullanılarak Karşılaştırılması <i>Comparing the Performance of Protein Mapping Techniques in Cancer Diagnosis Using Deep Learning</i> Talha Burak ALAKUŞ, İbrahim TÜRKÖĞLU	547-565
18. Tekrar Doldurulabilir Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynaklı 6061-T6 Alüminyum Alaşımli Bağlantıların Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi <i>Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of Refill Friction Stir Spot Welded 6061-T6 Aluminum Alloy Joints</i> Mustafa AY, Kürşat DEMİR, Furkan SARSILMAZ	567-578
19. Genleştirilmiş Cam Agregalı Harçlarda Alkali Silika Reaksiyonu'nun (ASR) İncelenmesi <i>Investigation of Alkali Silica Reaction (ASR) of Mortar with Expanded Glass Aggregate</i> Yusuf Tahir ALTUNCI, Cenk ÖCAL, Kemal SAPLIOĞLU, Hüseyin Hakan İNCE, Murat ÇEVİKBAŞ	579-586
20. Demiryolu Bağlantı Elemanları için Anahtar Noktalar ve Görsel Kelime Çantası Tabanlı Kusur Tespit Yöntemi <i>Key points and Bag of Visual Words Based Defect Detection Method for Railway Fasteners</i> İlhan AYDIN, Emre GÜÇLÜ, Erhan AKIN	587-597
21. Türkçe Metinlerde Otomatik Konu Tespiti <i>Automatic Topic Detection on Turkish Text</i> Galip AYDIN, İbrahim R. HALLAÇ	599-606

22. Derin Öğrenme ile Optik Koherens Tomografi Görüntülerinin Sınıflandırılması <i>Classification of Optical Coherence Tomography Images via Deep Learning</i> Numan Halit GÜLDEMİR, Ahmet ALKAN	607-615
23. Derin Öğrenme Tabanlı Yaklaşımla Kötü Huylu Deri Kanserinin Dermatoskopik Görüntülerden Saptanması <i>Detection of Malignant Skin Cancer from Dermatoscopic Images with Deep Learning Based Approach</i> Fatih DEMİR	617-624
24. Salımlı Kaotik Ayçiçeği Optimizasyon Algoritması <i>Oscillating Chaotic Sunflower Optimization Algorithm</i> Suna YILDIRIM, Güngör YILDIRIM, Bilal ALATAŞ	625-634
25. Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası İzleme Kontrolünün Farklı Yöntemler Üzerinden Karşılaştırmalı Analizi <i>Comparative Analysis of Maximum Power Point Tracking Control Through Different Methods in Wind Energy Conversion Systems</i> Hasan Bektaş PERÇİN, Abuzer ÇALIŞKAN	635-644
26. Ön İşlem Uygulanmış Alg Biyokütlesinin Mikrobiyal Yakıt Hücresinde Elektrik Üretim Performansının Araştırılması <i>Investigation of Electricity Generation Performance of Pretreated Algal Biomass in Microbial Fuel Cell</i> Muhammed Fatih HASAR, Ergin TAŞKAN	645-654
27. Kaotik Bir Sistemin Kararlılık Sınır Eğrileri Yöntemi Kullanılarak PI Kontrolör ile Kontrolü <i>Control of a Chaotic System with PI Controller by Using Stability Boundary Locus Method</i> Hatice GÖVERCİN, Vedat ÇELİK	655-666
28. $Q_2^3 \subset E_2^4$ Lightlike Koni 3-Uzayında Null Eğrilerin Elastik Olmayan Akış (Inextensible Flow) Eğrileri <i>The Inextensible Flows of Null Curves in the Lightlike Cone $Q_2^3 \subset E_2^4$</i> Fatma ALMAZ, Mihriban ALYAMAÇ KÜLAHÇI	667-673
29. Ön Eğitilmiş Dil Modelleri Kullanarak Türkçe Tweetlerden Cinsiyet Tespiti <i>Gender Identification from Turkish Tweets Using Pre-Trained Language Models</i> İlhami SEL, Davut HANBAY	675-684
30. Krom (III) Klorür Tuzuna Maruz Kalan <i>Saccharomyces cerevisiae</i> 'nin Stres Yanıtı <i>Response Stres of Saccharomyces cerevisiae Exposed to Chromium (III) Chloride Salt</i> Ebru ÇÖTELİ, Fikret KARATAŞ, Seher GÜR	685-695
31. Kadmiyumla Stres Oluşturulan <i>Citrobacter freundii</i> 'nin Vitamin İçeriği ve Stres Belirteçlerine Selenyumun Etkisi <i>The effect of selenium on the vitamin content and stress biomarkers on the stress induced by cadmium of Citrobacter freundii</i> Muhammad Salihu İBRAHİM, Meltem ÇAKMAK, Dursun ÖZER, Fikret KARATAŞ, Sinan SAYDAM	697-707
32. Makine Öğrenmesi Metotları Kullanarak Krom III Kaplama Banyosunun Örtme Gücünün Tahmin Edilmesi <i>Prediction of Covering Power of Chromium III Plating Bath Using Machine Learning Methods</i> Ramazan Katirci, Hidayet Takçı	709-719

- 33. Global Optimizasyon için Yeni Bir Hibrit Yöntem: Kaya Kartalı Optimizasyonu-Tanjant Arama Algoritması**
A Novel Hybrid Method for Global Optimization: Aquila Optimizer - Tangent Search Algorithm
Sinem AKYOL 721-733
- 34. Yüz İmgelerinden Göz Bölgelerinin Tespitinde ESA Tabanlı Alternatif Bir Yaklaşım**
An Alternative Approach Based On CNN for Detecting Eye Areas from Facial Images
Kenan DONUK, Ali ARI, Davut HANBAY 735-743
- 35. Çevrimiçi Sosyal Ağlarda Nefret Söylemi Tespiti için Yapay Zeka Temelli Algoritmaların Performans Değerlendirmesi**
Performance Assessment of Artificial Intelligence-Based Algorithms for Hate Speech Detection in Online Social Networks
Cem BAYDOĞAN, Bilal ALATAŞ 745-754
- 36. Elektrikli Araçlar İçin Lityum İyon Bataryaların Modellenmesi**
Modelling of Lithium Ion Batteries for Electric Vehicles
Muhammed Sefa ÇETİN, Barış KARAKAYA, Muhsin Tunay GENÇOĞLU 755-763

Karaciğer Yetmezliği Teşhisinde Özellik Seçimi Kullanarak Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Başarılarının Ölçülmesi

Emre SAYGIN^{1*}, Muhammet BAYKARA²

¹ Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Yazılım Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ emresaygin@hotmail.com.tr, ² mbaykara@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 27/11/2020;

Kabul/Accepted: 21/03/2021)

Öz: Karaciğer, vücudumuzda pek çok fizyolojik ve metabolik süreçte hayati görevler üstlenir. Karaciğer eksikliği ya da karaciğerin işlevsel bozuklukları sağlık sorunlarına ve nihayetinde hastalıklara yol açmaktadır. Karaciğer hastalıklarının erken dönemde teşhisi, gereksiz ilaç kullanımını azaltarak hem tedavi süresinin kısaltılmasında hem de karaciğer tahribatının engellenmesinde etkili olabilmektedir. Gelişen teknoloji ile beraber tıp dünyasında makine öğrenmesi yöntemleri hastalıkların teşhisinde büyük bir başarı sağlamaktadır. Bu çalışmada, karaciğer hastalıklarının erken teşhis edilmesinde kullanılması için sarmal (wrapper) özellik seçimi yöntemlerinden İleri Yönde Seçim (SFS) ile veri setinde bulunan en önemli öz nitelikler belirlenmiştir. Belirlenen önemli öz nitelikler üzerinde makine öğrenmesi yöntemleri uygulanarak karaciğer yetmezliği hastalığı teşhis başarıları ölçülmüştür. Makine öğrenmesi yöntemlerinde model iyileştirilmesi yapılarak hastalık teşhis başarıları artırılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürde bu veri seti ile yapılan diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Indian Liver Patient Dataset (ILPD) üzerinde karaciğer yetmezliği hastalığının tahmini için; Destek Vektör Makinası (SVM), Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), Karar Ağaçları (DT), Lojistik Regresyon (LR) ve Hafif Gradyan Güçlendirme Makinesi Sınıflandırıcısı (LGBM) yöntemleri kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerde en yüksek teşhis başarıları sırasıyla; LGBM %82.12, MLP %81.13, DT %81.13, SVM %77.87 ve LR %77.80 olarak elde edilmiştir. Sonuçlar literatürdeki çalışmalarla kıyas edildiğinde tatmin edici olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen modellerin karaciğer hastalığının erken teşhisinde hekimlere destek olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Makine öğrenmesi, karaciğer yetmezliği teşhisi, sınıflandırma, ILPD.

Measuring the Success of Machine Learning Methods Using Feature Selection in Diagnosis of Liver Failure

Abstract: The liver plays vital roles in many physiological and metabolic processes in our body. Liver deficiency or functional disorders of the liver lead to health problems and ultimately disease. Early diagnosis of liver diseases can be effective in shortening the treatment period and preventing liver damage by reducing unnecessary drug use. With the developing technology, machine learning methods in the medical world provide great success in diagnosing diseases. In this study, for detection of liver failure disease the most important attributes of the data set were determined with Forward Selection (SFS), one of the wrapper feature selection methods, to be used in the early diagnosis of liver diseases. The success of disease diagnosis has been increased by improving the model in machine learning methods. The results obtained were compared with other studies conducted with this data set in the literature. Diagnostic success of liver failure disease was measured by applying machine learning methods on the on Indian Liver Patient Dataset (ILPD); Support Vector Machine (SVM), Multilayer Perception (MLP), Decision Trees (DT), Logistic Regression (LR) and Light Gradient Reinforcement Machine Classifier (LGBM) methods were used. The highest diagnostic success in the methods used, respectively; LGBM was 82.12%, MLP 81.13%, DT 81.13%, SVM 77.87% and LR 77.80%. The results were considered satisfactory when compared with the studies in the literature. It is thought that the models obtained can support physicians in the early diagnosis of liver disease.

Key words: Machine learning, diagnosis of liver failure, classification, ILPD.

1. Giriş

Karaciğer diğer organlara göre daha fazla görev yapan, hacim olarak en büyük ve en önemli organımızdır. Karaciğer hastalıklarının teşhis edilmesinde karaciğer enzimleri büyük bir öneme sahiptir. Karaciğer denildiğinde akla ilk gelen enzimler Alanin Aminotransferaz (SGPT) (=ALT) ve Aspartat Aminotransferaz (SGOT)

* Sorumlu yazar: emresaygin@hotmail.com.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-7462-2011, ² 0000-0001-5223-1343

(=AST)'dır. Sigara kullanımı ve alkol tüketimi gibi alışkanlıklar karaciğer hastalıklarını tetikleyerek bu enzimlerin yükselmesinde rol oynamaktadır [1].

Diyabet, Hepatit B, Hepatit C gibi bazı hastalıklar karaciğerde hasar oluşturarak karaciğer yetmezliğine yol açar. Karaciğer hasarına yol açan hastalıklar tedavi edilmediği takdirde karaciğer yapısı zamanla bozulur ve karaciğer zamanla işlevini yerine getirememeye başlar. Aşırı derecede hasar alan ve doğal yapısı bozulan karaciğerin tedavisi mümkün olmadığından bu durumda organ nakline ihtiyaç duyulmakta veya ölümler görülebilmektedir [2].

Makineleşmenin ve teknolojinin gelişmesiyle makine öğrenmesi birçok alanda kullanılmaktadır. Makine öğrenmesi yöntemleri aracılığıyla, dijital ortamlarda depolanan anlamlı veya anlamsız veriler bir bütün olarak ele alındığında anlamlı sonuçlar üretilebilmektedir. Makine öğrenmesi yöntemleri, bu veriler üzerinde istatistiksel ve matematiksel yöntemler kullanarak bir sayısal öğrenme üzerinden model oluşturur. Makine öğrenmesi yöntemleri oluşturulan model üzerinden bir tahminde bulunur. Tahmin başarısı oluşturulan modelle doğrudan ilişkilidir.

Veri setlerinde birden fazla öznelik bulunmaktadır. Özneliklerin uyumu, sınıflandırma algoritmalarının modelleme süreçlerinde çok önemli bir yere sahiptir. Bazı durumlarda gereksiz öznelikler modelin performansına bir katkı sağlamazken bazen de modelin performansını düşürmektedir. Öznelik seçme yöntemleri ile veri seti içinde en yararlı öznelikler seçilerek makine öğrenmesi sınıflandırma modelleri oluşturmada kullanılmaktadır.

Bu çalışmada ILPD veri seti üzerinde özellik seçimi için, sarmalayıcı (wrapper) yöntemlerinden olan ileri doğru seçim yöntemi kullanılmıştır. Özellik seçimi sonrasında elde edilen en önemli öznelikler kullanılarak, karaciğer yetmezliği hastalığı teşhisi için SVM, MLP, DT, LR ve LGBM makine öğrenmesi yöntemleri ile teşhis başarıları ölçülmüştür. Teşhis başarısı, makine öğrenmesi yöntemleri ile kurulan modellerde kullanılan hiper parametreler ile artırılmıştır.

Bu çalışma, kısaca dört aşamada karaciğer yetmezliği hastalığının tahmin doğruluğunu iyileştirmek için hibrid bir model ve karşılaştırılmalı bir analiz sunmaktadır. Birinci aşamada sınıflandırma algoritmaları veri setine uygulanır. İkinci aşamada özellik seçimi ile veri setinden önemli öz nitelikler seçilir ve bu önemli öz nitelikler kullanılarak veri setinin bir alt kümesi oluşturulur. Oluşturulan alt kümeye sınıflandırma algoritmaları uygulanır. Üçüncü aşamada, ikinci aşamada uygulanan sınıflandırma algoritmalarında model iyileştirilmesi yapılarak modeller yeniden kurulur, doğruluk performansları artırılır ve ilk üç aşamanın karaciğer hastalığı tahmin doğruluğu performansları karşılaştırılır. Dördüncü aşamada ise model iyileştirilmesi uygulanmış sınıflandırma algoritmalarının doğruluk performans sonuçları ile literatürde bu çalışmada kullanılan veri seti ile yapılan çalışmaların sonuçları karşılaştırılmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde bu alanda yapılan ilgili çalışmalar, üçüncü bölümünde veri seti ve makine öğrenmesi yöntemlerinin nasıl kullanıldığı ve model iyileştirilmesi hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde ise bu çalışmada kullanılan veri seti kullanılarak yapılan çalışmaların sonuçları ile bu çalışmanın sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. İlgili Çalışmalar

Karaciğer hastalıkları konusunda birçok veri seti üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu kısımda konu ile ilgili literatürde öne çıkan bazı önemli çalışmalar özetlenmiştir.

Mamdouh ve Mabrouk [2] Diabetes, BUPA ve ILPD veri setleri üzerinde diyabet ve kronik karaciğer hastalığı teşhisinde SVM yöntemini, MATLAB çalışma ortamında modellemişlerdir. BUPA veri setinin ilk 4 özneliği ile yapılan teşhiste %63, ilk 6 öznelik ile %70, ilk 8 öznelik ile %70 oranında başarı göstermişlerdir. ILPD veri seti üzerinde ise veri setinin ilk 4 özneliği ile yapılan teşhiste %71, ilk 6 öznelik ile %73, ilk 8 öznelik ile %73.2 oranında başarı gösterdiğini belirtmişlerdir.

Gulia ve arkadaşları [3] ILPD veri seti üzerinde karaciğer hastalığı teşhisi için J48, MLP, SVM, Random Forest (RF) ve Bayes Net makine öğrenmesi yöntemlerini kullanmışlardır. Birinci aşamada veri seti üzerinde öznelik seçmeden, veri setinin orijinal haliyle teşhis başarı ölçümleri yapmışlardır. Birinci aşamada en yüksek teşhis başarısını %71.35 oran ile SVM sınıflandırma yönteminden elde etmişlerdir. Diğer algoritmaların sırasıyla RF %70.32, J48 %68.78, MLP %68.26 ve Bayes Net %67.23 başarı gösterdiğini belirtmişlerdir. İkinci aşamada, veri setinde Greedy Stepwise (Açgözlü algoritması) özellik seçimi kullanılması ile önemli özellikleri içeren öz nitelikleri belirlemişlerdir. Önemli öz niteliklerin *Total Bilirubin*, *Direct Bilirubin*, *Total Proteins*, *Albumin* ve *A/G oranı* olduğunu ifade etmişlerdir. İkinci aşamada RF algoritmasının doğruluğu %71,86 oran ile tespit edilmiştir. Diğer yöntemler sırasıyla SVM %71.35, MLP %70.84, J48 %70.66 ve Bayes Net %69.12 oranında başarı göstermişlerdir.

Alkuşak ve Gök [4] BUPA ve ILPD veri setleri üzerinde karaciğer yetmezliği teşhisi için YSA, RF, Functional Tree ve Radial Based Functional makine öğrenmesi yöntemlerini kullanmışlardır. BUPA verilerini %86.95'i eğitim (300 örnek), %13.05 'ini (45 örnek) test olarak kullanmışlardır. ILPD veri seti için %87.48'i (510 örnek) eğitim, %12.52'sini (73 örnek) test için kullanmışlardır. YSA'yı MATLAB ortamında, diğer yöntemleri WEKA aracında test etmişlerdir. Analizlerde WEKA'da kullandıkları yöntemler için 10-kat çapraz doğrulama test tekniği ve YSA için 10 gizli katman ve ileri beslemeli nöron ağı kullanmışlardır. Bu çalışma sonucunda en yüksek teşhis başarısı YSA ile BUPA veri seti için %76, ILPD veri seti için %78 olmuştur.

Priya ve arkadaşları [5] ILPD veri setini iki farklı aşamada değerlendirmişlerdir. Tahmin doğruluğunu iyileştirmek için bir özellik modeli ve karşılaştırmalı analiz uygulamışlardır. Birinci aşamada, orijinal veri setine minimum maksimum normalizasyon filtresi uygulamışlardır. İkinci aşamada, veri setinde PSO (Parçaçık Sürü Optimizasyonu) özellik seçimi kullanılması ile önemli özellikleri içeren öz nitelikleri belirlemişlerdir. Önemli öz niteliklerin *Total Bilirubin*, *Direct Bilirubin*, *Total Protiens*, *Albumin*, *A/G oranı*, *SGPT*, *SGOT* ve *Alkphos* olduğunu belirtmişlerdir. Birinci aşamada Bayes Net, %74.25 doğruluk oranı ile en başarılı yöntem olmuştur. Diğer yöntemlerde sırasıyla J48 %73.33, SVM %71.45, MLP %69.23 ve RF ile %68.44 oranında başarı elde etmişlerdir. İkinci aşamada J48 yöntemi %95.04 oran ile en başarılı algoritma olmuştur. İlgili çalışmada Bayes Net %90.33, RF %80.22, MLP %77.54 ve SVM %73.44 oranında başarı göstermiştir.

Alice [6] ILPD veri seti üzerinde karaciğer yetmezliği teşhisi için DT, Naive Bayes, RF, SVM ve YSA makine öğrenmesi yöntemlerini uygulamıştır. Çalışmada R programlama dili kullanılmıştır. En yüksek teşhis başarısı %81 ile DT algoritmasından elde edilmiştir. Diğer yöntemlerden RF %77, SVM %77, ANN %71 ve Naive Bayes %37 oranında başarı göstermiştir.

Venkata ve arkadaşları [7] tıbbi veri setlerinde makine öğrenmesi yöntemlerinin başarı oranlarını incelemişlerdir. Seçilen tıbbi veri kümeleri Göğüs Kanseri Verileri, Kronik Böbrek Hastalığı, Kriyoterapi, Hepatit, İmmünoterapi ve ILPD'dir. Veri kümelerini Naive Bayes, J48, MLP, JRip, IBk ve Bagging makine öğrenmesi yöntemleri ile analiz etmişlerdir. Çalışmalarında 10 kat çapraz doğrulama kullanmışlardır. ILPD veri setinde en yüksek teşhis başarısını %69.30 oran ile Bagging yönteminden elde etmişlerdir. Diğer yöntemlerde sırası ile MLP %68.95, J48 %68.78, Jrip %66.38, IBk %64.49 ve Native Bayes'de %55.75 oranında başarı elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Jagdeep ve arkadaşları [8] sınıflandırma ve özellik seçme tekniğini kullanarak bir yazılım mühendisliği yaklaşımına dayalı olarak karaciğer hastalığını tahmin etmeye odaklanmışlardır. Akıllı karaciğer hastalığı tahmin yazılımının (ILDPS) geliştirilmesi, yazılım mühendisliği modeline dayalı özellik seçimi ve sınıflandırma tahmin teknikleri kullanılarak yapılmıştır. ILPD veri seti üzerinde doğruluğu bulmak için LR, SMO, RF, Naive Bayes, J48 ve IBk makine öğrenmesi yöntemlerini uygulamışlardır. Veri setini iki aşamada değerlendirmişlerdir. Birinci aşamada veri seti üzerinde öznitelik seçmeden, veri setinin orijinal haliyle teşhis başarı ölçümleri yapmışlardır. İkinci aşamada, veri setinde Greedy Stepwise özellik seçimi algoritması ile önemli özellikleri içeren öz nitelikleri belirlemişlerdir. Önemli öz niteliklerin *Total Bilirubin*, *Direct Bilirubin*, *Alkphos*, *SGPT* ve *SGOT* olduğunu belirtmişlerdir. Doğruluk oranlarını 10 kat çapraz doğrulama ile test etmişlerdir. Birinci aşamada en yüksek teşhis başarısını %72.53 oran ile RF makine öğrenmesi yönteminden elde etmişlerdir. Diğer yöntemlerden LR %72.50, SMO %71.35, J48 %68.78, IBk %64.15 ve Naive Bayes'de %55.74 oranında başarı gösterdiğini belirtmişlerdir. İkinci aşamada en yüksek teşhis başarısı %73.36 oran ile LR makine öğrenmesi yönteminden elde etmişlerdir. Diğer yöntemlerde RF %71.87, SMO %71.36, J48 %70.67, IBk %67.41 ve Naive Bayes'de %55.90 oranında başarı elde etmişlerdir. Önerilen ILDPS'ye çevrimiçi olarak <https://gndec.ac.in/~jagdeepmalhi/ildps/> adresinden ücretsiz olarak erişilebilir.

Joel ve arkadaşları [9] ILPD veri setleri üzerinde karaciğer yetmezliği teşhisi için LR, SVM, K En Yakın Komşu (K-NN) ve YSA makine öğrenmesi yöntemlerini kullanmışlardır. En yüksek doğruluğa sahip modeli, Python'da Tkinter paketi kullanılarak bir Grafik Kullanıcı Arayüzü (GUI) olarak sunmuşlardır. En yüksek teşhis başarısı %92.80 oranı ile ANN makine öğrenmesi yönteminden elde edilmiştir. Diğer yöntemlerden SVM %75.04, LR %73.23 ve K-NN %72.05 oranında başarı göstermiştir. YSA'da değişken olarak giriş sayısı 10, gizli katman sayısı 2, birinci gizli katmandaki nöron sayısı 400, ikinci gizli katmandaki nöron sayısı 400 olarak ayarlanmıştır.

Aytürk Keleş ve arkadaşları [10] ILPD veri seti üzerinde karaciğer yetmezliği teşhisi için J48, Decision Stump, Lojistik Model Ağacı (LMT), REP Tree, Hoeffding Tree, IBk, RF ve RT makine öğrenmesi yöntemlerini kullanmışlardır. En yüksek teşhis başarısı %81.9 oranı ile RF makine öğrenmesi yönteminden elde edilmiştir.

Diğer yöntemlerden IBk %81.60, J48 %74.40, RT %73.80, LMT %73.80, REP Tree %71.30, Hoeffding Tree %69.10 ve Decision Stump %67.1 oranında başarı göstermiştir.

3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada karaciğer yetmezliği hastalığının teşhisi için UCI makine öğrenmesi havuzunda araştırmalar için paylaşılan ILPD veri seti kullanılmıştır. ILPD veri seti içerisinde 583 örnek bulunmaktadır. Veriler %80 eğitim seti (466 örnek) ve %20 test seti (117 örnek) olacak şekilde ayrılmıştır. Her veri seti ayrılma işleminde aynı eğitim ve test seti kullanılması için random state değeri 42 kullanılmıştır. Veri setinde cinsiyet öz niteliği dikkate alınmamıştır. Bu çalışma dört aşamada karaciğer yetmezliği hastalarının tahmin doğruluğunu iyileştirmek için hibrid model ve karşılaştırılmalı bir analiz sunmaktadır. Birinci aşamada “Yaş, Toplam Bilirubin, Doğrudan Bilirubin, Alkalen Fosfataz, Alanin Aminotransferaz, Toplam Protein, Albümin, Albümin/Globulin Oranı” öz niteliklerine sahip orijinal veri setine SVM, MLP, DT, LR ve LGBM makine öğrenmesi yöntemleri uygulanarak teşhis tahmin başarıları ölçülmüştür. İkinci aşamada veri seti üzerinde öz nitelik seçimi için, Sarmalayıcı (Wrapper) yöntemlerinden olan ileri doğru seçim kullanılmıştır. Özellik seçimi sonrasında “Doğrudan Bilirubin, Yaş, Alanin Aminotransferaz, Alkalen Fosfataz” öz nitelikleri kullanılarak SVM, MLP, DT, LR ve LGBM makine öğrenmesi yöntemleri ile karaciğer yetmezliği hastalığı teşhis tahmin başarıları ölçülmüştür. Üçüncü aşamada, ikinci aşamada uygulanan SVM, MLP, DT, LR ve LGBM makine öğrenmesi yöntemlerine model iyileştirilmesi uygulanarak modeller yeniden kurulmuş olup, doğruluk performansları artırılmıştır. İlk üç aşamanın tahmin doğruluğu performansları karşılaştırılmıştır. Dördüncü aşamada ise model iyileştirilmesi uygulanmış sınıflandırma yöntemlerinin doğruluk performans sonuçları, literatürde bu çalışmada kullanılan veri seti ile yapılan çalışmaların sonuçları karşılaştırılmıştır. Makine öğrenmesi yöntemlerinin modelleme işlemleri Python programlama dili kullanılarak JupyterLab ortamında gerçekleştirilmiştir. Makine öğrenmesi yöntemlerinin başarıları ölçülürken çapraz doğrulama yöntemi (cv) 10 kat olarak kullanılmıştır.

3.1. Veri Seti

Çalışmada kullanılan veri seti, UCI makine öğrenmesi havuzunda bulunan ücretsiz olarak kullanıma açık Hint Karaciğer Hastalarının verilerini barındıran ILPD’dir. Veri seti Hindistan’da bulunan Andhra Pradesh eyaletinin kuzey doğusundaki hasta insanlardan ölçüm yapılarak toplanmıştır [11].

Veri setinde 583 adet örnek hasta kaydı vardır. Bu kayıtların 441 adedi erkek, 142 adedi ise kadın hastalardan oluşmaktadır. Hasta kayıtlarının 416’sı karaciğer hastası iken 167 tanesi karaciğer hastası değildir. Karaciğer hastası olan erkek sayısı 324, karaciğer hastası olan kadın sayısı ise 92’dir.

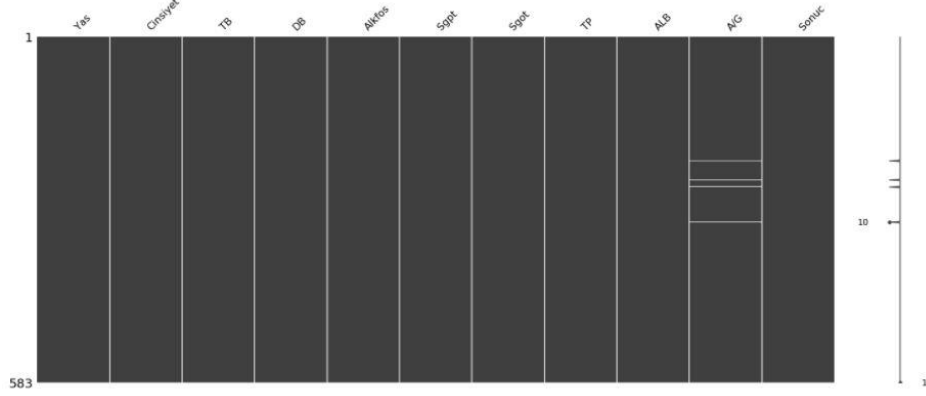
Veri setinde 11 adet özellik bulunmaktadır. 10 tanesi öznitelik olarak kullanılabilirken on birinci özellik ise hastalığın olup olmama durumunun gösterildiği alandır. Özniteliklerde bulunan SGPT ve SGOT günümüzde farklı isimlerde kullanılmaktadır. SGOT yeni terminolojide ALT, SGPT ise AST olarak adlandırılmaktadır. Veri seti özellikleri hakkında detaylı bilgi Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Veri seti özellikleri.

No	Özellikler	Açıklama	Veri Tipi	Özellik Aralık Değeri
1	Age	Yaş	Numeric	[4 – 90]
2	Gender	Cinsiyeti	Nominal	“male” or “female”
3	TB	Toplam Bilirubin	Numeric	[0.4 - 75]
4	DB	Doğrudan Bilirubin	Numeric	[0.1 - 19.7]
5	AlkPhos	Alkalen Fosfataz	Numeric	[63 - 2110]
6	Sgpt	Alanin Aminotransferaz	Numeric	[10 - 2000]
7	Sgot	Aspartat Aminotransferaz	Numeric	[10 - 4929]
8	TP	Toplam Protein	Numeric	[2.7 - 9.6]
9	ALB	Albümin	Numeric	[0.9 - 5.5]
10	A/G Ratio	Albümin/Globulin Oranı	Numeric	[0.3 - 2.8]
11	Selector Field	Secici Alan Bilgisi	Numeric (1,2)	1-Hasta, 2-Hasta Değil

3.1.1 Eksik Verilerin Giderilmesi

Veri seti incelendiğinde 4 hastanın Albümin/Globülin oranı alanının boş olduğu görülmüştür. Daha doğru bir sonuç için tüm hasta kayıtlarının Albümin/Globülin oranının ortalaması ile eksik veriler doldurulmuştur. Veri setinin eksik alanları Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Eksik veriler.

3.1.2 Normalizasyon Filtresi

Veriler arasındaki farklılıkların fazla olması bazı sınıflandırma yöntemlerinin öğrenme doğruluğunu etkilemektedir. Normalizasyon uygulanmasının amacı, matematiksel işlemler ile veriler arasındaki farklılıkları ortadan kaldırarak verilerin karşılaştırılmasını kolaylaştırmaktır. Bu çalışmada MLP ve SVM algoritmalarında Python programlama dili sklearn.preprocessing kütüphanesinde bulunan *Standart Scaler* kullanılarak veriler normalize edilmiştir.

3.1.3 Öznitelik Seçimi

Bu çalışmada veri setinde öznitelik seçmek için Sarmalayıcı (Wrapper) yöntemlerinden İleri Doğru Seçim yöntemi (Step Forward Selection (SFS)) kullanılmıştır. SFS yönteminde, kurulan modelin performansına en çok katkıda bulunan yani bağımlı değişken ile en yüksek korelasyona sahip öznitelik ile döngü süreci başlatılır. Belirlenen önem düzeyine (α) göre diğer öznitelikler sırası ile kontrol edilir. Önem düzeyine göre şartı sağlayan öznitelikler modele eklenir. Başta belirlenen önem düzeyi şartına uymayan öznitelikler modele eklenmez. Tüm değişkenler kontrol edildikten sonra döngü sonlanır [16]. Bu çalışmada önem düzeyi %95 olacak şekilde öznitelik seçilmiştir. SFS yöntemi ile belirlenen öznitelikler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. SFS yöntemi sonrasında elde edilen önemli öznitelikler.

Öznitelik Adı	Kısaltması
Doğrudan Bilirubin	DB
Yaş	Yaş
Alanin Aminotransferaz	Sgpt
Alkalen Fosfataz	AlkFos

3.2. Destek Vektör Makinesi

Vapnik ve ekibi tarafından 1990’lı yıllarda Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine) algoritması geliştirilmiştir. Gözetimli makine öğrenmesi algoritmalarından olan Destek Vektör Makinesi, ikili temel sınıfa ait veriler üzerinde istatistiksel işlem uygulanması ile birbirinden ayırmak için kullanılır [12].

Veri setimizde iki sınıfa ait bir sınıflandırma kullanılacağından dolayı doğrusal destek vektör sınıflandırması tercih edilmiştir. Model iyileştirilmesi yapılırken model kurma aşamasında maksimum yineleme sayısının değerinin düşürülmesi doğruluk değerini artırmıştır. Bu nedenle doğruluk oranında en iyi performansı max_iter

hiper parametresi 23 olarak şekilde elde edilmiştir. İyileştirilmiş model oluşturulurken random state değeri 42 ve max iter sayısı 23 olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada Python programlama dili sklearn.svm kütüphanesinde bulunan LinearSVC adında Linear SVM makine öğrenmesi yöntemi kullanılmıştır.

3.3. Çok Katmanlı Algılayıcılar

Çok Katmanlı Algılayıcılar (Multilayer Perceptron) girdi, ara ve çıktı katmanlarından oluşur. Tek katmanlı algılayıcıdan farklı olarak ara katman, giriş katmanı ile çıktı katmanı arasında bir köprü görevi görür. Ara katman girdi katmanından gelen girdileri çıktı katmanına göndermeden önce probleme göre değerlendirir. Değerlendirme sonucunda probleme göre daha iyi bir karar verilmesi sağlanır. Ara katman sayısı problemin durumuna göre artırılabilir [13].

MLP’de iyileştirilmiş model çalışmalarında beş katmanlı, her bir gizli katman 10 nörondan oluşan model kullanılmıştır. Gizli katmanlardaki aktivasyon işlevi için düzeltilmiş doğrusal birim fonksiyonu tercih edilmiştir. L2 ceza parametresi olarak 0.1 değeri doğruluğu arttırmıştır. Maksimum yineleme sayısının 215 olarak eklenmesiyle doğruluk oranında en iyi performans elde edilmiştir. İyileştirilmiş model oluştururken değiştirilen hiper parametreler Tablo 3’te gösterilmiştir. Bu çalışmada Python programlama dili sklearn.neural_network kütüphanesinde bulunan MLPClassifier sınıflandırma algoritması kullanılmıştır.

Tablo 3. MLP’de kullanılan hiper parametreler.

activation	relu
hidden_layer_sizes	(10,10,10,10,10)
alpha	0.1
max_iter	215
random_state	42

3.4. Lojistik Regresyon

Lojistik Regresyon (Logistic Regression) gözetimli algoritmalar grubunda bulunan, ikili sınıflandırma problemlerini çözen istatistiksel bir yöntemdir. Veri kümesinin regresyon analiz edilmesiyle iki olasılık (0 veya 1) sonucu belirtir [13]. Bu çalışmada kullanılan sonuç bağımlı değişkeni sayısal (1-karaciğer hastası 2- karaciğer hastası değil) olarak tutulmaktadır.

LR’da iyileştirilmiş model çalışmalarında, veri setimizin boyutu küçük olduğu için optimizasyon problemlerinde tercih edilen algoritma olarak *liblinear* kullanılmasının başarıyı arttırdığı gözlemlenmiştir. Sonuç değişkenimiz 2 sınıfa ait olduğu için (1-karaciğer hastası 2- karaciğer hastası değil) multi class özelliği ovr olarak kullanılmıştır. İyileştirilmiş model oluştururken değiştirilen hiper parametreler Tablo 4’te gösterilmiştir.

Bu çalışmada Python programlama dili sklearn.linear_model kütüphanesinde bulunan LogisticRegression sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 4. Lojistik regresyonda kullanılan hiper parametreler.

solver	liblinear
multi_class	ovr
random_state	42

3.5. Karar Ağaçları

Karar Ağaçları (Decision Tree) gözetimli öğrenmede en çok kullanılan algoritmalarındandır. Temel amaç veri seti içerisindeki karmaşık yapıları basit yapılara dönüştürmektir. Karar ağaçları ile hem sayısal hem de kategorik veriler işlenebilir. Test ve eğitimin hızlı olması ve sonuçların görsel olarak kolay yorumlanabilmesinden sınıflandırmada sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir. Kök, düğüm ve dallanmalardan oluşmaktadır. Karar ağaçlarında işlemler iki adımda sonuçlanır. Birinci adımda ağaç oluşturulur. İkinci adımda ise oluşturulan ağaçtan sınıflandırma kuralları oluşturulur. Karar ağacını oluştururken kullanılan algoritmalara göre karar ağacının yapısı değişiklik gösterebilir [14].

Bu çalışmada Python programlama dili sklearn.tree kütüphanesinde bulunan DecisionTreeClassifier makine öğrenmesi yöntemi kullanılmıştır. Karar ağacı *Classification and Regression Tree (CART)* algoritması ile oluşturulmuştur. Dallanmalar için *entropy* algoritması kullanılmıştır. Ağacın maksimum derinliğinin 5 ile sınırlandırılması doğruluk oranını arttırmıştır. En iyi bölünme için $\text{max_features}=\sqrt{\text{n_features}}$ karşılığına gelen max_features parametresi auto kullanılmıştır. İyileştirilmiş model oluştururken değiştirilen hiper parametreler Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Karar ağacı için kullanılan hiper parametreler.

criterion	entropy
max_depth	5
max_features	auto
random_state	42

3.6. Hafif Gradyan Güçlendirme Makinesi Sınıflandırıcısı

Hafif Gradyan Güçlendirme Makinesi Sınıflandırıcısı (Light Gradient Boosting Machine Classifier) 2017 yılında Microsoft tarafından geliştirilen bir kütüphanedir. LGBM, XGBoost'un eğitim süresi performansının arttırmaya yönelik geliştirilen Gradient Boosting Machine (GBM) türlerindedir. XGBoost ilk aramayı enlemesine yaparken LGBM ilk aramayı derinlemesine yapar [15]. LGBM'de iyileştirilmiş model çalışmalarında default parametrelerden öğrenme oranının artırılması ve ağaç sayısının 150 ile sınırlandırılması tahmin başarısını arttırmıştır. İyileştirilmiş model oluştururken değiştirilen hiper parametreler Tablo 6'da gösterilmiştir. Bu çalışmada Python programlama dili lightgbm kütüphanesinde bulunan LGBMClassifier sınıflandırma algoritması kullanılmıştır.

Tablo 6. LGBM'de kullanılan hiper parametreler.

learning_rate	0.2
n_estimators	150
random_state	42

4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinin veri seti üzerindeki sınıflandırma başarılarını değerlendirmek için bazı ölçütler vardır. Bu ölçütlerin hesaplanmasında Tablo 7'de belirtilen karışıklık matrisi (confusion matrix) kullanılır. Karışıklık matrisi oluşturulan modeldeki tahmin doğruluk başarısını 2x2 matris halinde belirtir. Gerçek değerler ile yapılan tahminlerin karşılaştırılmasını sağlar [10].

Tablo 7. Karışıklık matrisi (confusion matrix).

	Tahmin Edilen Sınıf		
	Sınıf	Pozitif	Negatif
Gerçek Sınıf	Pozitif	TP	FN
	Negatif	FP	TN

Tablo 7'de belirtilen terimler şöyle açıklanabilir;

- **TP (True Positive):** Doğru tahmin edilen karaciğer hastası sınıf değerini belirtir.
- **FP (False Positive):** Yanlış tahmin edilen karaciğer hastası sınıf değerini belirtir.
- **FN (False Negative):** Yanlış tahmin edilen karaciğer hastası olmayan sınıf değerini belirtir.
- **TN (True Negative):** Doğru tahmin edilen karaciğer hastası olmayan sınıf değerini belirtir.

Literatürde sınıflandırma başarılarını değerlendirmek için kullanılan birçok metrik bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında da kullanılan bu metrikler ve formülleri bu kısımda açıklanmaktadır.

- **Doğruluk (Accuracy):** Doğru tahmin edilmiş karaciğer hastalarının tüm değerlere olan oranıdır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

- **Duyarlılık (Sensitivity):** Doğru tahmin edilmiş karaciğer hastalarının, doğru tahmin edilmiş karaciğer hastaları ve yanlış tahmin edilmiş karaciğer hastası olmayanların toplamına oranıdır. Doğru tahmin edilmiş karaciğer hastalarını tespit etme yeteneğini gösterir.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

- **Özgüllük (Specificity):** Doğru tahmin edilmiş karaciğer hastası olmayan sınıf değerinin yanlış veya doğru tahmin edilmiş karaciğer hastası olmayanların toplamına oranıdır. Karaciğer hastası olmayan sınıf değerlerinin ne ölçüde karaciğer hastası olmadığını tahmininde bulunduğu oranını gösterir.

$$\text{Özgüllük} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (3)$$

- **Kesinlik (Precision):** Doğru tahmin edilmiş karaciğer hastası değerlerinin, yanlış tahmin edilmiş karaciğer hastaları değerlerinin ve doğru tahmin edilmiş karaciğer hastaları değerlerinin toplamına oranıdır. Karaciğer hasta sınıf değerlerinin ne ölçüde karaciğer hastası olarak tahminde bulunduğu oranını gösterir.

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4)$$

- **F-Ölçütü (F-Measure):** Harmonik ortalaması alınan Kesinlik ve Duyarlılık değerlerin bize verdiği değerdir. Modelin kesinliği ve sağlamlığının bir ölçüsüdür.

$$\text{F-Ölçütü} = 2 \times \frac{\text{Duyarlılık} \times \text{Kesinlik}}{\text{Duyarlılık} + \text{Kesinlik}} = \frac{2 \times TP}{2 \times TP + FP + FN} \quad (5)$$

- **Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error (MAE)):** İki sürekli değişken arasındaki farkın ölçülmesidir. Sıfıra yakın değerler daha iyi performans göstermektedir.

Veri setinden orijinal hali ve öz nitelik çıkarımı sonrası uygulanan makine öğrenmesi yöntemleri sonuç değerleri Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Öznitelik çıkarımı öncesi ve sonrası doğruluk değerleri karşılaştırılması.

Sınıflandırma Algoritmaları	Doğruluk Oranları (%)	
	Özellik Seçimi Öncesi	Özellik Seçimi Sonrası
MLP	74.31	78.63
SVM	75.22	76.13
LR	78.09	77.80
DT-CART	75.90	77.04
LGBM	76.21	77.95

Birçok veri seti kümesinde ilgili veya ilgisiz birçok veri bulunabilmektedir. Veri setinde bulunan 11 öznitelik özellik seçimi işlemi sonrasında 4 öznitelige indirgenmiştir. Tablo 8 incelendiğinde öznitelik çıkarımı sonrasında MLP, SVM, DT, LGBM makine öğrenmesi algoritmalarının doğruluk oranları arttığı görülmektedir. Özellik seçimi sonrasında model iyileştirmesi uygulandıktan sonraki doğruluk değerleri karşılaştırması Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Özellik seçimi öncesi ve sonrası doğruluk değerleri karşılaştırılması.

Sınıflandırma Algoritmaları	Doğruluk (%)		
	Özellik Seçimi Öncesi	Özellik Seçimi Sonrası	Model İyileştirme Sonrası
MLP	74.31	78.63	81.13
SVM	75.22	76.13	77.87
LR	78.09	77.80	77.80
DT-CART	75.90	77.04	81.13
LGBM	76.21	77.95	82.12

Tablo 9 incelendiğinde özellik seçimi sonrasında tüm makine öğrenmesi yöntemlerinde doğruluk oranlarının arttığı gözükmemektedir. Kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinin öz nitelik çıkarımı sonrasında model iyileştirilmesi uygulaması aşamasından sonraki performans değerleri Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Makine öğrenmesi yöntemleri performans değerleri.

Algoritma	Doğruluk	Duyarlılık	Özgüllük	Kesinlik	F-Ölçütü	Ortalama Mutlak Hata
SVM	%77.87	%85.05	%56.66	%85.05	%85.05	0.22
MLP	%81.13	%90.80	%46.66	%83.15	%86.81	0.20
DT-CART	%81.13	%76.14	%50	%95.40	%84.69	0.25
LR	%77.80	%95.40	%23.33	%78.30	%86.01	0.23
LGBM	%82.12	%81.39	%45.16	%80.45	%80.92	0.28

Tablo 10 incelendiğinde en yüksek teşhis başarısı %82.12 oran ile LGBM makine öğrenmesi yönteminden elde edilmiştir. LGBM algoritmasına yakın olarak %81.13 başarı oranı ile DT-CART ve MLP ikinci yüksek başarıyı gösteren yöntemlerdir. Duyarlılık ölçütüne göre en yüksek oran %95.40 ile LR yönteminden elde edilmiştir. Sonuçlar kesinlik ölçüsüne göre değerlendirildiğinde %95.40 oran ile en başarılı yöntem DT-CART olmuştur. F-ölçütüne göre %86.81 oran ile en iyi sonuç veren yöntem MLP'dir. Bu alanda yapılan ilgili çalışmalar incelendiğinde ILPD veri seti üzerinde daha önceden LGBM makine öğrenmesi yöntemi uygulanmadığı görülmüştür. Bu çalışma kapsamında ele alınan MLP, SVM, LR, DT makine öğrenmesi yöntemleri uygulanan çalışmalar ele alınmış olup, bu çalışma ile Doğruluk, Duyarlılık, Özgüllük Kesinlik, F-Ölçütü, Ortalama Mutlak Hata değerlerinin karşılaştırmaları Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11 incelendiğinde daha önceki çalışmalarda kullanılan ortak makine öğrenmesi yöntemlerinde doğruluk metriğine göre en yüksek başarı sağlandığı görülmektedir. MAE'ye göre değerlendirilen çalışmalar ele alındığında ise en düşük MAE hata oranı elde edilmiştir. Makine öğrenmesi sağlık alanında da sıklıkla kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle beraber hastalık teşhislerinde geleneksel teşhis yöntemlerin yanında akıllı uygulamalar kullanılarak hastalıkların erken teşhis edilmesi amaçlanmaktadır. Akıllı uygulamaların geliştirilmesinde genellikle makine öğrenmesi algoritmalarından faydalanılır. Bu çalışmada son yıllarda sıklıkla görülen ve erken dönemlerde teşhis edilmediği takdirde hayat kayıplarına dahi yol açan karaciğer yetmezliği hastalığının, yüksek doğruluk ile erken teşhis edilmesi üzerine odaklanılmıştır. Özellik seçim yöntemiyle 11 öz nitelikten 4 öz niteliğe indirgenmiş olup daha yüksek tahmin başarıları elde edilmiştir. Kullanılan beş farklı makine öğrenmesi yöntemi üzerinde modeller oluşturulmuştur. Bu modellere model iyileştirilmesi yapıp modellerin hastalık tahmin başarıları artırılmıştır. Model seçiminde en yüksek doğruluk, duyarlılık, kesinlik ve F Ölçütü oranları dikkate alınmıştır. En başarılı sonuç %82.12 doğruluk oranıyla LGBM yönteminden elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonucu, ILPD veri seti ile yapılan benzer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan çalışmaların başarı oranları Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 11. Yapılan çalışmanın literatürde aynı makine öğrenmesi yöntemleri kullanan çalışmalar ile karşılaştırılması.

Çalışmalar/ Algoritmalar	Başarı Ölçme Metrikleri	[2]	[3]	[5]	[6]	[8]	[9]	Önerilen Yöntem
MLP	Doğruluk (Accuracy)	-	%70.84	%77.54	-	-	-	%81.13
	Duyarlılık (Sensitivity)	-	-	-	-	-	-	%90.80
	Özgüllük (Specificity)	-	-	-	-	-	-	%46.66
	Kesinlik (Precision)	-	-	-	-	-	-	%83.15
	F-Ölçütü (F-Measure)	-	-	-	-	-	-	%86.81
Mean Absolute Error	-	0.34	0.70	-	-	-	0.20	
SVM	Doğruluk (Accuracy)	%73.2	%71.35	%73.44	%77	-	%75.04	%77.87
	Duyarlılık (Sensitivity)	%90	-	-	%74	-	%79	%85.05
	Özgüllük (Specificity)	%30	-	-	%85	-	%71.11	%56.66
	Kesinlik (Precision)	-	-	-	-	-	%77.09	%85.05
	F-Ölçütü (F-Measure)	-	-	-	-	-	-	%85.05
Mean Absolute Error	-	0.28	0.71	-	-	-	0.22	
LR	Doğruluk (Accuracy)	-	-	-	-	%74.36	%73.23	%77.80
	Duyarlılık (Sensitivity)	-	-	-	-	-	%88	%95.40
	Özgüllük (Specificity)	-	-	-	-	-	%30.62	%23.33
	Kesinlik (Precision)	-	-	-	-	-	%78.57	%78.30
	F-Ölçütü (F-Measure)	-	-	-	-	-	-	%86.01
Mean Absolute Error	-	-	-	-	0.40	-	0.23	
DT	Doğruluk (Accuracy)	-	-	-	%81	-	-	%81.13
	Duyarlılık (Sensitivity)	-	-	-	%37	-	-	%76.14
	Özgüllük (Specificity)	-	-	-	%95	-	-	%50
	Kesinlik (Precision)	-	-	-	-	-	-	%95.40
	F-Ölçütü (F-Measure)	-	-	-	-	-	-	%84.69
Mean Absolute Error	-	-	-	-	-	-	0.25	

Tablo 12. Literatür karşılaştırması.

Çalışmalar/ Algoritmalar	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	Önerilen Yöntem
MLP	-	%70.84	-	%77.54	-	-	-	-	-	%81.13
DT	-	-	-	-	%81	-	-	-	-	%81.13
LR	-	-	-	-	-	-	%74.36	%73.23	-	%77.80
SVM	%73.2	%71.35	-	%73.44	%77	-	-	%75.04	-	%77.87
LGBM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	%82.12
Native Bayes	-	-	-	-	%37	%55.75	%55.90	-	-	-
RF	-	%71.86	%72.84	%80.22	%77	-	%71.87	-	%81.9	-
YSA	-	-	%78	-	%71	-	-	%92.80	-	-
J48	-	%70.66	-	%95.04	-	%68.78	%70.67	-	%74.4	-
KNN	-	-	-	-	-	-	-	%72.05	-	-
Bayes Net	-	%69.12	-	%90.33	-	-	-	-	-	-
Bagging	-	-	-	-	-	%69.30	-	-	-	-
IBk	-	-	-	-	-	%64.49	%67.41	-	%81.6	-
JRIP	-	-	-	-	-	%66.38	-	-	-	-
MP	-	-	-	-	-	%68.95	-	-	-	-
SMO	-	-	-	-	-	-	%71.36	-	-	-
Radyal Tabanlı İşlevsel (RTI)	-	-	%72.32	-	-	-	-	-	-	-
Lojistik Model Ağacı (LMT)	-	-	-	-	-	-	-	-	%73.8	-
Decision Stump	-	-	-	-	-	-	-	-	%67.1	-
Hoeffding Tree	-	-	-	-	-	-	-	-	%69.1	-
REP Tree	-	-	-	-	-	-	-	-	%71.3	-
Random Tree	-	-	-	-	-	-	-	-	%73.8	-

Tablo 12 incelendiğinde bu çalışmada kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinin sonuçları, ILPD veri seti kullanılarak aynı makine öğrenmesi yöntemleri ile yapılan çalışmaların sonuçlarına göre daha başarılı olduğu görülmektedir. İncelenen çalışmalar arasında en yüksek teşhis başarısı %95.04 oranı ile J48 makine öğrenmesi yönteminden elde edilmiştir. İleriki çalışmalarda ILPD veri seti üzerinde özellik seçimi ile denenmemiş makine

öğrenmesi yöntemlerinin kullanılması planlanmaktadır. Ayrıca derin öğrenme yöntemlerinin de ilgili veri seti üzerinde denenmesi hedeflenmektedir.

Kaynaklar

- [1] Ersoy O.” Karaciğer Enzim Yüksekliğinin Değerlendirilmesi”. Ankara Medical Journal 2012; 12 (3): 129-135.
- [2] Mamdouh E. ve Mabrouk M. “A Study of Support Vector Machine Algorithm For Liver Disease Diagnosis”, American Journal of Intelligent Systems; 2014; 4 (1): 9-14.
- [3] Gulia A. Vohra R. Rani P. “Liver Patient Classification Using Intelligent Techniques”, International Journal of Computer Science and Information Technologies; 2014; 5 (4): 5110-5115.
- [4] Alkuşak E. ve Gök M., 2015. “Karaciğer Yetmezliğinin Teşhisinde Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Kullanımı”, ISITES 2014 Sempozyumu (ISITES’2014); 18-20 Haziran 2014; Karabük. 703-707.
- [5] Priya M.B. Juliet P. L. Tamilselvi P.R.“ Performance Analysis of Liver Disease Prediction Using Machine Learning Algorithms”, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET); Ocak 2018; 206-211.
- [6] Auxilia L.A. “Accuracy Prediction using Machine Learning Techniques for Indian Patient Liver Disease”, 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI); 11-12 Mayıs 2018; Tirunelveli, India. 45-50.
- [7] Bendi R.V. Boddu R.S.K. “ Performance Comparison of Classification Algorithms on Medical Datasets”, 9th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC); 7-9 Ocak 2019; USA. No:2322.
- [8] Singh J. Bagga S. Kaur R. “Software-based Prediction of Liver Disease with Feature Selection and Classification Techniques”. International Conference on Computational Intelligence and Data Science (ICCIDIS 2019); 6 -7 Eylül 2019; Gurugram. 1970-1980.
- [9] Jacob J. Mathew J. C. Mathew J. Issac E.“ Diagnosis of Liver Disease Using Machine Learning Techniques”, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET); 4 Nisan 2018; 5(4): 4011-4014.
- [10] Keleş A. Kaslı Ö.B. Keleş A. “Makine Öğrenme Algoritmaları ile Karaciğer Hastalığının Teşhisi”, Turkish Studies-Information Technologies and Applied Sciences; 2020; 75-83.
- [11] [https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/ILPD+\(Indian+Liver+Patient+Dataset\)](https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/ILPD+(Indian+Liver+Patient+Dataset)).
- [12] Selvi O. ”Göğüs Kanseri Teşhisinde Farklı Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Performans Karşılaştırması”, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi; 2019; (16): 176-185.
- [13] Özdemir E. Ballı S. “Türkiye Erkekler Basketbol Ligi Maç Sonuçlarının Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Tahmini”, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 2020; 8 (3): 740 - 752.
- [14] Kaya Ç. Yıldız O. “Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Saldırı Tespiti: Karşılaştırmalı Analizi”, Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 2014; (3): 89-104.
- [15] Omar A. B. K. “XGBoost and LGBM for Porto Seguro’s Kaggle challenge: A comparison”, Distributed Computing Group Computer Engineering and Networks Laboratory ETH Zurich , Semester Project. 2018
- [16] Kayaalp T.G. Güney Ç. M. Cebeci Z. “Çoklu Doğrusal Regresyon Modelinde Değişken Seçiminin Zootekniye Uygulanışı”, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 2015; 30 (1): 1-8

24 Ocak 2020 Sivrice Depremi Sonrasında Elazığ İlinde Bulunan Minarelerde Meydana Gelen Hasarların Araştırılması ve Değerlendirilmesi

Musa YETKİN^{1*}, İbrahim Özgür DEDEOĞLU², Yusuf CALAYIR³

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Batman Üniversitesi, Batman, Türkiye

³ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ musayetkin@firat.edu.tr, ² iozgur.dedeoglu@batman.edu.tr, ³ ycalayir@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 09/12/2020;

Kabul/Accepted: 02/03/2021)

Öz: Minareler uzun ve ince bir mimari görünümde, genellikle betonarme, yığma ve ahşap olarak bazen camiden bağımsız bazen de cami ile bitişik olarak inşa edilen yapılardır. Bu yapılar mimari görünümünün beraberinde getirmiş olduğu yapısal etkenler nedeniyle depremler karşısında hasar görebilmekte veya yıkılabilmektedir. Minarelerde meydana gelen bu hasarlar can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Bu nedenle minarelerin deprem güvenilirliğinin sağlanması elzem bir durumdur. Bu çalışma kapsamında, 24 Ocak 2020 tarihinde Elazığ ilinin Sivrice ilçesinde meydana gelen Mw = 6.8 büyüklüğündeki deprem sonrasında Elazığ ilindeki minarelerde oluşan hasarlar araştırılmıştır. İncelenen minarelerde hasarların olduğu bölümler belirlenmiş ve bu hasarların oluşum nedenleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonunda, mevcut hasarlı minarelerin onarım ve güçlendirilmesi ve yeni yapılacak minarelerin inşası için bir takım tavsiyelerde bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Minare, 24 Ocak 2020 Sivrice depremi, hasar.

Investigation and Assessment of Damages in the Minarets Existing at Elazig After 24 January 2020 Sivrice Earthquake

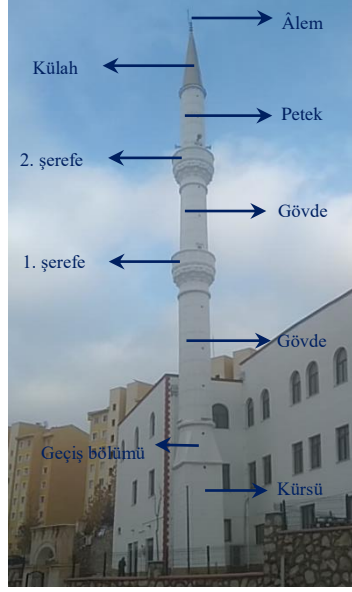
Abstract: The minarets with tall and thin architectural appearance, usually made of reinforced concrete, masonry and wood, are sometimes adjacent to the mosque and sometimes independent from it. These structures can be damaged or collapsed under earthquake ground motion due to structural factors caused by their architectural appearance. The damages in the minarets have resulted in loss of life and property. Therefore, it is important to provide earthquake reliability of the minarets. In this study, the damages occurred at the minarets in Elazig after the Mw = 6.8 magnitude earthquake that took place in Sivrice district of Elazig on January 24, 2020 were investigated. In the examined minarets, the parts which the damages occurred in were determined and the causes of these damages were evaluated. At the end of the study, some recommendations were made for the repair and strengthening of damaged minarets and the construction of new minarets.

Key words: Minaret, 24 Ocak 2020 Sivrice earthquake, damage.

1. Giriş

Minareler, insanları ibadete çağırmak için kullanılan ve genellikle uzun ve ince olarak inşa edilen kule tipi yapılardır. En eski camiler minareler olmadan inşa edilmiş olsa da, yıllar geçtikçe minareler İslam geleneğinin bir parçası haline gelmiştir. Minareler dünyanın değişik bölgelerinde farklı yüksekliklerde ve farklı malzemelerle yığma, betonarme ve ahşap olarak inşa edilmekte olup minarelerin içerisinde genellikle spiral şeklinde yükselen bir merdiven de bulunmaktadır [1]. Tipik bir minarenin bölümleri Şekil 1’de gösterilmiştir.

* Sorumlu yazar: musayetkin@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-6259-4137, ² 0000-0001-5356-6655, ³ 0000-0002-6387-5360



Şekil 1. Tipik bir minarenin bölümleri

Minareler inşa edildikleri bölgelere ve onları inşa eden ulusların kültürlerine bağlı olarak farklı geometrik özellikler göstermektedir. Bu farklılıklar, yüzyıllar sonra bile minarelerin yapıldıkları bölge ve zaman hakkında bilgiler vermektedir. Bölgelerin birbirine olan yakınlığı ve kültürel ilişkileri minarelerin mimari özelliklerini de etkilemiştir. Genel olarak Türk, Arap, İran, Hint, Mısır ve Fas minare mimarilerinden bahsedilebilir. Türk minareleri, Selçuklu ve Osmanlı minareleri olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Selçuklu minareleri genel olarak kısa boylu olup, petek bölümü gövde bölümüne göre daha kısadır. Bunlar çoğunlukla caminin ana giriş kapısının her iki yanında tuğladan ikiz olarak yapılmıştır. Osmanlı tarzı minareler ise ince ve dairesel bir şekle sahip olup, petek ve kûlah bölümü diğer minare örneklerine göre uzundur. Bu yüzden boyları daha uzun ve zarif görünümüne sahiptirler. Osmanlı camilerinde minarelerin sayısı altıya kadar çıkabilmektedir. Tek minareler caminin sağ tarafında inşa edilirler. Arap minareleri dört köşeli taban üzerine inşa edilmiş, köşeli kule tipi yapılardır. Irak tarzı minareler çoğunlukla konik şeklinde olup, sarmal bir merdiven minareyi dıştan çevirmektedir. İran minareleri çoğunlukla silindirik bir gövdeye sahiptir ancak bu minarelerin silindirik gövdeleri ile Türk minarelerinin silindirik gövdeleri arasında biçim ve düzenleme açısından farklılıklar vardır. Suriye mimarisinde minareler genellikle kare biçimli ve küçük yüksekliklerde inşa edilmiştir. Mısır mimarisinde minareler genel olarak altta kare, ortada sekizgen ve üstte kubbe şeklinde yapılmıştır ve genelde iki şerefeye sahiptir ve üstteki şerefe alttaki şerefedен daha küçüktür. Geçiş bölümleri genellikle süslü olarak tasarlanmaktadır. Fas tarzı minareler normalde kare olup, çoğu caminin genellikle bir minaresi vardır [2]. Şu anda dünyanın en yüksek minaresi 210 m yüksekliği ile Fas'ta bulunan II. Hasan Camisine ait minaredir (Şekil 2).



Şekil 2. Dünyanın en yüksek minaresi [3]

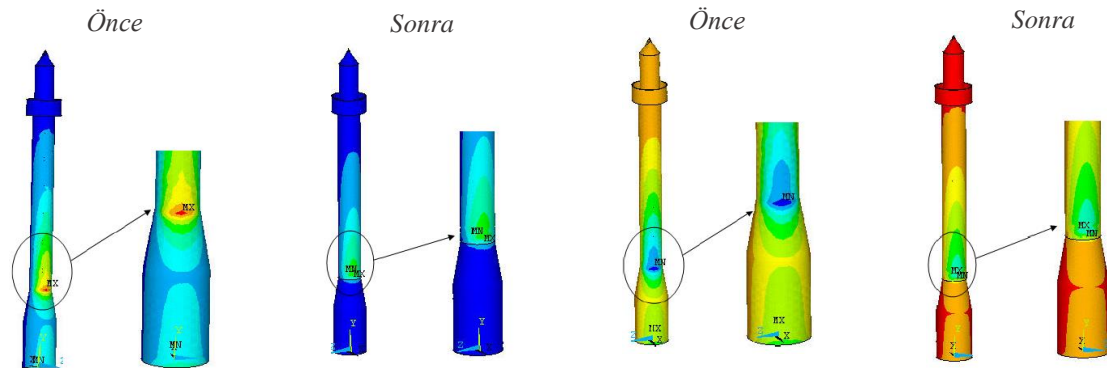
Depremler dünya yaşamını ve düzenini etkileyen en önemli doğal afetlerden biridir. Depremler meydana geldiğinde, yeryüzünde yer alan tüm yapı çeşitleri bu durumdan etkilenmektedir. Bu yapı çeşitlerinden birisi de genellikle uzun ve ince bir mimariye sahip olan minarelerdir. Minareler bu mimari görünümlerinin beraberinde getirmiş olduğu yapısal etkenler nedeniyle depremler karşısında hasar görebilmekte veya yıkılabilmektedir. Minarelerde meydana gelen hasarlar o minarenin deprem güvenilirliğini kaybetmesine ve oluşabilecek diğer depremlerde yıkılabileceğinin düşünülmesine sebep olmaktadır. Ayrıca minarelerde meydana gelen yıkımlar ise geçmişte bazı insanların hayatını kaybetmesine yol açmıştır [4]. Bu nedenle minarelerin deprem güvenilirliğinin sağlanması elzem bir durumdur. Aksi takdirde insanların gerek can gerekse mal güvenliğinin tehlikede olacağı bilinmelidir. Minarelerin depremler karşısında gösterdikleri davranış birçok araştırmacının da ilgisini çekmiş ve bu hasarların oluşumunu anlamak ve oluşabilecek deprem senaryoları karşısındaki davranışını önceden tahmin edebilmek amacıyla birçok çalışma yapmışlardır.

Doğangün ve Livaoğlu [5], Türkiye'deki yığma minarelerin yapım uygulamalarını gözden geçirmiş ve bu yapılarda gözlenen deprem hasarlarını araştırmışlardır. Deprem etkileri altında caminin âlem, külah, petek, şerefe ve minarenin geçiş bölümlerinde hasarların daha çok oluştuğunu ifade etmişlerdir (Şekil 3).



Şekil 3. Deprem etkileri altında minarelerin hasara uğradığı bölümlere örnekler [5]

Doğangün vd. [6] yapmış oldukları çalışmada, 20, 25 ve 30 m yüksekliğe sahip olacak şekilde donatısız yığma olarak modelledikleri üç temsili minarenin dinamik davranışlarını 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinde kaydedilen verileri kullanarak araştırmışlardır. Analizlerden elde ettikleri veriler ışığında minarenin özellikle alt bölümlerinde gerilme bakımından zorlanmaların olduğunu belirtmişlerdir. Altunışık [7] yapmış olduğu çalışmada İskender Paşa (Trabzon) tarihi taş minaresinin FRP (Fiber Reinforced Polymer) malzemesi ile güçlendirilmeden önce ve güçlendirildikten sonraki dinamik davranışını Erzincan (1992) deprem ivme kayıtlarını kullanarak analitik olarak belirlemeye çalışmıştır. Çalışmanın sonunda, maksimum ve minimum asal gerilmelerin gerek güçlendirme öncesi gerekse güçlendirme sonrası için yapmış olduğu tüm modellerde minarenin geçiş ve gövde bölümlerinde meydana geldiğini belirlemiştir (Şekil 4).



a) Maksimum asal gerilmelerin değişimi

b) Minimum asal gerilmelerin değişimi

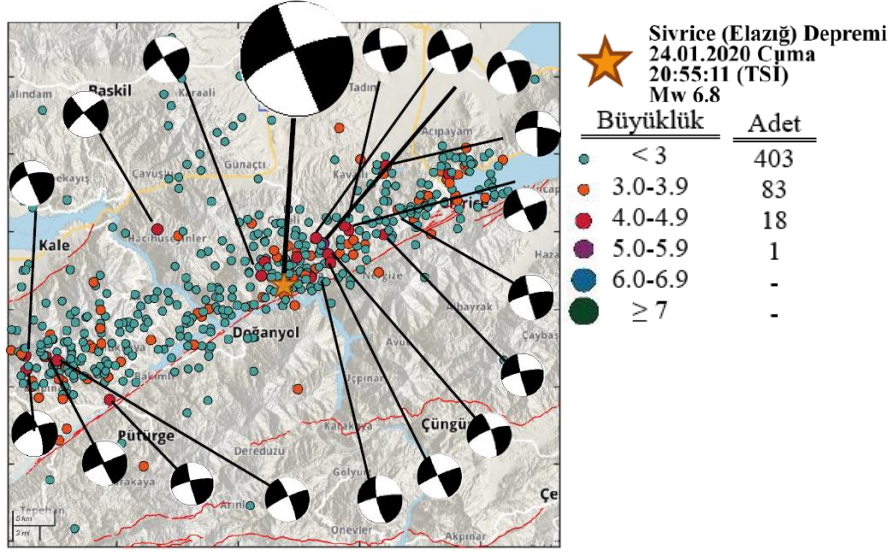
Şekil 4. İskender Paşa minaresinin güçlendirme öncesi ve sonrası için asal gerilme dağılımları [7]

Haciefendioğlu ve Birinci [8] çalışmalarında rastgele yeraltı patlamasına ve deprem kaynaklı yer hareketlerine maruz kalan yığma minarelerin stokastik sismik davranışını belirlemeye çalışmışlardır. Samsun Ulu Camisi minaresi için oluşturdukları sonlu elemanlar modeli için yaptıkları analizler neticesinde yer altı patlaması ve deprem etkilerinin minarenin stokastik davranışını önemli ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir. Örmecioglu vd. [9] yaptıkları çalışmada Antalya'daki Selçuklu eserlerinden olan tarihi Yivli minarenin olası bir deprem durumundaki tepkisini, oluşturdukları sonlu elemanlar modeline bağlı olarak belirlemeye çalışmışlardır. Oliveira vd. [10], farklı büyüklüklerdeki tarihi minarelerin çevresel titreşim testleri yardımıyla dinamik karakteristiklerini belirlemişlerdir. Daha sonra bu minareler için oluşturdukları sonlu eleman modelleri için elde ettikleri dinamik karakteristikleri deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Birinci moda ait frekans değerlerini elde etmek için, enine kesitin ataleti ve ana gövdenin yüksekliğine bağlı olarak bir formülasyon geliştirmişlerdir. Pekkökgöz vd. [11] çalışmalarında yığma minarelerin depreme karşı güçlendirilmesinde kullanılan düşey ard germe uygulamasının minareye etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Ard germe uygulaması olmayan ve olan temsili bir minare için yapmış oldukları spektral ve zaman-tanım alanı analizleri neticesinde dikey ard germe uygulamasının, eksenel çekme gerilmelerini ve yanıl deplasmanları azaltmak ve yığma minarelerin depreme karşı devrilme güvenliğini sağlamak için çok etkili bir yöntem olduğunu söylemişlerdir. Uğurlu vd. [12], tarihi Şeyh Mutahhar Camisinin (Diyarbakır) Dört Ayaklı minaresinde bulunan yapısal çatlakların nedenini araştırmışlardır. Sütunlar ve zemin arasındaki ilişkiyi de göz önünde bulundurarak minarenin makro modelini oluşturup minarenin deprem etkileri altındaki davranışını araştırmışlardır. Ural ve Çelik [13], Aksaray il merkezinde yer alan tek şerefeli 7 adet yığma minarenin deprem davranışlarını incelemişlerdir. Minarelerin özellikle çekme gerilmeleri yönünden oldukça zorlandığını ifade etmişlerdir. Yetkin vd. [14], Elazığ ili Fırat Üniversitesi Mühendislik Kampüsü Camisi minaresinin dinamik karakteristiklerini Operasyonel Modal Analiz yöntemi yardımıyla belirlemişlerdir. Elde ettikleri dinamik karakteristiklere bağlı olarak minare için oluşturdukları sonlu elemanlar modelini güncellemişlerdir. Işık ve Antep [15], tarihi Kadı Mahmut Camisine (Bitlis) ait yığma minarenin farklı yükleme durumlarına göre deprem davranışını, oluşturdukları sonlu elemanlar modeli yardımıyla belirlemeye çalışmışlardır. Hökelekli [16], tarihi yığma bir minarenin esnek ve ankastre mesnetlenme durumları için deprem davranışlarını araştırmıştır. Minare için oluşturduğu üç boyutlu sonlu elemanlar modelini Operasyonel Modal Analiz Yöntemi deneysel sonuçlarına göre güncellemiştir. Güncellenmiş sonlu elemanlar modeli için minare-zemin etkileşim sisteminin yatay, yatay+düşey yer hareketleri altında lineer deprem davranışlarını, farklı zemin ve ankastre mesnetlenme durumları için karşılaştırmıştır. Türker ve Yanık [17], tarihi İlyasbey Camisinin (Aydın) çevresel titreşim testleri yardımıyla dinamik karakteristiklerini belirlemiş ve daha sonra bu karakteristikler ışığında caminin mevcut durumunu en iyi şekilde yansıtabilecek üç boyutlu sonlu elemanlar modelini oluşturmuşlardır. Oluşturdukları modelin sabit yük, rüzgâr yükü ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) için DD-2 tasarım deprem yükü etkileri altında analizlerini yapmışlardır. Analizler neticesinde, bu etkiler altında minarede herhangi bir hasarın oluşmayacağını öngördüklerini ifade etmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında, 24 Ocak 2020 tarihinde Elazığ'ın Sivrice ilçesinde meydana gelen $M_w = 6.8$ büyüklüğündeki deprem sonrasında Elazığ ilindeki minarelerde oluşan hasarlar araştırılarak, hasarların oluştuğu bölümler belirlenmiş ve bu hasarların oluşum nedenleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonunda, mevcut hasarlı minarelerin onarım ve güçlendirmesi için ve yeni yapılacak minarelerin inşası için bir takım önerilerde bulunulmuştur.

2. 24 Ocak 2020 $M_w = 6.8$ Sivrice (Elazığ) Depremi

24 Ocak 2020 tarihinde saat 20:55'te (TSİ) merkez üssü Sivrice (Elazığ) olan orta büyüklükte bir deprem meydana gelmiştir. Deprem in odak noktasına en yakın olan yerleşim yeri Sivrice ilçesine bağlı olan Çevrimtaş köyüdür. Meydana gelen bu deprem Çevrimtaş köyünden başlayarak Elazığ'ın Sivrice ilçesi ve diğer ilçeleri ile birlikte daha birçok ilde hissedilmiştir. Ana şok sonrasında 1 gün içerisinde 1.0-5.1 arasındaki büyüklüklerde 505 artçı deprem kaydedilmiştir (Şekil 5) [18].



Şekil 5. Ana şok sonrasında 1 gün içerisinde bölgede meydana gelen depremlerin lokasyonları [18]

Meydana gelen ana şok için 6 sismoloji istasyonu tarafından paylaşılan depremin yeri ve büyüklüğü bilgileri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Depremin karakteristikleri

Deprem Kayıt İstasyonları	Büyüklik (M_w)	Derinlik (km)	Boylam	Enlem
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)	6.8	8.06	39.06	38.36
Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi	6.5	5.0	39.24	38.37
European-Mediterranean Seismological Centre (Fransa)	6.8	15.0	39.22	38.37
German Research Center for Geosciences	6.8	10.0	39.20	38.36
Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Roma)	6.8	11.0	39.12	38.39
United States Geological Survey	6.7	11.9	39.08	38.39

Deprem sonrasında Elazığ’da 37 kişi ve Malatya’da 4 kişi olmak üzere toplamda 41 kişi hayatını kaybetmiştir. Ayrıca konut, iş yeri, ibadethane, hayvan barınağı gibi birçok yapıda hasarlar meydana gelmiş bu yapıların bir kısmı da yıkılmıştır (Şekil 6). Hasar tespit birimlerince yapılan incelemeler neticesinde Elazığ ili için bina hasar durumları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Elazığ ili için hasar tespit değerlendirme sonuçları* [19]

	Bina Sayısı	Bağımsız Bölüm Sayısı
Acil Yıkılacak	404	1656
Ağır Hasarlı	6092	14653
Orta Hasarlı	1391	13440
Az Hasarlı	14208	63851
Hasarsız	23307	98546
Yıkık	188	290

* Verilen bu sayılar Nisan 2020 için kesinleşen hasar tespit değerlendirme sonuçlarıdır.



a) Çevrimtaş Köyü [20]

b) Mustafa Paşa Mah.

c) Sivrice (Merkez)

d) Dilek Sitesi

Şekil 6. Deprem sonrasında Elazığ ilinde yıkılan bazı binalar

3. Bulgular ve Tartışma

24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen şiddetli deprem sonrasında konut, iş yeri, hayvan barınağı gibi yapıların yanı sıra birçok cami ve minarelerde de hasarlar meydana gelmiştir. Depremde hasar gören cami ve minareler incelendiğinde, camilerin bir kısmında ciddi hasarlar olmasına rağmen (Şekil 7), bu camilerin minarelerinde herhangi bir hasar gözlenmemiş veya hafif hasar oluşmuş iken, bazı camilerde de bu durumun tam tersi meydana gelmiştir. Minareleri hasarlı olan camiler için eğer camide herhangi bir hasar yoksa veya az hasarlı ise ilgili minare onarılmıştır/onarılacaktır. Ancak, ağır hasarlı olan Beyzade Efendi, Çatal Çeşme, Gayret, Hacı Osman, Kubbeli ve Sivrice Merkez camileri, minareleri ile birlikte yıkılmıştır/yıkılacaktır. Elazığ ili için depremden etkilenen minarelere ait özellikler Tablo 3'te, bu minarelerin lokasyonları Şekil 8'de verilmiştir.



a) Beyzade Efendi Camisi



b) Çatal Çeşme Camisi



c) Hacı Osman Camisi



d) Sivrice Merkez Camisi



e) Gayret Camisi

Şekil 7. Yıkılmış/yıkılacak olan camilere örnekler

Tablo 3. Elazığ ili için depremden etkilenen minarelere ait özellikler

Numara*	Cami Adı	Adres	Yapım Yılı	Yapı Taşıyıcı Sistemi	Mevcut Durumu	Şerefe Sayısı	Derz Kalınlığı (cm)	Taban Kesiti (m)	Minare Yüksekliği (m)
1	Kubbeli	İzzet Paşa Mah.	1960	Yığma	Yıkıldı	1	1.5	2.0x2.0	30.5
2	Kuyulu	Kuyulu Köyü	1974	Yığma	Yıkılacak	1	2.0	2.0x2.0	26.5
3	Hacı Osman	Mustafa Paşa Mah.	1975	Yığma	Yıkıldı	2	2	2.0x2.0	33.3
4	Yolüstü	Rüstem Paşa Mah.	1986	Yığma	Minare hasarlı	2	1.5	2.2x2.2	27.4
5	Beyzade Efendi	Olgunlar Mah.	1987	Yığma	Yıkıldı	2	2.0	2.0x2.0	27.0
6	Sivrice Merkez	Sivrice/Gölbaşı Mah.	1994	Betonarme	Yıkıldı	2	-	-	-
7	Çatal Çeşme	Çatal Çeşme Mah.	1995	Yığma	Yıkıldı	2	1.5	2.0x2.0	29.5
8	Seyyid Hıdır Baba	Yazıkönak Belediyesi	2002	Yığma	Minare hasarlı	2	2.0	2.0x2.0	29.9
9	Eyüb Sultan	Koçharmanı Köyü	2007	Yığma	Minare hasarlı	1	2.0	2.0x2.0	20.3
10	TEDAŞ	Cumhuriyet Mah.	-	Yığma	Minare hasarlı	2	1.5	2.0x2.0	31.1
11	Gayret	Kızılay Mah.	-	Yığma	Yıkılacak	1	2.0	2.0x2.0	23.5

* Verilen numaralar Şekil 8'de minare lokasyonlarını belirtmek için kullanılmıştır.

**Şekil 8.** Hasar gören minarelerin lokasyonları [21]

Tablo 3 incelendiğinde, minarelerin yapım yıllarının 1960-2007 arasında olduğu ve yapı taşıyıcı sistemi olarak, Sivrice Merkez Camisi minareleri (2 adet betonarme minare) hariç yığma olarak tasarlandığı belirlenmiştir. Minarelerin şerefe sayılarında ise çeşitlilik bulunmakta olup bazı minareler tek şerefeden bazı minareler ise iki şerefeden oluşmaktadır. Minarelerin taban bölgesi kare kesitli olup, tüm minareler için yaklaşık olarak 2.0 x 2.0 m² boyutlarındadır ve minarelerin toplam yükseklikleri ise 20.3-33.3 m aralığındadır.

Minarelerde meydana gelen hasarlar;

- Beyzade Efendi, Gayret, Kuyulu ve TEDAŞ Camisi minareleri için yalnızca külâh bölümünde bir göçmenin olduğu görülmüştür (Şekil 9.a,d).
- Sivrice Merkez camisinin betonarme olan iki minaresinden yalnızca birinin âlem bölümünde hasarın olduğu belirlenmiştir (Şekil 9.e).

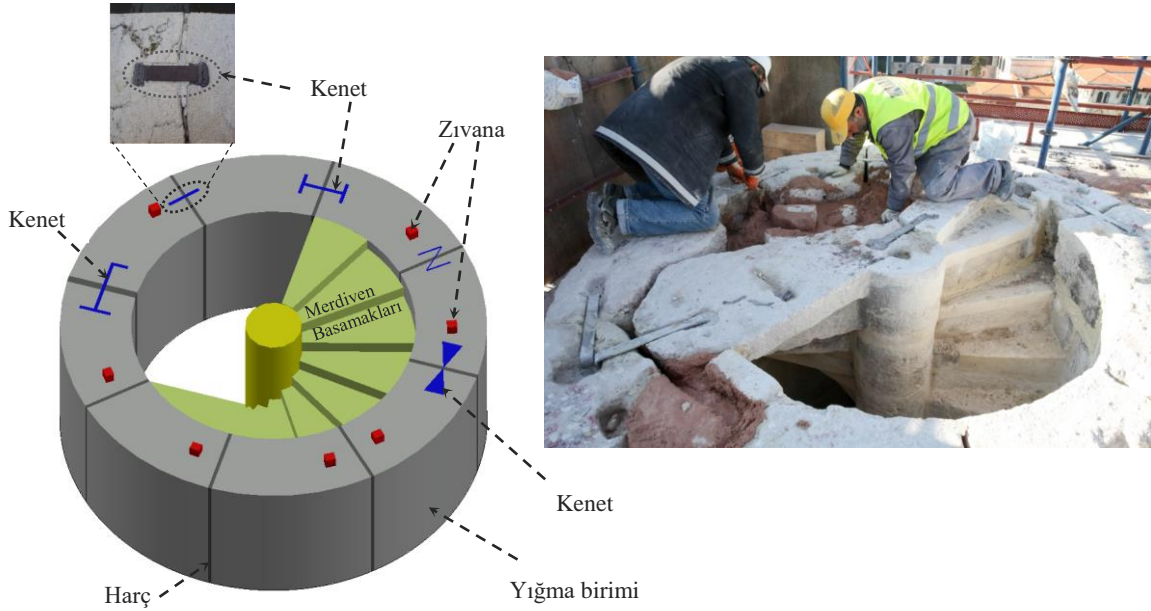
- Eyüb Sultan Camisi minaresinde de Sivrice Merkez camisinde olduğu gibi âlem bölümünde bir bozulma olduğu belirlenmiş ancak âlem bölümüne yakın yerlerdeki taşların göçtüğü ve ayrıca geçiş bölümü ve kürsü bölümünde de çatlakların olduğu gözlenmiştir (Şekil 9.f).
- Seyyid Hıdır Baba Camisi minaresinde külah bölümünde göçmelerin ve kürsü bölümünde çatlakların olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9.g).
- Yolüstü Camisi minaresinde külah bölümündeki göçmelerin ve kürsü bölümündeki çatlakların yanı sıra 2. şerefenin de hasara uğradığı görülmüştür (Şekil 9.h).
- Çatal Çeşme Camisi minaresinde âlem bölümündeki bozulmanın yanı sıra 1. şerefenin alt ve üst bölümlerinde de hasarların meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 9.i).

Doğangün ve Livaoğlu [5]'nin çalışmalarında belirttikleri minarelerin külah, âlem, kürsü ve geçiş bölümlerinde hasarların yoğunlaştığı, Oliveira vd. [10]'nin çalışmalarında değindikleri petek bölümlerinde hasarların artan kütleyle bağlı olarak oluştuğu, Ural ve Çelik [13] ile Işık ve Antep [15] tarafından yapılan çalışmalarda belirttikleri "minarelerin çekme gerilmeleri açısından zorlandığı" vurgusu Elazığ'da deprem sonrasında minarelerde meydana gelen hasarlarda gözlenmiştir. Ayrıca, minarelerin kürsü bölümünden gövdeye geçişteki kesit değişimi sebebiyle geçiş bölümlerinde hasarın oluşabileceği birçok araştırmacı tarafından ifade edilmiştir [22-25]. Geçiş bölümü hasarı yalnızca Eyüb Sultan Camisi minaresinde gözlenmiş olup, diğer minarelerde böyle bir hasara rastlanmamıştır. Minareler konusunda yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere, bu yapılarda oluşan hasarlar çoğunlukla çekme gerilmeleri kaynaklı olarak ortaya çıkmaktadır. Gerek tasarım aşamasında gerekse onarım ve güçlendirme aşamalarında, çekme gerilmelerinin karşılanmasına yönelik tedbirlerin alınması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada incelenen hasarlı minarelerin hiçbirinde söz konusu tedbirlere uyulmamıştır. Mühendislik hizmeti görmüş tarihi minarelerde deprem ve benzeri yüklere bağlı olarak yapıda oluşabilecek çekme gerilmelerini karşılamak amacıyla yığma birimleri arasında kenet ve zıvana uygulamasına rastlamak mümkündür.



Şekil 9. Deprem sonrasında minarelerde meydana gelen hasarlara örnekler

Hasar gören minarelerin hasar şekillerine ve düzeylerine bağlı olarak onarım ve güçlendirme uygulamaları yapılabilir ya da yıkımlarına karar verilebilir. Minarelerin şerefelerinde meydana gelen hasarlar ve malzeme kayıpları aslına uygun malzeme ve teknikle restore edilmelidir. Derzlerde ve yığma birimlerinde meydana gelen boşluklar, çatlaklar ve yarıklar detaylı bir şekilde incelenmelidir. Hasarın seviyesinin az olduğu durumlarda ilgili bölümler renk ve dokuya uygun olarak hazırlanacak bir harç ile onarılmalıdır. Onarım işlemlerinde çimento esaslı harç ve sönmüş kireç harcı kullanılabilmesi gibi kimyasal katkılı esnek harçlar veya fiber takviyeli çimento esaslı harçlar da tercih edilebilir [26-30]. Hasar seviyesinin ileri düzeyde olduğu bölümlerde düşey doğrultuda zıvana ve yatay doğrultuda kenet bağlantı elemanları kullanılarak (Şekil 10) ilgili kısımlar çekme gerilmelerine karşı güçlendirilebilir [31-32]. Minarelerin genel stabilitesini sağlamak amacıyla petek ve külah bölümleri arasındaki geçiş bölümünde galvanizli çelik çekme çemberi uygulaması da araştırmacılar tarafından tavsiye edilen güçlendirme yöntemlerinden birisidir. Sesigür vd. [33], çelik çekme çemberi uygulaması için birleşimlerde yüksek mukavemetli bulonlar kullanılarak ve bu bulonların sıkılması yoluyla çekme çemberinin boşluğu alınarak bir miktar ön gerilme verilebileceğini tavsiye etmişlerdir. Mortezaei vd. [34] ise çelik çekme çemberinin yanı sıra külah bölümündeki hasarların en aza indirgenebilmesi için külah bölümünün yüzeylerinde fiber takviyeli polimer malzemelerin kullanılmasını tavsiye etmişlerdir.



Şekil 10. Tipik bir minare kesiti için kenet ve zıvana uygulaması ve mevcut bir minarede uygulaması [35-36]

Yeni yapılacak yığma minarelerde yukarıda tavsiye edilen harç tiplerinin kullanılması uygundur. Ayrıca yığma minarelerde kenet ve zıvana gibi bağlantı elemanlarının veya fiber takviyeli kompozitlerin kullanımı, minarelerin çekme gerilmelerine karşı mukavemetini artıracaktır. Mevcut yapı yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanıp inşa edilen betonarme minarelerde ise Sivrice Merkez camisinin minarelerinde de gözlemlendiği gibi kayda değer yapısal hasarların oluşumu beklenmemektedir. Ayrıca, yeni yapılacak minarelerde sismik izolatör kullanımı, minarenin hasar görülebilirliğini azaltmak için uygulanabilecek çözümlerdendir. El-Attar vd. [37] minarelerin temeline yüksek sönümlü kauçuk yastıkların yerleştirilmesinin yapı esnekliğini ve sönümlemesini artırdığını ifade etmişlerdir.

4. Sonuçlar

24 Ocak 2020 tarihinde saat 20:55'te (TSİ) merkez üssü Elazığ ilinin Sivrice ilçesi olan bir deprem meydana gelmiştir. Depremin büyüklüğü AFAD tarafından $M_w = 6.8$ olarak açıklanmıştır. Orta büyüklükteki bu deprem sonrasında 41 kişi hayatını kaybetmiş ve birçok kişi yaralanmıştır. Ayrıca konut, iş yeri, ibadethane, hayvan barınağı gibi birçok yapıda hasarlar meydana gelmiş ve bu yapıların bir kısmı da yıkılmıştır. Depremden etkilenen yapı çeşitlerinden birisi de uzun ve ince bir mimariye sahip olan minarelerdir. Bu çalışma kapsamında, deprem sonrasında Elazığ ilindeki minarelerde oluşan hasarlar araştırılmıştır. İncelenen minarelerden bir tanesi betonarme,

diğerleri ise yığma minarelerdir. Betonarme minarenin sadece âlem bölümünde hasar oluşmuştur. Yığma minarelerdeki hasarlar çoğunlukla âlem, külah ve petek bölümlerinde ve bazı minarelerde ise, şerefe, kürsü ve geçiş bölümlerinde olduğu gözlenmiştir. Bu hasarların en büyük oluşum sebebi çekme gerilmeleri kaynaklıdır ve minarelerin bu gerilmelere bağlı olarak hasara uğradığı birçok araştırmacı tarafından da ifade edilmiştir. Bu nedenle, gerek tasarım aşamasında gerekse onarım ve güçlendirme aşamalarında, minarelerin çekme gerilmelerine karşı mukavemetlerinin artırılması büyük önem arz etmektedir. İncelenen minarelerin hiçbirinde söz konusu tedbirlere uyulmamıştır. Minarelerdeki hasarlar göz önünde bulundurularak;

- Şerefelerde meydana gelen hasarlar ve malzeme kayıpları aslına uygun malzeme ve tekniklerle onarılmalıdır.
- Hasar seviyesinin az olduğu yığma minarelerde ilgili bölümler mevcut mimari görünüm göz önünde bulundurularak, renk ve dokuya uygun olarak hazırlanacak bir harç ile onarılmalıdır. Hasar seviyesinin ileri düzeyde olduğu bölümlerde ise düşey doğrultuda zıvana ve yatay doğrultuda kenet bağlantı elemanları kullanılarak ilgili kısımlar çekme gerilmelerine karşı güçlendirilebilir.
- Petek ve külah bölümleri arasındaki geçiş bölümünde galvanizli çelik çekme çemberi uygulaması ve külah bölümünün yüzeylerinde fiber takviyeli polimer malzemelerin kullanılması, bu bölümlerin çekme gerilmelerine karşı dayanımını artıracaktır.

Yeni yapılacak minarelerde ise;

- Yığma minarelerin güçlendirilmesi ile ilgili yukarıda verilen tavsiyelere uygun olarak, yeni yapılacak yığma minareler tasarlanır ve inşa edilirse, bu yapılarda çekme gerilmelerine bağlı olarak oluşabilecek hasarlar azaltılacaktır.
- Betonarme minarelerin mevcut yönetmelik kurallarına bağlı kalınarak tasarlanması ve inşa edilmesi halinde, Sivrice depremi gibi orta büyüklükteki depremlerde bu tip yapılarda ciddi yapısal hasarların oluşumu beklenmemektedir.
- Ayrıca, minarelerin hasar görebilirliğini azaltmak için bu yapılara sismik izolatörlerin yerleştirilmesi uygulaması yapılabilir.

Kaynaklar

- [1] Pekgökgöz RK, Taş G. Ayarlı kütle sönümleyicili yüksek minarelerin dinamik analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 2017; 32(1): 265-282.
- [2] Dehghanian K. Comparison of scaled real strong motions and Turkish earthquake design spectrum for modern reinforced concrete minarets. MSc, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 2015.
- [3] URL-1, <https://tr.pinterest.com/pin/600738037773974308/>. Erişim: 27.01.2021.
- [4] Köse F. Arşiv belgelerine göre Edirnekapı Mihrimah Sultan camii tamirleri ve onarımları. Vakıf Restorasyon Yıllığı 2014; 9: 24-32.
- [5] Doğançün A, Livaoglu R. Traditional turkish masonry monumental structures and their earthquake response. International Journal of Architectural Heritage 2007; 1(3): 251-271.
- [6] Dogangun A, Acar R, Sezen H, Livaoglu R. Investigation of dynamic response of masonry minaret structures. Bulletin of Earthquake Engineering 2008; 6(3): 505-517.
- [7] Altunışık AC. Dynamic response of masonry minarets strengthened with Fiber Reinforced Polymer (FRP) composites. Natural Hazards and Earth System Sciences 2011; 11(7): 2011-2019.
- [8] Hacıfendioğlu K, Birinci F. Stochastic dynamic response of masonry minarets subjected to random blast and earthquake-induced ground motions. The Structural Design of Tall and Special Buildings 2011; 20(6): 669-678.
- [9] Örmecioğlu HT, Akan AE, Beeson ST, Özmen C. Yivli Minare'nin yapısal analizi ve sismik davranışı. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi 2011; 3(3): 52-61.
- [10] Oliveira CS, Çaktı E, Stengel D, Branco M. Minaret behavior under earthquake loading: The case of historical Istanbul. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2012; 41(1): 19-39.
- [11] Pekgökgöz RK, Gürel MA, Mammadov Z, Çili F. Dynamic analysis of vertically post-tensioned masonry minarets. Journal of Earthquake Engineering 2013; 17(4): 560-589.
- [12] Uğurlu MA, Günaslan SE, Karaşin A. Dört Ayaklı Minare'nin modellenmesi ve yapısal analizi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi 2017; 8(2): 413-422.
- [13] Ural A, Çelik T. Tek şerefeli yığma minarelerin deprem davranışı ve dinamik analizi. Aksaray University Journal of Science and Engineering 2018; 2(1): 13-27.
- [14] Yetkin M, Erkek H, Calayır Y. Determining dynamic characteristics of reinforced concrete minarets and updating of their finite element models using environmental vibration data, Firat University Turkish Journal of Science & Technology 2018; 13(1): 93-98.
- [15] Işık E, Antep B. Ahlat İlçesinde Yer Alan Tarihi Yığma Minarenin Yapısal Analizi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2018; 7(1): s.46-56.

- [16] Hökelekli E. Yapı-Zemin Etkileşiminin Tarihi Yığma Minarelerin Deprem Davranışına Etkisi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi 2020; 11(2): 825-838.
- [17] Türker T, Yanık Y. İlyasbey Camisi'nin yapısal davranışının çevresel titreşim testi ve sonlu eleman yöntemleriyle incelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 2020; 8(2): 1431-1453.
- [18] URL-2, <https://deprem.afad.gov.tr/depremdokumanlari/1825>. Erişim: 27.01.2021.
- [19] Elazığ Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. "24 Ocak 2020 depremi için kesinleşmiş hasar tespit sonuçları", Elazığ, 2020.
- [20] URL-3, http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c95549114fbc3f5_ek.pdf?tipi=79&turu=X&sube=3. Erişim: 27.01.2021.
- [21] URL-4, <https://www.google.com.tr/maps>. Erişim: 27.01.2021.
- [22] Calp C. Tarihi minarelerin dinamik özellikleri ve deprem performansları. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [23] Çelik LF. Yivli minarenin depreme karşı dayanıklılığının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 2019.
- [24] Duman C. Yüksekliğin ve şerefe sayısının yığma minarelerin dinamik davranışlarına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye, 2020.
- [25] Bilgiç EA. Diyarbakır Hoca Ahmed (Aynı minare) camii restorasyon önerisi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, 2020.
- [26] Aköz AH. Deprem etkisi altındaki tarihi yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [27] Pineda P, Robador MD, Perez-Rodriguez JL. Characterization and repair measures of the medieval building materials of a Hispanic-Islamic construction. Construction and Building Materials 2013; 41: 612-633.
- [28] Işık N, Halifeoğlu FM. Tarihi Diyarbakır camilerinde tespit edilen taşıyıcı sistem hasarları ile güçlendirme önerileri. Anadolu 2. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi 2019; s.359-375.
- [29] Preciado A, Santos JC, Silva C, Ramírez-Gaytán A, Falcon JM. Seismic damage and retrofitting identification in unreinforced masonry Churches and bell towers by the september 19, 2017 ($M_w=7.1$) Puebla-Morelos earthquake. Engineering Failure Analysis 2020; 118, 104924.
- [30] Bayraktar A, Hökelekli E. A cost-effective FRCC technique for seismic strengthening of minarets. Engineering Structures 2021; 229, 111672.
- [31] Kasapgil ME. Eski eserlerde, yığma duvarların, kubbelerin, tonozların ve temellerin enjeksiyon reçineleri ve ankraj sistemleriyle güçlendirilmesi. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu 2007, s.215-218.
- [32] Turk AM, Cosgun C. Seismic behaviour and retrofit of historic masonry minaret. Gradevinar 2012; 64(1): 39-45.
- [33] Sesigür H, Çelik OC, Çılı F. Ahî Çelebi Camisinin onarımı ve güçlendirilmesi. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu 2007, s.231-238.
- [34] Mortezaei A, Kheyroddin A, Ronagh HR. Finite element analysis and seismic rehabilitation of a 1000-year-old heritage listed tall masonry mosque. The Structural Design of Tall and Special Buildings 2012; 21(5): 334-353.
- [35] Karabork T, Kocak Y. New metal connectors developed to improve the shear strength of stone masonry walls. Structural Engineering and Mechanics 2014; 50(1): 121-135.
- [36] URL-5, <http://www.ucuncunesil.com/2016/02/11/4101>. Erişim: 27.01.2021.
- [37] El-Attar AG, Saleh AM, Zaghaw AH. Conservation of a slender historical Mamluk-style minaret by passive control techniques. Structural Control and Health Monitoring: The Official Journal of the International Association for Structural Control and Monitoring and of the European Association for the Control of Structures 2005; 12(2): 157-177.

Kızılıçın Kurutma Karakteristiklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Enerji Gerekliliğinin Belirlenmesi

Filiz ÖZGEN^{1*}

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ filizozgen@gmail.com

(Geliş/Received: 22/12/2020;

Kabul/Accepted: 23/04/2021)

Öz: Bu çalışmada, kızılıç meyvesinin kuruma karakteristikleri ve kuruması için gerekli olan enerji miktarı deneysel olarak incelenmiştir. Kızılıç meyvesinin kurutulması için konvektif tip bir kurutucu kullanılmıştır. Kurutucu, fan, ısıtıcı, güç kaynağı, kurutma odası, hava giriş ve çıkış kanalları ile gerekli ölçüm aletlerinden oluşmuştur. Taze olarak toplanmış kızılıç meyvesi, 35 °C sıcaklıkta, 1 ve 1,5 m/s kurutma havası hızında kurutulmuştur. Her bir ölçüm için kurutma tepsisine 304 gr yaş kızılıç meyvesi koyulmuş, %68 olan ilk nem içeriği, %10' a ulaşıncaya kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. En düşük kuruma zamanı (64 saat) 1,5 m/s'de elde edilmiştir. En yüksek kuruma zamanı (67 saat) ise 1 m/s için bulunmuştur. Kurutma havası hızı, kızılıçın kuruması için enerji gerekliliğini önemli derecede etkilemiştir. Enerji gerekliliği 35 °C kuruma havası sıcaklığı ve 1,5 m/s kurutma havası için 106,7 kWh iken 1 m/s kurutma havası hızındaki toplam enerji gerekliliği 92 kWh olmuştur. Meyve ve sebzelerin kurutulması için tasarlanan bu konvektif kurutucuda, farklı hızlarda çalışmanın kurutmaya etkileri belirlenmiş, ürünün parlaklık ve renk kalitesi açısından korunduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kurutma, Kurutma havası hızı, Kızılıç, Enerji gerekliliği.

Experimental Investigation of Drying Characteristics of Cornelian Cherry Fruit and Determination of Energy Requirement

Abstract: In this study, the drying characteristics of cornelian cherry fruit and the amount of energy required for drying were experimentally investigated. A convective type dryer is used to dry the cornelian cherry fruit. Consists of dryer, fan, heater, power supply, drying room, air inlet and outlet channels and necessary measuring instruments. The freshly picked cornelian cherry fruit was dried at 35 °C with a drying air velocity of 1 and 1,5 m / s. For each measurement, 304 g of fresh cornelian cherry fruit was put in the drying tray, and the drying process was continued until the initial moisture content, which was 68%, reached 10%. The lowest drying time (64 hours) was obtained at 1,5 m / s. The highest drying time (67 hours) was found for 1 m / s. Drying air velocity significantly affected the energy requirement for drying cornelian cherry. The energy requirement was 106,7 kWh for 35 °C drying air temperature and 1,5 m / s drying air, while the total energy requirement at 1 m / s drying air velocity was 92 kWh. In this convective dryer designed for drying fruits and vegetables, the effects of operating at different speeds on drying were determined and it was determined that the product was preserved in terms of brightness and color quality.

Key words: Drying, Drying air velocity, Cornelian cherry fruit, Energy requirement.

1. Giriş

Tarımsal ürünlerin bol miktarda üretilmesi ve uzun süre saklanamamasından dolayı taze kalma süreleri çok kısa olmaktadır. Ürünlerin taze olarak saklanabilmesi bazı özel işlemler gerektirmektedir ki en önemlisi kurutma işlemidir. Bir gıda saklama yöntemi olarak kurutma, hasat sonrası tarımsal ürünleri işlemenin bir yoludur. İyi kalitede kurutulmuş ürünlerin elde edilmesi için uygun kurutma tekniklerinin kullanılması arzu edilir [1]. Kurutma, tahıllar, meyveler, sebzeler ve deniz ürünleri gibi gıdaların korunmasına izin veren en eski tekniklerden biridir. Bakteriye durdurmak için nem içeriğini azaltarak ürünün ömrünü uzatır, çürümeye veya fermantasyona neden olan mikroorganizmaları ortadan kaldırır, küf çoğalmasını durdurur, taşıma ve depolamayı kolaylaştırmak için ürün ağırlığını azaltır. Kurutma, birkaç yolla uygulanabilen bir tekniktir, bunlardan en yaygın olanı açık güneşte kurutmadır. Bununla birlikte, bu tekniğin bazı dezavantajları vardır. Kurutulacak ürün, doğrudan güneş ve rüzgardan faydalanmak için zemine üzerine yayıldığında toz ve böceklerle maruz kalır. Ek olarak, kurutulmuş ürün kirlenir ve düşük kalitede olabilir. Açık güneşte kurutmanın sakıncalarını hafifletebilecek farklı bir yaklaşım, yakıt ve elektrik kullanılarak gerçekleştirilebilir, ancak kurutma yöntemleri, uygun maliyetli ve ortama zararlı olmamalıdır [2]. Kurutma, en eski gıda koruma yöntemlerinden biridir ve kalite açısından istenmeyen değişikliklerden dolayı zor bir gıda işleme işlemidir. Bu dönemde gıda maddelerinin ısı iletkenliğinin düşük

* Sorumlu yazar: filizozgen@gmail.com. Yazarın ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-2278-2093

olmasından dolayı, geleneksel ısıtma sırasında gıdaların iç kısımlarına ısı geçişi sınırlıdır. Tarım ve hayvancılıkta besin maddelerinin kurutulması ve depolanması çok uzun yıllardan beri bilinen ve her tür besin maddesine uygulanabilen bir yöntemdir. Tahıllar, baklagiller, sebze, meyve, et ve su ürünleri gibi her türlü besin maddesi kurutulmuş muhafaza edilebilir [3].

Kızılıcık Kafkasya'nın eteklerinden gelir ve oradan Türkiye, Romanya, İtalya ve Bulgaristan'a kadar yayılır. Aynı zamanda kışa dayanıklı ve kuraklığa dayanıklıdır ve fazla bakım gerektirmez. Bu nedenle, çok karlı bir üründür. Meyvesi sulu ve ekşidir. Türkiye'deki insanlar arasında gastrointestinal bozuklukların ve ishali tıbbi tedavisinde de kullanılmaktadır. Kızılıcık meyvesi, votka ve şarapların üretiminde, meyve suları, likörler, jeller, reçeller, çay üretimi ve gıda renklendiricileri olarak da kullanılmaktadır [4]. Kızılıcık meyvesi, C vitamini deposudur ve insan vücudunda oluşabilecek rahatsızlıklara karşı çok önemli bir koruyucudur. Dişlerin çürümelerini ve plak oluşumunu engeller. Kızılıcığın içinde bulunan asit ve bileşikler böbrek ve tümör oluşumunu önler. Kızılıcık suyu, yüksek kolesterol ve kalp yetmezliği gibi sıkıntılı olan hastaların kalp sağlığını olumlu yönde etkiler. Kızılıcık, Cornaceae ailesinin 40 türünden en önemlisi olup, ılık bölgelerde yetişir. Eliptik şekle sahip ve 10-20 mm uzunluğunda olan bu ürünün ekşimsi bir tadı vardır. Türkiye'de yılda yaklaşık 14 bin ton üretimi yapılmaktadır. Kızılıcık meyvesinde kolay hazımlanabilen şekerler, glikoz, organik asitler, glikozit, fruktoz, aromatik bileşikler, tanen, salisilik asit, pektin ve mineral maddeler bulunmaktadır [5]. Literatürde, sıcaklık ve hız gibi özelliklerin kuruma davranışı üzerine etkilerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur [6-10].

Özgen [11], kızılıcık meyvesinin kurutma karakteristiklerini farklı kurutma sıcaklığı ve farklı kurutma havası hızlarında deneysel olarak incelemiş, bu parametrelerin etkilerini grafikler halinde sunmuştur. Kızılıcık meyvesinin yaş baza ve kuru baza göre nem içeriği değişimleri ile kızılıcığın kuruma süresince ürün sıcaklığını grafikler halinde göstermiştir. Ayrıca farklı sıcaklıklar için enerji gerekliliğini hesaplayıp literatüre katkı sağlamıştır. Özgen ve Çelik [12], kivi meyvesinin konvektif tip bir kurutucudaki kurutma davranışlarını araştırmışlardır. Kurutma hava sıcaklığı ve kurutma hızının farklı boyutlarda dilimlenmiş kivi meyvesinin kuruma süresini nasıl etkilediğini deneysel olarak incelemişlerdir. En düşük kuruma süresini 225 dakika en uzun kuruma süresini 750 dakika olarak bulmuşlardır.

Kurutma sırasında meyvelerin özelliklerini (örneğin hacim, büzülme ve gözeneklilik) izlemek çok önemlidir. Kurutulmuş ürünün görünür hacmini ölçmek için farklı yöntemleri karşılaştıran çalışmalar yetersizdir. Yan vd. [13], sıcak hava ile kuruma sırasında muz, ananas ve mangonun spesifik hacim, büzülme ve gözeneklilik durumunu incelemişlerdir. Muz, ananas ve mango dilimleri, 70 ° C sıcaklığındaki bir fırın içinde yaş baza göre nem içeriği yaklaşık %5 oluncaya kadar kurutulmuşlardır. Muz, ananas ve mango dilimlerinin görünür hacmini, büzülmesini ve gözenekliliğini ölçmek için farklı yöntemler karşılaştırılmış ve meyvelerin kurutma sırasındaki yapısal değişiklikleri tanımlanmıştır.

Amjad vd. [14], konvektif kurutma sırasında üç kurutma sıcaklığında (50 °C, 60 °C, 70 °C), 5 mm, 7 mm, 9 mm kalınlıklarındaki patateslerin nem muhtevasını belirlemek için hiperspektral görüntüleme (HSI) kullanmışlardır. Yapılan çalışma, hiperspektral görüntülemenin, tahribatsız ölçüm ve kurutma işlemi sırasında nem içeriği ve renkliliğin görselleştirilmesi için yararlı bir araç olduğunu göstermiştir.

Nguyen ve Price [15], muz plakalarının havada kurutulmasını araştırmış, sıcaklık, bağıl nem ve ürün kalınlığı gibi deneysel parametrelerin etkisini incelemişlerdir. Hasat mevsimi ve dolayısıyla ilk nem içeriğinin kurutma kinetiği üzerinde çok belirgin bir etkisi olduğunu göstermişlerdir. Bi vd. [16], dilimlenmiş elmaların kurutma kinetiği, farklı ön işlemden geçirdikten sonra incelemişlerdir. Kurutma kinetiğini tanımlamak için dört ince katmanlı kurutma modeli uygulamışlar ve parabolik bir modelin, elma dilimlerinin kurumuş kinetiğini karakterize etmek için en iyi model olduğunu göstermişlerdir.

Prithani ve Dash [17], kivi meyvesinin farklı sıcaklıklardaki kurutma davranışlarını, ultrasonik bir kurutma sisteminde incelemişlerdir. Ultrason uygulamasının etkileri, numunelerin su kaybı, şeker kazancı ve nem yayılımı analiz edilerek, düşük enerji ve maliyetle kütle transferinin artırılabilirliğini göstermişlerdir. Bechlin vd. [18], ozon uygulaması ve sıcak hava ile kurutmanın portakal kabuğu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada ozonun narenciye ürünlerinin kimyasal ve biyolojik parametreleri üzerinde fiziksel olarak nasıl davrandığının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmuşlardır. Kouhila vd. [19], kurutma havası sıcaklığının midye üzerine etkilerini, güneş kollektörü yardımıyla, konvektif tip bir kurutucuda incelemişlerdir. 40 ile 60 °C arasında değişen kurutma havası sıcaklığının gıda ürünlerini kurutmak için yeterli olduğunu göstermişlerdir. Erdem vd. [20], sabit hava giriş hızı ve sıcaklığında alabalığın kurutma davranışı deneysel olarak incelemişlerdir. Balıklar tek parça, beş parça ve on parça olarak kurutulmuştur. Balığın nem içeriği, kuruma hızı ve iç sıcaklığı ile ilgili elde edilen veriler kuruma zamanının bir fonksiyonu olarak sunulmuştur. Parça etkisinin balığın kuruma zamanı üzerinde çok etkili olduğu gözlemlenmiştir. Kaya ve Orhan [21], konvektif bir kurutucuda 500 g ağırlığında kızılıcık örneklerinin üç farklı sıcaklıkta (30-50 °C) kurutulması sırasında, kuruma süresinin 60-85 saat arasında değiştiğini ayrıca kurutma havası sıcaklığının artması ile kuruma süresinin azaldığını belirtmişlerdir. Anlaşıldığı

üzere kızılıcığın infrared ısısı ile kurutulması, havalı kurutmaya nazaran kuruma süresinde önemli ölçüde avantaj sağlamıştır. Banı [22], kızılıcığın infrared ısısı ile kurutulmasında kütle transfer katsayılarının ve vitamin kayıplarının incelenmesi ile ilgili bir tez çalışması yapmıştır.

Olgunlaştıktan sonra toplanan meyve ve sebzelerin raf ömrünü uzatmak için, klasik bir gıda saklama yöntemi olan kurutma kullanılır. Ancak güneş altında yapılan kurutma işlemleri yiyeceklerin toz, böcek gibi durumlarla karşı karşıya getirir bu da sağlık açısından zararlı durumlara yol açabilir. Bu çalışmada, 35 °C sıcaklık, 1 ve 1,5 m/s hız değerleri için kızılıcığın nem içeriği, sıcaklığı ve kütle kaybı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur. Farklı hızlarda çalışmanın toplam enerji gerekliliği üzerinde önemli rol oynadığı görülmüştür. Bu çalışmada imal edilen konvektif tip kurutucu, ürünün doğrudan sıcak hava ile temasını sağlayarak, zararlı dış etkilere uzak bir şekilde kısa sürede kurumasına yardımcı olacaktır. Böylece ürün, renk değişimi olmadan insan sağlığına uygun bir şekilde kuruyacak, bu anlamda yapılan çalışma literatüre katkı sağlayarak, ülkemizde kurutma ile ilgili çalışmalara örnek teşkil edecektir.

2. Teorik Analiz

2.1. Nem içeriği:

Nem içeriği, kurutulacak malzemenin içerisindeki nemin ölçüsüdür. Yaş ve kuru baz şeklinde tanımlanmaktadır [23].

Yaş ve kuru baza göre nem içeriği:

$$M_{wb} = \frac{M_w}{M_T} \quad (1)$$

$$M_{db} = \frac{M_w}{M_k} \quad (2)$$

denklemleri ile verilmektedir. Denklemlerde görülen M_w ürünün su ağırlığı, M_T ürünün toplam ağırlığı, M_k ise ürünün kuru ağırlığıdır.

2.2. Boyutsuz nem oranı:

Kurutulan maddenin herhangi bir t anındaki nem içeriğinin, başlangıçtaki nem içeriğine oranı boyutsuz nem oranı olarak tanımlanmakta ve şu şekilde ifade edilmektedir [11,12,20 ve 21]:

$$W_s = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3)$$

Burada M_t kurutulan maddenin t anındaki ağırlığı, M_e denge nemi ağırlığı, M_0 ise kurutulan maddenin ilk ağırlığıdır.

2.3. Toplam enerji gerekliliği:

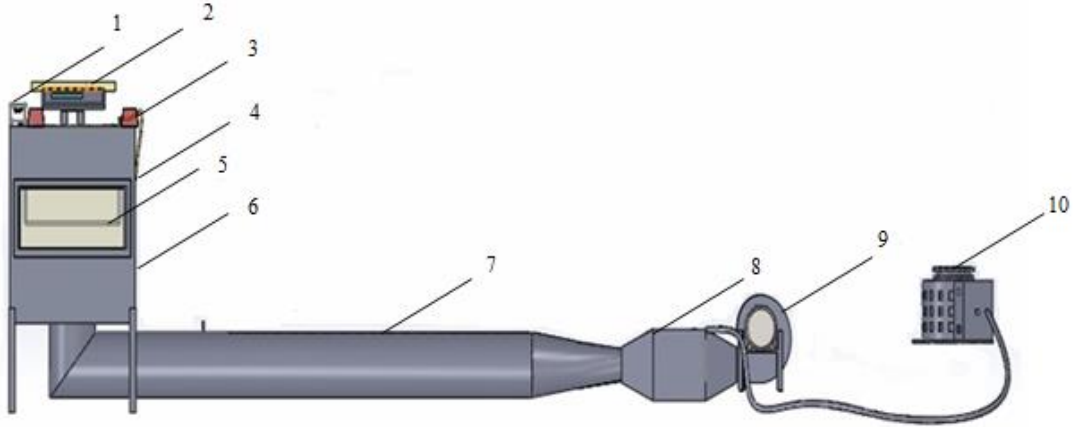
Yapılan bu çalışmada farklı kurutma havası hızları için toplam kuruma zamanı belirlenmiştir. Ayrıca tasarlanan konvektif tip kurutma sistemi için toplam enerji gerekliliği de aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır [9,11 ve 24].

$$E_t = Av\rho c\Delta T D_t \quad (4)$$

Bu denklemde; A hava akış alanı, v kurutma hava hızı, ρ hava yoğunluğu, c havanın özgül ısı kapasitesi, ΔT düzeneğin giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkı ve D_t toplam kurutma zamanıdır. 35 °C kuruma havası sıcaklığı ve 1 m/s kurutma havası hızında toplam enerji gerekliliği 92 kWh iken, 1.5 m/s de 106,7 kWh olmuştur.

3. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan deney düzeneğinin görünüşü Şekil 1'de verilmiştir. Bu düzenek fan, ısıtıcılar, güç kaynağı ($\pm 0,02$ hassasiyetle değişen), kurutma odası, hava giriş ve çıkış kanalları ve ölçümler için kullanılan aletlerden oluşmuştur. Hava akış hızı maksimum gücü 0,537 kW, devir sayısı 1400 d/d ve debisi 1250 m³ /h (SB908AN-22-3) olan radyal bir fan yardımıyla ayarlanmıştır. Isıtıcı sistem, kanalın içine yerleştirilmiş 2000 W gücüne sahip bir elektrikli ısıtıcıdan oluşmuştur. Ortamın nemi $\pm 0,1$ RH hassasiyetinde olan bir nemölçer ile ölçülmüştür (KIMO). Kurutma oda sıcaklığı varyak yardımıyla sabit hale getirilmiştir. Kullanılan varyak 260 V, 2,5 A ve 50 Hz gücüne sahiptir (Staco 3PN1520B). Ürün yüzey sıcaklıkları ile kurutma odası giriş ve çıkış sıcaklıkları 0,08 mm çapındaki T tipi termokupullar kullanılarak ölçülmüştür. Kurutma odası uzunluğu, genişliği ve yüksekliği sırasıyla 60, 40 ve 60 cm'dir. 27 cm uzunluk ve 21 cm genişliğindeki kurutma tepsisinin üzerine meyveler eşit olarak koyularak, kızılıcık meyvelerinin kütle kaybı 60 dakikalık aralıklarla 0-6,100 g ölçüm aralığında ve $\pm 0,1$ g hassasiyetindeki Avery Berkel (Model CC061) dijital bir terazi ile ölçülmüştür. Hava hızını belirlemek için, 0.4-3 m/s aralığında ölçüm yapabilen ve %3 hassasiyete sahip RAM DT-619 model dijital bir el anemometresi kullanılmıştır. Hassas ölçümlerin yapılmasını sağlamak için ölçümler 3 kez tekrarlanmıştır. Yapılan deneylerde, kurutma odası giriş sıcaklığı, kurutma odası çıkış sıcaklığı, ortam sıcaklığı, kuruma hızı, meyvelerin kütle kaybı ve nem değerleri ölçülmüştür.



Şekil 1. Kullanılan düzeneğinin görüntüsü; 1.Nemölçer, 2.Dijital terazi, 3.Termoanemometre, 4.Hava çıkış kanalı, 5.Kurutma tepsisi, 6.Kurutma kabini, 7.Hava akış kanalı, 8.Isıtma sistemi, 9.Fan, 10.Varyak

Kurutma işlemi başlamadan önce kurutma havası sıcaklığı ve kurutma havası hızı ayarlanarak deney düzeneği kararlı hale getirilmiştir. Deneylerin yapıldığı ortamın nem oranı %22-40 arasında, ortam sıcaklığı ise 20-25°C arasında değişmektedir. Deneyde kullanılan kızılıcık meyveleri Elazığ'da bulunan bir bahçeden taze olarak toplanmıştır. Daha sonra, 304 g yaş kızılıcık meyveleri kurutma tepsisine koyulmuştur ve kütle kaybı teraziden ölçülmüştür. Kurutma işlemi sırasında denge nemi, kurutma havası sıcaklığına ve kurutma havası bağıl nemine bağlı olarak, kuru katının içerebileceği en az nem miktarını gösterir. Kızılıcık örneklerinin başlangıç nem içeriklerinin hesaplanabilmesi için 20 g kızılıcık numunesi 24 saat bekletilerek 100 °C de kurutulmuş ve kurutma işlemi boyunca ürünlerdeki ağırlık değişimleri bir saat ara ile kaydedilmiştir. Son iki ölçüm arasındaki fark %0.05 oluncaya kadar kurutma yapılmıştır. Kurutma işlemi üç kez tekrar edilmiş ve ürünlerin ilk nem değerleri belirlenerek ortalaması alınmıştır. Kızılıcık örneklerinin başlangıç nem içeriği %68 olarak belirlenmiştir. Kızılıcığın yaş baza göre %68 olan ilk nem içeriği, kurutma işlemi sonunda %10'a ulaşmıştır. Kurutulan kızılıcıkların, farklı konumlardaki görünüşleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Deneyde kullanılan kızılözlüklerin farklı konumlardaki görüntüleri

3.1. Belirsizlik analizi:

Konvektif tip kurutucuda yapılan kurutma deneylerinde sıcaklığın, zamanın, kütle kayıplarının, hızın, havanın neminin ve örneklerin kuru madde miktarının ölçülmesi sırasında, hem sabit hatalardan hem imalat hatalarından hem de rastgele hatalardan kaynaklanan hataların etkili olduğu tahmin edilmiştir. Ölçülen değerleri dikkate alarak kurutucuda yapılan kurutma işlemleri için bu değerlerden kaynaklanan toplam hataların hesaplanması gerekir. Yapılan deneylerde, ölçülen büyüklükler (R) ve bu büyüklüklere etki eden n tane bağımsız değişken ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) olarak ifade edilir, her bir bağımsız değişkenin ve hesaplanan büyüklüğün hata oranı aşağıdaki gibi hesaplanır. Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ve R büyüklüğünün hata oranı W_R aşağıdaki formül ile hesaplanır [25]:

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

Bütün ölçüm aletleri ve ölçümler belirli özelliklere sahiptir. Hatalar ve belirsizlikler hem ölçüm aletinin hem de yapılan ölçüm işleminin doğasında vardır. Deneysel çalışmalardaki hata ve belirsizlikler ölçüm aletinin seçiminden, özelliklerinden, çevre ve deney şartlarından ve okuma özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Kullanılan aletlerin yukarıda verilen belirsizlikleri kullanılarak denklem (4) yardımıyla ölçüm parametrelerinin toplam hata miktarları bulunmuş ve Tablo 1’de gösterilmiştir.

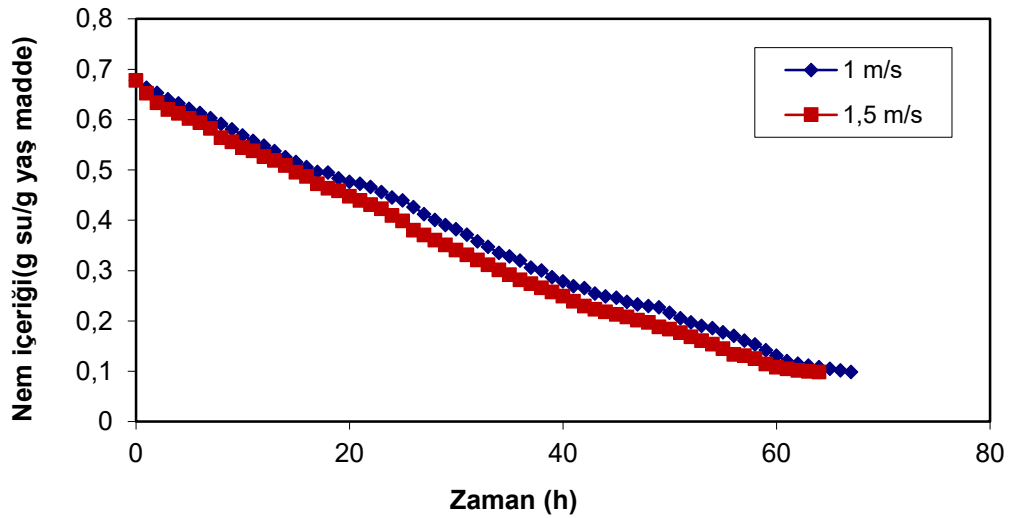
Tablo 1. Ölçüm parametrelerinin belirsizlikleri

Parametre	Birim	Toplam Hata
Sıcaklık Ölçümü	°C	±0,08
Hava Hızı	m/s	±0,03
Kütle Ölçümü	g	±0,1
Nem Kaybı Ölçümü	dak	±0,17
Boyutsuz Nem İçeriği	dak	±0,19
Kuruma Hızı	g/s	±0,14

4. Sonuçlar ve Tartışma

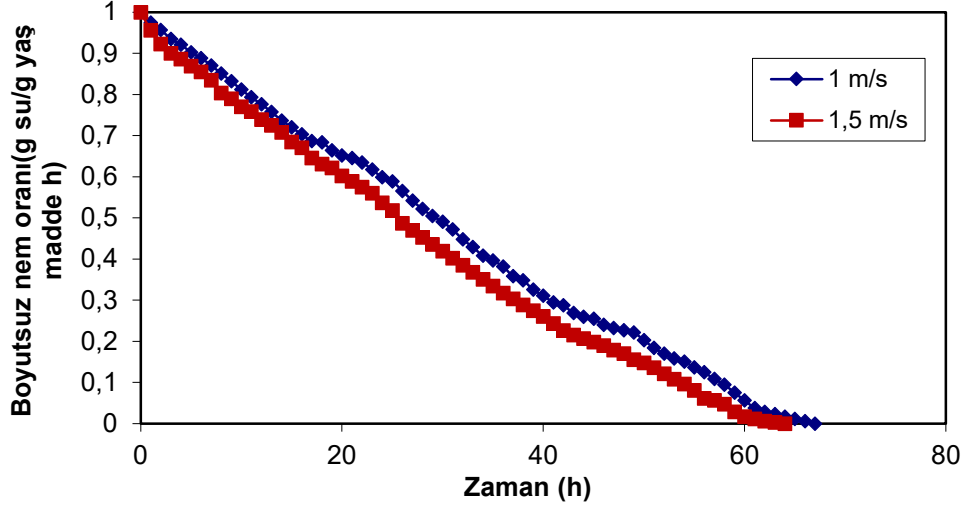
Literatürde meyve ve sebzelerin kurutulması sırasında hava sıcaklığı, nem ve akış hızı gibi parametrelerin ve kurutulan materyale ait özelliklerin kuruma karakteristiklerine etkilerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur. Ancak, literatürde kızılıçığın kurutma karakteristikleri ile ilgili çalışmalar çok sınırlıdır. Çünkü kızılıçık meyvesi oldukça geç kuruyan bir üründür ve saatlerce sürebilmektedir. Kuruma süresi uzun olduğu için literatürde kuruma süresi az olan meyvelerin kurutulmasına yer verilmiştir. Bu çalışma kızılıçık meyvesinin önemini vurgulayarak, kurutma karakteristiklerini ortaya koyan bir çalışma olmuştur ve bu anlamda da bilime katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada kuruma havası hızı, 1 ve 1,5 m/s alınmış ve etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Kuruma havası hızı ürünün nem içeriğini, sıcaklığını ve toplam kuruma zamanını etkileyen bir parametredir. Aynı zamanda artan hızlarda kuruma süresini azaltacağı için tüketilecek enerji miktarını azaltacak ve ekonomiye katkı sağlayacaktır.

35 °C kuruma havası sıcaklığı, 1 ve 1,5 m/s hız değerleri için, kızılıçığın yaş baza göre nem içeriğinin zamanla değişimi Şekil 3’de verilmiştir. Kuruma süresi arttıkça nem içeriği yavaş yavaş azalmaktadır. Beklendiği gibi kurutma havası hızı kızılıçığın nem içeriğini etkilemektedir. Başka bir değişle kurutma havası hızı arttıkça kızılıçığın kuruma süresi azalmıştır. Kızılıçığın kuruma süresi 1,5 m/s için 64 saat iken, 1 m/s için 67 saat olarak belirlenmiştir. Bu duruma benzer çalışmalar literatürde mevcuttur [5,11 ve 12]. Kaya ve Orhan [21], hava hızını arttırarak kızılıçığın kuruma süresini 85 saatten 60 saate, Ozgen ve Çelik [12], hızı arttırarak kivi meyvesinin kuruma süresini 750 dakikadan 225 dakikaya indirmişlerdir.



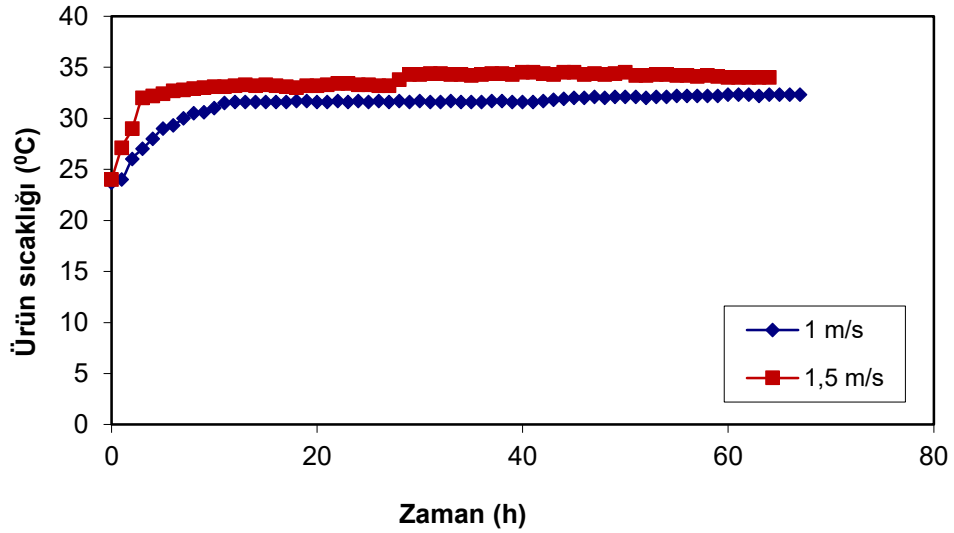
Şekil 3. Yaş baza göre nem içeriğinin zamana göre değişimi

Boyutsuz nem oranının kuruma zaman ile değişimi Őekil 4’de verilmiştir. Kurutma zamanının artmasıyla boyutsuz nem oranı da azalmıştır. Bu dūřuřu etkileyen ana faktör kurutma havası hızıdır ve yüksek kurutma havası hızı dūřuk kuruma süresine neden olmuştur. 1,5 m/s hız için kuruma zamanı en az iken, en uzun kuruma zamanı 1 m/s için olmuştur.



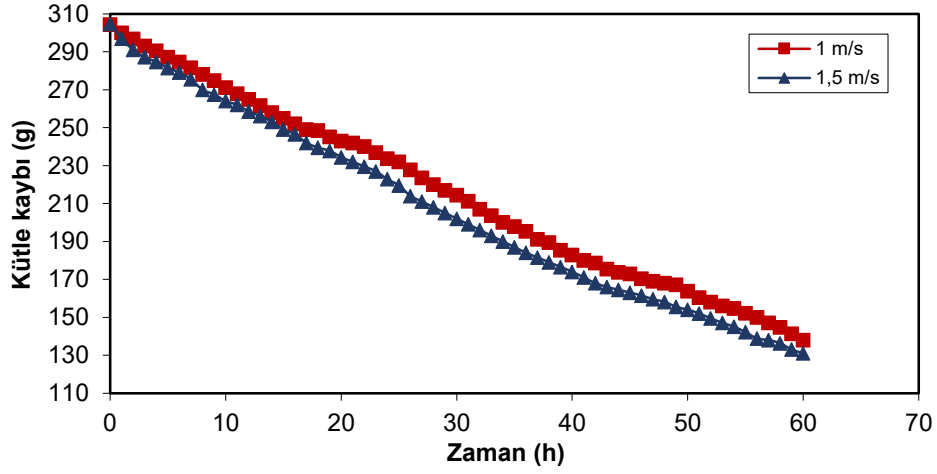
Şekil 4. Boyutsuz nem oranının zamana göre değişimi

35 °C sabit kuruma havası sıcaklığı, 1 ve 1,5 m/s hız değerleri için, kızılciğin yüzey sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 5’de sunulmuştur. Kızılciğ meyvesinin ürün sıcaklığı kurutma süresi boyunca sürekli olarak kaydedilmiştir. Kuruma zamanı boyunca yüzey sıcaklığının hızla arttığı ve sonra yavaşça sabit hale geldiği görülmüştür.



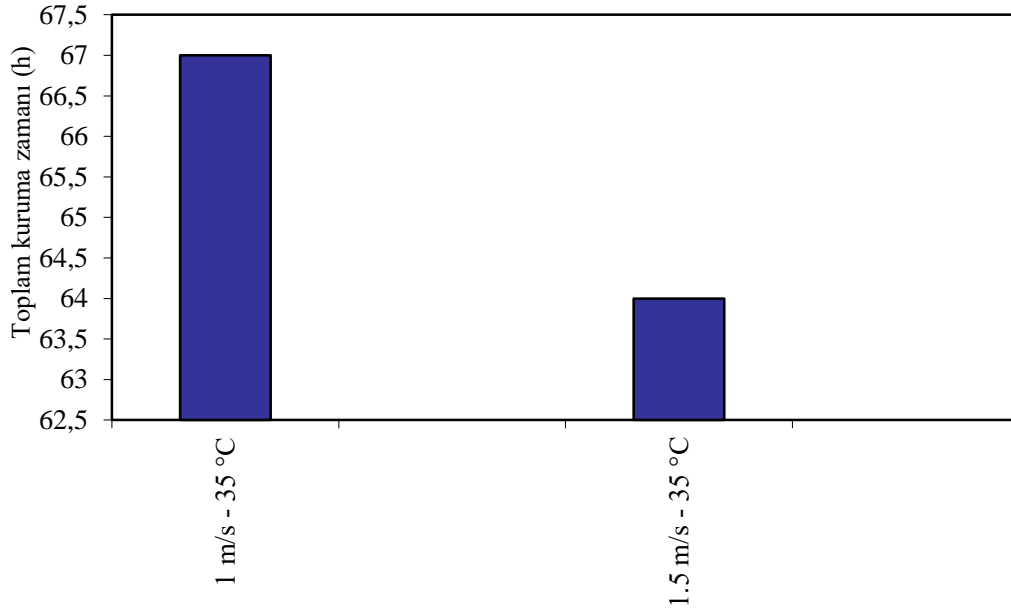
Şekil 5. Ürün sıcaklığının zamana göre değişimi

35 °C sıcaklık, 1 ve 1,5 m/s hızları için kızılciğin kurutma süresince kütle değişimi Şekil 6’da sunulmuştur. Kurutma havası hızı, kızılciğin kuruma süresini etkilemiştir. Yüksek hızlarda kuruma süresi de azalmıştır. En yüksek kayıp 1,5 m/s için olurken, uzun süren kütle kaybı 1 m/s için görülmüştür.



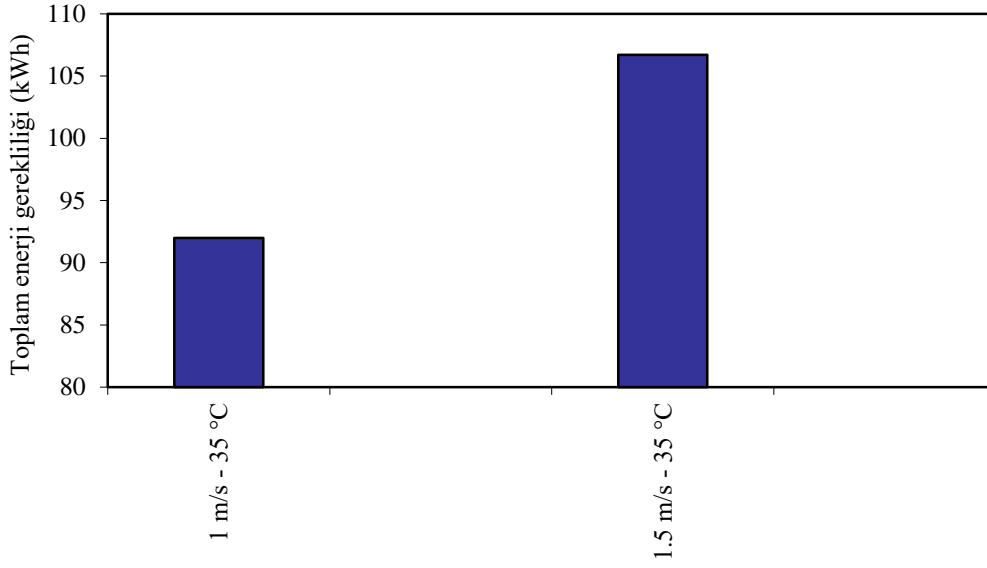
Şekil 6. Kütle kaybının zamana göre değişimi

Kızılığın meyvesinin toplam kuruma zamanı Şekil 7’ de gösterilmiştir. Toplam kuruma zamanı 35 °C sıcaklık ve 1,5 m/s hız değeri için daha kısa olmuştur (64 saat). 1 m/s kurutma havası hızındaki toplam kuruma zamanı ise 67 saate ulaşmıştır. Kurutma havası hızının artması ürünün daha erken kurumasını sağlamıştır.



Şekil 7. Konvektif tip kurutucunun farklı hızlardaki toplam kuruma zamanı

Tasarlanan konvektif tip kurutma sistemi için hesaplanan toplam enerji gerekliliği Şekil 8’ de görülmektedir. Maksimum enerji gerekliliği 35 °C sıcaklık ve 1,5 m/s hız değeri için olmuştur (106,7 kWh). 1 m/s kurutma havası hızındaki toplam enerji gerekliliği ise minimum değere ulaşmıştır (92 kWh). Benzer çalışmalar literatürde mevcuttur [21].



Şekil 8. Konvektif tip kurutucunun farklı hızlardaki toplam enerji gerekliliği

5. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada, 35 °C sıcaklık, 1 ve 1,5 m/s hız değerleri için, kızılciğın kurutma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar şu şekilde verilebilir:

- Kızılciğın kurumadan önceki nem içeriği yaş baza göre %68 iken kuruduktan sonraki nem içeriği %10 olmuştur.
- %10'a varan nem içeriğine ulaşma zamanı 1 ve 1,5 m/s hızlar için 67 saat ve 64 saat olmuştur.
- Nem içeriği ve kurutma oranı hava hızından etkilenmiş, kurutma hava hızının artmasıyla kurutma zamanı azalmıştır.
- Kurutma havası hızı, kızılciğın kuruması için enerji gerekliliğini önemli derecede etkilemiştir. Enerji gerekliliği 35 °C kuruma havası sıcaklığı ve 1,5 m/s hız değeri için 106,7 kWh iken 1 m/s kurutma havası hızındaki toplam enerji gerekliliği 92 kWh olmuştur. Hız değerinin azalması enerji gerekliliğini %13,78 oranında azaltmıştır.

Semboller

- A: Hava akışı yüzey alanı (m²)
c: Havanın özgül ısı kapasitesi (J/kgK)
D_t: Toplam kurutma zamanı (h)
E_t: Toplam enerji gerekliliği (kWh)
M_{wb}: Yaş baza göre nem içeriği (g/g)
M_{ab}: Kuru baza göre nem içeriği (g/g)
M_w: Ürünün su ağırlığı (g)
M_T: Ürünün toplam ağırlığı (g)
M_k: Ürünün kuru ağırlığı (g)
W_s: Nem oranı (g su/g kuru madde)
M_t: Ürünün t anındaki ağırlığı (g)
M_e: Denge nemi ağırlığı (g su/g kuru madde)
M₀: Ürünün başlangıç ağırlığı (g)
M_{t+Δt}: Ürünün t + Δt anındaki ağırlığı (g)
ρ: hava yoğunluğu (kg/m³)
ΔT: sıcaklık farkı (K)
v: kurutma hava hızı (m/s)

Kaynaklar

- [1] Bains R, Langrish TAG. Choosing an appropriate drying model for intermittent and continuous drying of bananas. *Journal of Food Engineering* 2007; 79: 330-343.
- [2] Djebli A, Hanini S, Badaoui O, Haddad B, Benhamou A. Modeling and comparative analysis of solar drying behavior of potatoes. *Renewable Energy* 2020; 145: 1494-1506.
- [3] Erdem M, Varol Y. Alabalığın kurutulması ve tuzlanması üzerine deneysel bir çalışma. *Termodinamik* 2014; 264: 92-102.
- [4] Conversa G, Miedico O, Eugenio Chiaravalle A, Elia A. Heavy metal contents in green spears of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) grown in Southern Italy: Variability among farms, genotypes and effect of soil mycorrhizal inoculation. *Scientia Horticulturae* 2019; 256: 108559.
- [5] Özgen F. Kurutma Hava Hızının Kızılıçığın Kurutma Karakteristikleri Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2013; 25 (2): 99-105.
- [6] Akpınar E K, Dincer I. Moisture transfer models for slab drying. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2005; 32:80- 93.
- [7] Akpınar E, Biçer Y. Siklon tipi bir kurutucuda kabağın kuruma davranışının incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2003; 16 (1): 159-169.
- [8] Kaya A, Aydın O, Demirtaş C. Experimental and theoretical analysis of drying carrots. *Desalination* 2009; 237: 285-295.
- [9] Koyuncu T, Serdar U, Tosun I. Drying characteristics and energy requirement for dehydration of chestnuts (*Castanea sativa* Mill.). *Journal of Food Engineering* 2004; 62: 165-168.
- [10] Azharul Karim Md, Hawlader MNA. Drying characteristics of banana: theoretical modelling and experimental validation. *Journal of Food Engineering* 2005; 70: 35-45.
- [11] Ozgen F. Experimental investigation of drying characteristics of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.). *Heat Mass Transfer* 2015; 51: 343-352.
- [12] Ozgen F, Celik N. Evaluation of Design Parameters on Drying of Kiwi Fruit. *Applied Sciences* 2019; 9, 10; doi:10.3390.
- [13] Yan Z, Sousa-Gallagher MJ, Oliveria FAR. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. *Journal of Food Engineering* 2008; 84: 430-440.
- [14] Amjad W, Crichton SOJ, Munir A, Hensel O, Sturm B. Hyperspectral imaging for the determination of potato slice moisture content and chromaticity during the convective hot air drying process. *Biosystems Engineering* 2018; 166: 170-183.
- [15] Nguyen M, Price WE. Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. *Journal of Food Engineering* 2007; 79: 200-207.
- [16] Bi J, Yang A, Liu X, Wu X, Chen Q, Wang Q, Lv J, Wang X. Effects of pretreatments on explosion puffing drying kinetics of apple chips. *LWT - Food Science and Technology* 2015; 60: 1136-1142.
- [17] Prithani R, Dash KK. Mass transfer modelling in ultrasound assisted osmotic dehydration of kiwi fruit. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 2020; 64: 102-112.
- [18] Bechliina TR, Granella SJ, Christ D, Coelho SRM, Paz CHO. Effects of ozone application and hot-air drying on orange peel: moisture diffusion, oil yield, and antioxidant activity. *Food and Bioprocess Technology* 2020; 123: 80-89.
- [19] Kouhila M, Bahammou Y, Lamsyehe H, Moussaoui H, Tagnamas Z, Idlimam A, Lamharrar A, Mouhanni H. Cyclical variation of drying air temperature on *Mytilus galloprovincialis* convective drying. *Solar Energy* 2020; 211: 1070-1083.
- [20] Erdem M, Varol Y, Öztöp HF, Türkbay İ. Balığın kuruma davranışı üzerinde parça etkisi ve sistemin enerji gereksiniminin incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2016; 28(2): 89-98.
- [21] Kaya A, Aydın O. Kurutma hava sıcaklığının kuruma süresi ve sorpsiyon eğrisine etkisinin deneysel incelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi* 2008; 28 (2): 45-49.
- [22] Banı A. Kızılıçığın infrared ısı ile kurutulmasında kütle transfer katsayılarının ve vitamin kayıplarının incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 90s.
- [23] Darıcı S, Şen S. Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma hava hızının kurumaya etkisinin incelenmesi. *Tesisat Mühendisliği* 2012; 130: 51-58.
- [24] Koyuncu T, Tosun I, Pinar Y. Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.). *Journal of Food Engineering* 2007; 78: 735-739.
- [25] Holman JP. *Experimental Methods for Engineers*. McGraw- Hill Book Company 1971; 37-52.

Al₂O₃-Su Nanoakışkanının Manyetik Alan Altında Akış Karakteristiklerinin Sayısal Analizi

Murat ERDEM^{1*}, Müjdat FIRAT², Yasin VAROL²

¹ Elektrik ve Enerji Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ muratrdm01@gmail.com, ² mujdatfirat@gmail.com, ² yvarol@gmail.com

(Geliş/Received: 26/12/2020;

Kabul/Accepted: 01/04/2021)

Öz: Bu çalışmada, manyetik alan altındaki bir boruda Al₂O₃-su nanoakışkanının akış karakteristikleri laminar şartlar altında sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma ANSYS-FLUENT ticari yazılım programı ile gerçekleştirilmiştir. Manyetik alan akış yönüne dik verilmiştir. Akışkan sıcaklığı (Ti) boru sıcaklığından (Tw) daha yüksek tutularak akışkanın soğuması sağlanmıştır (Ti > Tw). Reynolds sayısı (Re) = 10, 100, 500, 1000, 2000, Hartmann sayısı (Ha) = 0, 25, 50, 100 ve nanopartikül hacimsel oranı (ϕ) = 0, 0.01, 0.03, 0.05 olarak seçilmiştir. Akışkan hız değişimleri ve basınç değişimleri detaylı olarak incelenmiştir. Akışkan hızı, manyetik alan ve nanopartikül hacimsel oranı ile azalırken, boru merkez uzunluğu boyunca basınç değerleri artmıştır. Manyetik alan ile meydana gelen hız düşüşü nanopartikül eklenmesi ile meydana gelen düşüşten daha fazladır. Aynı şekilde, manyetik alan ile meydana gelen basınç artışı, nanopartikül eklenmesi ile meydana gelen basınç artışından daha fazladır. Sonuç olarak, hem manyetik alan kuvveti hem de nanopartikül ilavesi akışkan hareketi üzerinde etkilidir. Ayrıca, manyetik alan kuvveti ile nanoakışkan hareketi kontrol altında tutulabilir.

Anahtar kelimeler: Manyetohidrodinamik, Nanoakışkan, Nanopartikül, Zorlanmış taşınım

Numerical Analysis of Flow Characteristics of Al₂O₃-Water Nanofluid Under Magnetic Field

Abstract: In this study, the flow characteristics of Al₂O₃-water nanofluid in a pipe under magnetic field have investigated numerically under laminar conditions. The study has carried out with the ANSYS-FLUENT commercial software program. Magnetic field is given perpendicularly to the flow. Fluid temperature (Ti) was kept higher than the pipe temperature (Tw), allowing the fluid to cool (Ti > Tw). Reynolds numbers (Re)=10, 100, 500, 1000, 2000, Hartmann numbers (Ha)=0, 25, 50, 100, and nanoparticle volume fractions (ϕ)=0, 0.01, 0.03, 0.05 have chosen. Fluid velocity and pressure changes are examined in detail. Fluid velocity has decreased with magnetic field and nanofluid volume ratio, while fluid pressure has increased along the center length of the pipe. The velocity drop caused by the magnetic field is greater than that caused by the addition of nanoparticles. Likewise, the pressure increase caused by the magnetic field is higher than the pressure increase caused by the addition of nanoparticles. As a result, both magnetic field strength and nanoparticle addition have an effect on fluid motion. Also, the motion of the nanofluid can be kept under control with the magnetic field.

Keywords: Magnetohydrodynamics, Nanofluid, Nanoparticle, Forced convection

1. Giriş

Günümüzde, termal iletkenliği çok düşük olan su, alkol, gaz yağı vb. temel akışkanlara termal iletkenliği çok daha yüksek olan nanopartiküllerin eklenmesi ile ısı transferini iyileştirme tekniği literatürde sıkça çalışılan güncel konulardan bir tanesidir. Nanoakışkan terimi, nano boyuttaki parçacıkların akışkan içerisindeki süspansiyonudur. Bununla alakalı nanoakışkan terimi ilk olarak Choi [1] tarafından kullanılmıştır. Nanopartiküllerin hem ısı transferine hem de akışkan hareketine olan etkisinin daha iyi anlaşılması için birçok bilimsel çalışma yayımlanmaktadır. Bu araştırmacılardan bazıları düşük nanopartikül konsantrasyonlarında termal iletkenliğin yaklaşık %20'ye kadar çıkabileceğini kanıtlamışlardır [1-4].

Manyetik alan, hareket halindeki elektrik yükleri tarafından zamana bağlı değişen elektrik alanlardan veya temel parçacıklar tarafından içsel olarak üretilmektedir. Mühendislik uygulamalarında kullanılan Manyetohidrodinamik (MHD) terimi de, manyetik alan altında elektriksel iletkenliğe sahip olan akışkanların davranışını inceleyen disiplinler arası bir konudur. MHD ile ilgili ilk çalışma Hartmann (Ha) tarafından yapılmıştır [5]. Hartmann, manyetik alana maruz iki paralel plaka arasında elektrik iletkenliğe sahip viskoz ve sıkıştırılmaz bir sıvının davranışını incelemiştir.

Bu çalışma kapsamında bir boru içerisinde MHD nanoakışkan zorlanmış taşınım olayı ele alınmıştır. Bir dairesel kanal içindeki zorlanmış taşınım ısı transferi olayı, güneş kolektörleri, enerji santralleri, yüksek

* Sorumlu yazar: muratrdm01@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-0287-1881, ² 0000-0001-6978-9044, ³ 0000-0003-2989-7125

performanslı kazanlar, soğutma-ısıtma sistemleri, kimyasal katalitik reaktörler ve diğer birçok akış hareketi gibi teknolojik uygulamaların en önemli konularından bir tanesini oluşturmaktadır [6-10]. Literatürde, farklı nanopartikül tipi, nanopartikül hacimsel oranı, değişik geometri ve sınır şartları ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bunlardan, Erdem ve Varol [11], Cu-su nanoakışkanına dış manyetik alan uygulayarak akış karakteristikleri ve ısı transferini incelemişlerdir. Çalışmalarında manyetik alanın nanoakışkan hareketini düşürdüğünü ve özellikle yüksek Reynolds sayılarında manyetik alan ve nanopartikül hacimsel oranın artmasıyla ısı transferinde iyileşme meydana geldiğini ortaya koymuşlardır. Erdem [12] üç farklı nanoakışkan tipiyle yaptığı kapsamlı çalışmada manyetik alanın akışkan hareketini kontrol etmede çok etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca Erdem vd. [13], lityum sıvısı için, Erdem ve Varol [14] sıvı PbLi17 için yaptıkları sayısal çalışmada manyetik alanın akışkan hızını azalttığını ve basıncı yükselttiğini belirlemişlerdir. Öztürk [15], sabit ısı akısına maruz iki paralel plaka arasında, elektriksel iletkenliği olan viskoz bir akışkanın daimi, tam gelişmiş, laminar ve bu akışa dik manyetik alanın varlığında ısı transferini analitik olarak incelemiştir. Knudsen sayısı (Kn), Bringman sayısı (Br) ve Hartmann sayısının hız, sıcaklık dağılımı ve ısı transferi karakteristikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Ha sayısının artmasıyla hız profillerinin düştüğünü rapor etmiştir. Lu vd. [16] çalışmalarında, laminar ve türbülanslı akışlar için bir silindirik elektromanyetik akış ölçerin üç boyutlu MHD ile ilgili bazı simülasyonlarını FLUENT kodu olan MHD modülünü kullanarak oluşturmuşlardır. Her iki akış türü için hız profilleri, elektrik alanı, akım yoğunluğu ve bağlantı kablosu elektrotları boyunca elektrik potansiyeli verilerini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, elektrotlar üzerinde hesaplanan elektrik potansiyeli farkının küçük Ha sayısı durumları için analitik değerlerle uyumlu olduğu, ayrıca, türbülanslı akışın karşıt-kesitli akış ölçerdeki elektrik potansiyeli dağılımının laminar akışından daha üniform olduğunu savunmuşlardır. Sun vd. [17], iletkenliği olan bir akışkan içerisinde, belirli bir mesafede kendileri de iletken olan iki parçacığın çok güçlü bir manyetik alan altında, parçacıklar arası etkileşim ile katı-sıvı etkileşimini incelemek için nümerik bir model geliştirmişlerdir. Modeli sonlu hacim metoduna dayanan ticari paket programı ANSYS-FLUENT ile oluşturmuşlardır. Çalışmada, Re sayısı, parçacıklar arası mesafe ve manyetik akı yoğunluğu incelenmiştir. İndüklenen manyetohidrokinamik etkileşim kuvvetinin akış alanı ve manyetik akı yoğunluğuna büyük ölçüde bağlı olduğunu savunmuşlardır.

Nanoakışkana manyetik alan uygulamalarından akış karakteristiklerinin incelenmesi günümüzde literatürde çok çalışılan konulardan biridir. Bu çalışmada, manyetik alana maruz bırakılan bir boruda Al₂O₃-su nanoakışkanının hız ve basınç davranışı incelenmiştir. Bunun için Re sayısı, Ha sayısı ve nanopartikül hacimsel oranının etkisi detaylı olarak incelenmiş ve her bir parametrenin etkisi ayrı bir Şekil içerisinde verilerek hangi parametrenin daha etkili olduğu net olarak gözlemlenmeyi hedeflenmiştir. Böylelikle, en etkili olan parametre daha net olarak bir tek Şekil içerisinde ortaya çıkmıştır. Bu çalışmanın analiz sonuçları, özellikle nükleer santrallerde basınç düşümünün manyetik alan ile kontrolünün çok önemli olduğu, uydu çalışmaları, ayrıca diğer pek çok mühendislik uygulamalarında nanoakışkanın manyetik alan ile kontrol edilebilmesi ve ısı transferi olayları gibi konularda literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

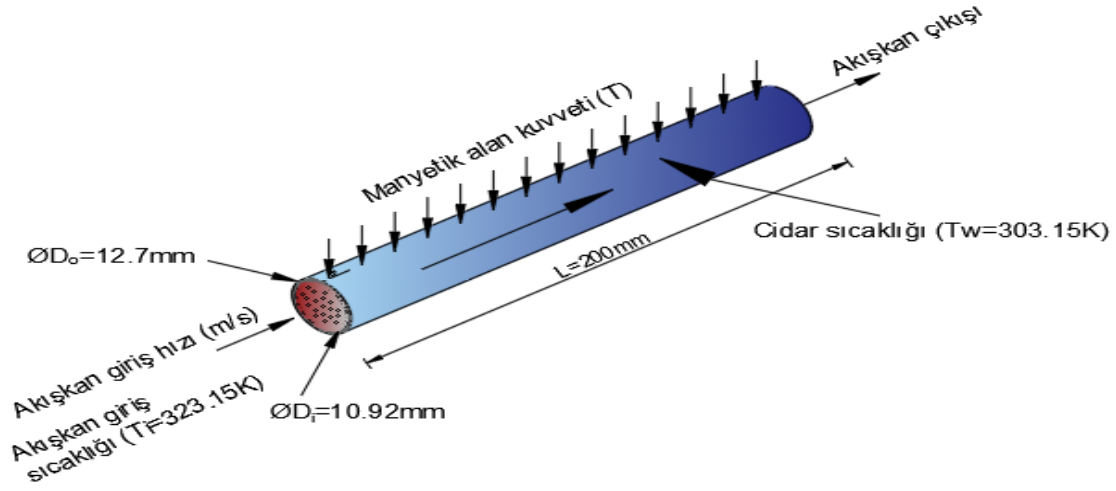
2. Materyal ve Metot

2.1. Problem Tanımlanması ve Ağ Yapısı

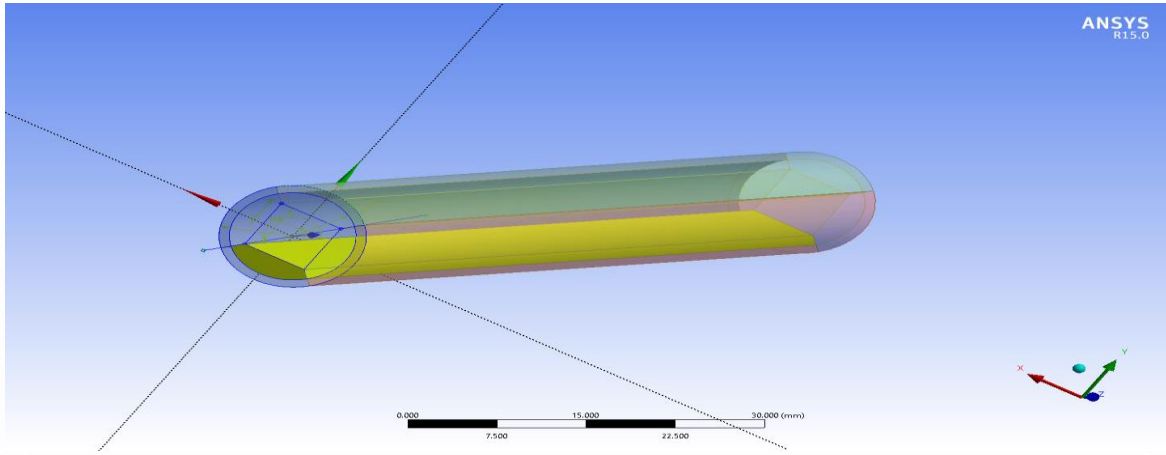
Bu çalışmayı analiz etmek kalınlığı 0.89mm olan bir boru kullanılmıştır. Kullanılan boru modeli ve sınır şartları Şekil 1'de gösterilmiştir. Boru iç çapı 10.92 mm'ye karşılık gelen standart 1/2" boru kullanılmış (boru dış çapı 12.7mm) ve malzeme özellikleri programda buna göre tanımlanmıştır. Akışkan giriş ve cidar sıcaklığı sırasıyla $T_i=50$ ve $T_w=30^\circ\text{C}$ olarak seçilmiştir. Temel akışkana nanopartikül eklenmesindeki en temel amaçlardan bir tanesi termal iletkenliği çok düşük olan temel akışkanın termal iletkenliğini yükseltmektir. Bununla ilgili akışkanın termofiziksel özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Burada, C_p , ρ , k , μ ve σ sırasıyla özgül ısı kapasitesi, yoğunluk, ısı iletkenlik, akışkanın dinamik viskozitesi ve elektriksel iletkenlik değerini temsil etmektedir. Suyun C_p ve elektriksel iletkenlik değeri daha yüksek iken, nanopartikülün yoğunluğu ve ısı iletkenliği çok daha yüksektir. Yoğunluk etkisinin basınç ve akışkan hızı üzerindeki etkisi sonuçlar kısmında tartışılmıştır.

Tablo 1. Akışkanın ve nanopartikülün termofiziksel özellikleri [18, 19].

	C_p (J/kg K)	ρ (kg/m ³)	k (W/m K)	μ (Pa.s)	σ (S/m)
Su	4181	988.1	0.644	0.000547	0.05
Al₂O₃	765	3970	25	-	10 ⁻¹²



a)



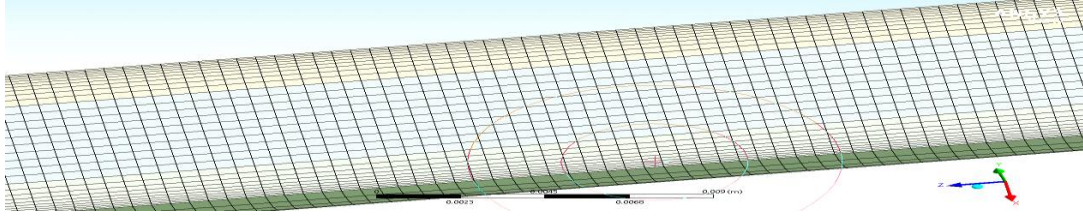
b)

Şekil 1. a) Katı boru modeli ve sınır şartları (ØD_0 =Boru dış çapı, ØD_1 =Boru iç çapı), b) Bölünmüş katı boru modeli

Şekil 1a)'da borunun giriş kısımlarının rengi daha açık iken, sonlara doğru akışkanın daha da soğuduğunu göstermek için mavi renk daha koyu hale getirilmiştir. Boru sıcaklığından daha sıcak olan akışkanın rengi de kırmızı ile gösterilmiş ve nanopartikülleri temsil eden siyah noktalar borunun girişinde gösterilmiştir.

Boru ANSYS-FLUENT'te beş katı parçaya bölünerek oluşturulmuştur. Borunun ortası bir tane kare-karşıt kesitli geometri ile ayrılarak borunun bölünmesi yoluna gidilmiştir. Programda bölünmüş geometri Şekil 1(b)'de gösterilmiştir. Bu şekilde ağ (mesh) yapısı çok daha düzgün ve kaliteli olmaktadır. Bu ağ yapısı Şekil 2'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ağ yapısında herhangi bir sapma (yamukluk, yan çizim, birbirini kesme vb.) yoktur. Literatürde bunun programdaki zorluklarından dolayı daha çok tek parça (bütün) olarak oluşturulmaktadır. Ancak bu yöntem bölünmüş ağ yapısı kadar verimli değildir. Bu yüzden geometrinin bölünerek oluşturulması bu çalışmada önerilmektedir. Bununla ilgili daha kapsamlı bilgiler Erdem [12] tarafından ispatlanmıştır.

Çalışmada kullanılan ağ yapısının düğüm sayısı ve hücre sayısı sırasıyla 257000 ve 248000'dir. Ağın kalitesi, sayısal hesaplamaların doğruluğu ve kararlılığında önemli bir rol oynar. Mesh Orthogonal (dörtgensel) ve Skewness (sapma) değerleri sırasıyla 0.965 ve 7.8×10^{-2} 'dir. Orthogonal kalitesi 1 değerine yaklaştıkça mesh kalitesi de aynı oranda artmaktadır [20]. Bu literatüre göre oldukça iyi değerlerdir. Burada geometrinin bölünerek yapılmasının etkisi fazladır.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan ağ yapısı [12]

2.2. Sayısal Hesaplamalar

ANSYS-FLUENT ticari yazılım programında içerisindeki MHD modülü ile bu sayısal çalışma gerçekleştirilmiştir. Yönetici denklemler sonlu hacim tekniği ile çözülmüştür. Basınç-hız çifti için daha uygun olduğu düşünülen SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Boru içerisindeki akışkan, Newtonyen, sıkıştırılmaz ve laminar olarak kabul edilmiştir. Küresel-şekilli olan nanopartiküller boyut olarak çok küçük olduğundan (100 nm'den küçük) nanoakışkan tek bir faz gibi davranmaktadır. Bu yüzden analiz tek fazlı akışkan olarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar aşağıdaki formüller yardımıyla çözülmektedir.

Boyutlu Navier-Stokes denklemleri Eş. (1-3) ile belirlenmektedir [21,22]:

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (1)$$

$$(\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = -\frac{1}{\rho_{nf}} \nabla P + \nu_{nf} \nabla^2 \vec{V} + \frac{1}{\rho_{nf}} \vec{F} \quad (2)$$

$$(\vec{V} \cdot \nabla) \vec{T} = \alpha_{nf} \nabla^2 \vec{T} \quad (3)$$

\vec{F} , Lorentz kuvvetinden kaynaklanan kaldırma ve cisim kuvvetidir ve Eş. (4) ile ifade edilir, P: Akışkan basıncı, V: akışkan hızı, ν : akışkanın kinematik viskozitesidir [21, 23].

$$\vec{F} = \vec{g}_y (\sigma\beta)_{nf} (\vec{T} - T_0) + \vec{J} \times \vec{B} \quad (4)$$

Eşitlik 4'teki son terim Lorentz kuvveti olarak tanımlanmakta ve sıvı hareketine neden olmaktadır.

\vec{J} , elektrik akım yoğunluğu Ohm yasası ile bulunmuştur (β : genleşme katsayısı).

$$\vec{J} = \rho_{nf} (\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B}) \quad (5)$$

\vec{E} , DC elektrik akımıdır ve \vec{B} , z-yönündeki birimi Tesla (T) olan manyetik alan kuvvetidir. Böylece, manyetik alan ve elektrik akımı birbirine diktir ve bu da x ve y yönlerinde Lorentz kuvvetine neden olur. Literatürde bu çalışmada tercih edilen konsantrasyonlarla birlikte farklı konsantrasyonlarla da bu çalışmaya benzer nanopartikül hacimsel oranlarında çalışmalar bulunmaktadır [19, 24, 25]. $T_i=50^\circ\text{C}$ referans giriş sıcaklığında nanoakışkanın termodinamik özellikleri aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmaktadır. Boru cidar sıcaklığı 30°C 'de sabit tutulmuştur ($T_w=30^\circ\text{C}$):

Nanoakışkanın yoğunluğu Eş. 6 ile hesaplanmaktadır [6]. Aynı şekilde elektriksel iletkenlik değeri de [26] Eş. (7) ile hesaplanabilir (nf: nanoakışkan, f: Temel akışkan, s: katı partikül).

$$\rho_{nf} = (1 - \phi) \rho_f + \phi \rho_s \quad (6)$$

$$\sigma_{nf} = (1 - \phi) \sigma_f + \phi \sigma_s \quad (7)$$

Nanoakışkanın özgül ısı kapasitesi Eş. (8) ile bulunur [6].

$$(\rho c_p)_{nf} = (1 - \phi) (\rho c_p)_f + \phi (\rho c_p)_s \quad (8)$$

Nanoakışkanın termal iletkenliği (k_{nf}) Eş. (9), Maxwell-Garnett's (MG modeli) ile belirlenebilir [27].

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{k_s + 2k_f - 2\phi(k_f - k_s)}{k_s + 2k_f + \phi(k_f - k_s)} \quad (9)$$

Eş. (10), nanoakışkanın dinamik viskozitesini Brinkman modeli ile [28], Eş. (11) ise Ha sayısını hesaplamak için kullanılır [6]. Ha sayısı, ilk olarak Hartmann tarafından sunulan elektromanyetik kuvvetin viskoz kuvvetlere oranıdır.

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1-\phi)^{2.5}} \quad (10)$$

$$Ha = BR \sqrt{\frac{\sigma_{nf}}{\rho_{nf} \nu_f}} \quad (11)$$

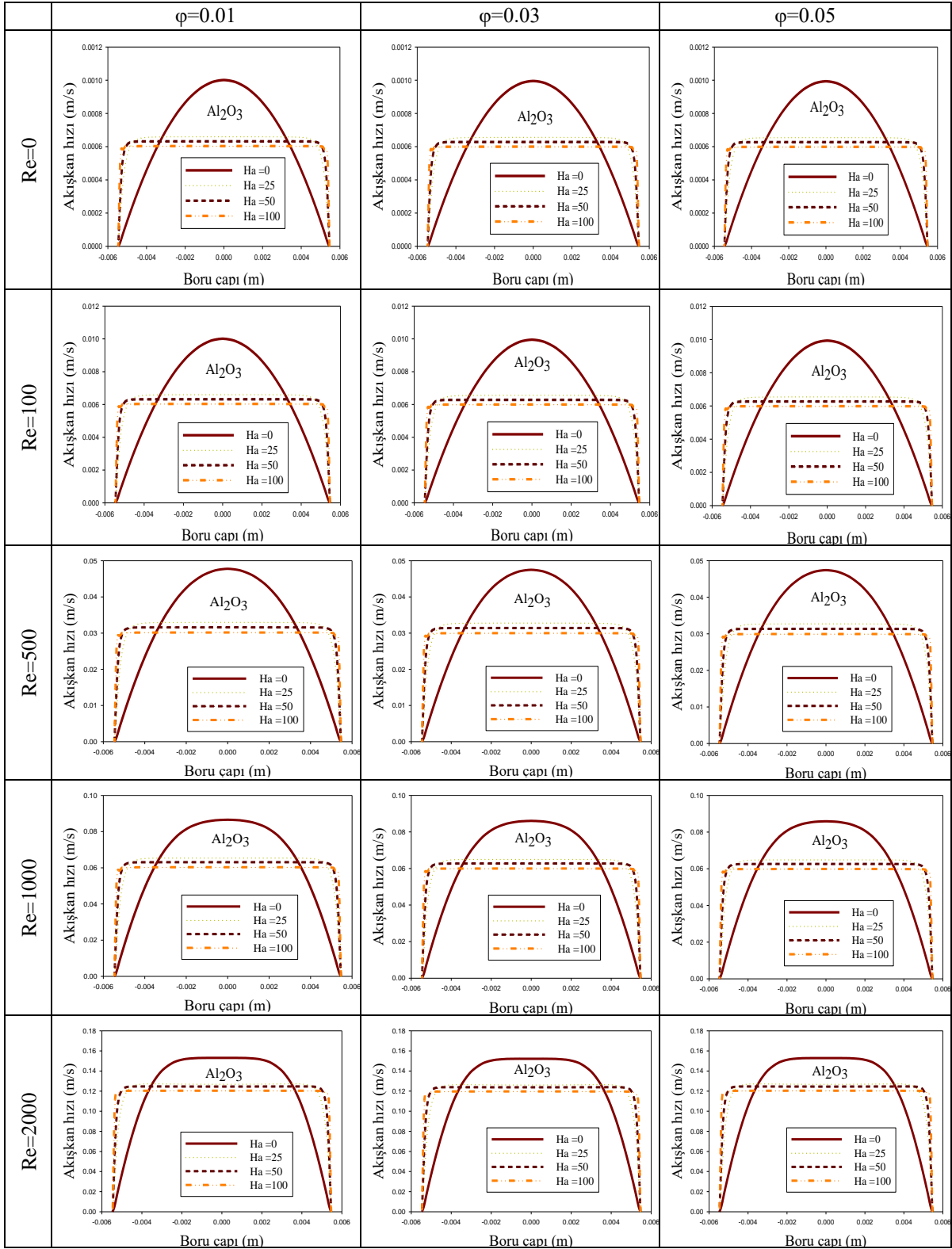
Burada R, borunun yarıçapı (m)'dir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

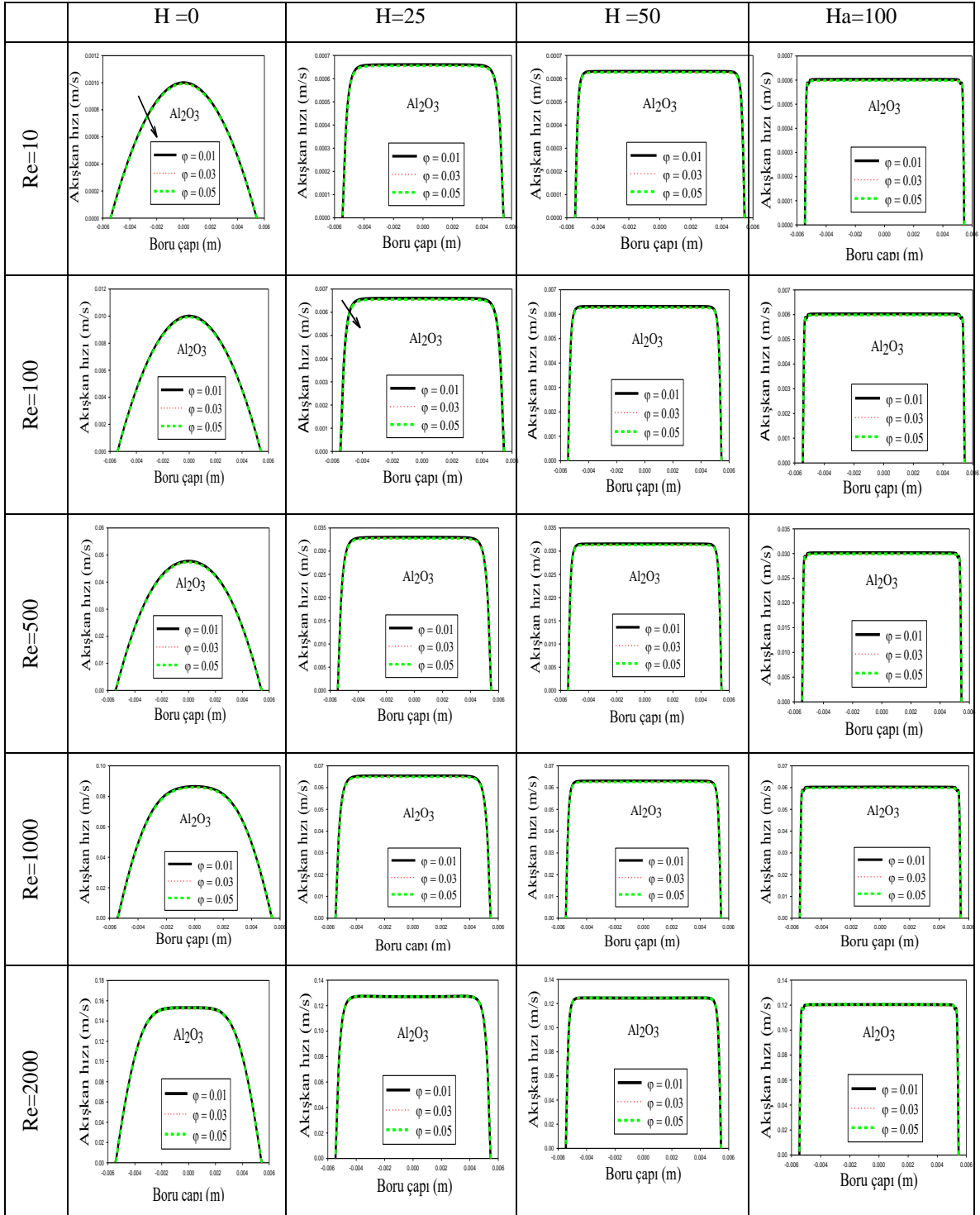
Çeşitli Re sayıları ve nanopartikül hacimsel oranlarında Ha sayısının boru çapı boyunca akışkan hızlarının karşılaştırmaları Al₂O₃-su nanoakışkanı için Şekil 3'te sunulmuştur. Re sayıları sırasıyla, Re=10, 100, 500, 1000, 2000 ve nanopatikül hacimsel oranları $\phi=0.01, 0.03$ ve 0.05 olarak seçilmiştir. Ha sayıları da sırasıyla, Ha=0, 25, 50 ve 100 olarak tercih edilmiştir. Burada laminer şartlarda, hem düşük Re sayısından yüksek Re sayısına geçerken hem de nanopatikülün etkisiyle akışkanın hareketinde nasıl bir değişimin meydana geldiği irdelenmiştir. Her bir grafik içinde, manyetik alan etkisinin olmadığı (Ha=0) ve olduğu üç farklı durumda (Ha=25, 50, 100), manyetik alan kuvveti ile boru çapında meydana gelen hız değişimleri sunulmuştur. Beklenildiği gibi Re sayısının artmasıyla hızlarda büyük bir artış meydana gelmiştir (Re=($\rho V D_i / \mu$)). Şekil ölçekleri, $\phi=0.01$ Al₂O₃-su nanoakışkanı için incelendiğinde Re = 10 için V = 0.0012 m/s, bu değer in Re sayısının artması ile Re = 2000 için V = 0.18 m/s değerine çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca, Re sayısı arttıkça hız eğrilerinin daha çok yatay eksenle paralel olduğu görülmektedir. Bu şekildeki tüm grafikler için, kanala dıştan uygulanan manyetik alan şiddetinin akışkan hızını önemli oranda düşürdüğü tespit edilmiştir. Buradaki düşüş nanopatikülün eklenmesi ile oluşan düşüşten daha fazladır. Manyetik alan etkisi ile hızlardaki bu azalmaların nedeni Lorentz kuvvetinin geciktirici etkisinden kaynaklanmaktadır. Manyetik alan uygulandığında manyetik alanın olmadığı duruma göre hızlardaki düşüşün çok büyük olduğu, ancak manyetik alan altında iken manyetik alan şiddetinin artması ile meydana gelen hız değişiminin daha az olduğu tespit edilmiştir. Başka bir deyişle, manyetik alan altındaki (Ha \neq 0) hız değerlerinin birbirine göre farkı daha az olmuştur.

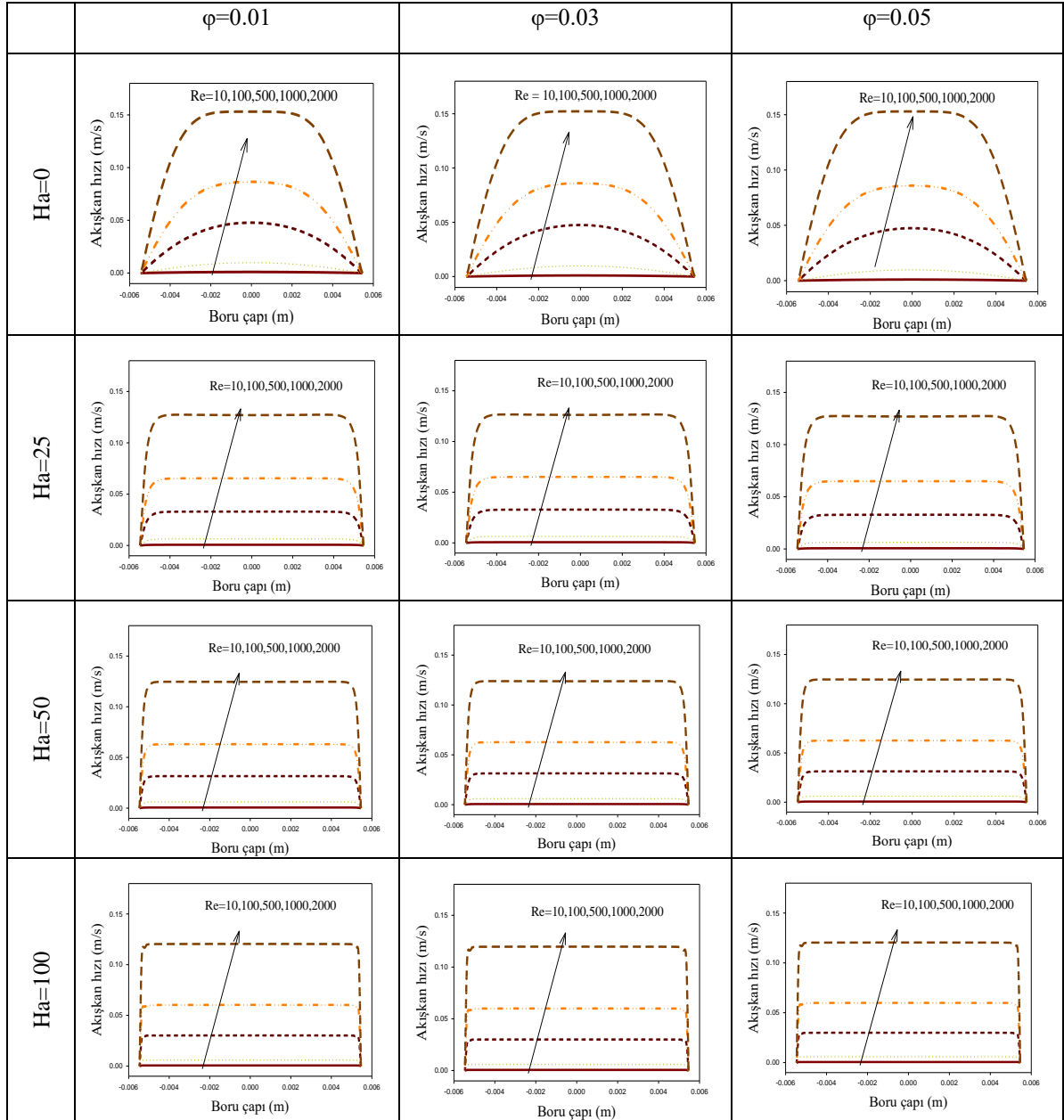
Şekil 4, Al₂O₃-su-nanoakışkanı için farklı Re ve Ha sayılarında, her bir grafiğin içinde nanopatikül hacimsel oranının analizini içermektedir. Nanopatikül hacimsel oranlarının birbirine göre durumunun daha net anlaşılması için her bir grafikte (Şekil 4) $\phi=0.01, 0.03$ ve 0.05 arasındaki değişimler analiz edilmiştir. Al₂O₃-su nanoakışkanında akış oranları arasındaki farkın özellikle de $\phi=0.01$ ve $\phi=0.03$ için hız eğrileri arasındaki değişimin çok az olduğu ve $\phi=0.05$ için hız düşümünün daha fazla, ancak Re=2000 için daha az olduğu görülmektedir. Re=2000'de nanopatikül katkısı neredeyse akışkan hızını hiç değiştirmemiş aşağı-yukarı aynı kalmıştır. Burada Al₂O₃ nanopatikülün termofiziksel özelliklerinden yoğunluğun, temel akışkanın yoğunluğuna yakın olması nedeni ile meydana gelen hız değişimleri arasındaki fark daha az olmuştur. Şekil ölçekleri yakından incelendiğinde en yüksek nanopatikül yoğunluğuna sahip akışkanın hız verilerinin, artan yoğunluğun bir sonucu olarak daha belirgin bir şekilde düştüğü görülmektedir. Şekilden nanopatikül hacimsel oranı arttıkça nanoakışkanın hızının azaldığı sonucu ortaya çıkmıştır.

Şekil 5'teki grafiklerden Re sayısının artması ile akışkan hızlarının arttığı açıkça anlaşılmaktadır. Bu Şekillerde, Re=10 için hız değerlerinin sifira yakın olduğu ve Re sayısının artması ile birlikte hız değerlerinin orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Bu Şekil satırları incelendiğinde Ha değerlerinin artmasıyla hızların azaldığı Şekil ölçeklerinden görülmektedir. Burada, nanoakışkan için manyetik alanın olmadığı (Ha=0) durumda hız değerleri, Re=2000 için yaklaşık 0.15 m/s, Re=1000 için yaklaşık 0.09 m/s, Re=500 için yaklaşık 0.05 m/s ve Re=100 için yaklaşık 0.01 m/s değerini almıştır.



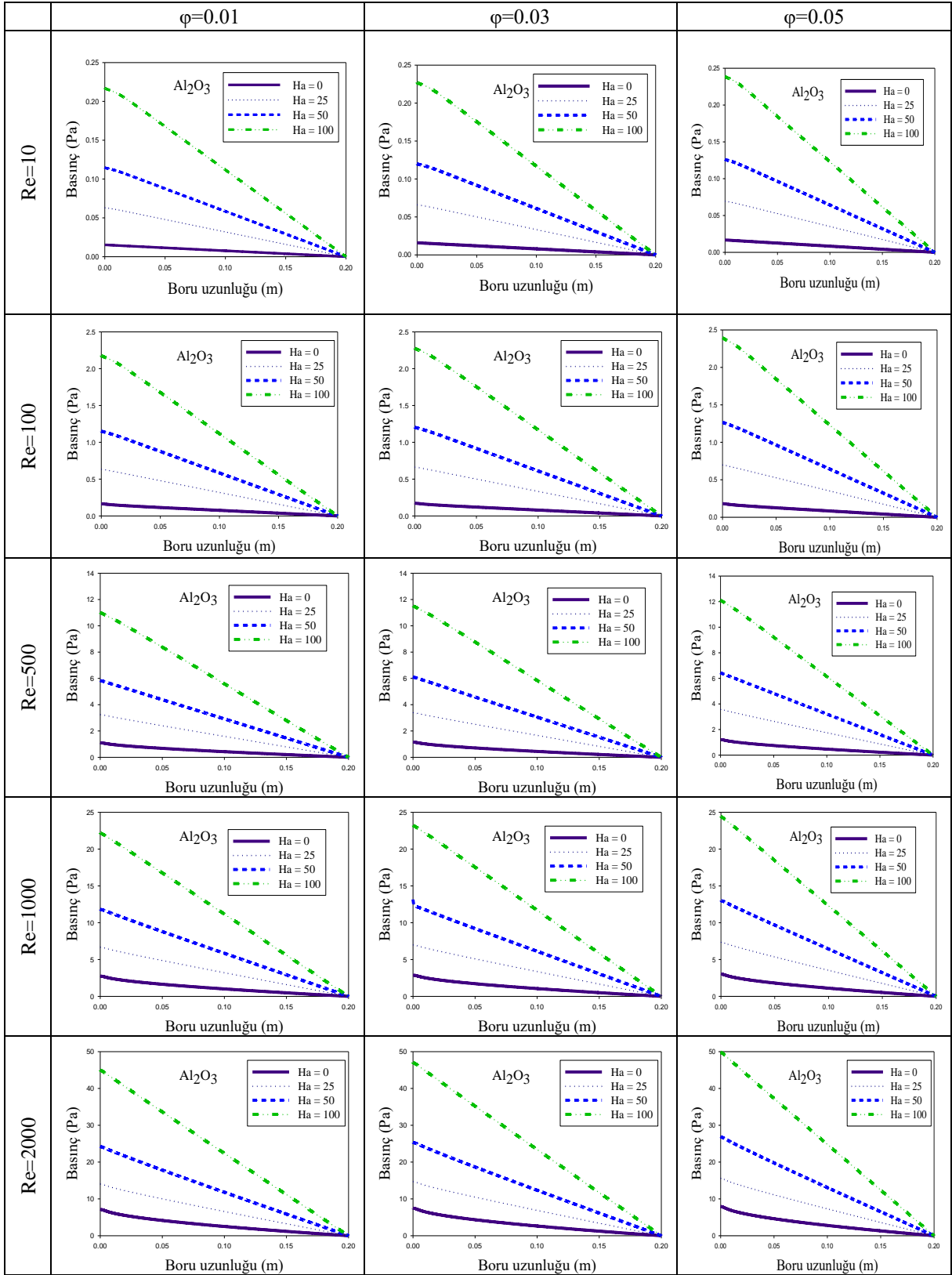
Şekil 3. Al₂O₃-su nanoakışkanının çeşitli Re değerleri ve nanopartikül hacimsel oranlarında manyetik alan kuvvetlerinin boru çapı boyunca akışkan hız profilleri

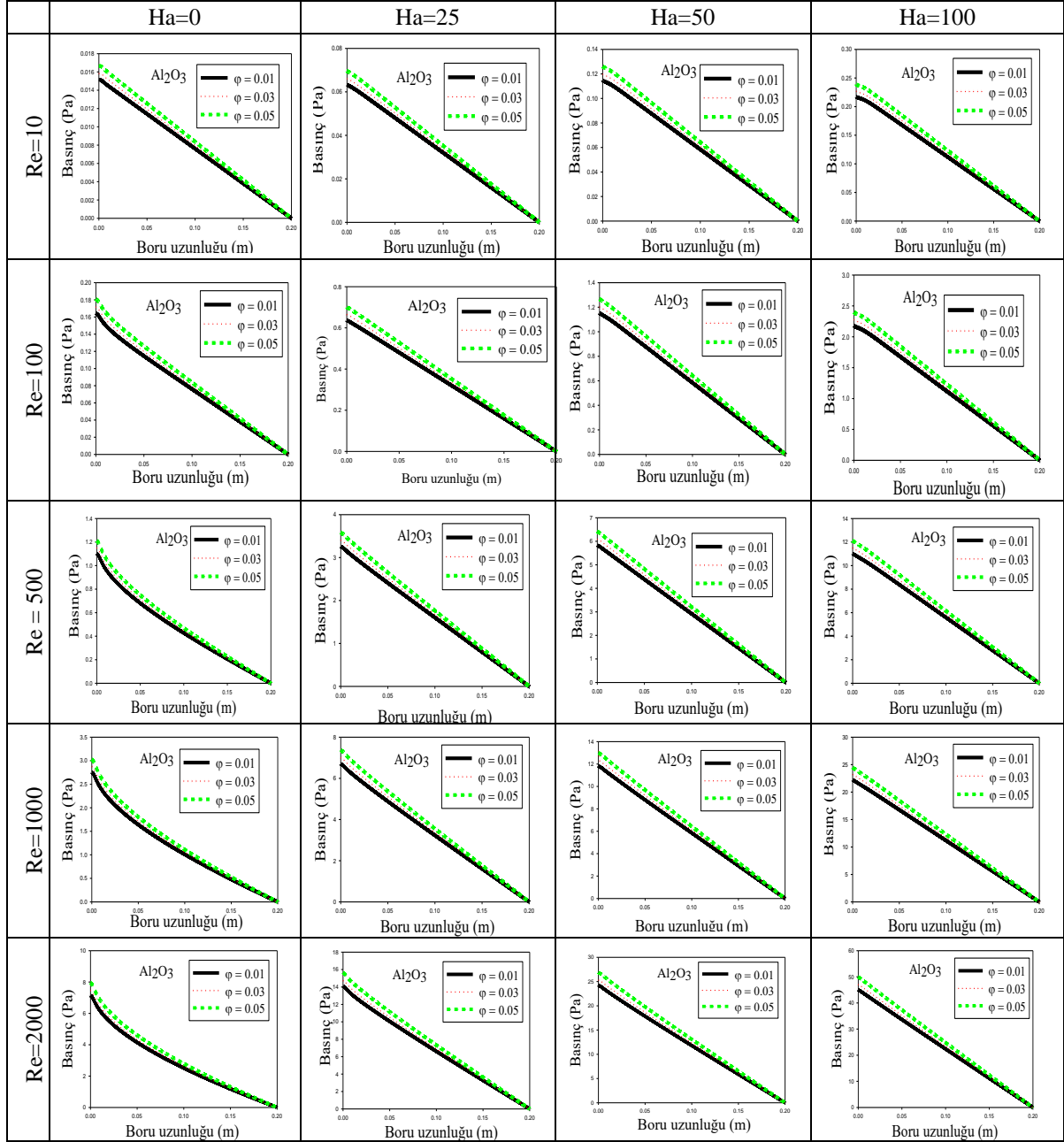
Şekil 4. Farklı Re sayıları ve Ha sayılarında Al₂O₃-su nanopakışkanı için nanopartikül hacimsel oranlarının kıyaslanması



Şekil 5. Çeşitli nanopartikül hacimsel oranı ve manyetik alan kuvvetlerinde Al₂O₃-su nanoakışkanının çap boyunca Re sayısı ile hız değişimleri

Boru uzunluğu boyunca ($L=0-200\text{mm}$) meydana gelen basınç dağılımları Şekil 6'da analiz edilmiştir. Hem nanopartikül katkısının hem de manyetik alan etkisinin basınç üzerinde arttırıcı bir etkiye sahip olduğu Şekilden anlaşılmaktadır. Buradaki, her bir grafik sabit Re sayısı ve nanopartikül hacimsel oranlarında farklı Ha sayılarının karşılaştırmalarını sunmaktadır. Şekildeki (Şekil 6) her bir satırda yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla $Re=10, 100, 500, 1000$ ve 2000 , her bir sütunda ise soldan sağa doğru sırasıyla $\phi=0.01, 0.03$ ve 0.05 değerine sahip nanopartikül hacimsel oranlarını göstermektedir. Şekildeki tüm grafiklerde, manyetik alan kuvvetinin uygulanması dairesel kanalın merkez uzunluğu boyunca basınçlarda ciddi bir artışa neden olduğu görülmektedir. Şekil incelendiğinde hem yukarıdan aşağıya Re sayısının fazlalaşması nedeniyle hem de soldan sağa doğru nanopartikül hacimsel oranının artmasından dolayı basınç değişmelerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Ancak Re sayısındaki artış nedeniyle meydana gelen basınç farkının çok daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bu durum taşınan akışkan miktarının çok fazla olmasından kaynaklanmıştır.

Şekil 6. Çeşitli Re ve nanopartikül hacimsel oranlarında Al_2O_3 -su nanoakışkanının merkez basınç değerlerinin Ha sayısı ile değişimi

Şekil 7. Farklı Re sayıları ve manyetik alan kuvvetinde Al₂O₃-su nanoakışkanı için nanopartikül hacimsel oranlarının karşılaştırılması

Farklı Re sayıları ve manyetik alan kuvvetinde sırasıyla Al₂O₃-su nanoakışkanının çeşitli nanopartikül hacimsel oranlarında, basınç değişimleri Şekil 7’de tasvir edilmiştir. Şekil sütunları (Şekil 7), Re sayılarını gösterirken satırlar Nanopartikül hacimsel oranları temsil etmektedir. Re sayısı ve manyetik alan şiddetinin artması ile basınçlarda meydana gelen artışın büyük olduğu anlaşılmıştır. Şekil (Şekil 7) incelendiğinde nanopartikülün eklenmesi sonucu basınçlarda artışın olduğu ve nanopartikül hacimsel oranına göre farklı değerler aldığı görülmüştür. Al₂O₃-su nanoakışkanında, nanopartikül hacimsel oranı arttıkça meydana gelen basınç değişimi de artmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar literatürle uyumluluk içindedir [11, 29]. Şekilden manyetik alan şiddeti uygulanmadığında Re sayısının artması ile grafikteki basınç eğrilerinin düz halden parabolik hale geldiği ve hem Ha hem de Re sayısının artması ile bu eğrilerin düzleştiği tespit edilmiştir. Şekil 7’deki maksimum ölçekler, Re 10 - Ha=0, 25, 50, 100 için sırasıyla 0.018, 0.08, 0.14, 0.30, Re = 100-Ha=0, 25, 50, 100 için sırasıyla 0.20, 0.8,

1.4, 3, Re 500-Ha = 0, 25, 50, 100 için sırasıyla 1.4, 4, 7, 14, Re 1000-Ha = 0, 25, 50, 100 için sırasıyla 3.5, 8, 14, 30 ve Re 2000-Ha=0, 25, 50, 100 için sırasıyla 10, 18, 30 ve 60 olarak belirlenmiştir. Bu sütun ve satırları birbiri ile kıyaslamak için kolaylık sağlayacaktır.

4. Sonuç

Al₂O₃-su nanoakışkanına ait akış karakteristikleri, manyetik alana maruz bir boruda sayısal olarak bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Farklı Re, Ha ve nanopartikül hacimsel oranlarının etkisini görmek için elde edilen sonuçlar, bu parametrelerin nanoakışkan üzerinde çok etkili olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre manyetik alan, Lorentz kuvvetinin geciktirici etkisiyle, ayrıca nanopartikül hacimsel oranı da akışkanda artmaya neden olan yoğunluktan dolayı akışkanın hızını düşürmüştür. Ancak manyetik alan kuvveti ile meydana gelen hız düşüşü nanopartikül etkisiyle azalan hızdan çok daha fazladır. Yine manyetik alan ve nanopartikül etkisiyle boru merkezi boyunca akışkanın basıncında artma meydana gelmiştir. Akışkan hızlarında olduğu gibi burada da manyetik alanın uygulanması sonucu meydana basınç artışı, nanopartikül eklenmesine göre daha fazla meydana gelmiştir. Artan Re sayısı da hem hızlarda hem de akışkan basıncında ciddi bir artışa neden olmuştur.

Dolayısıyla, manyetik alan nanoakışkanı kontrol etmede etkili bir parametre olarak düşünülebilir.

Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje biriminin (FUBAP) katkılarıyla gerçekleştirilmiştir. (Proje No: TEKF.15.01). Yazarlar bu projeye desteklerinden dolayı Fırat Üniversitesine teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] Choi SUS, Eastman JA. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. No. ANL/MSD/CP-84938, CONF-951135-29, Argonne National Lab., IL, 1995.
- [2] Lee S, Choi SUS, Li S. Eastman J.A., Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nano-particles ASME J Heat Transfer 1999; 121: 280-289.
- [3] Eastman JA, Choi SUS, Li S, Yu W, Thompson LJ. Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nano fluids containing copper nano-particles. App Phys Lett 2001; 78: 718-720.
- [4] Xuan Y, Li Q. Heat transfer enhancement of nano-fluids. Int J Heat Fluid Flow 2000; 21: 58-64.
- [5] Hartmann J. Theory of the laminar flow of an electrically conductive liquid in a homogeneous magnetic field. Mathematisk Fysiske Meddelelser 1937; 15(6): 1-28.
- [6] Heidary H, Hosseini R, Pirmohammadi M, Kermani MJ. Numerical study of magnetic field effect on nano-fluid forced convection in a channel. J magn magn Mater 2015; 374: 11-17.
- [7] Wang BX, Du JH, Peng XF. Internal natural, forced and mixed convection in fluid-saturated porous medium. Trans Phenom Porous Media 1998; 357-382.
- [8] Demirel Y, Al-Ali HH, Abu-Al-Saud BA. Enhancement of convection heat-transfer in a rectangular duct. Appl Energy 1999; 64: 441-451.
- [9] Cheng KC, Hong SW. Effect of tube inclination on laminar convection in uniformly heated tubes for flat-plate solar collectors. Sol Energy 1972; 13: 363-371.
- [10] Esfe MH, Saedodin S, Malekshah EH, Babaie A. Mixed convection inside lid-driven cavities filled with nanofluids. J Therm Anal Calorim 2019; 135: 813-859.
- [11] Erdem M, Varol Y. Numerical investigation of heat transfer and flow characteristics of MHD nano-fluid forced convection in a pipe. J Therm Anal Calorim 2020; 139: 3897-3909.
- [12] Erdem M. Nano parçacık katkılı manyetohidrokinamik akışın deneysel ve sayısal incelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [13] Erdem M, Fırat M, Varol Y. Dairesel bir kanalda soğutma şartları altında MHD sıvı lityum akışın sayısal olarak incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2018; 24: 30-35.
- [14] Erdem M, Varol Y. Numerical investigation of PbLi17 fluid flow forced convection heating under magnetic field. Journal of Materials and Electronic Devices 2019; 1(1): 41-45.
- [15] Öztürk A. MHD slip flow between parallel plates heated with a constant heat flux. J Thermal Science Technol 2013; 33 (1): 11-20.
- [16] Lu B, Xu L, Zhang X. Three-dimensional MHD simulations of the electromagnetic flowmeter for laminar and turbulent flows. Flow Measur Instrument 2013; 33: 239-243.
- [17] Sun ZHI, Zhang X, Guo M, Pandelaers L, Vleugels J, Van der Biest O, Van Reusel K, Blanpian B. Strong magnetic field effects on solid-liquid and particle-particle interactions during the processing of a conducting liquid containing non-conducting particles. J Colloid Interface Sci 2012; 375: 203-212.
- [18] Cengel YA. Heat and Mass Transfer (Third Edition), 2009.

- [19] Sheikholeslami M, Abelman S, Ganji DD. Numerical simulation of MHD nanofluid flow and heat transfer considering viscous dissipation. *Int J Heat Mass Transfer* 2014; 79: 212-222.
- [20] ANSYS Forte Theory Manuel, 2018.
- [21] Yousofvand R, Derakhshan S, Ghasemi K, Siavashi M. MHD transverse mixed convection and entropy generation study of electromagnetic pump including a nanofluid using 3D LBM simulation. *Int J Mech Sci* 2017; 133: 73-90.
- [22] Bejan A. Convection heat transfer. John Wiley & Sons, New York, A.B.D., 1995.
- [23] Zhao G, Jian Y, Chang L, Buren M. Magnetohydrodynamic flow of generalized Maxwell fluids in a rectangular micropump under an AC electric field. *J Magn Magn Mater* 2015; 387: 111-117.
- [24] Selimefendigil F, Öztop HF. Numerical analysis and ANFIS modeling for mixed convection of CNT-water nanofluid filled branching channel with an annulus and a rotating inner surface at the junction. *Int J Heat Mass Transfer* 2018; 127: 583-599.
- [25] Selimefendigil F, Öztop HF. Magnetohydrodynamics forced convection of nanofluid in multi-layered U-shaped vented cavity with a porous region considering wall corrugation effects. *Int Commun Heat Mass Transfer* 2020; 113: 104551.
- [26] Mahmoudi AH, Pop I, Shahi M. Effect of magnetic field on natural convection in a triangular enclosure filled with nanofluid. *Int J Therm Sci* 2012; 59: 126-140.
- [27] Khanafer K, Vafai K, Lightstone M. Buoyancy-driven heat transfer enhancement in a two-dimensional enclosure utilizing nanofluids. *Int J Heat Mass Transfer* 2003; 46(19): 3639-3653.
- [28] Brinkman HC. The viscosity of concentrated suspensions and solutions. *J Chem Phys* 1952; 20: 571-581.
- [29] Recebli Z, Selimli S, Gedik E. Three dimensional numerical analysis of magnetic field effect on Convective heat transfer during the MHD steady state laminar flow of liquid lithium in a cylindrical pipe. *Computers Fluids* 2013; 88: 410-417.

Traverten Artıklarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Uğur KIZILTEPE¹, Yuşa ŞAHİN^{2*}

¹ Yapı Merkezi İnşaat ve Sanayi A.Ş., İstanbul, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat, Türkiye

¹ ugurkztpe@gmail.com, ² yusa.sahin@bozok.edu.tr

(Geliş/Received: 30/12/2020;

Kabul/Accepted: 01/04/2021)

Öz: Ülkemiz traverten çökeli mi bakımından önemli bir rezerve sahiptir. Traverten ocakları aktif olarak çalışmakta ve inşaat, mimarlık ve güzel sanatlar gibi sektörler e ham madde sağlamaktadır. Traverten görünüşü itibariyle özellikle estetiğin ön plana çıkarılmak istendiği mimari yapılar da çok eski tarihlerden beri kullanılmaktadır. Traverten, inşaat sektöründe ise özellikle taşıyıcı olmayan elemanlar da ve kaplamalar da yer almaktadır. Birçok kullanım alanı olan travertenin elde edildiği ocaklar da kesim işlemi gibi nedenlerden kaynaklı artıklar oluşmakta ve bu artıklar ocaklar a yakın alanlar da stoklanmaktadır. Çevresel bakımdan da kirlilik oluşturan bu artıkların beton içerisinde kullanılabilirliğini araştırmak için bu çalışma planlanmıştır. Çalışma deneysel bir araştırma olup traverten artıklarının agrega ocaklarında kırılması ile elde edilen agregaların, beton agregası olarak kullanılabilirliği ve elde edilen betonların mekanik ve geçirimsizlik özellikleri deneylerini kapsamaktadır. Ayrıca, araştırmada traverten artıklarından elde edilen agregaları daha iyi değerlendirip kıyaslayabilmek için aynı bileşen ve karışım oranına sahip betonlar kalker ve bazalt agregaları kullanılarak da üretilmiştir. Çalışma sonucunda traverten atığı agregalar kullanılarak yeterli dayanım özelliklerine sahip betonlar üretildiği görülmüştür. Bununla birlikte, bu agregaları içeren betonların yüzey ve saha betonlarında kullanılabilirlikleri için detaylı deneylere tabi tutulmaları önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Traverten, Beton, Agregası, Aşınma Dayanımı, Geçirimsizlik.

Investigation of Usability of Travertine Waste as Concrete Aggregate

Abstract: Turkey has an important reserve in terms of travertine deposits. Travertine quarries are actively working and providing raw material to construction, architecture and fine arts industries. Travertine has been used since ancient times, especially in architectural structures where aesthetics is desired. Travertine is involved in non-load bearing elements and coatings in the construction industry. In the quarries where travertine obtained, wastes are generated due to reasons such as cutting and these wastes are stocked in areas close to the quarries. This study was planned to investigate the usability of these wastes, which cause environmental pollution, in concrete. The study is an experimental investigation and covers the usability of the aggregates obtained by crushing the travertine waste in the quarries as concrete aggregate and the mechanical and permeability property tests of the concretes. In addition, in the research, in order to better evaluate and compare the aggregates obtained from travertine wastes, concretes with the same component and mixing ratio were produced using limestone and basalt aggregates. As a result of the study, it was concluded that concrete with sufficient strength properties was obtained by using travertine waste aggregates. However, it is suggested that the concretes containing these aggregates should be subjected to detailed tests for their usability in pavements and field concretes.

Keywords: Travertine, Concrete, Aggregate, Wear Resistance, Permeability.

1. Giriş

Traverten tortul bir kayaç türü olup kalsiyum karbonat bileşimindedir. Yer altı sularındaki kalsiyum karbonatın sıcaklık, buharlaşma vb. koşullar altında çökmesi sonucu zamanla oluşurlar. Doğal bir taş olan traverteninin mimari dekorasyon, süs eşyası, heykeltıraşlık gibi birçok kullanım alanı bulunmakla beraber inşaat mühendisliğinde dekoratif görüntüsünden dolayı genellikle döşeme ve duvar kaplamalarında kullanılmaktadır. Traverten ocaklarından çıkarılan traverten blokları çeşitli yöntemlerle kesilerek ve işlenerek depolanmakta ve son mamul olarak değerlendirileceği yere sevk edilmektedir. Travertenin kesilmesinden sonra pasa olarak adlandırılan ve değerli olmadığı için sahada bırakılan artıklar oluşmaktadır.

Agregalar betonun önemli bir bileşenidir ve beton hacminin yaklaşık %70-%80'ini oluşturmaktadır [1, 2]. Agregaların maliyetleri diğer beton bileşenlerine kıyasla daha düşüktür. Buna rağmen, beton içerisinde çok daha fazla miktarda kullanıldıklarından önemli bir ekonomik değer olarak ele alınırlar. Diğer endüstrilerin artık ürünleri gerek artık bertarafı ve gerekse de ekonomik kazanımlar dolayısıyla beton ve harçlarda agrega olarak kullanılmaktadır. Hatta son zamanlarda kentsel dönüşüm projeleri dolayısıyla artan bina yıkıntılarından elde edilen

* Sorumlu yazar: yusa.sahin@bozok.edu.tr. Yazarların ORCID Numaraları: ¹ 0000-0002-1351-4663 ² 0000-0002-3586-412X

agregaların geri dönüştürülmesi yoluyla da kullanımına yönelik çalışmalar artmıştır [3-5]. Cüruf, mermer tozu, artık bor vb. farklı endüstrilere ait atıklar beton ve harçlarda alternatif agrega olarak kullanılmıştır [6-9].

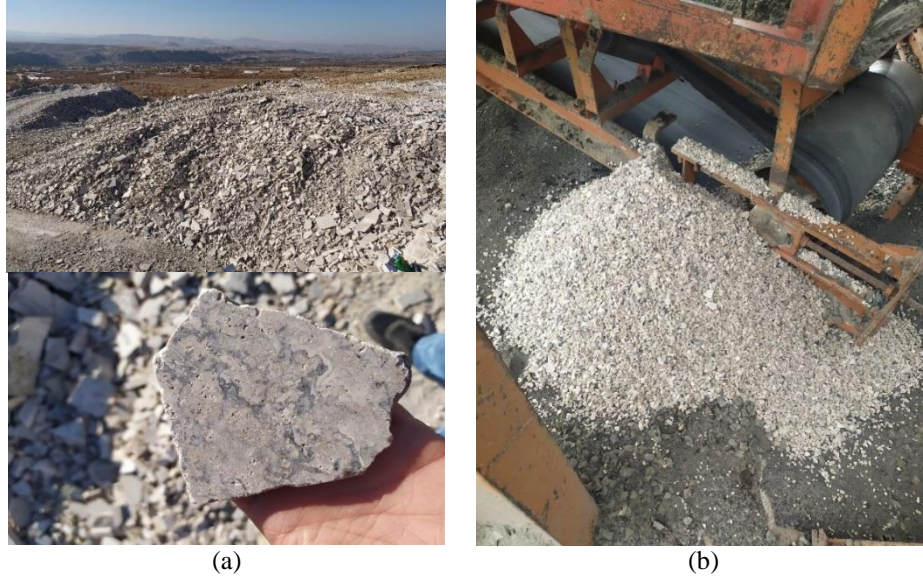
Traverten atıklarının betonlarda kullanılmasına yönelik daha önce yürütülmüş çalışmalar bulunmaktadır. Çobanoğlu ve diğ. [10] tarafından yapılan çalışmada, Denizli bölgesinde agrega olarak kullanılan kireç taşına bir alternatif olarak traverten atıklarının kullanılabilirliği incelenmiştir. Traverten atıklarının alternatif beton agregası olarak kullanılabilmesi, bu sayede ekonomik katkı ve çevresel açıdan avantaj sağlanabileceği sonucuna varılmıştır. Ergezer [11] çalışmasında artık depolama sahalarından alınan artık haldeki travertenlerin laboratuvar ortamında deneylerinin yapılabilmesi için Karayolları Teknik Şartnamesi'nde (KŞ) belirtilen uygun granulometrik boyutlara getirilme işlemini mini konkasör kullanılarak sağlamışlardır. Deney sonuçlarına göre traverten atıkları ile elde edilen agregaların KŞ'de belirtilen sınır değerleri sağladığı belirlenmiştir. Benzer olarak, Süer ve Yakar [12] çalışmalarında KŞT 2013 'e göre, traverten atıklarından elde edilen agregaları mekanik ve fiziksel deneylere tabi tutmuşlardır. Çalışma sonucunda traverten atıklarından elde edilen agregaların KŞT 2013 standartlarını sağlayarak alt temel ve temel malzemesi olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Sunulan çalışmada traverten ocağından elde edilen atıkların, diğer agregalar gibi agrega ocağında kırılarak, beton agregası olarak kullanımları araştırılmıştır. Traverten atıklarından elde edilen betonlar üzerinde çeşitli mekanik özellik deneyleri yürütülmüş ve traverten atıklarının betonlarda kullanılmasına yönelik önemli bilgiler elde edilmiştir.

2. Deneysel Çalışma

2.1. Kullanılan malzemeler

Bu çalışmada, CEM I 42,5R tipi Portland çimentosu kullanılmış olup çimentonun özgül ağırlığı ve Blaine inceliği sırasıyla, 3,14 g/cm³ ve 3500 cm²/g'dır. Çalışmada agrega olarak kullanılacak traverten atıkları İç Anadolu Bölgesinde yer alan bir traverten ocağının artık sahasından temin edilmiş ve bir agrega ocağında kırılarak, beton içinde kullanılabilmesi için uygun boyutlara getirilmiştir. Traverten atıklarının temin edildiği ocağa ait görüntü ve traverten atıklarının kırıldığı agrega ocağındaki işleme ait görüntü Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Traverten artık sahası (a) ve traverten atıklarının kırılarak beton agregası elde edilmesi (b)

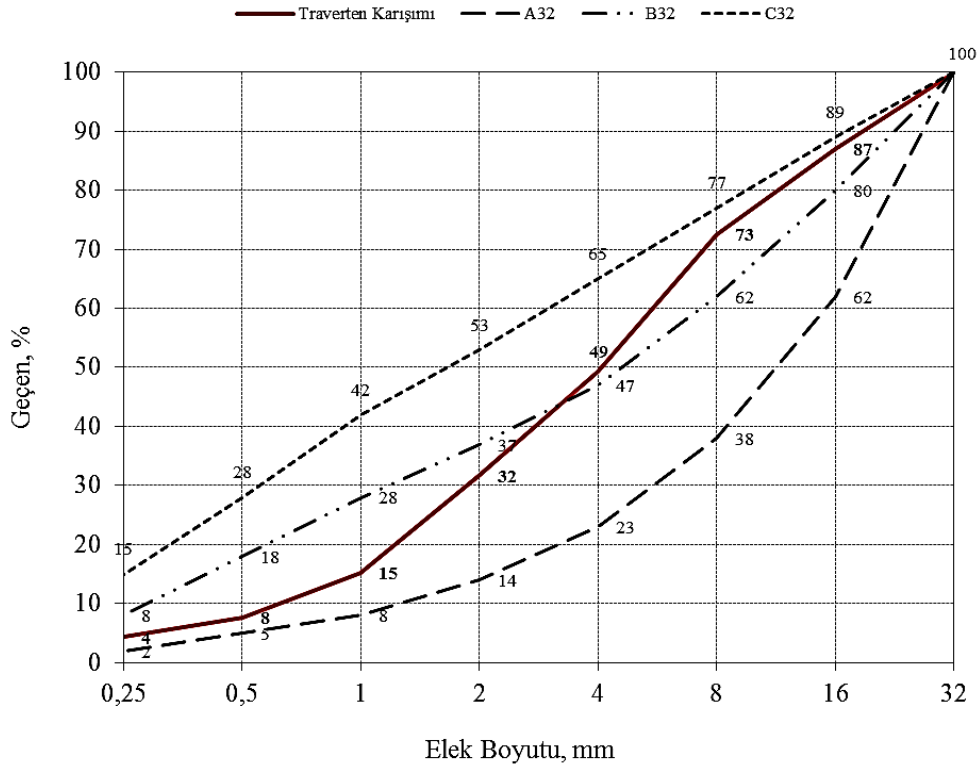
Traverten atıkları kırım işleminden sonra eleklerden elenerek 0/5 mm, 5/12 mm ve 12/25 mm aralıklarında elde edilmiştir. Elde edilen agregalar üzerinde beton agregası olarak kullanılabilirliklerinin değerlendirilmesi için beton agregalarında uygulanan çeşitli deneyler uygulanmıştır. Yapılan agrega deneyleri, standartları ve sonuçları Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Agregada deneylerine ait sonuçlar.

Deney	Deney standardı	0/5	5/12	12/25
Yoğunluk*, g/cm ³	TS EN 1097-6 [13]	2,49	2,58	2,60
Su emme, %	TS EN 1097-6	2,87	2,20	1,70
İnce malzeme, <63µm	TS EN 933-8+A1 [14]	3,54	-	-
Metilen mavisi	TS EN 933-9+A1 [15]	2,75	-	-
Dona dayanıklılık (Magnezyum sülfat)	TS EN 1367-2 [16]	-	15,93	
Aşınmaya dayanıklılık (Los Angeles)	TS EN 1097-2/D1 [17]	-	40,82	
Yassılık indeksi	TS EN 933-3 [18]	-	10	
Şekil indeksi	TS EN 933-4 [19]	-	0	

* Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu

Elde edilen farklı boyutlara sahip agregalar elek analizi deneyine tabi tutulmuş ve betonda kullanılacak aralıkta standarttaki B32 eğrisine yakın olacak şekilde agregada karışım yüzdeleri belirlenmiştir. Elek analizi sonucunda; 0/5 mm aralıktaki agregalardan %50, 5/12 mm aralıktaki agregalardan %27 ve 12/25 mm aralıktaki agregalardan %23 oranında malzeme içeren karışıma ait granülometri eğrisi ve TS 706'da (2003 yılında iptal edilmiştir yerini TS 706 EN 12620 standardı almıştır) maksimum tane boyutuna bağlı olarak kabul edilen referans eğriler Şekil 2'de gösterilmektedir.

**Şekil 2.** Agregada karışımına ait granülometri eğrisi

Traverten atığından elde edilen agregaların TS EN 12620+A1 "Beton Agregaları" standardına [20] göre yassılık ve şekil indeksi değerleri değerlendirildiğinde, sırasıyla FI₁₅ ve SI₁₅ kategorilerinde olduğu görülmüştür. Kum (0/5) agregası, çok ince malzeme muhtevasının en yüksek değerlerine göre ise f₁₀ kategorisindedir. İri agregalar ise (5/12 ve 12/25), en büyük Los Angeles katsayısı değerlerine göre, LA₄₀ ve magnezyum sülfat kullanılarak elde edilen en yüksek don dayanıklılığı değerlerine göre MS₁₈ kategorilerindedir.

2.2. Beton Karışımları

Traverten artıkları ile beton karışımı elde edilmesi için yerel bir beton firması tarafından yeni deprem yönetmeliğine uygun olarak üretilen bir beton sınıfı ve bu dayanımı sağlamak için kullandıkları çimento miktarı bilgileri edinilmiştir. Bilgiler sonucunda, traverten artıklarından elde edilmiş beton agregaları kullanılarak C25/30 beton sınıfı beton üretilmesi ve karışımda 325 kg/m³ çimento kullanılması kararlaştırılmış ve TS 802:2016 [21] standardına göre beton karışım hesabı yapılmıştır. Sadece artık agreganın performansının değerlendirilebilmesi için temel beton bileşenleri olan; çimento, su ve agreganın dışında herhangi bir mineral veya kimyasal katkı kullanımı tercih edilmemiştir. Karışımda kullanılan malzemeler ve miktarları Tablo 2’de sunulmuştur. Traverten atığı beton agregalarının performanslarını daha iyi değerlendirebilmek amacıyla, betonda sıklıkla kullanılan kalker ve bazalt agregaları da kullanılarak beton karışımları hazırlanmıştır. Kalker ve bazalt agregaları da traverten agregaları ile aynı oranlarda karıştırılarak agreganın karışımları elde edilmiştir. Sonrasında kalker ve bazalt agregalarının yoğunluk ve su emme değerleri kullanılarak bu agregalara ait beton karışımları oluşturulmuştur.

Tablo 2. Karışımda kullanılan malzemeler ve miktarları (kg/m³).

Bileşen	Traverten	Kalker	Bazalt
Çimento	325	325	325
Su	205	205	205
0-5	841	885	810
5-12	470	492	489
12-25	404	424	418

3. Bulgular ve Tartışmalar

Taze betonlar üzerinde TS EN 12350-2 standardına [22] uygun olarak çökme (slump) deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda, traverten, kalker ve bazalt agregalarına ait çökme değerleri sırasıyla, 19 cm, 20 cm ve 11 cm olarak ölçülmüştür. TS EN 206 standardına [23] göre traverten ve kalker agregalı karışımların S4 ve bazalt agregalı karışımın ise S3 sınıfında olduğu belirlenmiştir. Bu sınıflar birçok şartnamede beton dökümü için istenilen kıvam sınıflarıdır. Traverten agregalarının, çökme deney sonucuna göre taze betonlar üzerinde olumsuz bir etkisi görülmemiştir. Bununla beraber, bazalt agregasının düşük çökme değerlerine neden olabileceği görülmüştür. Bazı taze ve sertleşmiş beton deneylerine ait görseller Şekil 3’te sunulmuştur.

Taze ve sertleşmiş betonlar üzerinde birim hacim ağırlık deneyleri sırasıyla TS EN 12350-6 [24] ve TS EN 12390-7 [25] standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Sertleşmiş betonlar üzerinde birim hacim ağırlık ölçümleri numuneler yüzey kuru suya doygun durumdayken yapılmıştır. Betonların birim hacim ağırlık değerleri Tablo 3’te sunulmaktadır. Diğer agregalara kıyasla traverten artığı agregalar ile daha düşük birim hacim ağırlığa sahip betonlar elde edilmiştir. Sonuçlar üzerinde agreganın yoğunluklarının etkisi olduğu söylenebilir. Traverten artığı agregaların yoğunlukları 2,60 g/cm³ diğer agregaların ise 2,70 g/cm³ mertebesindedir.

Tablo 3. Taze ve sertleşmiş betonlara ait birim hacim ağırlık deney sonuçları.

Karışımdaki agreganın türü	Taze beton kg/m ³	Sertleşmiş beton kg/m ³
Traverten	2314	2324
Kalker	2334	2338
Bazalt	2350	2356

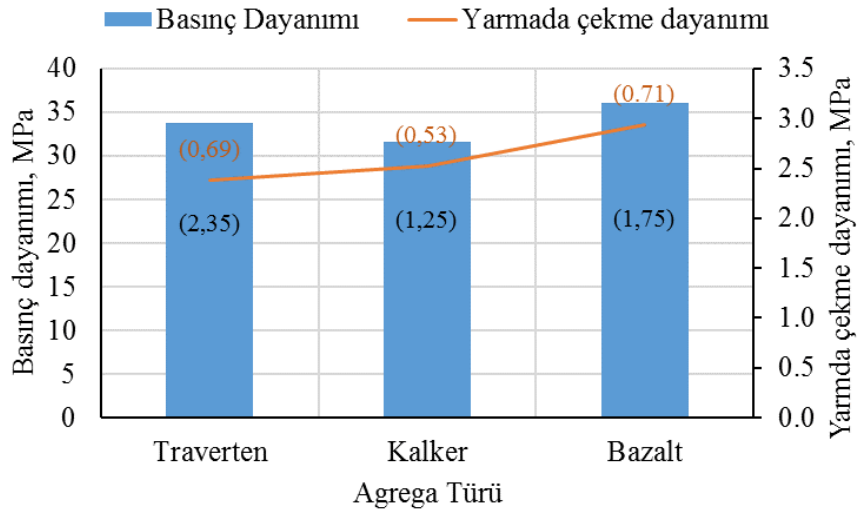


Şekil 3. Çökme deneyi (a), yarmada çekme deneyi (b) ve aşınma deneyi (c).

Kalıptan çıkarılan betonlar kirece doymun ve $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki su içerisinde 28 gün boyunca küre tabi tutulmuştur [26]. Sertleşmiş betonlar üzerinde mekanik özellikleri belirlemek amacıyla basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve aşınma dayanımı deneyleri yürütülmüştür. Deney sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Basınç dayanımı deneyleri TS EN 12390-3 [27] standardına uygun olarak 15 cm'lik küp numuneler üzerinde ve 13 kN/s yükleme hızı altında yapılmıştır. Yarmada çekme dayanımı deneyleri TS EN 12390-6 [28] standardına uygun olarak 10 cm çapında ve 20 cm yüksekliğinde silindir numuneler üzerinde ve 0,05 MPa/s yükleme hızında yapılmıştır. Aşınma dayanımı değerleri TS 2824 EN 1338/AC standardında [29] yer alan Böhme deneyi belirlenmiştir. Deneylerde, 10 cm çapında 20 cm yüksekliğinde silindir numunelerin orta kısımlarından kesilerek hazırlanan $70 \pm 0,5$ mm kenar uzunluğuna sahip küp numuneler kullanılmıştır. Basınç dayanımı deney sonuçları 5 numune ortalaması, yarmada çekme dayanımı ve aşınma dayanımı deney sonuçları 3 numune ortalaması olarak Şekil 4'te sunulmuştur. Serilere ait standart sapma değerleri sütun grafiklerin ve çizginin üzerinde parantez içerisinde sunulmuştur.

Tablo 4. Beton numunelerin mekanik özellik deneylerine ait sonuçlar.

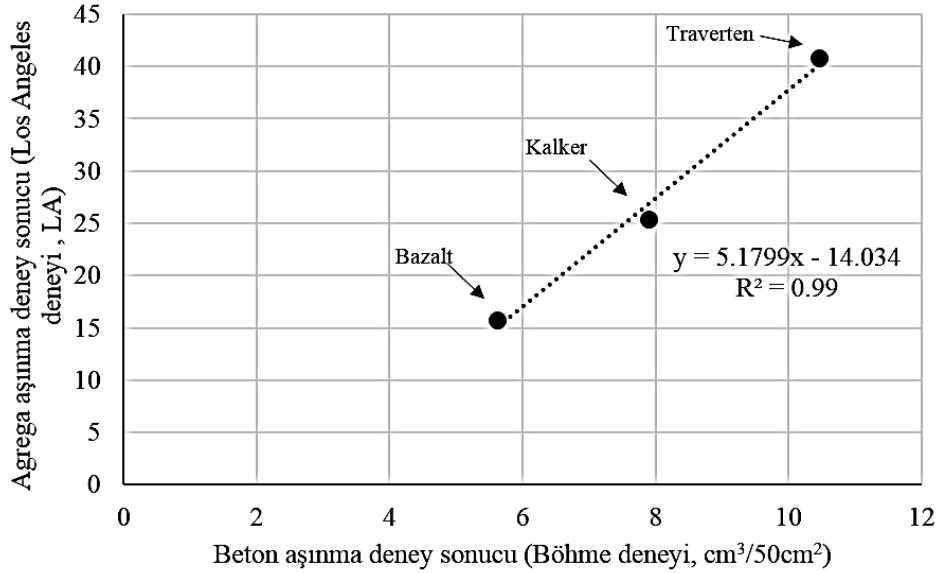
Karışımındaki agregası türü	Basınç Dayanımı, MPa	Yarmada Çekme Dayanımı, MPa	Aşınma Dayanımı, $\text{cm}^3/50\text{cm}^2$
Traverten	33,80	2,39	10,457
Kalker	31,63	2,52	7,900
Bazalt	36,04	2,94	5,613



Şekil 4. Basınç dayanımı deney sonuçları.

Şekil 4'te görüldüğü gibi, traverten atığından elde edilmiş agregalar kullanılarak hedeflenen basınç dayanımı olan 30 MPa değerini karşılayan beton karışımı elde edilmiştir. Traverten agregası diğer agregalarla karşılaştırıldığında basınç dayanımı değerlerinin diğer gruplara yakın olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, diğer agregalarla basınç dayanımı bakımından karşılaştırıldığında kalker agregasına kıyasla %6,8 daha yüksek değerler elde edilirken, bazalt agregasına kıyasla %6,6 oranında daha düşük değerler elde edilmiştir. Yarmada çekme dayanımları incelendiğinde ise traverten atığı agregalara sahip betonların, kalker agregasından %5,4 ve bazalt agregasından %23 daha düşük değere sahip olduğu görülmüştür.

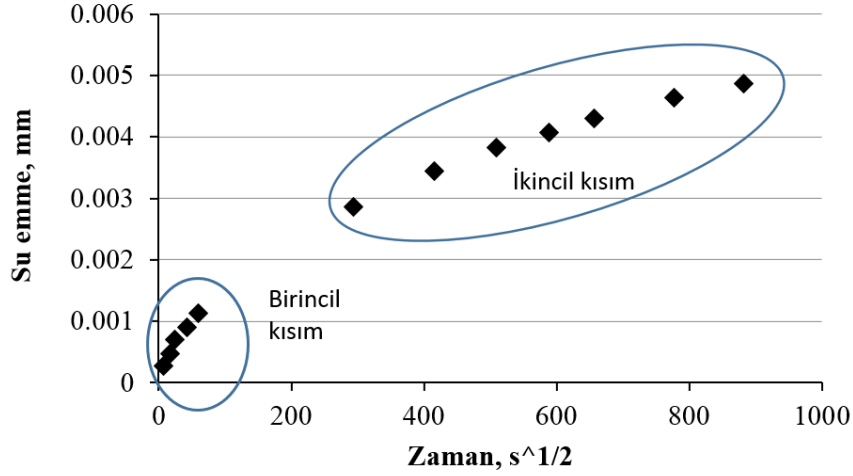
Literatürde, basınç dayanımı ve aşınma dayanımı arasında yüksek korelasyona sahip bir ilişki bulunduğu bilinmektedir ve beton dayanımı arttıkça aşınmaya karşı dayanımda artmaktadır [30-32]. Fakat sunulan çalışmada beton dayanımları yakın olduğu için aşınma dayanımı sonuçları, beton dayanımları yerine agregaların Los Angeles aşınma değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirmeyi yapmak için kalker ve bazalt agregaları üzerinde de Los Angeles aşınma deneyi yapılmış ve kalker ve bazalt agregaları için LA değerleri sırasıyla 25,43 ve 15,81 olarak elde edilmiştir. Agregaların aşınma deney sonuçları ve betonların aşınma deney sonuçları Şekil 4'te gösterilmiştir. Literatürden bilindiği üzere test parametreleri Los Angeles deneyi üzerinde etkilidir [33]. Los Angeles aşınma dayanımı deneyi TS EN 1097-2/D1 [17] standardına uygun olarak 31 devir/dakika ile 33 devir/dakika arasında sabit hızda 500 devir uygulanarak yapılmıştır.



Şekil 5. Beton ve agrega aşınma deney sonuçları arasındaki ilişki.

Şekil 5'te görüldüğü gibi, beton ve agrega aşınma dayanımı değerleri arasında, incelenen değer aralıkları ve agregalar için yüksek korelasyona sahip bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre traverten agregasının diğer agregalara kıyasla aşınma değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. TS 706 EN 12620+A1 [20] standardında agregaların beton yapımında kullanımı ile ilgili yol gösterici bilgiler bölümünde, LA40 kategorisindeki agregalar için, "40'tan daha büyük Los Angeles katsayılarına sahip agregalar, kullanım tecrübelerine bağlı olarak değerlendirilmelidir." ifadesi yer almaktadır. Bu ifade doğrultusunda LA değeri ile beton aşınması arasındaki ilişki araştırılmış ve değerlendirilmiştir.

Çalışmada, mekanik özellikleri belirlemenin yanında kılcal su emme deneyi yapılarak, traverten agregalarının betonun kılcallığı üzerine etkisi de araştırılmıştır. ASTM C 1585 standardına [34] uygun olarak yürütülen kılcallık deneyinde 10 cm çapa ve 5 cm yüksekliğe sahip silindirik numuneler kullanılmıştır. Numuneleri yan yüzeylerin uygun malzeme ile yalıtılarak sadece tabandan su emmeleri sağlanmıştır. Etüv kurusu olarak şartlandırılan numunelerin 9 gün boyunca standartta belirtilen günlerde ağırlık ölçümleri yapılarak kılcal su emme katsayıları belirlenmiştir.



Şekil 6. Traverten agregası için kılcal su emme deneyi grafiği.

Şekil 6'da gösterilen tipik grafikte görüleceği gibi deney sonucunda kılcal su emme değeri birincil ve ikincil kısımlar için ayrı ayrı hesaplanıp değerlendirilmektedir. Kılcal su emme deneyi her bir agregata türü için 3 adet numune üzerinde yapılmış olup birincil kısım için tüm agregalarda $2 \times 10^{-5} \text{ mm}/\sqrt{s}$ olarak elde edilmiştir. İkincil kısımda ise her bir agregata türü için farklı değerler elde edilmiştir. Traverten, kalker ve bazalt agregaları için sırasıyla $4,3 \times 10^{-6} \text{ mm}/\sqrt{s}$, $3,3 \times 10^{-6} \text{ mm}/\sqrt{s}$ ve $3,0 \times 10^{-6} \text{ mm}/\sqrt{s}$ değerleri elde edilmiştir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışma sonucunda, traverten artıklarından elde edilen agregalar kullanılmasıyla elde edilen betonlar üzerinde yapılan deneysel araştırmada aşağıdaki önemli bulgular elde edilmiştir.

Traverten artıklarının diğer agregalarda olduğu gibi taş ocaklarında kırılarak uygun boyutlarda elde edildiği agregalar üzerinde yapılan deneylerde, traverten atığı agregaların betonda kullanılacak agregata özelliklerini sağladığı belirlenmiştir. Traverten atığı agregaların kullanılmasıyla inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan C25/30 sınıfı beton elde edilmiştir. Kalker agregası ve bazalt agregası ile yapılan üretimlerde kullanılan çimento miktarı ile aynı miktarda çimento kullanılması bu agregaların önemli bir ekonomik kazanç sağlayacağını göstermektedir. Ayrıca, artık değerlendirmesi de söz konusu olduğundan çevresel etki de önemlidir.

Basınç dayanımının yanı sıra traverten atığından elde edilmiş agregalar, yarmada çekme dayanımında da diğer agregalara yakın performans sergilemişlerdir. Fakat yapılan aşınma dayanımı deney sonucunda traverten atığı agregaların kullanıldığı betonlar diğer agregalara kıyasla yaklaşık olarak %32-%86 oranında daha düşük performans sergilemişlerdir. Bu durum dikkate alındığında bu agregaların özellikle aşınmaya maruz kalacağı yüzey betonlarında kullanılmadan önce aşınma ve donma-çözülme deneylerine tabi tutulması önemlidir. Bu sonuç agregaların aşınma deney sonuçları ile beraber irdelenerek, agregata aşınması ile beton aşınması arasındaki yüksek korelasyonlu ilişki ortaya konmuştur.

Beton uzun dönem performansı ile ilgili birçok hasarın oluşmasında etkili olan kılcal su emme deneyi çalışma kapsamında yürütülmüş olup traverten atığı agregalar değerlendirilmiştir. İlk bir saat içinde yapılan okuma sonuçlarına göre traverten atığı agregata içeren betonlar diğer agregata betonlar ile aynı sonucu vermiştir. Bu süre içindeki su emme miktarlarının agregata özelliklerinden daha çok matris fazın yani çimento hamurunun özelliklerine bağlı olduğu söylenebilir. Fakat, 1. ve 9. gün arasında yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi sonucu, ikincil kısım değerlerinde agregata arasında farklılıklar görülmüştür. Traverten agregası içeren betonların diğer agregalara kıyasla daha yüksek kılcal su emme değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle bu agregaları içeren betonları dış çevre koşullarına maruz kalacak beton ve betonarme yapılarda kullanılmadan önce aşınma, donma çözülme, alkali silika, klor geçirimsizliği vb. kalıcılık deneyleri ile incelenmesi gerektiği söylenebilir.

Sunulan çalışmada traverten artıkları sahadan rastgele alınmıştır. Travertenler aynı ocak içerisinde dahi farklı fiziksel ve mekanik özelliklere ve kimyasal içeriğe sahip olabilmektedir. İleriki çalışmalarda traverten artıklarının bu özelliklerinin de araştırılmasıyla daha iyi beton agregaları elde edilebilecek ve böylece bu artıklar kullanılarak daha yüksek dayanımlara da ulaşılması mümkün olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Yozgat Bozok Üniversitesi Proje Koordinasyon Araştırma ve Uygulama Merkezi tarafından desteklenmiştir (Proje no: 6601a-FBE/20-398).

Kaynaklar

- [1] Aİtcin PC, Mindess S. Sustainability of Concrete. CRC Press, London, 2011.
- [2] Neville AM., Properties of Concrete. 5th ed. Pearson, London, 2012.
- [3] Demir İ. İnşaat yıkıntı artıklarının beton üretiminde kullanımı ve beton özelliklerine etkisi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2009; 2(2): 105-114.
- [4] Demirel C, Şimşek O. C30 sınıfı artık betonun geridönüşüm agregası olarak beton üretiminde kullanılabilirliği. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi 2014; 2(2): 45-53. doi: 10.15317/Scitech.201426892
- [5] Pourghadri Sefidehkan H, Şimşek O. Farklı oranlarda geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonun bazı mühendislik özelliklerinin araştırılması. Politeknik Dergisi 2018; 21(1): 83-91. doi:10.2339/politeknik.391789
- [6] Keskin M, Karacasu M. Artık bor içeren asfalt betonlarının performanslarının değerlendirilmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2018; 30(2): 185-192.
- [7] Bozkurt N, Karaca E. Artık taş tozları ile üretilen harçların dayanım ve durabilite özelliklerinin araştırılması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019; 31(1): 11-20.
- [8] Ceylan H, Mança S. Mermer parça artıklarının beton agregası olarak değerlendirilmesi. Teknik Bilimler Dergisi 2013; 3(2): 21-25.
- [9] Öztürk ZB. Agregada olarak çinko madeni cürufu kullanımının beton basınç dayanımına etkisi. International Journal of Engineering Research and Development 2018; 10(2): 144-152. doi: 10.29137/umagd.412093.
- [10] Çobanoğlu İ, Çelik SB, Çam O, Etiz H., Kurşun M. Denizli bölgesi traverten artıklarının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2014; 20(3): 92-99.
- [11] Ergezer F. Sıcak çermik bölgesi (Sivas) traverten artıklarının yol temel ve alt temel tabakalarında kullanılabilirliğinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2018; 22: 181-188.
- [12] Süer M, Yakar F. Alaşehir (manisa) bölgesi traverten artıklarının yol alttemel ve temel tabakalarında kullanılabilirliğinin araştırılması. Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi 2020; 8(2): 388-395. doi:10.21541/apjes.626403
- [13] TS EN 1097-6:2013. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini.
- [14] TS EN 933-8+A1:2015. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 8: İnce tanelerin tayini- Kum eşdeğeri tayini.
- [15] TS EN 933-9+A1:2014. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 9: İnce tanelerin tayini - Metilen mavisi deneyi.
- [16] TS EN 1367-2:2011. Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler - bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi.
- [17] TS EN 1097-2/D1:2016. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 2 : Parçalanma direncinin tayini için yöntemler.
- [18] TS EN 933-3:2012. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 3: Tane şekli tayini - Yassılık endeksi.
- [19] TS EN 933-4:2009. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 4: Tane şeklinin tayini - Şekil endeksi.
- [20] TS EN 12620+A1:2009. Beton agregaları.
- [21] TS 802:2016. Beton karışım tasarımı hesap esasları.
- [22] TS EN 12350-2:2010. Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi.
- [23] TS EN 206:2014. Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk.
- [24] TS EN 12350-6:2019. Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 6: Yoğunluk.
- [25] TS EN 12390-7:2019. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini.
- [26] TS EN 12390-2:2010. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabii tutulması.
- [27] TS EN 12390-3:2010. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini.
- [28] TS EN 12390-6:2010. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini
- [29] TS 2824 EN 1338/AC:2009. Zemin döşemesi için beton kaplama blokları - Gerekli şartlar ve deney metodları.
- [30] Kara C, Yazıcıoğlu S. Mermer tozu atığı ve silis dumanının betonun karbonatlaşmasına etkisinin araştırılması. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2017; 5(2). doi:10.17798/bitlisfen.282253
- [31] Singh G, Siddique R. Abrasion resistance and strength properties of concrete containing waste foundry sand (WFS) Constr. Build. Mater. 2012; 28(1): 421-426, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.087>.
- [32] Karaca Z, Günes Yılmaz N, Goktan RM. Considerations on the European Standard EN 14157 Test Methods: abrasion resistance of natural stones used for flooring in buildings. Rock Mech Rock Eng 2012; 45: 103-111.
- [33] Alyamaç K, Tuğrul Tunç E. Farklı test parametreleri için agrega tipinin los angeles aşınma kaybı üzerine etkisi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020; 32(1): 1-10. doi:10.35234/fumbd.569198
- [34] ASTM C1585-20:2020. Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes.

1040 Kalite Çeliğin Korozif Aşınma Davranışına Farklı Oranlarda İlave Edilen Borun Etkisi

Engin ÇEVİK^{1*}, Ferhat SARIÇAM²

¹ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

² Teknoloji Transfer Ofisi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

*¹ engincevik@karabuk.edu.tr, ² ferhatsrcm78@hotmail.com

(Geliş/Received: 04/01/2021;

Kabul/Accepted: 12/04/2021)

Öz: Bu çalışmada; farklı oranlarda (3-15-30 ppm) bor ilavesi ile üretilen 1040 kalite ıslah çeliklerinin korozif aşınma davranışları incelenmiştir. Yapılan çalışma ile korozif ortamda aşınmaya maruz kalan çeliklerin aşınma dayanımının artırılması ve bu şartlar altında ilave edilebilecek maksimum bor miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, farklı oranlarda bor ilave edilen 1040 kalite ticari çelikler, korozif aşınma davranışlarının belirlenmesi amacıyla ağırlıkça %3,5 sodyum klorür (NaCl) içeren çözelti içerisinde, 10, 20 ve 40 N olmak üzere üç farklı yük altında korozif aşınma testlerine tabi tutulmuşlardır. Sonrasında aşınma sonrası hacimsel kayıpları belirlemek için yüzey profilometresi çalışmaları yapılmıştır. Son olarak aşınmış yüzey görüntüleri için taramalı elektron mikroskopundan faydalanılarak aşınma karakteristikleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda 1040 kalite çeliklerde 15 ppm'e kadar ilave edilen bor, mekanik ve tribolojik özellikler açısından pozitif etki gösterirken bu orandan sonra negatif etki göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Bor, AISI 1040, korozif aşınma.

Effect of Boron Addition on Corrosive Wear Behaviour of AISI 1040 Steel

Abstract: In this study; the corrosive wear behaviour of 1040 quality steels produced with the addition of boron in different proportions (3-15-30 ppm) was investigated. With this study, it is aimed to increase the wear resistance of steels exposed to abrasion in corrosive environment and to determine the maximum amount of boron that can be added under these conditions. In this context, 1040 grade commercial steels with different proportions of boron were subjected to corrosive wear tests under three different loads (10, 20 and 40 N) in 3.5% sodium chloride (NaCl) solution to determine their corrosive wear behaviour. Subsequently, surface profilometry studies were conducted to determine volumetric losses after wear tests. Finally utilizing a scanning electron microscope images of worn surfaces for wear characteristics were determined. In the studies carried out, boron added up to 15 ppm in 1040 quality steels showed a positive effect in terms of mechanical and tribological properties, but after this rate, it had a negative effect.

Key words: Boron, AISI 1040, corrosive wear.

1. Giriş

Çelik uzun yıllardır kullanılmasına rağmen hala gelişmeye açık bir malzeme olarak ön plana çıkmaktadır. Örneğin; çeliklerin kimyasal bileşimleri optimize edilerek fiziksel özellikleri geliştirilebilmektedir. Hammadde sorunu yaşanmayacak bir elementin ilavesi ile imalat sektöründe hâlihazırda kullanılan çeliklerin özelliklerinin iyileştirilmesinin endüstriye bir katma değer kazandıracığı düşünülmektedir. Bilindiği üzere, dünya bor rezervinin %73'lük kısmı ülkemiz topraklarında bulunmaktadır. Bunun yanında bor, çeliklere ilave edildiğinde daha üstün aşınma, korozyon ve mukavemet özellikleri kazandırmaktadır [1-9].

Bor ve bor bileşikler makine ve metalürji sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Demir esaslı malzemelerde alaşım elemanı olarak kullanıldığında borun %0,1'in altında olması gerekir [1, 10]. Çünkü bu oranın üzerinde ilave edilen bor miktarları çeliklerde yüksek sıcaklıkta kırılmalara, dökme demirde ise çatlamalara neden olur [1]. Bor çeliklerde % 0,007 oranına kadar sertleştirme derinliğini artırır, dökme demirlerde ise % 0,005'e kadar grafitin çekirdeklenmesine ve yapının düzgün bir şekilde dağılmasına sebep olur [1, 3]. Takım çeliklerine bor ilavesi sertleşme kabiliyetini arttırmaktadır [1,4]. Paslanmaz çeliğe ppm mertebesinde bor ilavesi, kaynak kabiliyetini, sürünme direncini, taneler arası korozyon direncini, nötron absorpsiyon kapasitesini arttırmakta, sıcak yırtılmaları önlemektedir [1]. Uzunsoy, % 0,6 oranında bor ilavesinin 316 kalite paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerini pozitif yönde etkilediğini ve aşınma hızını düşürdüğünü rapor etmiştir [11]. Diğer

* Sorumlu yazar: engincevik@karabuk.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-4863-8762, ² 0000-0001-8319-7459

yandan Çarboğa yapmış olduğu çalışmada 1040 çeliklerinde bor ilavesinin belirli bir orana (23 ppm) kadar aşınma dayanımını arttırdığını bu oran sonrasında aşınma dayanımını olumsuz etkilediğini rapor etmişlerdir [10].

Bor ilavesinin çeliklerin korozyon davranışlarına olan etkilerine baktığımızda ise farklı türde çelikler için farklı sonuçlar karşımıza çıkmaktadır. Düşük karbonlu beynitik çeliklere yapılan bor ilavesi korozyon direncini artırırken Reyes vd. yapmış olduğu çalışmada ise TWIP çeliklerine yapılan bor ilavesi korozyon direncini olumsuz yönde etkilemektedir [1, 12, 13]. Karacif ve arkadaşları tarafından SAE 1020 çeliğine alaşım elementi olarak ppm mertebesinde ilave edilen bor elementi bütün oranlarda korozyon direncini olumsuz yönde etkilemiştir [14].

Orta karbonlu çelikler, mukavemeti ve yüksek sertliği nedeniyle mühendislik, madencilik, inşaat ve ziraat alanlarında yaygın olarak kullanılır [10]. İmalat sektöründe aşınma kaynaklı problemlerin önüne geçilebilmesi amacıyla ıslah çelikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat özellikle korozif ortam söz konusu olduğunda kullanılan çelik malzemelerin aşınma hızı artmakta ve bu da malzeme ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır.

Borlu çelikler üzerinde farklı çalışmalar yapılmıştır. Fakat bu çalışmaların tamamı ya aşınma davranışlarının belirlenmesine ya da bor kaplama yapılarak korozyon dirençlerinin geliştirilmesine yöneliktir. Yapılan literatür incelemesinde korozif aşınma direncine yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Yapmış olduğumuz çalışmada ise endüstriyel uygulamalarda oldukça yaygın biçimde kullanılan 1040 kalite çeliklere belirli oranlarda (3-15-30 ppm) bor elementi ilave edilerek korozif aşınma direncinin geliştirilmesi ve ilave edilecek optimum bor oranının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, birçok endüstriyel alanda kullanılan 1040 kalite çeliklere Tablo 1' de belirtilen oranlarda bor ilavesi gerçekleştirilmiştir. İndüksiyon ocağı ile yapılan döküm işlemi esnasında sıvı metali azottan koruma amacıyla 400 ppm titanyum ilavesinde bulunulmuştur [15]. Böylelikle azota karşı ilgisi daha fazla olan Ti ile TiN bileşiği oluşturulması ve borun elementel seviyede alaşımın içerisinde kalması hedeflenmiştir [16]. Korozif aşınma deneyleri için %200 oranında haddelenmiş alaşımların her birinden 20x30x5 mm boyutlarında numuneler çıkarılmıştır.

Tablo 1. Numunelerin spektral analiz sonuçları

Numune Kodu	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Al (%)	Cu (%)	Ti (%)	N (%)	Fe (%)	Ni (%)	Mo (%)	B (ppm)
1B3	0,41	0,21	0,95	0,015	0,008	0,16	0,08	0,061	0,039	0,013	97,92	0,045	0,011	3
1B15	0,41	0,21	0,95	0,015	0,008	0,16	0,08	0,061	0,039	0,013	97,92	0,045	0,011	15
1B30	0,41	0,21	0,95	0,015	0,008	0,16	0,08	0,061	0,039	0,013	97,92	0,045	0,011	30

Mikroyapı incelemesi için numunelere kaba ve ince zımparalama işlemleri sonrasında parlatma ve dağlama (%5 Nitrik Asit-%95 Etanol) işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sonrasında mikroyapı incelemeleri ilk olarak Clemex yazılıma sahip Nikon Eclipse MA200 marka optik ışık mikroskobu ve EDX donanımlı Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem SEM cihazı ile yapılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu çalışmaları korozif aşınma deneyleri sonrasında yüke ve bor içeriğine bağlı olan aşınmış yüzey incelemeleri ile sonlandırılmıştır. Üretilen numunelerin detaylı faz incelemeleri 3 derece/dakika tarama hızında Rigaku marka XRD cihazı ile yapılmıştır.

Numunelerin sertlik ölçümleri vickers (HV5) sertlik yöntemi kullanılarak QNESS marka mikro sertlik cihazında gerçekleştirilmiştir.

Korozif aşınma testleri % 3,5 NaCl çözeltisi içerisinde, üç farklı yük (10 N, 20 N ve 40 N), 60 mm/s aşınma hızı ve 250 metre aşınma mesafesinde UTS Tribometer T 10 test cihazı kullanılarak uygulanmıştır. Bütün testlerde 6 mm çapında 52100 çelik bilye kullanılmıştır. Aşınma deneyleri sonrasında her bir numunede meydana gelen hacimce kayıpların hesaplanabilmesi için, izin derinliğine (h) ve genişliğine (L) bağlı olarak aşınma izinin enine yönünde en az 3 farklı bölgeden ölçüm alınmıştır. Ölçümler 2 mm çapında standart bir prob kullanılarak Mitutoyo SJ-410 yüzey pürüzlülük cihazı ile gerçekleştirilmiş ve aşınma kayıpları cihaza entegre yazılım sayesinde otomatik olarak hesaplanmıştır.

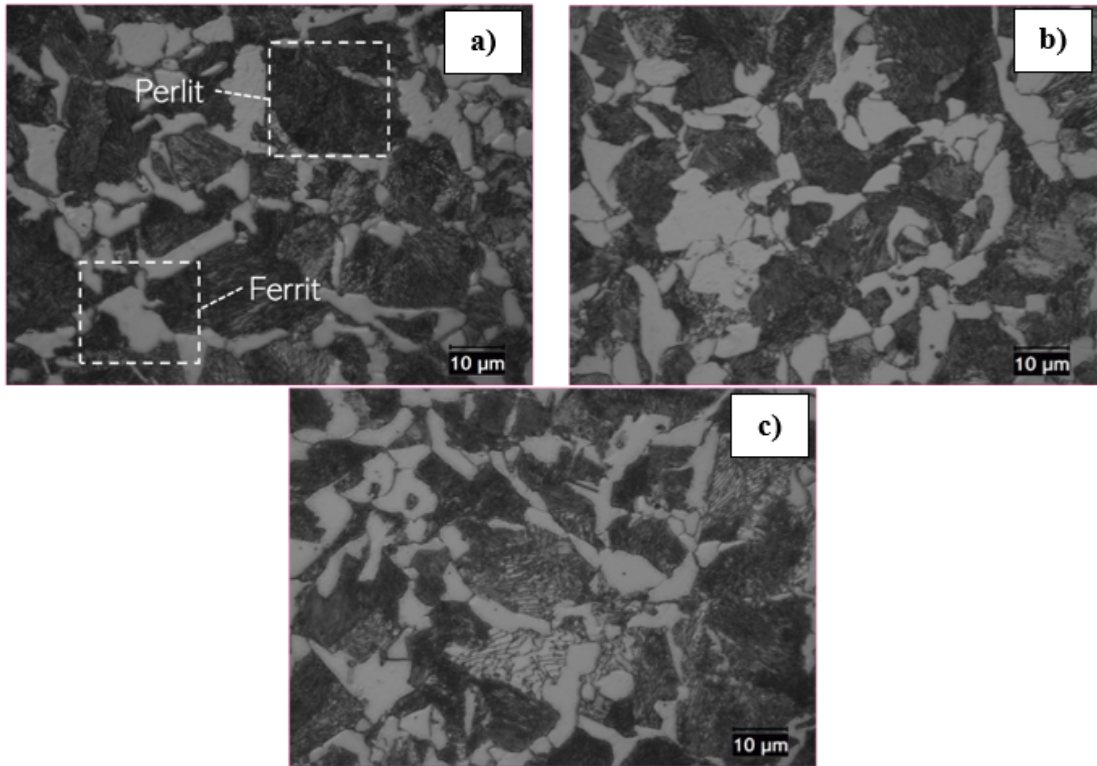
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. XRD ve Mikroyapı Analizleri

3, 15 ve 30 ppm bor içeren 1040 kalite çeliklere ait mikroyapı görüntüleri Şekil 1’de verilmektedir. 3 ppm bor içeren numunelerden alınan mikroyapı görüntülerinden de anlaşıldığı gibi haddeleme sonrası tanelerin dönüşümünün tamamen gerçekleştiği ve perlitin ferrite göre daha yoğun olduğu görülmektedir. Beyaz ile görülen bölgelerde ferrit siyah deniz kabuğu şeklinde görülen bölgelerde ise perlitik yapı hâkimdir.

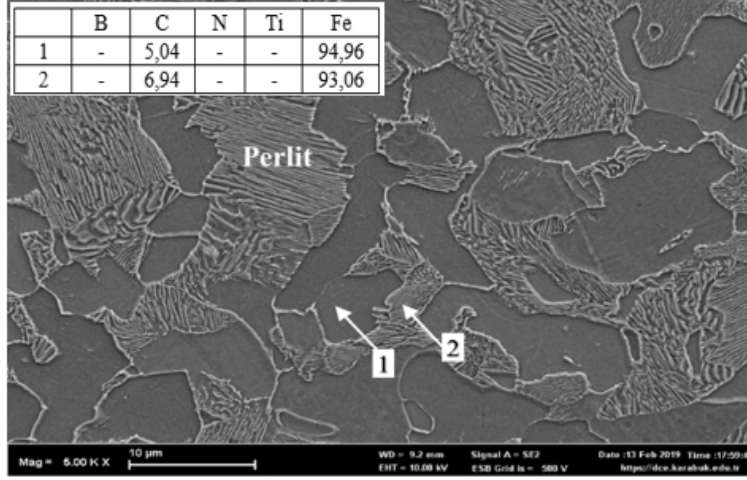
15 ppm bor içeren numuneye ait mikroyapı fotoğraflarında 3 ppm bor içeren malzemelere göre, bor oranının artmasıyla birlikte perlitik yapıda daha belirgin bir artış olduğu gözlemlenmektedir. Tanelerin eş eksenli olduğu ve perlitik yapının mikroyapıda homojen dağıldığı görülmektedir.

Belirli bir orana kadar ilave edilen bor tane sınırlarını düşürmekte ve ferrit fazının çekirdeklenmesini geciktirmektedir fakat optimum oranın üzerinde yapılan ilavelerde karbürü veya nitrürlü yapıların tane sınırlarında uygun arayüzey sağlayıcı olarak davranması ferrit fazının çekirdeklenmesini de kolaylaştırmaktadır [17-19]. Özellikle bor ilavesi 30 ppm olduğunda mikroyapı fotoğraflarında bu durum (ferrit fazının yoğunluğu) açıkça görülmüştür (Şekil 1-c).



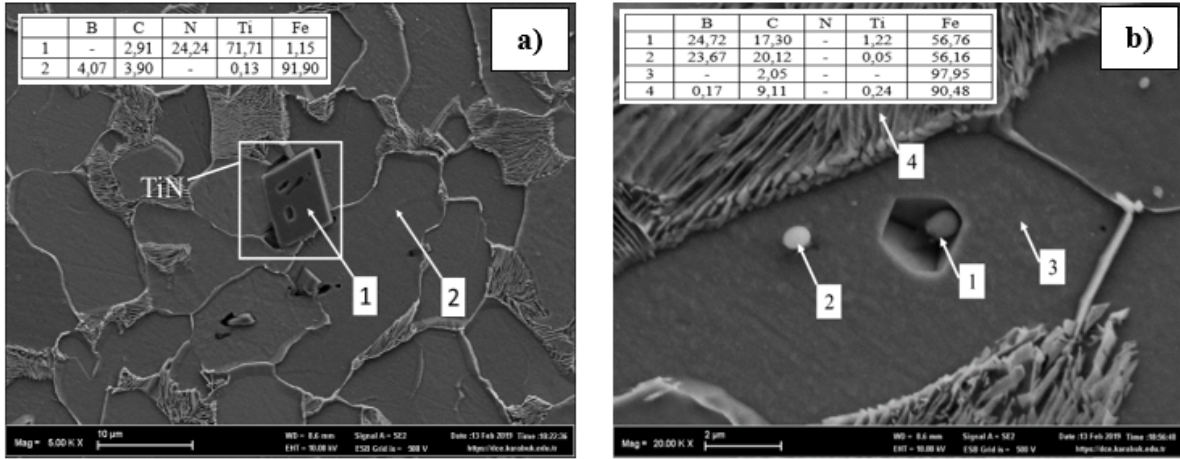
Şekil 1. a)3 ppm b)15 ppm c)30 ppm bor içeren 1040 kalite çeliğe ait numunelerin mikroyapı görüntüleri

SEM analizleri sonucunda ikincil elektron yöntemi kullanılarak mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir. EDX nokta analizi sonucunda bor, karbon, azot, titanyum ve demir elementleri tespit edilmiştir.



Şekil 2. 3 ppm bor içeren numuneye ait SEM görüntüsü

3ppm bor içeren numunenin SEM incelemesi sırasında elde edilen mikroyapı görüntüleri ve EDX sonuçları Şekil 2' de verilmiştir. 1 numaralı bölgeler ferrit, 2 numaralı bölgeler ise perlit fazlarından oluşmaktadır.



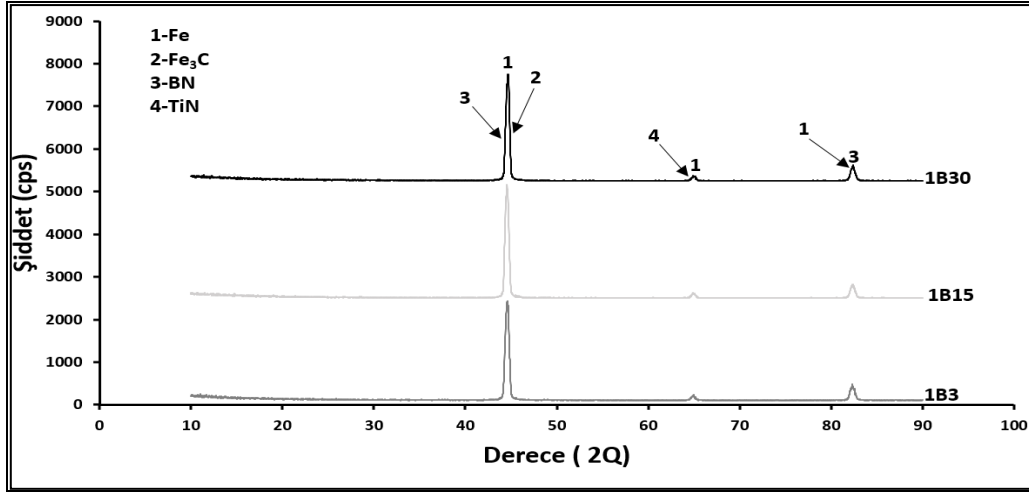
Şekil 3. 30 ppm bor içeren numuneye ait SEM görüntüleri

30 ppm bor içeren numuneye ait 5000 büyütmede SEM görüntüsü ve EDX analizi Şekil 3-a'da verilmiştir. SEM-EDX analizine göre 2 numaralı noktada %4,07 oranında bor olduğu görülmüştür. 1 nolu bölgede ise %24,24 oranında azot ve %71,71 oranında Ti tespit edilmiştir. Yapı içerisindeki bu fazın TiN olduğu düşünülmektedir [1].

30 ppm bor içeren numuneye ait 20000 büyütmede SEM görüntüsü ve EDX analizi Şekil 3-b'de verilmiştir. SEM-EDX analizine göre 1 numaralı noktada % 24,72 oranında bor olduğu görülmüştür.

Ayrıca Şekil 3-b'de 30 ppm bor içeren numuneye ait SEM görüntüsünde farklı boyutlarındaki küresel parçalarda yapılan noktasal analizlerde artan bor oranıyla birlikte özellikle 1 ve 2 nolu bölgelerde yüksek oranlarda bor elementi tespit edilmiştir. Bor oranının artmasıyla birlikte Şekil 3-b de gösterilen küresel noktaların da arttığı tespit edilmiştir. Bor içeren malzemelerde TiN'lere daha az oranlarda rastlanmaktadır.

Farklı oranlarda bor içeren AISI 1040 kalite çeliklere ait XRD analizleri Şekil 4'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere yapılan XRD analizi yapılan SEM çalışmalarını destekler niteliktedir. Şöyle ki, artan bor ilavesi ile SEM analizinde belirttiğimiz BN ve TiN türü bileşikler XRD analizi ile de tespit edilmiş ve grafikte de gösterilmiştir.



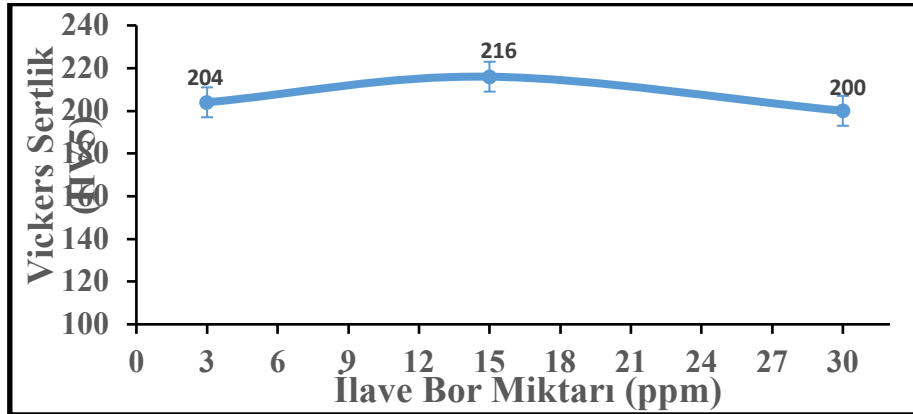
Şekil 4. Farklı oranlarda bor içeren 1040 kalite çeliklere ait XRD sonuçları

3.2. Sertlik testleri

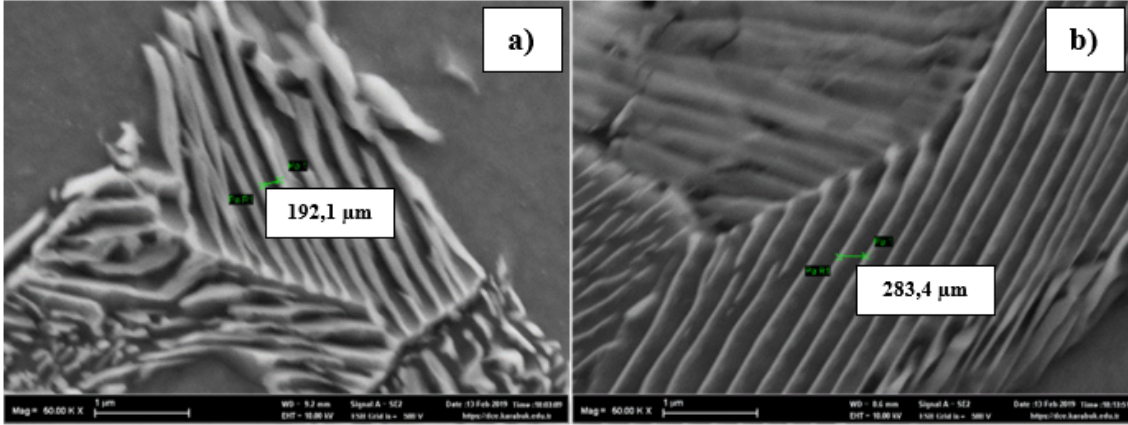
Numunelerde beş farklı bölgeden sertlik ölçümleri yapılmış ve bunların ortalamaları sonuç olarak Şekil 5’ de verilmiştir.

3 ppm bor içeren numune ile 15 ppm bor içeren numune kıyaslandığında %7 civarında sertlik artışı gözlenmiştir. Bu artışın sebebi, 15 ppm bor içeren numunede ferrit fazının daha az olması ve ilave edilen bor ile nitrürlü bileşiklerin oluşma potansiyelinin daha fazla olmasıdır. Çelik alaşımlarına eser miktarda ilave edilen bor, sertleşebilirlikte önemli bir katkı sunmakta olup, TTT diyagramlarındaki ferrit ve perlit burunlarını diyagramın sağna doğru çekmektedir. 1040 çeliklerinde ortalama sertlik sonuçları kıyaslandığında, 15 ppm seviyesindeki bor miktarı sertlik artışı açısından optimum oran olarak görülmüştür. Bu değer üzerinde bor ilavesi sertlikte düşüşe neden olmuştur. Bu durum daha fazla bor ilavesi ile yapı içerisinde homojenlik sağlanamaması ve tane sınırlarında nitrür fazların yoğun olarak birikmesi böylelikle mukavemette düşüşe neden olmasıyla açıklanabilir [17-19].

Yapılan literatür taramasında 17 ppm bor ilavesine kadar bor miktarı ile sertliklerin arttığı gözlenmiştir. 4140 çeliklerine 17 ppm değerinin üzerinde bor katılmasıyla mikroyapıda daha ince tane boyutu ve iğnemi morfoloji gözlemlenmesine rağmen sertlikte ani düşüş meydana gelmiştir [12]. Genel olarak çelik alaşımlarında hem literatüre göre hem de çalışmamızda yapmış olduğumuz deneysel çalışmalara göre bor ilavesi tane sınır enerjisini düşürerek ferrit fazının çekirdeklenmesini geciktirmesi sebebiyle sertlik artışını sağlamaktadır. Fakat belli bir oranın üzerinde yapılan ilavelerde karbürlü veya nitrürlü yapıların tane sınırlarında uygun arayüzey sağlayıcı olarak davranıp ferrit fazının çekirdeklenmesini kolaylaştırması sebebiyle sertlik değerlerinde azalmalara neden olmaktadır [10, 12, 17, 19].



Şekil 5. Farklı oranlarda bor içeren 1040 kalite çeliklere bor ilavesinin sertliğe etkisi

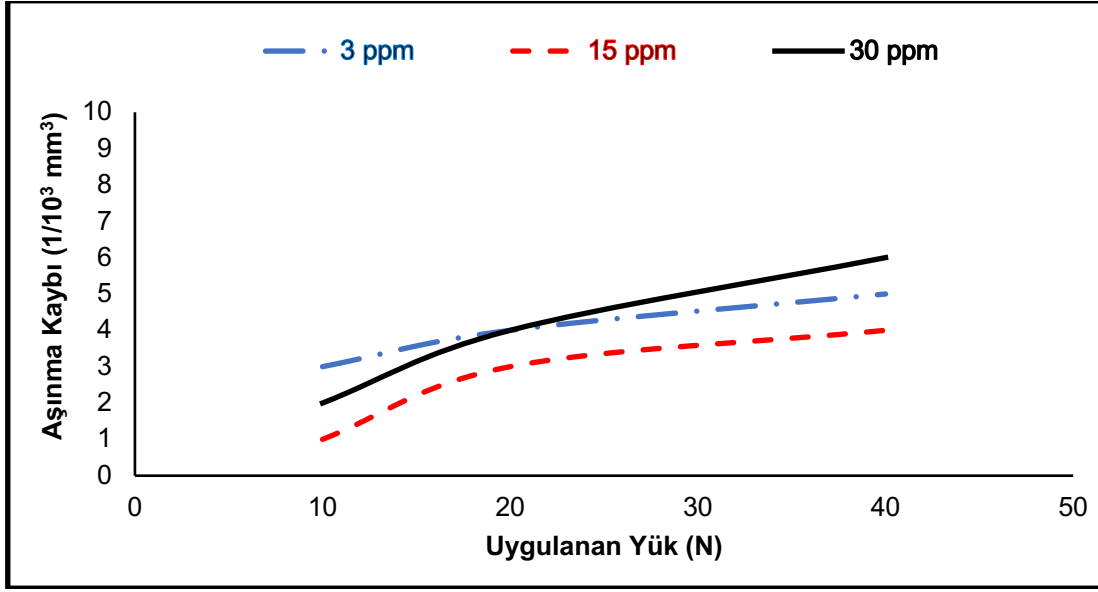


Şekil 6. (a) 3 ppm ve (b) 30 ppm bor içeren numunelere ait SEM görüntüsü.

Diğer yandan bilindiği üzere perlitik çeliklerde lameller arası mesafenin düşürülmesi mekanik özellikleri pozitif yönde etkilemektedir [20]. En düşük ve en yüksek oranda bor içeren 1040 kalite çeliğin perlitik yapısına baktığımızda yüksek oranda ilave edilen bor, ferritin çekirdeklenmesini kolaylaştırdığından, perlit yapıda lameller arası mesafeyi genişlettiği düşünülmektedir. Şekil 6' ya baktığımızda yüksek oranda bor ilavesi sonrası daha geniş lameller arası mesafeye sahip perlit yapısı görülmektedir. Bunun sonucu olarak 30 ppm bor içeren numunede daha düşük sertlik değerleri elde edilmiştir.

3.3. Korozif aşınma testleri

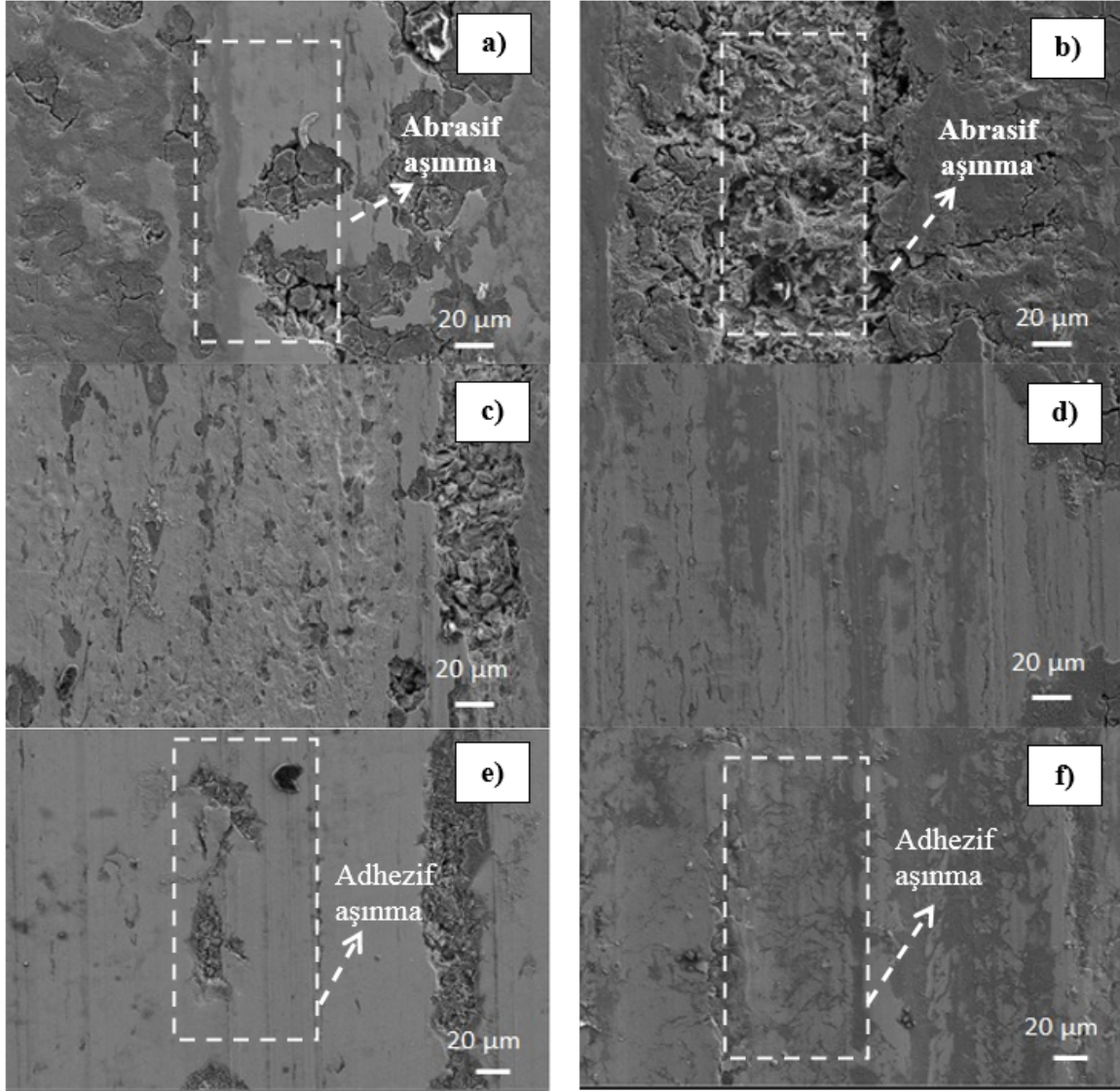
Korozif aşınma testleri sonrası yüzey pürüzlülük ölçümleri alınarak yapılan hacimsel kayıp hesaplamaları Şekil 7' de verilmiştir. Her ne kadar yüksek yükde (40 N) 30 ppm bor içeren numunelerde en yüksek ağırlık kayıpları görülsede özellikle düşük yükte (10 N) artan bor ilavesi ile aşınma dayanımında ciddi oranlarda iyileşmeler sağlanmıştır. Bor ilavesi ile aşınma kaybının azalmasının borun çeliğin sertleşebilirliğine olan pozitif katkısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca bor ilavesi ile oluşan BN ve TiN gibi ikincil fazların aşınma dayanımını arttırdığı görülmektedir. 1040 kalite çelikleri değerlendirdiğimizde hem düşük hem de yüksek yüklerde en yüksek aşınma dayanımı 15 ppm bor ilavesi ile elde edilmiştir. Fakat yüksek yüklerde 15 ppm bor ilavesinin üzerinde bor ilavesi yapıldığında oluşan ikincil fazlar ferrit alanını genişlettiğinden sertlikte düşümlere neden olduğu için en yüksek aşınma kayıpları da 30 ppm bor içeren numunede gerçekleşmiştir.



Şekil 7. 1040 kalite çelikler için uygulanan yüke bağlı olarak hacimce aşınma kayıpları

Aşınmanın genel bir kuralı olarak, malzemenin sertliğinin artması aşınma direncini artırır. Ancak bu sertlik artışı sonunda eğer malzeme gevrekleşiyorsa yüksek yüklerde aşınma direnci olumsuz yönde etkilenebilir. Şekil 7'ye baktığımızda 10 N yük uygulandığında 30 ppm bor içeren numune 3 ppm bor içeren numuneye kıyasla daha yüksek aşınma dayanımı göstermektedir. 20 ve 40 N aşınma yüklerinde ise tam tersi durumla karşılaşmıştır. Yüksek yüklerde aşınma esnasında bor ve titanyum ilavesi ile yapıda çökelen ikincil fazların ve partiküllerin yüksek yüklerde yapıdan koparak ağırlık kaybını arttırdığı düşünülmektedir.

Görülen bu hacimsel kayıplar sertlik sonuçlarıyla da uyumludur. Diğer yandan Cheng vd. çeliklerin korozyonunun iki aşamada gerçekleştiğini belirtmiştir. İlk aşamayı pasif bir oksit tabakasının oluşumu, ikinci aşamayı ise bu tabakanın tahrip olup oyuklanmanın gerçekleşmesi olarak tanımlamışlardır [21]. Yapmış olduğumuz korozyon testlerinde hem korozyon hem de sürtünmenin etkisi düşünüldüğünde korozyon ortamı nedeniyle serbestleşen ikincil fazların sürtünmenin etkisi ile yapıdan ayrılıp aşınma kayıplarını arttırdığı düşünülmektedir.



Şekil 8. 3 ppm bor içeren (a) 10N (c) 20N (e) 40N ve 30 ppm bor içeren (b) 10N (d) 20N (f) 40N numuneye ait aşınma SEM görüntüleri

Archard yasasına göre bir malzemenin sertliği ne kadar yüksek olursa yüzeydeki aşınma kaybı daha az olur ve aşınma direnci daha yüksek olması beklenir. Sertlik sonuçları da göz önünde bulundurulduğunda aşınma performansları ve sertlik direnci bor ilavesiyle gelişmiş fakat belli bir eşik değeri aşıldığında aşınma performansının olumsuz yönde etkilendiği görülmüştür. Sonuç olarak, aşınma direncinin artması ve aşınma derinliğinin daha az olması yapı içerisindeki yağlayıcı özellik gösterebilen bor ilavesinin yüzey sertliğini önemli bir ölçüde artırmasına ve numune ile karşıt malzeme arasındaki temas alanının azaltılmasına bağlıdır.

Şekil 8’de 3 ppm ve 30 ppm oranında B ilave edilmiş numunelerin farklı yükler altındaki aşınmış yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Numunelerin genel olarak daha sert bir yüzeye karşı abrasif bir aşınmaya ve plastik deformasyona maruz kaldıkları görülmektedir. Aşınma yüzeylerinden alınan SEM görüntülerine baktığımızda düşük yüklerde korozyonun daha aktif olduğu görülmekte abrasif aşınmaya ilaveten korozif aşınma görülmektedir. Yüksek yüklerde baktığımızda ise daha çok adheziif aşınma karakteristiği görülmektedir. Şöyle ki yüksek yüklerde aşınma iz genişliği ve derinliği artarken aşınma neticesinde kopan malzemelerin yüksek yük etkisinde yüzeye sıvandığı tespit edilmiştir. Eşik değer üzerinde yapılan bor ilavesi sonucunda yapı içerisinde oluşan BN, TiN vb. fazların yüksek yüklerde kopup ayrılmasıyla yüzeyde görülen oyuklanmaların da arttığı görülmüştür.

4. Genel Sonuçlar

Ticari 1040 kalite ıslah çeliklerine farklı oranlarda bor ilavesi yapılarak vakumsuz indüksiyon ocağında alaşımlama işlemi gerçekleştirilmiş ve üretilen alaşımların mikroyapı incelemeleri, sertlik ve metal-metal korozif aşınma deneylerinden aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

1. Üretilen alaşımlarda bor ve titanyum ilavesi sonrasında SEM'in EDX dedektörü ile BN, BC ve TiN fazlarının oluşumu tespit edilmiştir. Artan bor ilavesi ile oluşan bu fazların hacminin ve miktarının arttığı belirlenmiştir. 15 ppm' in üzerinde yapılan bor ilavesi sonrası perlitik yapıda lameller arası mesafenin genişlediği tespit edilmiştir.
2. 1040 kalite çeliklere 15 ppm bor ilavesi sonrasında alınan sertlik değerlerinde %7 oranında bir artış kaydedilmiştir.
3. Aşınma yükünün artması ile ağırlık kayıplarında artış gözlenmiştir. 1040 kalite çelikte 15 ppm'e kadar ilave edilen bor ile uygulanan bütün yüklerde aşınma dayanımında artış gözlenmiştir.
4. 30 ppm bor ilavesi hem sertlik değerlerini hem de korozif aşınma dayanımını olumsuz olarak etkilemiştir.
5. Aşınma sonrası SEM fotoğraflarına göre düşük yüklerde korozif ve abrasif aşınma mekanizması görülürken yüksek yüklerde daha çok adhezif aşınma mekanizmasının hâkim olduğu görülmüştür.

5. Teşekkür

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ettiler.

Kaynaklar

- [1] Çarboğa C. Düşük karbonlu çeliklere bor ilavesinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi. Doktora Tezi 2010; Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [2] Wang Z, Li Y, Wang G, Liu H. Effects of boron content on the microstructure and mechanical properties of twin-roll strip casting borated steel sheets. *Mater. Sci. Eng. A* 2020; 793, 1-14.
- [3] Murathan ÖF, Kocatepe K, Erdoğan M. The effect of high boron additions on the microstructure of cast steel. *Bor Dergisi* 2020; 5(2), 108-114.
- [4] Musa M, Mohammed AG, Muhammad A. Wear properties of boron added high strength low alloy (HSLA) SAE 8620 steel. *Journal of Metals, Materials and Minerals* 2018; 28 (1), 22-29.
- [5] Wang XM, He XL. Effect of boron addition on structure and properties of low carbon bainitic steels. *ISIJ Int.* 2002; 42, 621-633.
- [6] He B, Xiu W, Huang M. Effect of boron on bainitic transformation kinetics after ausforming in low carbon steels. *J. Mater. Sci. Technol.* 2017; 33 (12), 1494-1503.
- [7] Frydman S, Letkowska B. Properties of boron steel after different heat treatments. *IX International Congress Machines, Technologies, Materials* 2012; 72-74.
- [8] Aydın E. Isıl işlem parametrelerinin bor katkılı östenitik çelik üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi 2011; İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Turkan, N. Bor alaşımlı çelikler ve yüksek zorlamalara karşı kullanılan bor alaşımlı yeni semantasyon çelikleri. *Bilimsel Madencilik Dergisi* 1963; 3 (11), 743-748.
- [10] Çarboğa C, Kurt B, Dal S. Investigation of wear and microstructure properties of AISI 1040 steel with different boron content. *UDCS' 19 Fourth International Iron and Steel Symposium* 2019; 482-484.
- [11] Uzunsoy D. Investigation of dry sliding wear properties of boron doped powder metallurgy 316L stainless steel. *Mater. Des.* 2010; 31, 3896-3900.
- [12] Aksoy T. Farklı oranlarda bor ilavesinin 4140 çeliğinin korozif aşınma özelliklerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi 2019; Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [13] Reyes AE, Guerrero GA, Alvarez FF, Alcalá JFC, Salinas A, Figueroa IA, Rodríguez GL. Influence of the as-cast and cold rolled microstructural conditions over corrosion resistance in an advanced TWIP steel microalloyed with boron. *J. Mater. Res. Technol.* 2020; 9 (3), 4034-4043.
- [14] Karacif K, Çarboğa C, ve Candemir D. Düşük oranlarda bor içeren az karbonlu çeliklerin asidik ve tuzlu ortamlarda korozyon özelliklerinin incelenmesi. *Bor Dergisi.* 2019; 4 (1) , 39-45.
- [15] Llewellyn, DT and Cook WT. Metallurgy of boron-treated low-alloy steels. *Metals Technology.* 1974; 1 (1), 517-529.
- [16] Taylor KA and Hansen, SS. The boron hardenability effect in thermomechanically processed, direct-quenched 0.2 Pct C steels. *Metallurgical Transactions A.* 1990; 21 (6), 1697-1708.
- [17] Fountain RW, Chipman J. Solubility and Precipitation of Boron Nitride in Iron-Boron Alloys. *Transactions Of The Metallurgical Society of AIME* 1962; 224, 599-606.
- [18] Karlsson L, Nordén H, Odelius, H. Non-equilibrium grain boundary segregation of boron in austenitic stainless steel-I. Large scale segregation behaviour. *Acta Metall. Sinica* 1988; 36 (1), 1-12.

- [19] Morral JE, Cameron TB. A model for ferrite nucleation applied to boron hardenability. *Metall. Trans. A* 2007, 8 (11), 1817–1819.
- [20] Özcan MM. Mikroalaşımli ve sementasyon çeliklerinin yorulma davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi 2005; İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] Cheng YF, Wilmott M, Luo JL. Role of chloride ions in pitting of carbon steel studied by the statistical analysis of electrochemical noise. *Appl. Surf. Sci.* 1999; 152 (3), 161–168.

PLD Yöntemiyle Kaplanmış Bakır Oksit İçerikli Hidroksiapatit İnce Filmin Aşınma ve Korozyon Davranışı

S. Yenal VANGÖLÜ^{1*}

¹ Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye

*¹ yvangolu@atauni.edu.tr

(Geliş/Received: 14/01/2021;

Kabul/Accepted: 22/04/2021)

Öz: Canlı kemik ve implant arasındaki doğrudan bağ oluşumu olarak tanımlanan osseointegrasyonu iyileştirme ve malzeme üzerinde bakteri oluşumunu azaltma üzerine yapılan araştırmalar bilim dünyasının en güncel çalışmalarındandır. Osseointegrasyonu artırmada en çok kullanılan yöntemlerden biri hidroksiapatit kaplamalarken, bakteri oluşumunu azaltmada kullanılan yöntemler çeşitlilik göstermektedir. Bu yöntemlerden biri de antibakteriyel olduğu bilinen bakır oksitli hidroksiapatit içerisine gömüldüğü kaplamalardır. Bu çalışmada, 316L paslanmaz çelik yüzey üzerine darbeli lazer biriktirme (PLD) işlemi uygulanarak yüzeyde bakır içerikli hidroksiapatit ince film tabakası (HA/CuO) oluşturulmuştur. Kaplama işlemi sonrası işlemsiz ve kaplanmış numunelerin fosfat tamponlu tuz çözeltisi (PBS) ve yapay vücut sıvısı (SBF) içerisinde korozyon davranışları ve kuru ortam aşınma davranışları karşılaştırılmıştır. Yapısal karakterizasyonları taramalı elektron mikroskopu (SEM), X ışını kırınım cihazı (XRD) ve 3D profilometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PLD, 316L, Hidroksiapatit, CuO, Korozyon.

Wear and Corrosion Behaviour of Copper Oxide Doped Hydroxyapatite Thin Film Layer Coated by PLD

Abstract: Researches on improving osseointegration which is defined as a direct bond formation between living bone and implant and reducing bacterial growth on the material, are still among the studies that engage scientists' attention. While hydroxyapatite coating is one of the most widely used approaches to increase osseointegration, methods used to reduce bacterial growth vary. One of these methods is to form a copper-doped hydroxyapatite layer on the implant, which is known to be antibacterial. In this study, a copper oxide-containing hydroxyapatite thin film layer (HA/CuO) was formed on the surface of 316L stainless steel by using pulsed laser deposition (PLD). Dry sliding wear behaviour and corrosion behaviour of untreated and coated samples were comparatively investigated in phosphate buffer saline (PBS) and simulated body fluid (SBF) after coating. Structural characterizations were examined with scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD) and 3D profilometer.

Keywords: PLD, 316L, Hydroxyapatite, CuO, Corrosion.

1. Giriş

Östenitik 316L paslanmaz çelikler sahip oldukları iyi mekanik özellikleri, kabul edilebilir biyouyumlulukları ve özellikle düşük maliyetleri sebebiyle ortopedide geniş kullanım alanına sahiptir [1–3]. Günümüzde, 316L daha çok ortopedik vida ve pimler, intramedüller çiviler, kemik plakaları gibi kısa süreli implantasyonlarda (birkaç aydan birkaç yıla kadar) veya bazen yük taşımayan kalıcı implant uygulamalarında (humeral stem – omuz implantı gövdesi) kullanılmaktadır [4–6]. Her ne kadar 316L'nin içeriğindeki Cr, Ni, Mo ve Mn sebebiyle korozyon dayanımı iyi olsa da uzun süreli implantasyonlarda vücut içerisindeki agresif ortamda sıklıkla korozyona uğramaya eğilim göstermektedirler. Bunun neticesinde de implant işlevini göremez hale gelmekte ve ikincil operasyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Kısa süreli implantasyonlarda bile korozyona uğrayabilmektedirler. Paslanmaz çeliklerin vücut içindeki korozyon özellikleri literatürde sıklıkla yüzey özellikleri ile ilişkilendirilmektedir [5–7]. Bunun yanı sıra 316L biyo inerttir ve dolayısıyla doku-implant etkileşimi ve kemikle bağ oluşturabilme yetisi yoktur. İmplantasyonu takiben doku, implantı fibröz kapsül içerisine alarak bir anlamda izole eder ve aralarındaki etkileşimi minimuma indirir [8,9]. Tüm bu etmenler göz önünde bulundurulduğunda gerek korozyon direncini artırmak gerek implant-doku etkileşimini geliştirmek ve gerekse de antibakteriyel özellikleri artırmak amacıyla bir yüzey kaplama yapılması önem arz etmektedir [7].

Günümüzde özellikle implantın vücutla uyumunu artırmada kullanılan en önemli yöntem implant yüzeyini hidroksiapatit (HA) seramik kaplamaktır [10,11]. Bulk ve toz formları ortopedik uygulamalarda kullanılan fakat

* Sorumlu yazar: yvangolu@atauni.edu.tr Yazarın ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-8305-4562

düşük mekanik özellikleri açısından yük taşıyıcı uygulamalarda kullanımı uygun olmayan HA doğal kemiğin kimyasal kompozisyonunun yaklaşık %69 gibi büyük bir kısmını oluşturur. Bunun yanı sıra HA sadece sert dokularla değil aynı zamanda yumuşak dokularla da biyouyumluluk göstermektedir [12]. HA implant yüzeylerine ticari olarak sadece plazma spreyleme yöntemi kullanılarak kaplansa da bilim insanları laboratuvar ortamında HA'nın özellikle elektroforetik kaplama, plazma elektrolitik oksidasyon, PLD vb. yöntemlerle kaplanması üzerinde çalışmaktadırlar [13–15].

Yüzey kaplamada kullanılan elementlerden birisi de bakırdır. Bakır, insan vücudu içerisinde 1-3 mg/kg oranında bulunan ve yüksek oranda eksikliği iskelet deformasyonuna sebep olarak görülen bir elementtir. Bakır aynı zamanda vücut tarafından absorbe edilebilir (1 mg/gün) ve bakırın fazla miktarı da vücuttan atılabilir [6,16]. Bakırın kemik yapımını (osteojenez) stimüle ettiği, yeni oluşan kemik hücrelerinin çoğalmasına yardımcı olduğu ve kolajen birikimini artırdığı bilinmektedir [5,17]. Bunun yanı sıra özellikle implantların klinik başarılarını etkileyen en önemli faktörlerden biri de enfeksiyonlardır. Bakır, üzerinde enfeksiyona sebep olacak *S. aureus*, *E. coli*, *Salmonella enterica*, *Mycobacterium tuberculosis*, *P. gingivalis* vb. bakterileri tutmaması bakımından da çok iyi bir inorganik antibakteriyel elementtir [18–23]. Literatürde bakır içerikli paslanmaz çeliklerin hem *in vitro* hem de *in vivo* ortamda iyi antibakteriyel özellikler sergilediği ve aynı zamanda bu çeliklerde osteojenezin kolaylaştığı belirtilmiştir [5,18,19,24,25].

PLD sistemi çok ince ve yoğun film tabakaları oluşturmada kullanılan en önemli yöntemlerden biridir. Adezyonu çok iyidir ve oluşan tabakaların birbirinden ayrılma olasılığı düşüktür. Yüksek adezyon nedeniyle kaplamaların aşınma dayanımları yüksektir ve her ne kadar çok ince de olsa bu tabaka vücut içerisinde iyon salınımlarını da önler [26,27]. Temel olarak PLD sisteminde aseton ve metanol ile temizlenen parlatılmış numune (altaş) vakum odasına yerleştirilir. Oda vakum atmosferine alındıktan sonra numune ısıtılır. Hedefe lazerle atış yapılarak uyarılır ve uyarılmış molekül, atom, iyon ve elektron içeren bir plazma oluşturulur. Plazma vakum ortamında genişler ve ısıtılan numune yüzeyinde ince film tabakası büyür [28].

Bu çalışmada PLD yöntemiyle 316L paslanmaz çelik malzeme yüzeyinde antibakteriyel ve biyouyumlu olduğu bilinen HA/CuO ince film tabakası oluşturulmuştur. HA/CuO kaplamaların antibakteriyel özellikleri, osteojeneze ve anjiyojeneze etkileri konusunda pek çok çalışma yapılmış olmasına rağmen *in vitro* korozyon ve aşınma davranışlarına dair çok fazla çalışma yoktur. Dolayısıyla numuneler PLD işlemini müteakip PBS ve SBF içerisinde korozyon deneylerine tabi tutulmuş ve *in vitro* ortamda korozyon davranışları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bununla birlikte yine numuneler aşınma deneylerine tabi tutularak, aşınma davranışları da gözlemlenmiştir.

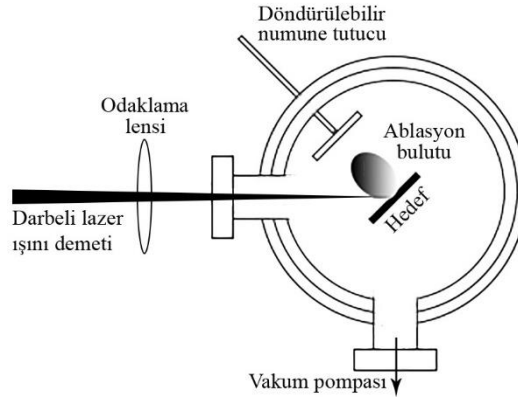
2. Materyal ve Metot

Tüm işlemlerde altaş olarak kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilen 20x20x1 mm³ boyutlarında 316L plakalar kullanılmıştır. Tüm numuneler sırasıyla 600-1200’lük SiC zımpara kâğıtlarıyla zımparalanmış, tümüne parlatma işlemi yapılmış, aseton, etanol ve saf su ile temizlenmiştir. Numuneler PLD işleminden hemen önce ultrasonik temizleyicide aseton ve etanol ile tekrar temizlenmiştir. Numunenin tutucuya yapıştırılmasında sıvı iletken gümüş yapıştırıcı kullanılmıştır.

Tablo 1. 316L paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi

316L	% Ağırlık									
	Cr	Ni	Mo	C	Mn	P	S	Si	N	Fe
	16-18	10-14	2-3	0,030	2	0,045	0,03	0,75	0,1	Denge

Kaplamalar şematik gösterimi Şekil 1’de verilen “Neocera Complete P180 PLD Laboratory” darbeli lazer kaplama sisteminde yapılmıştır. Hedef üzerine düşen lazer enerjisi 2,5 J/cm² olarak ayarlanmıştır. Kaplama basıncı 100 mTorr ve plazma bulutunun bu basınçtaki boyutu göz önüne alınarak numune-hedef mesafesi de 5 cm olarak belirlenmiştir. Daha önceki çalışmalar göz önünde bulundurularak kaplamalar argon ortamında yapılmış ve sıcaklık üst sınırı olarak 650°C belirlenmiştir [28]. Lazer atışları HA/CuO için 10:1 olarak alınmıştır. Kaplama işlemi öncesi numune yüzeyi koruyucu plaka ile kapatılarak CuO ve HA hedeflere ayrı ayrı 1000 temizlik atışı yapılmıştır. Temizlik atışları sonrası homojen ince film oluşturmak için koruyucu plaka kaldırılmış sırasıyla önce HA hedefe 1000, sonra CuO hedefe 100 lazer atışı yapılmış sonra hedef tekrar HA’ya çevrilerek yeni döngü başlatılmış ve toplamda 11000 atış tamamlanacak şekilde devam etmiştir.



Şekil 1. PLD sisteminin şematik gösterimi

Elektrokimyasal karakterizasyon işlemlerinde Gamry G750 marka potansiyostat/galvanostat/ZRA üçlü elektrot hücre kullanılmıştır. Deneylerde Ag/AgCl referans elektrotu kullanılmış, kaplanmış ve kaplanmamış numuneler çalışma elektrotu olarak ve grafit çubuk da karşıt olarak kullanılmıştır. Numuneler üzerinde korozyona uğrayan bölgeyi her bir numune için $0,38 \text{ cm}^2$ 'de sabit tutmak için yalıtkan bir numune tutucu kullanılmıştır. Tüm potansiyodinamik polarizasyon, açık devre potansiyeli (OCP) ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ölçümleri oda sıcaklığında yapay vücut sıvısı (SBF) ve fosfat tamponlu tuz çözeltisi (PBS) içerisinde yapılarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır. PBS, Termofischer marka, tablet formunda olup bir tabletin 100 ml saf suda eritilmesiyle elde edilmiştir. PBS'nin içeriği üretici firma bilgilerine göre 8g/l NaCl, 0,2g/l KCl, 1,42g/l Na_2HPO_4 ve 0,24g/l KH_2PO_4 'den oluşmaktadır. SBF solüsyonu, içeriği ve kullanım miktarları Tablo 2'de verilmiş olan, Kokubo'nun 2006 yılında yayımladığı revize edilmiş reçetesi kullanılarak hazırlanmıştır [29]. Numunelerin açık devre potansiyelleri 5000 saniyede tamamlanmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon deneyleri de $-0,5 - +2 \text{ V}_{\text{Ref}}$ potansiyel aralığında 1 mV/sn tarama hızında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Kokubo'nun reçetesine göre 1000 ml SBF yapmak için kullanılan reaktifler, saflık oranları ve miktarları [29].

Sıra	Reaktif	Saflık (%)	Miktar
1	NaCl	99,5	8,035 gr
2	NaHCO_3	99,5	0,355 gr
3	KCl	99,5	0,225 gr
4	$\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	99,0	0,231 gr
5	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	98,0	0,311 gr
6	1M-HCl	-	39 ml
7	CaCl_2	95,0	0,292 gr
8	Na_2SO_4	99,0	0,072 gr
9	TRIS [$(\text{CH}_2\text{OH})_3\text{CNH}_2$]	99,0	6,118 gr
10	1M-HCl	-	0-5 ml (pH ayarlaması)

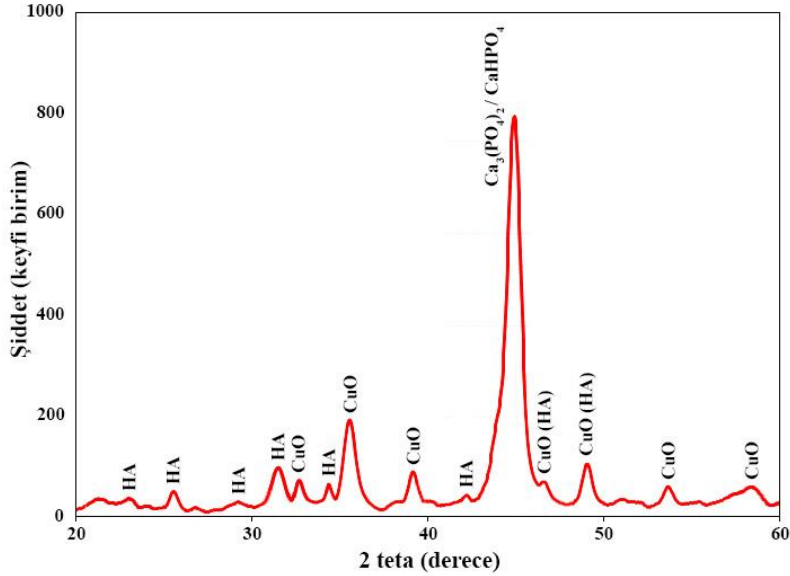
Aşınma deneyleri içinse TriboTechnic pin-on-disk tribotester kullanılmıştır. Pin olarak 100CR6 çelik bilye kullanılmıştır. Aşınma deneylerinde yük 1N ve aşınma mesafesi 30m olarak alınmıştır. Testler oda sıcaklığında, herhangi bir yağlayıcı kullanılmadan yapılmıştır. Aşınma oranlarının hesaplanmasında formülasyonu $V = k \left(w \frac{s}{H} \right)$ olan Archard denklemi kullanılmıştır. Bu denklemde; V aşınan hacim, k aşınma katsayısı, w normal yük, s aşınma mesafesi ve H de yüzey sertliği olarak alınmıştır. Aşınma izleri ve yüzey pürüzlülükleri 3D optik mikroskop (Bruker Contour GT Optical Microscope) kullanılarak yapılmıştır. Yüzey sertlik ölçümleri için Shimadzu HMV-G mikro-sertlik cihazından yararlanılmıştır. Sertlik ölçümlerinde 100gr yük 10sn boyunca uygulanmıştır ve Knoop ucu kullanılmıştır. Değerler daha sonra Vickers'e tablolar kullanılarak dönüştürülmüştür. Ölçümler izler arasındaki mesafe 2mm olacak şekilde numunenin merkezine yakın noktalardan yapılmıştır. Ayrıca kaplama kalınlık analizleri Mahr MarSurf M1 perthometer kullanılarak belirlenmiştir. Bunun için kaplanmamış yüzeyden kaplanmış yüzeye doğru yapılan çoklu ölçümlerin ortalaması dikkate alınmıştır. Numunelerin faz analizleri ise PANalytical Empyrean X-Işını Kırınım Ölçer yardımıyla düşük açılı yüzey taramalı X-Işını kırınım ölçümü

(GIXRD) modunda (CuK α radyasyonunda, 45 kV gerilim, 40 mA akım, 0,5° açı, 0,02° tarama adım boyu) yapılmıştır. Yüzey incelemelerinde ise Quanta FEG 250 marka taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Yüzey karakterizasyonu

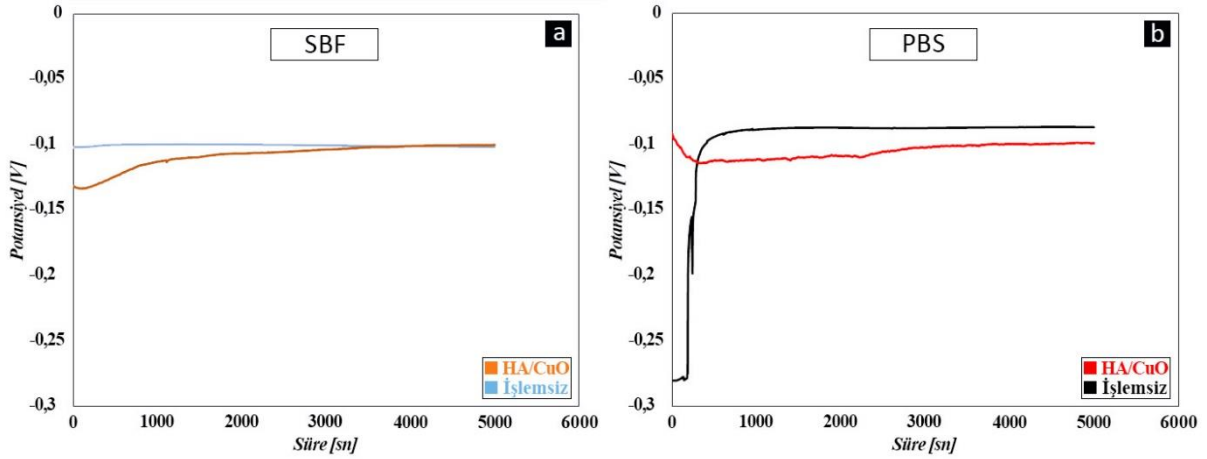
Yüzey kalınlıklarının Mahr perthometre yardımıyla 0,35±0,05 μ m olarak belirlendiği numunelerin XRD analizleri PANalytical Empryan X-Işını Difraktometresi yardımıyla GIXRD modunda yapılmıştır. Şekil 2’de PLD ile HA/CuO film tabakasıyla kaplanmış 316L paslanmaz çelik numunelerin 20-60° aralığında taranmış GIXRD grafikleri verilmiştir. GIXRD analizleri sonucunda şekilde de görüldüğü üzere yoğunluklu olarak HA ve CuO pikleri elde edilmiştir. Kaplamadan sonra şekilden de görüldüğü üzere karakteristik HA pikleri (JCPDS-09-0432) ve aynı zamanda da CuO pikleri (JCPDS-02-1041) tespit edilmiştir. JCPDS kartlarının ışığında özellikle 46,5° ve 49,5° civarlarında hem daha az şiddetli HA piklerinin ve hem de daha çok şiddetli CuO piklerinin bulunduğu gözlemlenmiştir. Tüm bu pikler literatürle de uyumluluk göstermektedir [30–34]. Yaklaşık 44,5°’de görülen pik hem hidroksiapatit (JCPDS-09-0432), hem kalsiyum hidrojen fosfat-CaHPO₄ (JCPDS-03-0398) ve hem de β -trikalsiyum fosfat- β -TCP (JCPDS-02-0786, JCPDS-09-0169, JCPDS-055-0898, JCPDS-04-014-2292) bileşiklerinin JCPDS kartlarındaki aynı derecedeki piklerle ve aynı zamanda da literatürle uyum göstermektedir [28,35,36]. Bu pikin CaP içerikli pek çok fazın üst üste bindiği bir pik olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2. HA/CuO kaplanmış 316L’ye ait GIXRD grafiği

3.2. Korozyon davranışları

Tüm deney şartlarına ait açık devre potansiyeli grafikleri Şekil 3-a ve Şekil 3-b’de gösterilmiştir. Fosfat tampon çözeltisinde gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre, açık devre potansiyel değerleri birbirine oldukça yakındır ve işlemsiz numune için -87 mV iken kaplı numune için -99 mV seviyesindedir. İşlemsiz numuneye göre elde edilen değişim negatif yönde yaklaşık %14 kadar büyüktür. Yapay vücut sıvısı içerisinde yapılan deneylere bakıldığında işlemsiz numunenin açık devre potansiyeli -101 mV, kaplı numuneninki ise -100 mV değerindedir. Oldukça yakın potansiyeller nano mertebesindeki kaplama kalınlığı ile açıklanabilir [37].



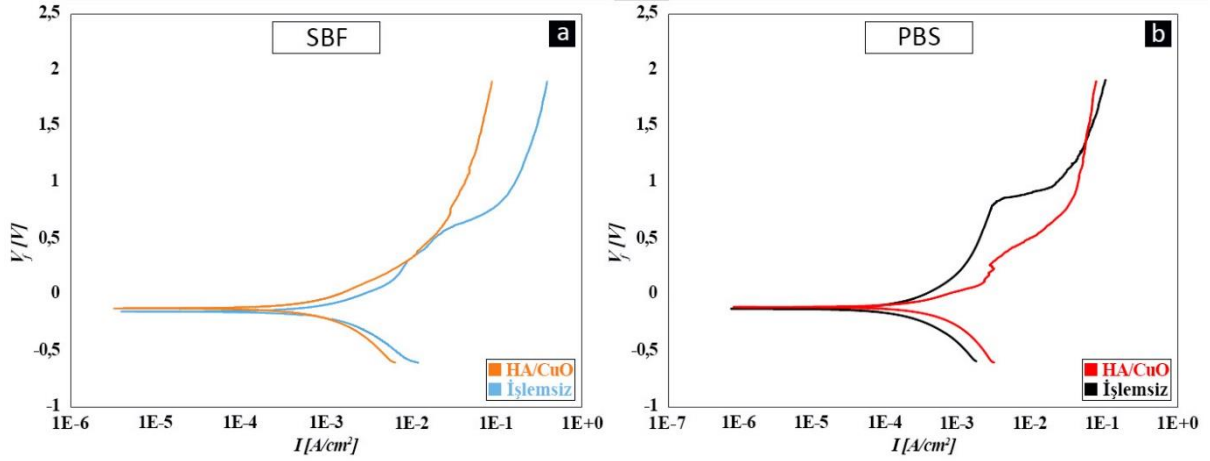
Şekil 3. Kaplanmış ve işlemsiz numunelerin açık devre potansiyelleri: a) SBF ve b) PBS

İnce filmlerin, işlemsiz numunelerin potansiyodinamik polarizasyon eğrilerini ve korozyon karakteristiğini ifade eden grafik Şekil 4-a ve Şekil 4-b'de gösterilmiştir. Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile elde edilen veriler (korozyon potansiyeli E_{corr} , korozyon akım yoğunluğu I_{corr} , β_a , β_c ve korozyon hızı) Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile elde edilen veriler

Çözelti – Numune	Korozyon Parametreleri				Korozyon hızı (mm/yıl)
	E_{corr} (mV)	$I_{corr} \times 10^{-4}$ (A/cm ²)	β_a (V/decade)	β_c (V/decade)	
PBS – Kaplanmamış	-122	3,68	0,6858	0,627	2,96
PBS – HA + CuO	-106	2,44	0,2152	0,2158	2,84
SBF – Kaplanmamış	-148	35,6	1,045	0,9373	41,33
SBF – HA + CuO	-120	21,1	0,9194	0,8659	24,52

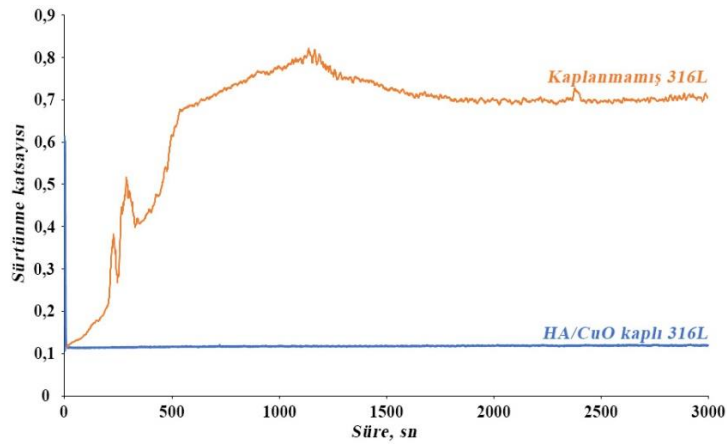
Fosfat tampon çözeltisi içinde yapılan deney sonuçlarına göre işlemsiz numunenin E_{corr} değeri -122 mV iken HA/CuO kaplı numunenin değeri %13'lük bir azalma ile -106 mV değerine yükselmiştir. Bu sonuca göre mutlak değerce işlemsiz numune daha büyüktür. Dolayısıyla kaplama yapılmış numune daha soy bir davranış göstermiştir. Benzer şekilde yapay vücut sıvısı içerisinde yürütülen deneylere göre HA/CuO kaplı numunenin değeri -120 mV'dir. Mutlak değerce işlemsiz numuneye göre yaklaşık %19'lük bir düşüş söz konusu olmuştur. Fosfat tampon çözeltisinde yapılan işlemde olduğu gibi işlem görmüş 316L malzemenin korozyon direnci daha yüksektir. Kaplama yapılmış numunelerdeki ince film karakteri, korozyon başlangıcını geciktirmiştir. Filmin kırılmaya uğradığı bölgelerde elektrolit sızıntı şeklinde taban malzemeye ulaşmıştır [38,39]. Korozyon hızlarına ait değerlere bakıldığında fosfat tampon çözeltisi için sırasıyla işlemsiz numune 2,96 mm/yıl iken, kaplı numune 2,84 mm/yıl değerindedir. Bu sonuçlara göre HA/CuO filmler korozyon hızlarını önemli ölçüde düşürmüştür. Şekil 4b'ye bakıldığında özellikle fosfat tampon çözeltisi için kaplı numunede pasifleşme bölgesi oldukça belirgindir. Bu durumda korozyon potansiyeli ile pasifleşme bölgesi büyüklüğünün ters orantılı olduğu söylenebilir. Çözelti türlerine göre bir kıyas yapıldığında, iyon agresyonu (saldırganlığı) daha yüksek olan yapay vücut sıvısı taban malzeme ve kaplamanın korozyon direncini oldukça düşürmüştür [40,41]. Ayrıca PBS çözeltisinin ihtiva ettiği iyon çeşidi ve miktarı SBF ye göre oldukça düşüktür. Korozyon direnci perspektifinde agresif iyon olarak nitelendirilen tuzlar, korozyon hızını artırır. Dolayısıyla daha düşük potansiyel görülmesi beklenen bir durumdur. İşlemsiz numunelere bakıldığında fosfat tampon çözeltideki korozyona uğrama hızı yaklaşık 14 kat daha düşüktür. Kaplanmış numunelerde ise yaklaşık 9 kat mertebesindedir.



Şekil 4. Kaplanmış ve işlemsiz numunelerin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri ve korozyon karakteristikleri a) SBF ve b) PBS içerisinde

3.3. Aşınma davranışları

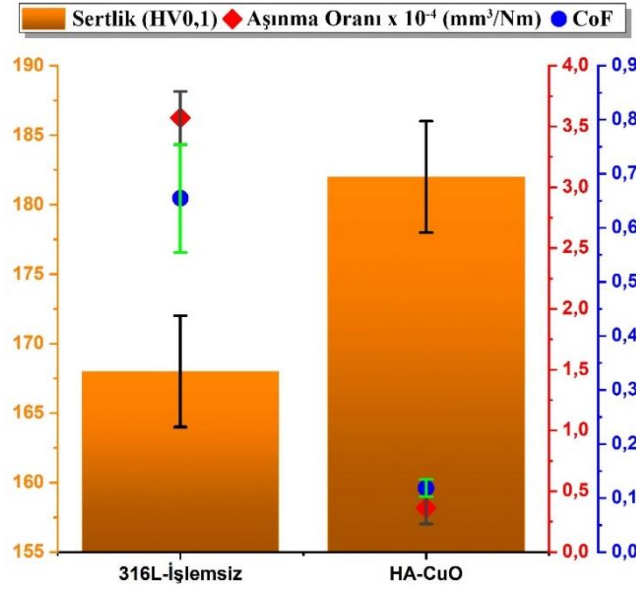
HA/CuO kaplı ve işlemsiz 316L numunelere ait zaman-sürtünme katsayısı (CoF) grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde, işlemsiz numunede sürtünme katsayısının yaklaşık ilk 5 dakika hızlı bir şekilde giderek arttığı sonra bir müddet daha yavaş bir şekilde artış trendini sürdürdüğü görülmektedir. Bu artışın en önemli sebebi pin ve numune arasında temas anında oluşan Hertz basıncıdır. Belirli bir süre sonra aşındırıcı bilye ile numune arasındaki temas alanının daha stabil hale gelmesiyle yani yüzeyin sürtünmenin etkisiyle daha pürüzsüz olmasıyla birlikte aşınma göreceli olarak dinamik denge durumuna ulaşmış, sürtünme katsayısı gitgide daha kararlı bir hal almış ve sadece çok ufak salınımlarla sabit bir çizgiye oturmuştur [42–44]. Kaplanmış numunede ise sürtünme katsayısı direkt sabit bir değer aralığına gelmiş ve deneyin sonuna kadar bu kararlı halini bozmamıştır. Yapılan çalışmalar CuO kaplamaların sürtünmenin olduğu ortamlarda katı yağlayıcı gibi davrandığını göstermiştir [45–47]. Hem CuO tabakasının katı yağlayıcı gibi davranması ve hem de kaplamanın oldukça pürüzsüz ve sert olması sürtünme katsayısının işlemsiz numuneye göre oldukça düşük çıkmasına sebep olmuştur. Ayrıca kaplamanın adezyonunun yüksek oluşu sebebiyle uygulanan yüklerle birlikte aşındırıcı bilye deney süresince yüzey kaplamayı kırmayı başaramamıştır.



Şekil 5. Kaplanmış ve işlemsiz numunelerin sürtünme katsayıları

Yüzeylerin sertlik, aşınma oranı ve sürtünme katsayıları Şekil 6'da gösterilmiştir. Kaplanmamış numuneye bakıldığında sertliğinin işlem görmüş numuneden bir miktar az, fakat aşınma oranının ve sürtünme katsayısının oldukça düşük olduğu görülmektedir. PLD kaplamayla yüzeyde daha sert ve kararlı bir tabaka oluşmuş ve bu tabakanın sahip olduğu kuvvetli adezyon numune yüzeyinin aşınma oranını ve sürtünme katsayısını olumlu yönde

etkilemiştir. Ayrıca CuO'nun yağlayıcı etkisi ve yüzey pürüzlülüğünün az olmasıyla ortalama sürtünme katsayısının hata değerleri de kaplanmamış numuneye göre büyük ölçüde azalmıştır. Numunelerin kaplama öncesi ve sonrasındaki pürüzlülük değerlerinde ise çok anlamlı bir değişim olmamıştır. Zaten PLD ile yapılan kaplamaların pürüzlülüğünün az olması, kaplama sonrası pürüzlülüğün anlamlı bir şekilde değişmemesine sebep olmuştur (Tablo 4).



Şekil 6. Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin sertlik değerleri, aşınma oranı ve sürtünme katsayıları (CoF)

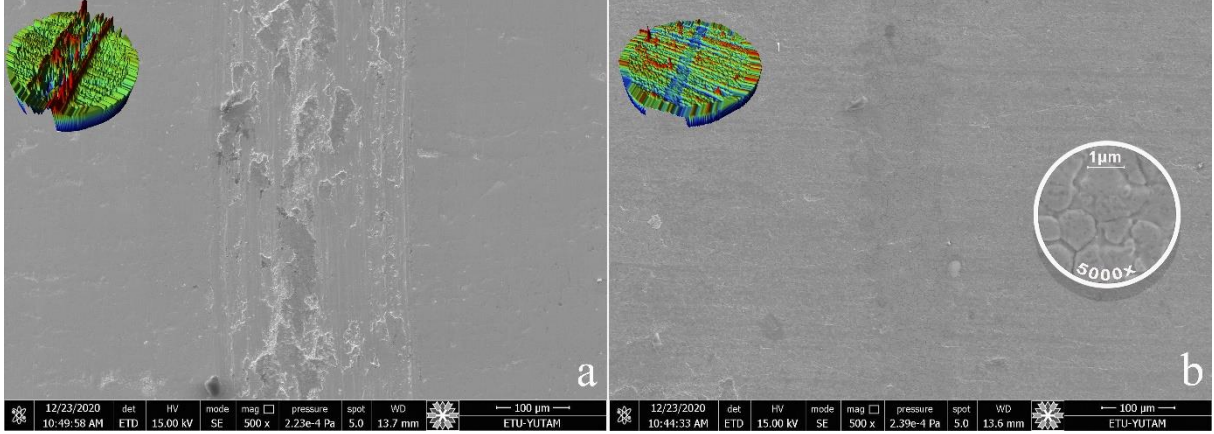
Tablo 4. Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin mikro-sertlikleri, yüzey pürüzlülükleri, sürtünme katsayıları ve aşınma oranları

Numune	Ortalama yüzey sertliği (HV _{0,1})	Ortalama yüzey pürüzlülüğü - Ra (µm)	Ortalama sürtünme katsayısı	Ortalama aşınma oranı (mm ³ /Nm)
Kaplanmamış 316L	168 ± 3,08	0,255 ± 0,007	0,6547 ± 0,016	3,57x10 ⁻⁴ ± 2,18x10 ⁻⁵
HA/CuO kaplı 316L	182 ± 4,82	0,275 ± 0,022	0,11851 ± 0,1	3,62x10 ⁻⁵ ± 1,32x10 ⁻⁵

Şekil 7'de aşınan yüzeylerin SEM görüntüleri ve 3D profilometre analizleri görülmektedir. İşlemsiz 316L numunesi beklendiği gibi genel kabul edilebilir bir sürtünme ve aşınma davranışı sergilemiştir. İşlemsiz 316L'nin sertliğinin işlem görmüş numuneden düşük olması sebebiyle aşınma deneyi esnasında işlem görmüşe nazaran düşük yük taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür ve bu sebeple pin malzeme yüzeyine daha kolay penetre olabilmektedir. İşlemsiz 316L numunesinin aşınma davranışı incelendiğinde, pin ile numune arasındaki sürtünme sebebiyle oluşan plastik deformasyon, malzeme transferi ve aşınan, kopan partiküllerin oluşturduğu abrazyon kanalları gibi östenitik paslanmaz çelik-çelik pin aşınmasında görülen tipik adhesif aşınma özellikleri görülmüştür [48,49]. Aşınma esnasında parça yüzeyinden kopan aşınma partiküllerinin bir kısmı gerek iz içerisinde kalarak ve gerekse de aşındırıcı yüzeye sıvanarak işlem görmemiş numunelerde hem adhesif ve hem de abradif aşınma görülmesine sebep olmuşlardır [50,51]. Ayrıca Şekil 7-a'da 316L'nin maruz kaldığı bu şiddetli aşınma sonucunda işlemsiz numunenin aşınma izinde bulunan mikro çatlaklar ve küçük aşınma kalıntıları da görülebilmektedir.

PLD'nin sahip olduğu proses özellikleri sayesinde bu yöntemle yapılan ince film kaplamaların taban malzemelerin aşınma dirençlerini bir miktar artırdıkları bilimsel literatürde söylenmektedir [27]. Bunun yanı sıra Rajih ve arkadaşları, PLD ile 316L altına yaptıkları HA ince film kaplamaların da aynı şekilde aşınma hacminde neredeyse yarı yarıya düşüşe sebep olduğunu bildirmişlerdir [30]. Şekil 7-b'deki SEM ve 3D profilometre görüntülerinden de görüldüğü üzere çelik pin HA/CuO kaplama üzerinde işlemsiz numuneye göre daha dar bir iz bırakmıştır ve uygulanan süre boyunca kaplamayı kıramamış, sadece kaplama üzerinde bir miktar aşınmaya sebep olmuştur. Burada çelik pin HA/CuO kaplı numunede yaklaşık 110 µm genişliğinde bir iz bırakmıştır ki bu neredeyse işlemsiz numune üzerinde oluşturduğunun 1/3'ü kadardır. Film tabakanın yüksek oranda büyütülmüş görüntüsü (5000x) yine Şekil 7-b'de verilmiştir. Buradan da görüldüğü üzere PLD işlemi sırasında kullanılan

parametrelerin (argon gazı, sıcaklık) de etkisiyle uniform şekle ve boyuta sahip yaklaşık 1-3 μm büyüklüğünde partiküller tüm yüzeyi kaplamıştır. Bu sayede yüzeyde pürüzlülüğü düşük, yoğun ve uniform bir kaplama elde edilmiştir [52]. Tablo 4'te de verildiği üzere özellikle aşınma oranları incelendiğinde HA/CuO kaplı numunenin aşınma oranının ($3,57 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$) işlemsiz numuneden ($3,62 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$) yaklaşık 10 kat daha az olduğu görülmüştür. Bu farkın sebebinin, kullanılan proses olan PLD ve kaplanan malzeme olan HA ile ilişkilendirilmesinin yanı sıra HA tabaka içerisine dope edilen CuO tabakasının katı yağlayıcı gibi davranmasının da etkili olduğu düşünülmektedir. PLD ile oluşturulan ince, yoğun ve adezyonu yüksek film tabaka, içerisindeki CuO'nun da yardımıyla aşınma oranında büyük bir düşüşe sebep olmuştur.



Şekil 7. Numunelerin aşınma izlerine ait SEM ve 3D profilometre görüntüleri; a) işlemsiz 316L ve b) HA/CuO kaplanmış 316L

4. Sonuç

AISI 316L östenitik paslanmaz malzemenin aşınma ve korozyon özelliklerini iyileştirmek için malzeme yüzeyine PLD ile HA/CuO ince film kaplaması gerçekleştirilen bu çalışmada, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- PLD yöntemiyle 316L taban malzeme üzerinde yüksek adezyona sahip, aynı zamanda ince ve yoğun CuO içerikli HA tabakası başarıyla oluşturulmuştur.
- Potansiyodinamik polarizasyon taraması ile gerçekleştirilen korozyon ölçümleri sonucuna göre CuO kaplı numuneler işlemsizlere göre daha yüksek korozyon direncine sahiptir.
- Artan iyon derişimi korozyon hızını artırmıştır. Yapay vücut sıvısı için yapılan deneylerde daha düşük korozyon direnci elde edilmiştir.
- İşlemsiz numunenin 168 $\text{HV}_{0,1}$ olan sertliği, yapılan kaplama sonrasında 182 $\text{HV}_{0,1}$ 'e çıkmıştır. Sertlik yaklaşık %7,7 oranında artmıştır.
- HA/CuO kaplamanın ortalama sürtünme katsayısı $0,11851 \pm 0,1$ iken işlemsiz numuneninki $0,6547 \pm 0,016$ olarak hesaplanmıştır. Kaplama sonrası sürtünme katsayısı yaklaşık %82 azalmıştır.
- Yapılan kaplamayla aşınma oranı 10 kat düşmüştür ve aşınmaya çok daha dirençli bir yüzey elde edilmiştir.
- PLD ile yapılan HA/CuO kaplamanın daha biyouyumlu, biyoaktif ve antibakteriyel olmasının yanında korozyon dayanımını ve aşınma direncini de önemli ölçüde iyileştirdiği görülmüştür. Bundan sonraki aşamalarda *in vivo* çalışmaların yapılmasının bu yöntem ve kaplamanın biyomalzemelerde kullanımlarının araştırılması açısından yararlı olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazar, yardımlarından dolayı Doç. Dr. Halim KOVACI'ya, Dr. Öğr. Üyesi M. Tolga YURTCAN'a, Arş. Gör. Yusuf Burak BOZKURT'a ve yüksek lisans öğrencisi Savaş KILIÇ'a, Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezine (DAYTAM) ve Yüksek Teknoloji Araştırma Merkezine (YÜTAM) teşekkür etmektedir.

Kaynaklar

- [1] Mina A, Castaño A, Caicedo JC, Caicedo HH, Aguilar Y. Determination of physical properties for β -TCP + chitosan biomaterial obtained on metallic 316L substrates. *Mater Chem Phys*. 2015; 160: 296–307.
- [2] Ratner BD, Hoffman AS, Schoen FJ, Lemons JE. *Biomaterials Science*. 3rd ed. Oxford, UK: Academic Press, 2013.
- [3] Jung H Do, Jang TS, Wang L, Kim HE, Koh YH, Song J. Novel strategy for mechanically tunable and bioactive metal implants. *Biomaterials*. 2015; 37: 49–61.
- [4] Pecheva E, Pramatarova L, Fingarova D, Hikov T, Dineva I, Karagyozyova Z, et al. Advanced materials for metal implant coatings. *J Optoelectron Adv Mater*. 2009; 11(9): 1323–6.
- [5] Yuan Y, Jin S, Qi X, Chen X, Zhang W, Yang K, et al. Osteogenesis stimulation by copper-containing 316L stainless steel via activation of akt cell signaling pathway and Runx2 upregulation. *J Mater Sci Technol*. 2019; 35(11): 2727–33.
- [6] Chen Q, Thouas G. *Biomaterials: A basic introduction*. Biomaterials: A Basic Introduction. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2014. 1–693 p.
- [7] Katta PPK, Nalliyar R. Corrosion resistance with self-healing behavior and biocompatibility of Ce incorporated niobium oxide coated 316L SS for orthopedic applications. *Surf Coatings Technol*. 2019; 375: 715–26.
- [8] Kondyurina I, Kondyurin A. Foreign body reaction (immune respond) for artificial implants can be avoided. *arXiv*. 2019.
- [9] Silva G, Baldissera MR, De Sousa Trichês E, Cardoso KR. Preparation and characterization of stainless steel 316L/HA biocomposite. *Mater Res*. 2013; 16(2): 304–9.
- [10] Liu F, Wang F, Shimizu T, Igarashi K, Zhao L. Hydroxyapatite formation on oxide films containing Ca and P by hydrothermal treatment. *Ceram Int*. 2006; 32(5): 527–31.
- [11] Garcia-Sanz FJ, Mayor MB, Arias JL, Pou J, León B, Pérez-Amor M. Hydroxyapatite coatings: A comparative study between plasma-spray and pulsed laser deposition techniques. In: *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. Chapman & Hall Ltd, 1997. pp. 861–5.
- [12] Larsson A, Andersson M, Wigren S, Pivodic A, Flynn M, Nannmark U. Soft Tissue Integration of Hydroxyapatite-Coated Abutments for Bone Conduction Implants. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2015; 17: e730–5.
- [13] Wang DG, Chen CZ, Yang XX, Ming XC, Zhang WL. Effect of bioglass addition on the properties of HA/BG composite films fabricated by pulsed laser deposition. *Ceram Int*. 2018; 44(12): 14528–33.
- [14] Ke D, Vu AA, Bandyopadhyay A, Bose S. Compositionally graded doped hydroxyapatite coating on titanium using laser and plasma spray deposition for bone implants. *Acta Biomater*. 2019; 84: 414–23.
- [15] Liu X, He D, Zhou Z, Wang G, Wang Z, Guo X. Effect of post-heat treatment on the microstructure of micro-plasma sprayed hydroxyapatite coatings. *Surf Coatings Technol*. 2019; 367: 225–30.
- [16] Rodríguez JP, Ríos S, González M. Modulation of the proliferation and differentiation of human mesenchymal stem cells by copper. *J Cell Biochem*. 2002; 85(1): 92–100.
- [17] Gérard C, Bordeleau LJ, Barralet J, Doillon CJ. The stimulation of angiogenesis and collagen deposition by copper. *Biomaterials*. 2010; 31(5): 824–31.
- [18] Zhang D, Ren L, Zhang Y, Xue N, Yang K, Zhong M. Antibacterial activity against *Porphyromonas gingivalis* and biological characteristics of antibacterial stainless steel. *Colloids Surfaces B Biointerfaces*. 2013; 105: 51–7.
- [19] Chai H, Guo L, Wang X, Fu Y, Guan J, Tan L, et al. Antibacterial effect of 317L stainless steel contained copper in prevention of implant-related infection in vitro and in vivo. *J Mater Sci Mater Med*. 2011; 22(11): 2525–35.
- [20] Noyce JO, Michels H, Keevil CW. Potential use of copper surfaces to reduce survival of epidemic methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in the healthcare environment. *J Hosp Infect*. 2006; 63(3): 289–97.
- [21] Wilks SA, Michels H, Keevil CW. The survival of *Escherichia coli* O157 on a range of metal surfaces. *Int J Food Microbiol*. 2005; 105(3): 445–54.
- [22] Faúndez G, Troncoso M, Navarrete P, Figueroa G. Antimicrobial activity of copper surfaces against suspensions of *Salmonella enterica* and *Campylobacter jejuni*. *BMC Microbiol*. 2004; 4(1): 1–7.
- [23] Mehtar S, Wiid I, Todorov SD. The antimicrobial activity of copper and copper alloys against nosocomial pathogens and *Mycobacterium tuberculosis* isolated from healthcare facilities in the Western Cape: an in-vitro study. *J Hosp Infect*. 2008; 68(1): 45–51.
- [24] Ren L, Wong HM, Yan CH, Yeung KWK, Yang K. Osteogenic ability of Cu-bearing stainless steel. *J Biomed Mater Res - Part B Appl Biomater*. 2015; 103(7): 1433–44.
- [25] Hidalgo-Robatto BM, López-Álvarez M, Azevedo AS, Dorado J, Serra J, Azevedo NF, et al. Pulsed laser deposition of copper and zinc doped hydroxyapatite coatings for biomedical applications. *Surf Coatings Technol*. 2018; 333: 168–77.
- [26] Duta L, Popescu A. Current Status on Pulsed Laser Deposition of Coatings from Animal-Origin Calcium Phosphate Sources. *Coatings*. 2019; 9(5): 335.
- [27] Voevodin AA, Zabinski JS, Jones JG. Pulsed Laser Deposition of Tribological Coatings. In: Eason R, editor. *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2006. pp. 585–609.
- [28] Ekmekçi S, Yurtcan MT. Darbeli Lazer Biriktirme (PLD) ile Ti-6Al-4V Üzerine Hidroksiapatitin (HAp) İnce Filmlerinin Hazırlanması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilim Derg*. 2020; 9(1): 598–605.
- [29] Kokubo T, Takadama H. How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity? *Biomaterials*. 2006; 27(15):

- 2907–15.
- [30] Wahid Rajih A, Mohammed Dawood N, Sami Rasheed F, Sami Rasheed F. Wear resistance of pulsed laser deposition of hydroxyapatite on Stainless Steel 316L. *Adv Nat Appl Sci*. 1998; 11(14): 28–38.
- [31] Sridhar TM, Kamachi Mudali U, Subbaiyan M. Preparation and characterisation of electrophoretically deposited hydroxyapatite coatings on type 316L stainless steel. *Corros Sci*. 2003; 45(2): 237–52.
- [32] Thanh DTM, Nam PT, Phuong NT, Que LX, Anh N Van, Hoang T, et al. Controlling the electrodeposition, morphology and structure of hydroxyapatite coating on 316L stainless steel. *Mater Sci Eng C*. 2013; 33(4): 2037–45.
- [33] Zhu D, Wang L, Yu W, Xie H. Intriguingly high thermal conductivity increment for CuO nanowires contained nanofluids with low viscosity. *Sci Rep*. 2018; 8(1): 1–12.
- [34] Mevada Bina Sengupta Research Scholar Associate Professor C. Effect of Temperature and Precursor Concentration on Morphology of Copper Oxide Synthesized on Glass Substrates Via Hydrothermal Method. Vol. 3, *IJSTE-International Journal of Science Technology & Engineering* |. 2017 May.
- [35] Ruiz-Aguilar C, Olivares-Pinto U, Aguilar-Reyes EA, López-Juárez R, Alfonso I. Characterization of β -tricalcium phosphate powders synthesized by sol-gel and mechanosynthesis. *Bol la Soc Esp Ceram y Vidr*. 2018; 57(5): 213–20.
- [36] Topsakal A, Ekren N, Kilic O, Oktar FN, Mahirogullari M, Ozkan O, et al. Synthesis and characterization of antibacterial drug loaded β -tricalcium phosphate powders for bone engineering applications. *J Mater Sci Mater Med*. 2020; 31(2): 1–17.
- [37] Surmeneva MA, Surmenev RA. Microstructure characterization and corrosion behaviour of a nano-hydroxyapatite coating deposited on AZ31 magnesium alloy using radio frequency magnetron sputtering. *Vacuum*. 2015; 117: 60–2.
- [38] Liu YD, Sun J, Pei ZL, Li W, Liu JH, Gong J, et al. Oxidation and hot corrosion behavior of NiCrAlYSi+NiAl/cBN abrasive coating. *Corros Sci*. 2020; 167.
- [39] Mengesha GA, Chu JP, Lou B-S, Lee J-W. Corrosion performance of plasma electrolytic oxidation grown oxide coating on pure aluminum: effect of borax concentration. *J Mater Res Technol*. 2020; 9(4): 8766–79.
- [40] Hu P, Song R, Li X jing, Deng J, Chen Z yu, Li Q wei, et al. Influence of concentrations of chloride ions on electrochemical corrosion behavior of titanium-zirconium-molybdenum alloy. *J Alloys Compd*. 2017; 708: 367–72.
- [41] Liang M jie, Wu C, Ma Y, Wang J, Dong M, Dong B, et al. Influences of aggressive ions in human plasma on the corrosion behavior of AZ80 magnesium alloy. *Mater Sci Eng C*. 2021; 119: 111521.
- [42] Huang Y, Yang S, Gu J, Xiong Q, Duan C, Meng X, et al. Microstructure and wear properties of selective laser melting 316L. *Mater Chem Phys*. 2020; 254: 123487.
- [43] Upadhyay RK, Kumar A. Scratch and wear resistance of additive manufactured 316L stainless steel sample fabricated by laser powder bed fusion technique. *Wear*. 2020; 458–459: 203437.
- [44] Kovacı H. Comparison of the microstructural, mechanical and wear properties of plasma oxidized Cp-Ti prepared by laser powder bed fusion additive manufacturing and forging processes. *Surf Coatings Technol*. 2019; 374: 987–96.
- [45] Czupryk W, Grzeszczak A, Pisarek M. Study of CuO admixtures as antiwear additive in Machine Grease – 2. *Tribol - Mater Surfaces Interfaces*. 2014; 8(3): 154–8.
- [46] Jatti VS, Singh TP. Copper oxide nano-particles as friction-reduction and anti-wear additives in lubricating oil †. *J Mech Sci Technol*. 2015; 29(2): 793–8.
- [47] Kovacı H, Akaltun Y, Yetim AF, Uzun Y, Çelik A. Investigation of the usage possibility of CuO and CuS thin films produced by successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) as solid lubricant. *Surf Coatings Technol*. 2018; 344: 522–7.
- [48] Peruzzo M, Serafini FL, Ordoñez MFC, Souza RM, Farias MCM. Reciprocating sliding wear of the sintered 316L stainless steel with boron additions. *Wear*. 2019; 422–423: 108–18.
- [49] Kazerooni NA, Bahrololoom ME, Shariat MH, Mahzoon F, Jozaghi T. Effect of ringer’s solution on wear and friction of stainless steel 316L after plasma electrolytic nitrocarburising at low voltages. *J Mater Sci Technol*. 2011; 27(10): 906–12.
- [50] Farias MCM, Souza RM, Sinatora A, Tanaka DK. The influence of applied load, sliding velocity and martensitic transformation on the unlubricated sliding wear of austenitic stainless steels. *Wear*. 2007; 263(1-6 SPEC. ISS.): 773–81.
- [51] Li G jiang, Peng Q, Li C, Wang Y, Gao J, Chen S yuan, et al. Effect of DC plasma nitriding temperature on microstructure and dry-sliding wear properties of 316L stainless steel. *Surf Coatings Technol*. 2008; 202(12): 2749–54.
- [52] Zeng H, Lacefield WR, Mirov S. Structural and morphological study of pulsed laser deposited calcium phosphate bioceramic coatings: Influence of deposition conditions, laser parameters, and target properties. *J Biomed Mater Res*. 2000; 50(2): 248–58.

Timpanik Membran Görüntü Özellikleri Kullanılarak Sınıflandırılması

Erdal BAŞARAN^{1*}, Zafer CÖMERT², Yüksel ÇELİK³

¹ Bilgisayar Teknolojileri, Meslek Yüksek Okulu, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Ağrı, Türkiye

² Yazılım Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Samsun Üniversitesi, Samsun, Türkiye

³ Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

*¹ ebasaran@agri.edu.tr, ² zcomert@samsun.edu.tr, ³ yukselcelik@karabuk.edu.tr

(Geliş/Received: 17/01/2021;

Kabul/Accepted: 03/06/2021)

Öz: Orta kulak inflamasyonu olarak bilinen otitis media rahatsızlığının teşhis edilmesi için otoskop cihazı ile zar bölgesine bakılarak karar verilmektedir. Dokusal özellik çıkarma algoritmaları, görüntüler üzerinde bölge tespiti ve görüntüye ait özelliklerin elde edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada gerekli yasal izinler alındıktan sonra elde edilen orta kulak görüntülerinde normal ve otitis media görüntülerinin ayırt edilmesi için literatürde yaygın olarak kullanılan gri seviyeli eş-oluşum matrisi, yerel ikili örüntüler, yönlü gradyanların histogram algoritmaları kullanılmıştır. Bu dokusal özellik çıkarma algoritmalarının görüntüleri sınıflandırma üzerinde başarıları incelendikten sonra her bir özellik setine görüntüye ait renk kanallarının ortalamaları da eklenerek bu özelliğin sınıflandırma başarısına etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak tek başına bir dokusal özellik çıkarma algoritması kullanıldığında en iyi sonuçlar yerel ikili örüntü algoritması ile elde edilmiştir. Bu algoritmaya renk kanallarının ortalaması da eklendiği zaman sınıflandırma başarısını olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Sınıflandırma sonucunda % 78.67 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyomedikal işaret işleme, yapay öğrenme, özellik çıkarımı, sınıflandırma.

Classification of Tympanic Membrane Using Image Features

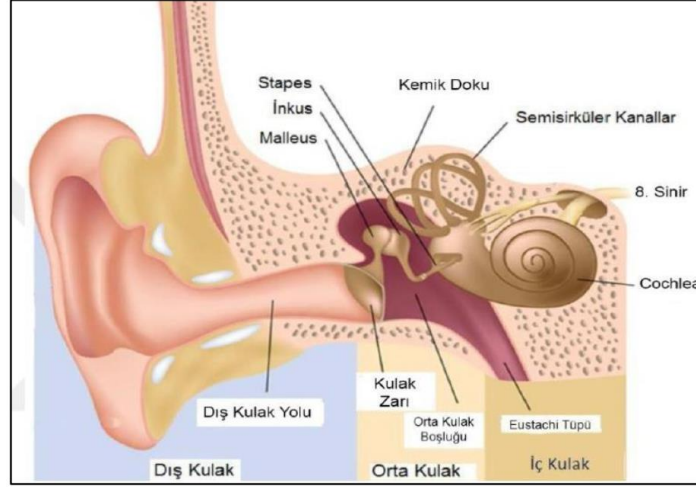
Abstract: In order to diagnose otitis media, known as middle ear inflammation, is made by looking at the membrane area with an otoscope device. Textural feature extraction algorithms are widely used to detect regions on images and to obtain image properties. In this study, gray-level co-occurrence matrix, local binary patterns, histogram of oriented gradients, which are widely used in the literature, were used to distinguish normal and otitis media images in middle ear images obtained after obtaining the necessary legal permissions. After examining the success of these textural feature extraction algorithms on image classification, the averages of the color channels of the images were added to each feature set, and the effect of this feature on the classification success was examined. As a result, when using a textural feature extraction algorithm alone, the best results were obtained with the local binary pattern algorithm. When the average of color channels is added to this algorithm, it is concluded that it affects the classification success positively. As a result of the classification, an accuracy rate of 78.67% was obtained.

Key words: Biomedical signal processing, artificial learning, feature extraction, classification.

1. Giriş

İşitme duyu organımız olan kulak, ses dalgalarını dış ve orta kulak boyunca iç kulağa doğru ilerler ve burada ses dalgalarını daha da güçlendirir ve beyne gönderilmek üzere elektrik sinyallerine dönüştürülür [1]. Orta kulak, timpanik membran (TM), kemikçikler, kemikçikler arasındaki eklemler, kaslar, bağlar ve orta kulak boşluğundan oluşur [2]. Kulak yapısı Şekil 1'de verilmiştir.

* Sorumlu yazar: ebasaran@agri.edu.tr. Yazarların ORCID Numaraları: ¹ 0000-0001-8569-2998, ² 0000-0001-5256-7648, ³ 0000-0002-7117-9736



Şekil 1. Kulak Yapısı [1]

Otitis media (OM), orta kulağın iltihaplı ve enfektif olma durumu olarak bilinmektedir [4]. Orta kulakta sıvı birikmesi, iltihaplanma ve ağrı ile kendini gösterir [5]. Bu hastalık çocuklarda en yaygın görülen hastalıkların biridir. Bunun yanı sıra ameliyata ve antibiyotiklerin reçetelenmesinin en yaygın nedenidir [6]. OM, klinik olarak incelendiğinde yaygın olarak akut otitis media, kronik otitis media, efüzyonlu otitis media çeşitlerinden oluşmaktadır [7]. Akut OM; kulak ağrısı, kulak zarında bombeleşme, sıvı birikmesi, kulak zarında kızarıklık ve genellikle üst solunum yolu enfeksiyonu ile kendini göstermektedir [8][9]. Kronik OM ise akut OM ve efüzyonlu OM'nin tıbbi tedaviye rağmen 6 hafta ile 3 ay arasında devam etmesi veya Dünya Sağlık Örgütüne göre 2 hafta efüzyonun devam etmesi olarak kabul edilmektedir [10].

OM, tanısının konmasına yönelik olarak biyomedikal orta kulak görüntüleri ile literatürde yapılan çalışmalara bakıldığı zaman; ilk olarak zar bölgesinin tespit edilmesine yönelik olarak Active Contour Segmentation yöntemi kullanılmıştır. Ardından zar bölgesi tespit edildikten sonra grid renk momentleri (grid color moment), yerel ikili örüntü (local binary pattern) ve yönlü histogramların gradyanları dokusal özellik çıkarma (texture feature extraction) algoritmaları ile özellik seti elde edildikten sonra Gabor özellikleri de eklenerek AdaBoost yöntemi ile görüntüler sınıflandırılmıştır [11]. Video otoskop cihazı ile elde edilen görüntülerin görsel olarak daha iyi analiz edilebilmesi için Lineer Unsharp algoritması ve alçak geçiren filtreleme kullanılarak orta kulakta bulunan kemikçiklerin ve lezyon bölgesinin daha belirgin görülmesi sağlanmıştır [12]. Diğer yandan Akut OM, Efüzyonlu OM ve efüzyonlu olmayan OM 135 adet görüntünün sınıflandırılması için zar bölgesi Active Contour Segmentasyon yöntemi ile tespit edilmiştir. Zar bölgesinde bulunan kabarcıklar için kenar çıkarma algoritmaları kullanılmıştır ve gri bölge tespiti için K-Means kümeleme kullanılarak özellik seti elde edildikten sonra hiyerarşik ağaç şeması kullanılarak %84 doğruluk oranı ile sınıflandırma yapılmıştır. Dokusal özellik çıkarma algoritması ve ortak kulak görüntülerinin renk kanallarının ortalama değerleri çıkarılarak elde edilen özellik seti ile yapılan bir diğer çalışma yapay sinir ağı yöntemi ile sınıflandırılarak %76 doğruluk oranı elde edilmiştir [13]. OM görüntüleri ile manuel olarak özellik çıkarılarak yapılan sınıflandırma çalışmalarının yanında özellik setinin otomatik elde edildiği derin öğrenme yöntemleri ile zar bölgesinin tespit edildiği, CNN modellerinin özellik katmanları elde edildikten sonra özellik seçim algoritmalarının kullanıldığı ve sınıflandırma işlemlerinin yapıldığı çalışmaların olduğu belirlenmiştir [14]-[19].

Son yıllarda birçok hastalık için yapay zekâ kapsamında değerlendirilen makine öğrenme yöntemleri ve derin öğrenme yöntemleri kullanılarak karar destek sistemleri geliştirilerek hastalığın teşhis edilmesinde önemli rol oynadığı gözlemlenmiştir [20]-[26].

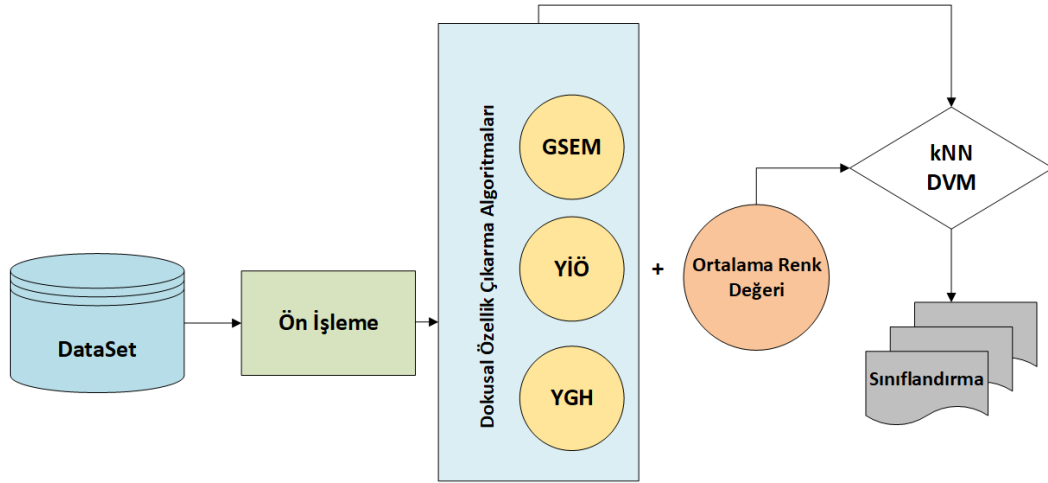
Bu çalışmada literatürde yaygın olarak kullanılan biyomedikal görüntülerde dokusal özellik çıkarma algoritmalarından gri seviyeli eş-oluşum matrisi, yerel ikili örüntü ve yönlü gradyanların histogramı kullanılarak elde edilen özellik setinin Normal TM ve Anormal TM görüntülerini sınıflandırma başarısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ardından orta kulak görüntülerinin ortalama renk değerleri de alınarak özellik setine eklendikten sonra makine öğrenme yöntemlerinden k en yakın komşuluk algoritması (kNN) ve destek vektör makinaları (DVM) yöntemleri ile sınıflandırılarak görüntüleri ayırt etme başarısına olan etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmanın kalan kısmı şu şekilde organize edilmiştir: ikinci bölüme deneysel çalışmada kullanılan materyal ve yöntemler açıklanmıştır. Çalışmanın üçüncü kısmında deneysel sonuçlar ve literatürde yapılmış

benzer çalışmalar ile karşılaştırmaya değinilmiştir. Dördüncü bölümünde sonuç ifadeleri olacak şekilde sunulmuştur.

2. Materyal ve Metotlar

Bu çalışmada Normal TM ve anormal TM görüntülerinin sınıflandırılması için ilk olarak görüntüler yeniden boyutlandırılmıştır. Dokusal özellik çıkarma algoritmaları olan Gri Seviyeli eş-Oluşum Matrisi (GSEM) ve Yerel İkili Örüntü (YİÖ) algoritmaları ile özellik çıkarmak için görüntüler gri renge dönüştürülmüştür. Yönlü Gradyanların Histogramu (YGH) algoritması ile özellik elde edilmesi için renkli görüntüler kullanılmıştır. Her bir Dokusal özellik çıkarma algoritmasının TM görüntülerini ayırt etme üzerindeki performans sonuçları izlenmiştir. Bu çalışmada algoritmalarından elde edilen özelliklere TM görüntülerine ait renk kanallarının ortalama değerleri (RKO) alınarak sınıflandırma başarı üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmanın akış diyagramı Şekil 2’de verilmiştir.



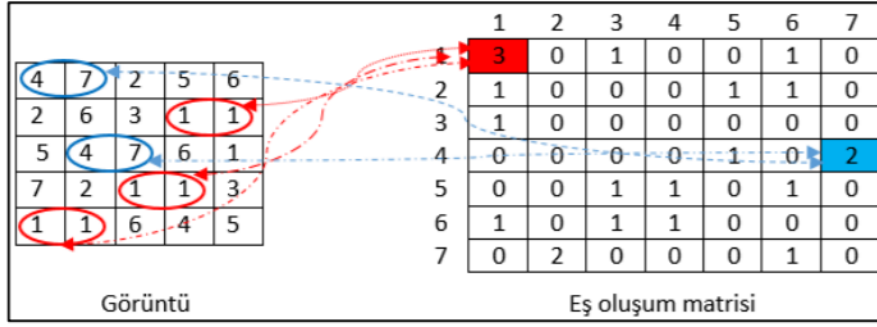
Şekil 2. Deneysel çalışmanın akış diyagramı

2.1. Veri seti

Bu deneysel çalışma kapsamında kullanılan veri seti, yasal izinler alındıktan sonra 10/2018-06/2020 tarihleri arasında otoskop cihazı ile orta kulak görüntüleri toplanmıştır. Görüntüler elde edildikten sonra kulak burun boğaz (KBB) uzmanı tarafından her bir görüntü etiketlenerek klasörlere yerleştirilmiştir. Toplamda elde edilen 956 adet orta kulak görüntülerinin 535 adedi normal sınıfa sahip iken 421 tanesi anormal sınıfa sahiptir. Oluşturulan veri seti açık erişimli olarak araştırmacılara sunulurken literatüre kazandırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan veri setine araştırma grubumuzun web sayfasından (<http://www.ctganalysis.com/Category/otitis-media>) erişilebilmektedir.

2.2. Gri Seviyeli Eş-Oluşum Matrisi (GSEM)

GSEM, farklı gri seviyeli pikseller arasındaki uzamsal ilişkiyi temsil edebilen bir istatistiksel yöntemdir [27]. Bir görüntüde farklı bölgelerdeki birbirleri ile ilişkili olan yoğunluk değerlerinin istatistiksel bilgileri kullanılarak ikinci dereceden dokusal özellikleri çıkarmak için kullanılan bir algoritmadır [28]. GSEM, görüntülerin yerel modellerini analiz etmenin temeli olan yön, bitişik aralık ve varyasyon aralığı hakkındaki görüntünün gri düzeyine ait kapsamlı bilgilerini yansıtabilir [29]. Şekil 3’de görüntüdeki piksel çiftlerinin eş oluşum matrisinde gösterilmektedir.



Şekil 3. Görüntü pikselleri ve eş oluşturma matrisi

GSEM, gri renkli görüntülerde pikseller arasındaki açı (θ) ve uzaklığa (δ) göre GSEM Denklem (1)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$M\delta, \theta = 0(p, q) \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^K \begin{cases} 1 & I(n, m) = p \\ 0 & I(n, m + \delta) = q \end{cases} \quad (1)$$

Denklem (1)'de p ve q değerleri görüntüdeki gri rengin yoğunluğunu; N, K ise görüntünün boyutunu ifade etmektedir. Eşitlikte belirttiği üzere belirlenen bir θ açı yönünde ve δ uzaklık değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Burada θ açısı genellikle 0° , 45° , 90° ve 135° olarak alınmaktadır. GSEM'ye dayanılarak istatistiksel olarak birçok özellik hesaplanabilir. Bu çalışma kapsamında homojenlik, kontrast, korelasyon ve enerji değerleri Denklem 2.1-2.4'e göre hesaplanarak her bir TM görüntüsünün özelliği elde edilerek özellik vektörü oluşturulmuştur.

$$\text{Homojenlik} = \sum_{i,j} \left(\frac{P(i,j)}{1+|i-j|} \right) \quad (2.1)$$

$$\text{Korelasyon} = \sum_{i,j} \left(\frac{(i-\mu_x)(j-\mu_y)P(i,j)}{\sigma_x\sigma_y} \right) \quad (2.2)$$

$$\text{Kontrast} = \sum_{i,j} |i - j|^2 P(i, j) \quad (2.3)$$

$$\text{Enerji} = \sum_{i,j} P(i, j)^2 \quad (2.4)$$

Denklem 2.1-2.4'te i, j değerleri pikselin konumlarını ifade etmektedir. $P(i, j)$ değeri ise bileşik durum olasılık yoğunluk fonksiyonunu, μ_x ve μ_y piksellerin ortalama değerini ifade ederken σ_x, σ_y ise standart sapma değerlerini ifade etmektedir.

2.3. Yerel İkili Örüntü

Yerel ikili örüntü (YİÖ), temel olarak merkezdeki bir pikselin komşu piksel ile karşılaştırmaktır [3]. YİÖ merkez piksel ile komşu piksel arasındaki yoğunluk ilişkisine bakmaktadır [4]. Gri renkli görüntülere uygulanan bu algoritma merkezde bulunan piksel değeri komşu piksel ile karşılaştırılır eğer komşudan büyükse 1 olarak kodlanır değilse 0 olarak kodlanır [5].

$(x_c y_c)$ bir piksel verildiğinde, YİÖ aşağıdaki Denklem 3'deki gibi matematiksel olarak hesaplanıp ondalık biçimde elde edilebilmektedir:

$$YİÖ_{(x_c y_c)} = \sum_{p=0}^{p-1} s(i_p - i_c) \cdot 2^p \quad (3)$$

Denklem (3)'de p merkezin etrafında bulunan piksellerdir. i_p ve i_c sırasıyla yarıçapı R olan dairenin komşuluğundaki merkezi pikselin gri düzey değerlerini 0-255 aralığında belirlemektedir. $S_c(x)$ Denklem (4)'teki gibi belirlenir:

$$S_c(x) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x < 0 \\ 1, & \text{eğer } x \geq 1 \end{cases} \quad (4)$$

Burada x merkez piksel ile komşu piksel arasındaki farkı ifade etmektedir. Bu çalışmada komşu piksel değeri 8 olarak belirlenirken, yarıçap boyutu ise 1 olarak belirlenmiştir ve her bir TM görüntüsüne ait özellik vektörü elde edilmiştir.

2.4. Yönlü Gradyanların Histogramı

Dalal ve Triggs [6] tarafından önerilen gradyan tabanlı bir dokusal özellik çıkarma algoritmasıdır. Yönlü Gradyanların Histogramı (YGH)'nin temeli, yerel gradyanların dağılımını kullanarak bir nesnenin görünümü ve şekli ile ilgili özellikleri çıkarmaktır [7]. Güçlü bir doku ve şekil tanımlama yeteneğine sahiptir. Görüntüdeki ışık değişikliklerine karşı sağlamlığı ve yerel geometrik dönüşümlere karşı değişmezliği nedeniyle YGH, insan tespiti, karakter tanıma ve yüz tanımda başarıyla kullanılmıştır [8]. Gradyan oryantasyonları N kutu olarak nicelendirilir. Ardından görüntü M sayıda eşit alt bölgeye bölünür. Her bir alt bölge için, bir yönelim histogramı hesaplanır [9].

2.5. k En Yakın Komşuluk

kNN yöntemi test kümesinde bulunan bir verinin sınıfının belirlenmesi için eğitim kümesinde bulunan her bir örneğe uzaklık fonksiyonu ile karşılaştırılarak bulunmaktadır. En yakın komşular genellikle bitişindeki bilinmeyen noktaya en kısa mesafeli noktalar olarak belirlenir [10]. Bu algoritmanın iki temel bileşeni vardır. Biri uygun k değerini seçmek diğeri ise uygun fonksiyonu seçmektir [11]. Bu deneysel çalışmada uzaklık fonksiyonu olarak Öklid kullanılmıştır. 1,2,5 ve 10 komşuluk değerlerine bakılarak test kümesindeki verilerin sınıfı belirlenmiştir.

2.6. Destek Vektör Makinaları (DVM)

Denetimli bir öğrenme modeli olan DVM, sınıflandırma ve regresyon problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Destek vektör makinesi (DVM), hiper düzlemlerde iki sınıfın ayırma sınırı arasındaki marjı maksimum düzeye çıkarmak için verimli bir sınıflandırma yöntemidir [12]. Doğrusal olarak ayırılabilen bir DVM, iki doğru marjı oluşturulur ve bu doğrulara veriler paralel olarak dağıtılmaktadır [13]. Her bir veriye ait sınıf Denklem (5)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$y(x) = W_{x_t} + b \quad (5)$$

Denklem (5)'de W her bir değişkenin ağırlığına karşılık gelmektedir. b bias değeri iken x_t ise verinin sınıfını belirtmektedir.

Doğrusal olarak ayırılmayan problemlerde çekirdek fonksiyonu kullanılmaktadır. Çekirdek fonksiyonunun kullanılması ile giriş verilerini daha yüksek boyutlu bir alana eşleyebilir; böylece ek alan, ayırıcı bir hiper düzlem bulmak için daha büyük bir fırsat sağlanmış olur [41]. DVM'de yaygın olarak doğrusal, radyal temelli fonksiyon, polinom ve gauss çekirdek fonksiyonları kullanılmaktadır [41][42]. Hangi çekirdek fonksiyonunun kullanılması ile ilgili net bir koşul bulunmamaktadır fakat yapılan çalışmaların çoğunda radyal temelli fonksiyon ile daha başarılı sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir [41],[42]. Bu çalışmada da çekirdek fonksiyonu olarak radyal temelli fonksiyon kullanılmıştır. Radyal temelli fonksiyon matematiksel olarak Denklem (6)'da verilmiştir.

$$K(x_i, x_j) = e^{-\gamma(x_i - x_j)^2} \quad (6)$$

Denklem 6'da x_i ve x_j piksel noktalarını ifade ederken, γ (gamma) ise kernelin dağılım derecesini belirleyen parametredir.

3. Bulgular

Bu çalışmada dokusal özellik çıkarma algoritmaları ve renk kanallarının ortalaması özelliklerinin sınıflandırma başarısı üzerine etkisini ölçmek için hata matrisinden yararlanılmıştır. Hata matrisinde gerçek değerler ve tahmin edilen değerler bulunmaktadır. Doğru pozitif (DP) ve doğru negatif (DN) veri setinde doğru olarak tanımlanmış örnekleri ifade ederken, yanlış pozitif (YP) ve yanlış negatif (YN) ise yanlış tanımlanan örnekleri ifade etmektedir. Model performansını değerlendirmek için hata matrisinden doğruluk, hassaslık, özgüllük değerleri hata matrisinden elde edilmiştir [20]. Tablo 1'de matematiksel olarak ifade edilmiştir.

Tablo 1 Hata matrisinden elde edilen performans ölçütleri

Doğruluk	$\frac{DP + DN}{DP + YP + YN + DN}$	Modelin tüm veri seti üzerindeki başarısını belirtir
Duyarlık	$\frac{DP}{DP + YN}$	Anormal TM görüntülerini ayırt etme başarısını ifade eder
Özgüllük	$\frac{DN}{DN + YP}$	Normal TM görüntülerini ayırt etme başarısını ifade eder

Normal TM ve Anormal TM görüntülerini ayırt etmek için ilk deneysel çalışmada GSEM özellikleri elde etmek için enerji, kontrast, homojenlik ve entropi özelliğinden yararlanılmıştır. Açısal değer olarak 0° , 45° , 90° ve 135° ve uzaklık değeri olarak 1 alınmıştır. Ardından bu özellik setine RKO da eklenerek bu algoritma ile kullanılmasının sınıflandırma başarısına etkisi incelenmiştir. Model eğitmek için veri setinin %70'i eğitim ve %30 test olacak şekilde ayrılmıştır. Ayrıca 5-katlı çapraz doğrulama sonuçlarına da bakılmıştır.

Tablo 2. GSEM algoritması ile Normal TM ve Anormal TM görüntülerinin sınıflandırma sonuçları (%70 - %30).

Yöntem	Özellik	Doğruluk oranı (%)	Hassaslık (%)	Özgüllük (%)
kNN (k=1)	GSEM	67.13	67.03	66.20
kNN (k=2)	GSEM	59.79	62.91	60.83
kNN (k=5)	GSEM	65.38	65.10	64.48
kNN (k=10)	GSEM	63.63	63.63	62.59
DVM	GSEM	66.78	66.70	66.62

Tablo 3. GSEM algoritması ile Normal TM ve Anormal TM görüntülerinin sınıflandırma sonuçları (5-katlı çapraz doğrulama).

Yöntem	Özellik	Doğruluk oranı (%)	Hassaslık (%)	Özgüllük (%)
kNN (k=1)	GSEM	71.20	71.22	71.24
kNN (k=2)	GSEM	65.23	68.20	65.99
kNN (k=5)	GSEM	70.05	69.99	69.90
kNN (k=10)	GSEM	69.10	68.93	68.39
DVM	GSEM	70.47	70.35	69.71

Tablo 2'ye bakıldığında en iyi performans sonuçları kNN yöntemi ile ve k=1 uzaklığa göre bakıldığında %67.13 doğruluk oranı elde edilmiştir. Tablo 3'te ise veri seti çapraz doğrulanarak sonuçlar incelendiğinde yine en iyi sonuçların kNN yöntemi ile ve k=1 olarak belirlendiğinde %71.20 doğruluk oranı elde edildiği görülmektedir. Normal TM ve Anormal görüntülerini ayırt etme başarıları olan özgüllük ve hassasiyet değerleri ise sırasıyla %71.24 ve %71.22 olarak elde edilmiştir.

Bu deneysel çalışmanın ikinci aşamasında ise 16 özellikli GSEM özellik vektörüne RGB renk kanalları ortalamasının 3 özelliği de eklenerek sınıflandırma başarısı üzerinde etkisinin belirlenmesi için aynı parametreler ve performans ölçütleri sınıflandırma performansı Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. GSEM + RKO özellikleri ile Normal TM ve Anormal TM görüntülerinin sınıflandırılması (%70-%30)

Yöntem	Özellik	Doğruluk oranı (%)	Hassaslık (%)	Özgüllük (%)
kNN (k=1)	GSEM + RKO	71.32	71.44	70.48
kNN (k=2)	GSEM + RKO	66.43	70.28	67.76
kNN (k=5)	GSEM + RKO	69.58	69.42	68.83
kNN (k=10)	GSEM + RKO	68.53	68.65	67.63
DVM	GSEM + RKO	72.73	72.62	72.36

Tablo 5 GSEM + RKO özellikleri ile Normal TM ve Anormal TM görüntülerinin sınıflandırılması (5 katlı çapraz doğrulama)

Yöntem	Özellik	Doğruluk oranı (%)	Hassaslık (%)	Özgüllük (%)
kNN (k=1)	GSEM + RKO	70.88	70.88	69.80
kNN (k=2)	GSEM + RKO	65.23	67.77	65.69
kNN (k=5)	GSEM + RKO	69.73	69.61	69.41
kNN (k=10)	GSEM + RKO	69.00	68.85	68.21
DVM	GSEM + RKO	74.13	74.03	73.77

GSEM özelliklerine RKO eklendiği zaman her performans metriğinde de artış olduğu belirlenmiştir. Veri seti %70 eğitim, %30 test olarak ayrıldığında doğruluk oranı %5,6 oranında DVM yöntemi ile arttığı gözlemlenmiştir. Çapraz doğrulama sonuçlarına bakıldığında zaman da %3.66 oranında artarak %74.13 doğruluk oranı elde edilmiştir. Anormal TM görüntüleri ayırt etme başarısı %74.03 iken Normal TM görüntüleri ayırt etme başarısı ise %73.77 olarak belirlenmiştir.

İkinci deneysel çalışmada ilk olarak görüntüler 227x227px olarak yeniden boyutlandırıldıktan sonra YGH algoritması ile TM görüntülerine ait özellik vektörü elde edilmiştir. Ardından kNN ve DVM yöntemi ile sınıflandırma sonuçlarına bakılmıştır. Veri seti %70 eğitim ve %30 test olarak ayrılmış ve aynı zamanda 5-katlı çapraz doğrulama sonuçları ile model performansı ölçülmüştür. Tablo 6 ve Tablo 7’de performans sonuçları verilmiştir.

Tablo 6. YGH özellikleri ile sınıflandırma sonuçları (%70-%30).

Yöntem	Özellik	Doğruluk oranı (%)	Hassaslık (%)	Özgüllük (%)
kNN (k=1)	YGH	67.13	67.03	63.11
kNN (k=2)	YGH	59.79	62.91	60.83
kNN (k=5)	YGH	67.48	69.66	70.87
kNN (k=10)	YGH	63.63	63.63	62.59
DVM	YGH	67.13	66.89	66.39

Tablo 7. YGH özellikleri ile sınıflandırma sonuçları (5-katlı çapraz doğrulama).

Yöntem	Özellik	Doğruluk oranı (%)	Hassaslık (%)	Özgüllük (%)
kNN (k=1)	YGH	64.60	64.44	64.28
kNN (k=2)	YGH	63.56	63.25	62.95
kNN (k=5)	YGH	62.30	63.35	63.86
kNN (k=10)	YGH	63.76	67.11	68.54
DVM	YGH	68.48	68.33	68.10

YGH özelliklerinin TM görüntülerini ayırt etme başarısına bakıldığında zaman veri seti eğitim ve test olarak ayrıldığında en iyi sonuçlar kNN yöntemi ile k=5 öklid komşuluk uzaklığı ile elde edildiği gözlemlenmiştir. Doğruluk oranı %67.48 iken hassaslık ve özgüllük oranları ise %69.66 ve %70.87 olarak ölçülmüştür. 5-katlı çapraz doğrulama sonuçlarına göre ise en iyi sonuçlar DVM yöntemi ile elde edilmiştir. Tek başına YGH özellikleri ile doğruluk hassasiyet ve özgüllük oranları sırasıyla %68.48, %68.33 ve 68.10 olarak gözlemlenmiştir.

Bu deneysel çalışmanın ikinci aşamasında RKO özelliklerinin eklenmesi ile modelin performans sonuçları incelenmiştir. Tablo 8 ve Tablo 9’da deneysel sonuçlar verilmiştir.

Tablo 8. YGH + RKO özellikleri ile sınıflandırma sonuçları (%70 - %30)

Yöntem	Özellik	Doğruluk oranı (%)	Hassaslık (%)	Özgüllük (%)
kNN (k=1)	YGH + RKO	66.78	66.62	66.41
kNN (k=2)	YGH + RKO	65.03	66.29	64.64
kNN (k=5)	YGH + RKO	63.28	64.61	65.29
kNN (k=10)	YGH + RKO	60.83	61.34	61.59
DVM	YGH + RKO	67.48	67.25	66.74

Tablo 9. YGH + RKO özellikleri ile sınıflandırma sonuçları (5-katlı çapraz doğrulama)

Yöntem	Özellik	Doğruluk oranı (%)	Hassaslık (%)	Özgüllük (%)
kNN (k=1)	YGH + RKO	63.66	63.36	63.06
kNN (k=2)	YGH + RKO	60.52	60.94	59.64
kNN (k=5)	YGH + RKO	60.52	61.00	61.23
kNN (k=10)	YGH + RKO	62.51	63.96	64.65
DVM	YGH + RKO	68.27	68.07	67.69

YGH özelliklerine RKO özellikleri de eklendikten sonra veri seti %70 eğitim ve %30 test olarak ayrıldığında RKO değeri eklendikten sonra k=1, 5, 10 komşulukları için doğruluk oranı azalırken k=2 değeri için ortalama doğruluk değeri artmıştır. 5-katlı çapraz doğrulama ile performans sonuçlarına bakıldığı zaman RKO özellikleri eklendikten sonra tüm performans metriklerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Üçüncü deneysel çalışmada ise YİÖ özellikleri ve YİÖ özelliklerine RKO da eklenerek TM veri setini sınıflandırma başarısına etkisi incelenmiştir. YİÖ dokusal özellik çıkarma algoritmasının 3x3 boyutunda matrislerinin yarıçapı 1 olan 8 komşuluk değerine bakılmıştır. Görüntüler 227x227 piksel olarak yeniden boyutlandırıldıktan sonra gri renkli görüntülerden özellik elde edilmiştir. Model performansını test etmek için veri seti eğitim ve test verisi olarak sırasıyla %70'e ve %30 olarak ayrıldıktan sonra 5-katlı çapraz doğrulama sonuçlarına da bakılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen bulgular Tablo 10 ve Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 10. YİÖ özellikleri ile Anormal TM ve Normal TM görüntülerinin sınıflandırma sonuçları (%70-%30)

Yöntem	Özellik	Doğruluk oranı (%)	Hassaslık (%)	Özgüllük (%)
kNN (k=1)	YİÖ	70.27	71.21	71.95
kNN (k=2)	YİÖ	70.62	70.68	69.77
kNN (k=5)	YİÖ	70.62	73.35	74.95
kNN (k=10)	YİÖ	68.18	70.59	71.93
DVM	YİÖ	73.07	73.51	74.00

Tablo 2. YİÖ özellikleri ile Anormal TM ve Normal TM görüntülerinin sınıflandırma sonuçları (5 katlı çapraz doğrulama)

Yöntem	Özellik	Doğruluk oranı (%)	Hassaslık (%)	Özgüllük (%)
kNN (k=1)	YİÖ	70.99	71.09	71.21
kNN (k=2)	YİÖ	70.99	71.09	71.21
kNN (k=5)	YİÖ	71.83	73.54	74.74
kNN (k=10)	YİÖ	68.90	70.94	72.16
DVM	YİÖ	76.33	76.54	76.87

Veri setinin eğitim ve test olarak %70'e ve %30 olarak ayrıldığında en yüksek doğruluk oranı DVM yöntemi ile %73.07 olarak belirlenmiştir. Çapraz doğrulama ile en yüksek sonuçları yine DVM yöntemi ile elde edilmiştir. Doğruluk, hassasiyet ve özgüllük değerleri sırasıyla %76.33, %76.54 ve %76.87 olarak ölçüldüğü belirlenmiştir.

Bu deneysel çalışmaya RKO özellikleri de eklenerek YİÖ ve RKO özelliklerinin sınıflandırma başarısına olan etkisi incelenmiştir. YİÖ özelliklerinin parametreleri ise olduğu gibi alınarak aynı performans metrikleri ile model performansı ölçülmüştür. Performans sonuçları Tablo 12 ve Tablo 13'de verilmiştir.

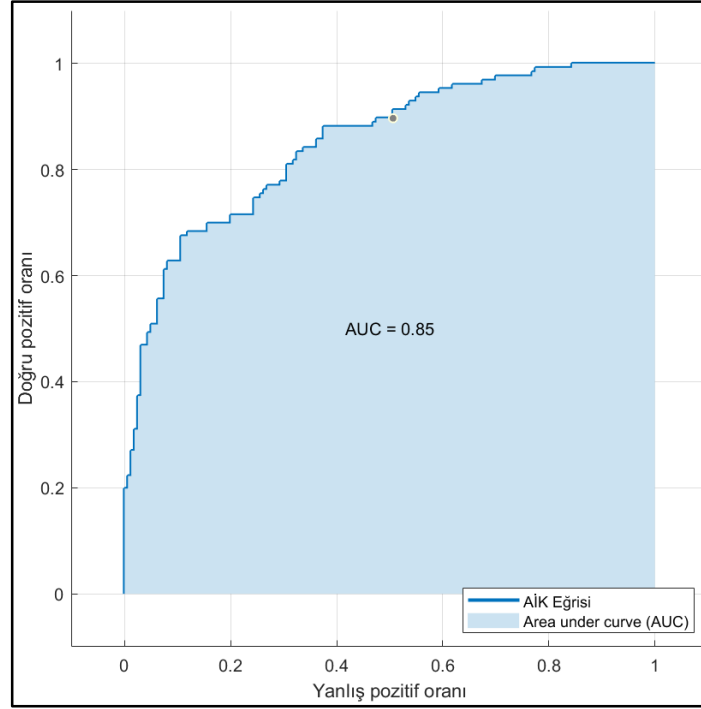
Tablo 12. YİÖ + RKO Özellikleri ile Normal TM ve Anormal TM görüntülerinin sınıflandırılması (%70-%30)

Yöntem	Özellik	Doğruluk oranı (%)	Hassaslık (%)	Özgüllük (%)
kNN (k=1)	YİÖ + RKO	71.67	72.65	73.46
kNN (k=2)	YİÖ + RKO	69.93	69.98	69.05
kNN (k=5)	YİÖ + RKO	68.53	70.39	71.52
kNN (k=10)	YİÖ + RKO	68.53	70.39	71.52
DVM	YİÖ + RKO	78.67	78.85	79.17

Tablo 13. YİÖ + RKO Özellikleri ile Normal TM ve Anormal TM görüntülerinin sınıflandırılması (5-katlı çapraz doğrulama)

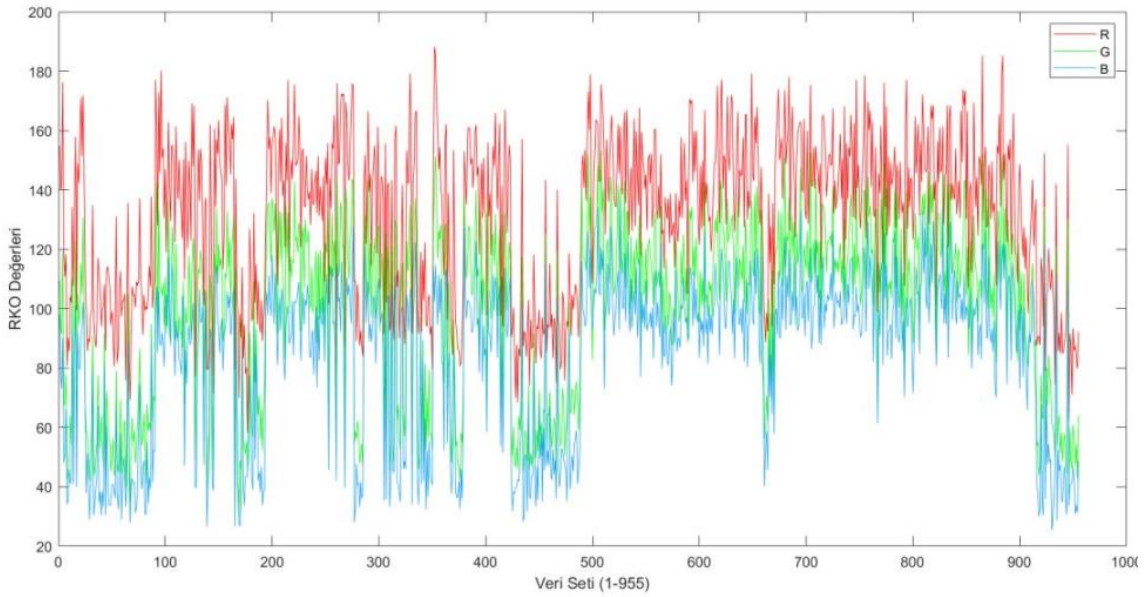
Yöntem	Özellik	Doğruluk oranı (%)	Hassaslık (%)	Özgüllük (%)
kNN (k=1)	YİÖ + RKO	70.99	70.94	70.86
kNN (k=2)	YİÖ + RKO	67.43	68.39	66.86
kNN (k=5)	YİÖ + RKO	67.64	68.85	69.94
kNN (k=10)	YİÖ + RKO	67.01	67.98	68.62
DVM	YİÖ + RKO	73.71	73.75	73.80

YİÖ özelliklerine RKO özellikleri de eklendikten sonra veri setinin eğitim ve test olarak ayrıldığında performans metriklerinde artış olduğu belirlenmiştir. En iyi sonuçlar DVM yöntemi ile elde edilmiştir. Doğruluk oranı %78.67 olarak gözlemlenirken hassasiyet ve özgüllük değerleri ise %78.85 ve %79.17 olarak gözlemlenmiştir. Bu tüm deneysel çalışmalarda elde edilen en yüksek doğruluk oranıdır. Veri setinin homojen olmadığı durumlarda sınıflandırma başarısının yorumlanmasında alıcı işlem karakteristik eğrisi (AİK) yol gösterici olmaktadır. AİK eğrisi istatistiksel olarak karar vermeye yarayan bir eğri grafiğidir. Sadece özgüllük ve duyarlılık değerlerinin yanı sıra eğrinin altında kalan alana da bakılmaktadır. Modelin ayırt edicilik gücü ve farklı deneysel çalışmaların kıyaslanmasını sağlar [44]. Veri setinin %70 eğitim ve %30 test olarak ayrıldığında elde edilen AİK eğrisi Şekil 4'te verilmiştir. Diğer yandan 5-katlı çapraz doğrulama sonuçlarına bakıldığında ise RKO özellikleri eklendikten sonra doğruluk oranında bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. En iyi sonuçlar ise yine DVM yöntemi ile elde edilmiştir. Modelin doğruluk, hassasiyet ve özgüllük değerleri sırasıyla %73.71, %73.75 ve %73.80 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. YİÖ + RKO özellikleri ile DVM yöntemiyle TM görüntülerinin sınıflandırma modeline ait

Bu çalışmada GSEM, YHG, YİÖ dokusal özellik çıkarma algoritmaları ve RKO özellikleri de eklenerek makine öğrenme yöntemlerinden kNN ve DVM yöntemleri ile sınıflandırma yapılmıştır. Tablo 1- 2 ve Tablo 7-12 sonuçlarına bakıldığında Normal TM görüntülerini ayırt etme ölçütü olan özgüllük değerlerinin hassasiyet değerlerinden daha yüksek olduğu fakat Tablo 3-6 sonuçlarına bakıldığında ise aksine daha az sayıda veriye sahip olan anormal TM görüntülerinin ayırt edici performansının daha iyi olduğu görülmektedir. Dengeli veri kümelerinde iyi performans gösteren birçok model, dengesiz muadilleri söz konusu olduğunda iyi performanslar elde edemez ve genelde çoğunluk sınıfına yönelimlidir. Bu durumu literatürü doğrular niteliktedir [45-48].



Şekil 5. Veri setinde bulunan görüntülere ait RGB değerleri

YGH yöntemi ve RKO özelliğinin eklenmesi ile yapılan deneysel çalışmada RKO özelliği eklendikten sonra tüm performans metriklerinde düşüş olduğu görülmektedir (Tablo 8). Başaran ve arkadaşları tarafından aynı veri seti ile sadece Akut OM TM ve Normal TM görüntüleri kullanılarak yapılan sınıflandırmaya bakıldığı zaman [13] Akut OM TM görüntülerinin çoğunlukla kırmızı renk ağırlıkta olduğu, Normal TM görüntülerinin ise gri renk ağırlıklı olmasından dolayı bu durumun RKO değerini etkilediği ifade edilmektedir. Oysa bu deneysel çalışmada anormal TM sınıf içerisinde ise Akut OM, Kronik OM, Otit Externa, Earwax gibi birçok anormal TM çeşidi bulunmaktadır. Şekil 5'e bakıldığı zaman ilk 421 görüntünün anormal TM'ye ait RGB renk dağılımlarında oldukça fazla dalgalanmanın olduğu 421'den sonra ise homojen olan tek sınıf Normal TM görüntülerde fazla dalgalanmanın olmadığı görülmektedir. Bu durum model performansını olumsuz yönde etkilemiştir.

Shie ve arkadaşları [11] YİÖ, YHG, Gabor filtre, grid color moment gibi birden fazla dokusal özellik çıkarma algoritması kullanılarak orta kulak görüntüleri sınıflandırılması çalışmasında en ayırt edici özelliğın renk özellikleri olduğu belirtilmiştir. YHG ise ayırtıcılık olarak ikinci sırada yer alırken YİÖ ve Gabor özelliklerin ise OM görüntülerini ayırt etmede daha az etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada da benzer şekilde RKO, GSEM ve YİÖ ile beraber kullanılırken sınıflandırma başarısını olumlu yönde etkilediği literatürü doğrular niteliktedir. Yine benzer şekilde Başaran ve arkadaşları tarafından AOM ve Normal TM görüntülerinin ayırt edilmesi için yapılan çalışmada [13] GSEM ve RGB renk kanallarının her birinin ayrı ayrı ortalaması alınarak özellik vektörüne eklenmesi ile sınıflandırma başarısını olumlu yönde etkilediği sonucu ile paralellik göstermektedir.

4. Sonuç

OM, çocuklarda ameliyatın ve antibiyotik kullanımının en yaygın sebebidir. Erken teşhis edilmesi ve tedavi sürecinin başlaması hastalığın daha kötü sekellerin önüne geçilmesi açısından son derecede önemlidir. Bu çalışmada hastalığın erken teşhis edilmesi için orta kulak otoskop görüntüleri ile bilgisayar destekli bir tanı modeli önerilmiştir.

Biyomedikal görüntülerde özelliklerin elde edilmesi için literatürde yaygın olarak kullanılan GSEM, YİÖ ve YHG algoritmaları kullanılmıştır. Tek başına bir özellik çıkarma algoritması kullanılırken en ayırt edici sonuçlar YİÖ algoritması ile %76.33 doğruluk oranı elde edilirken, dokusal özellik çıkarma algoritmalarına RKO özelliği de eklendikten sonra yine YİÖ özellikleri ile en iyi sonuçlar %78.67 doğruluk oranı elde edilmiştir. OM görüntülerin teşhis edilmesine yönelik dokusal özellik çıkarma algoritmasına RKO özelliğinin eklenmesi ile model performansını olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Gelecekte yapılacak olan diğer çalışmalarda TM görüntülerinden birden fazla özelliği kullanılarak ve derin öğrenmenin özellik katmanları kullanılarak deneysel çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] M. Naghibolhosseini and G. R. Long, "Fractional-order modelling and simulation of human ear," *Int. J. Comput. Math.*, vol. 95, no. 6–7, pp. 1257–1273, Jul. 2018, doi: 10.1080/00207160.2017.1404038.
- [2] S. S. Balu, A. B. Deoghare, and K. M. Pandey, "Design and Modeling of Human Middle Ear for Harmonic Response Analysis," *Jan. 2018*, doi: 10.5281/ZENODO.1315782.
- [3] W. Gao, W. Liang, and K. K. Tan, "Automated tube insertion on tympanic membrane based on vision-servo and tactile sensing," *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf., no. c, pp. 2706–2711, 2014*, doi: 10.1109/IECON.2014.7048889.
- [4] A. P. J. Giese, S. Ali, A. Isaiyah, I. Aziz, S. Riazuddin, and Z. M. Ahmed, "Genomics of Otitis Media (OM): Molecular Genetics Approaches to Characterize Disease Pathophysiology," *Front. Genet.*, vol. 11, p. 313, Apr. 2020, doi: 10.3389/fgene.2020.00313.
- [5] K. Topal, "Olgularla Kulak Enfeksiyonları," vol. 10. Selen Medya Yayıncılık Tanıtım ve Organizasyon Hizmetleri, pp. 44–47, 2018.
- [6] A. G. M. Schilder et al., "Otitis media," *Nat. Rev. Dis. Prim.*, vol. 2, no. 1, p. 16063, 2016, doi: 10.1038/nrdp.2016.63.
- [7] M. K. Park et al., "Differences in Antibiotic Resistance of MRSA Infections in Patients with Various Types of Otitis Media," *J. Int. Adv. Otol.*, vol. 14, no. 3, pp. 459–463, Dec. 2018, doi: 10.5152/iao.2018.5374.
- [8] G. van Ingen et al., "Environmental determinants associated with acute otitis media in children: a longitudinal study," *Pediatr. Res.*, vol. 87, no. 1, pp. 163–168, 2020, doi: 10.1038/s41390-019-0540-3.
- [9] O. R. and A. R. Johanna M. Uitti, Miia K. Laine, Paula A. Tähtinen, "Symptoms and Otoloscopic Signs in Bilateral and Unilateral Acute Otitis Media," *Off. J. Am. JAcademy Pediatr.*, vol. 131, no. e398, pp. 398–405, 2018, doi: 10.1542/peds.2012-1188.
- [10] M. Maharjan, S. Phuyal, M. Shrestha, and R. Bajracharya, "Chronic Otitis Media and Subsequent Hearing Loss in Children from the Himalayan Region Residing in Buddhist Monastic Schools of Nepal," *J. Otol.*, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.joto.2020.09.001.

- [11] C. K. Shie, H. T. Chang, F. C. Fan, C. J. Chen, T. Y. Fang, and P. C. Wang, "A hybrid feature-based segmentation and classification system for the computer aided self-diagnosis of otitis media," 2014 36th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBC 2014, pp. 4655–4658, 2014, doi: 10.1109/EMBC.2014.6944662.
- [12] L. Cheng, J. Liu, C. E. Roehm, and T. A. Valdez, "Enhanced video images for tympanic membrane characterization," Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS, pp. 4002–4005, 2011, doi: 10.1109/IEMBS.2011.6090994.
- [13] E. Başaran, A. Şengür, Z. Cömert, Ü. Budak, Y. Çelik, and S. Velappan, "Normal and Acute Tympanic Membrane Diagnosis based on Gray Level Co-Occurrence Matrix and Artificial Neural Networks," in 2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/IDAP.2019.8875973.
- [14] E. Başaran, Z. Cömert, A. Şengür, Ü. Budak, Y. Çelik, and M. Toğaçar, "Normal ve Kronik Hastalıklı Orta Kulak İmgelerinin Evrışimsel Sinir Ağları Yöntemiyle Tespit Edilmesi," Türkiye Bilişim Vakfı Bilgi. Bilim. ve Mühendisliği Derg., vol. 13, no. 1, pp. 1–10, Apr. 2020, Accessed: Apr. 26, 2020. [Online]. Available: <http://dergipark.org.tr/tr/pub/tbbmd/issue/53711/657649>.
- [15] E. Başaran, Z. Cömert, and Y. Çelik, "Convolutional neural network approach for automatic tympanic membrane detection and classification," Biomed. Signal Process. Control, vol. 56, p. 101734, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.BSPC.2019.101734.
- [16] E. Basaran, Z. Comert, A. Sengur, U. Budak, Y. Celik, and M. Togacar, "Chronic Tympanic Membrane Diagnosis based on Deep Convolutional Neural Network," 2019, doi: 10.1109/UBMK.2019.8907070.
- [17] Z. Cömert, "Otitis media için evrışimsel sinir ağlarına dayalı entegre bir tanı sistemi," Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilim. Derg., vol. 8, no. 4, pp. 1498–1511, Dec. 2019, doi: 10.17798/bitlisfen.600636.
- [18] C. Zafer, "Fusing fine-tuned deep features for recognizing different tympanic membranes," Biocybern. Biomed. Eng., vol. 40, no. 1, pp. 40–51, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2019.11.001>.
- [19] E. Başaran, Z. Cömert, Y. Çelik, Ü. Budak, and A. Şengür, "Otitis media diagnosis model for tympanic membrane images processed in two-stage processing blocks."
- [20] M. Toğaçar, B. Ergen, and Z. Cömert, "Detection of lung cancer on chest CT images using minimum redundancy maximum relevance feature selection method with convolutional neural networks," Biocybern. Biomed. Eng., Nov. 2019, doi: 10.1016/J.BBE.2019.11.004.
- [21] Y. Guo, Ü. Budak, and A. Şengür, "A novel retinal vessel detection approach based on multiple deep convolution neural networks," Comput. Methods Programs Biomed., vol. 167, pp. 43–48, Dec. 2018, doi: 10.1016/J.CMPB.2018.10.021.
- [22] Ü. Budak, Z. Cömert, Z. N. Rashid, A. Şengür, and M. Çibuk, "Computer-aided diagnosis system combining FCN and Bi-LSTM model for efficient breast cancer detection from histopathological images," Appl. Soft Comput., vol. 85, p. 105765, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.ASOC.2019.105765.
- [23] M. Toğaçar, B. Ergen, and Z. Cömert, "COVID-19 detection using deep learning models to exploit Social Mimic Optimization and structured chest X-ray images using fuzzy color and stacking approaches," Comput. Biol. Med., vol. 121, p. 103805, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2020.103805>.
- [24] M. Nour, Z. Cömert, and K. Polat, "A Novel Medical Diagnosis model for COVID-19 infection detection based on Deep Features and Bayesian Optimization," Appl. Soft Comput., p. 106580, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106580>.
- [25] T. Tuncer, S. Dogan, and A. Subasi, "A new fractal pattern feature generation function based emotion recognition method using EEG," Chaos, Solitons & Fractals, vol. 144, p. 110671, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.110671>.
- [26] M. Okaba and T. Tuncer, "An automated location detection method in multi-storey buildings using environmental sound classification based on a new center symmetric nonlinear pattern: CS-LBlock-Pat," Autom. Constr., vol. 125, p. 103645, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103645>.
- [27] S. Salem Ghahfarrokhi and H. Khodadadi, "Human brain tumor diagnosis using the combination of the complexity measures and texture features through magnetic resonance image," Biomed. Signal Process. Control, vol. 61, p. 102025, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2020.102025>.
- [28] Priyanka and D. Kumar, "Feature Extraction and Selection of kidney Ultrasound Images Using GLCM and PCA," Procedia Comput. Sci., vol. 167, pp. 1722–1731, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.382>.
- [29] A. Dongyao Jia, B. Zhengyi Li, and C. Chuanwang Zhang, "Detection of cervical cancer cells based on strong feature CNN-SVM network," Neurocomputing, vol. 411, pp. 112–127, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.06.006>.
- [30] J. Tang, Q. Su, B. Su, S. Fong, W. Cao, and X. Gong, "Parallel ensemble learning of convolutional neural networks and local binary patterns for face recognition," Comput. Methods Programs Biomed., vol. 197, p. 105622, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105622>.
- [31] F. Yuan, J. Shi, X. Xia, L. Zhang, and S. Li, "Encoding pairwise Hamming distances of Local Binary Patterns for visual smoke recognition," Comput. Vis. Image Underst., vol. 178, pp. 43–53, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2018.10.008>.
- [32] A. Güner, Ö. F. Alçın, and A. Şengür, "Automatic digital modulation classification using extreme learning machine with local binary pattern histogram features," Measurement, vol. 145, pp. 214–225, Oct. 2019, doi: 10.1016/J.MEASUREMENT.2019.05.061.
- [33] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," in 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05), 2005, vol. 1, pp. 886–893 vol. 1, doi: 10.1109/CVPR.2005.177.

- [34] M. F. Aslan, A. Durdu, K. Sabanci, and M. A. Mutluer, "CNN and HOG based comparison study for complete occlusion handling in human tracking," *Measurement*, vol. 158, p. 107704, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107704>.
- [35] X. Yan, Y. Zhang, D. Zhang, and N. Hou, "Multimodal image registration using histogram of oriented gradient distance and data-driven grey wolf optimizer," *Neurocomputing*, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.NEUCOM.2020.01.107.
- [36] G. M. M. E Elahi, S. Kalra, L. Zinman, A. Genge, L. Korngut, and Y.-H. Yang, "Texture classification of MR images of the brain in ALS using M-CoHOG: A multi-center study," *Comput. Med. Imaging Graph.*, vol. 79, p. 101659, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2019.101659>.
- [37] Y. Hamed, A. Ibrahim Alzahrani, A. Shafie, Z. Mustaffa, M. Che Ismail, and K. Kok Eng, "Two steps hybrid calibration algorithm of support vector regression and K-nearest neighbors," *Alexandria Eng. J.*, vol. 59, no. 3, pp. 1181–1190, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.01.033>.
- [38] S. Zhang, "Cost-sensitive KNN classification," *Neurocomputing*, vol. 391, pp. 234–242, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.11.101>.
- [39] Y. Chen, B. Chen, Y. Yao, C. Tan, and J. Feng, "A spectroscopic method based on support vector machine and artificial neural network for fiber laser welding defects detection and classification," *NDT E Int.*, vol. 108, p. 102176, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2019.102176>.
- [40] R. Arian, A. Hariri, A. Mehridehnavi, A. Fassihi, and F. Ghasemi, "Protein Kinase Inhibitors' Classification Using K-Nearest Neighbor Algorithm," *Comput. Biol. Chem.*, p. 107269, Apr. 2020, doi: 10.1016/J.COMPBIOLCHEM.2020.107269.
- [41] M. Wadkar, F. Di Troia, and M. Stamp, "Detecting malware evolution using support vector machines," *Expert Syst. Appl.*, vol. 143, p. 113022, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.113022>.
- [42] J. Xu, W. Tan, and T. Li, "Predicting fan blade icing by using particle swarm optimization and support vector machine algorithm," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 87, p. 106751, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106751>.
- [43] J. Cervantes, F. Garcia-Lamont, L. Rodríguez-Mazahua, and A. Lopez, "A comprehensive survey on support vector machine classification: Applications, challenges and trends," *Neurocomputing*, vol. 408, pp. 189–215, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.10.118>.
- [44] L. Tomak and Y. Bek, "İşlem Karakteristik Eğrisi Analizi ve Eğri Altında Kalan Alanların Karşılaştırılması," *Journal of Experimental and Clinical Medicine*, vol. 27, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, p., 2011, doi: 10.5835/jecm.v27i2.1569.
- [45] L. Gao, L. Zhang, C. Liu, and S. Wu, "Handling imbalanced medical image data: A deep-learning-based one-class classification approach," *Artif. Intell. Med.*, vol. 108, p. 101935, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2020.101935>.
- [46] P. Shamsolmoali, M. Zareapoor, L. Shen, A. H. Sadka, and J. Yang, "Imbalanced data learning by minority class augmentation using capsule adversarial networks," *Neurocomputing*, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.01.119>.
- [47] E. Duchesnay et al., "Feature selection and classification of imbalanced datasets: Application to PET images of children with autistic spectrum disorders," *Neuroimage*, vol. 57, no. 3, pp. 1003–1014, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.05.011>.
- [48] A. A. M. Karabatak, "Veri Seti - Sınıflandırma İlişkisinde Performansa Etki Eden Faktörlerin Değerlendirilmesi." *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Elazığ, p. 531*540, 2020, doi: <https://doi.org/10.35234/fumbd.738007>.

Derin Yapay Sinir Ağları Kullanan Dinamik Bulanık Bilişsel Haritalarla Çoklu Görüde Nesne Takibi

Turan Göktuğ ALTUNDOĞAN^{1*}, Mehmet KARAKÖSE²

¹ Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye

² Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ turan.altundogan@cbu.edu.tr, ² mkarakose@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 19/01/2021;

Kabul/Accepted:22/04/2021)

Öz: Çoklu görüde nesne takibi, birden fazla görüntüleme aygıtının kullanıldığı görüntüleme sistemlerinde tek bir görüntüleme aygıtından elde edilen görüntü kareleri üzerinde tespit edilen nesnelere diğer görüntüleme aygıtlarından gelen görüntü kareleri üzerinde de bulunduğu yerin hesaplanmasına dayalı nesne takip işlemidir. Burada bahsi geçen problemin çözümü için genelde görüntüleme sistemi içerisinde bulunan farklı kamera konum ve oryantasyonların içerisinde kullanıldığı hesaplama metodlarından yararlanılmaktadır. Makine öğrenmesi ve yapay zeka tabanlı yöntemlerin bilgisayarlı görü alanında problemlerin çözme kabiliyetinin artmasıyla beraber ÇGNT işlemini gerçekleştirmek için farklı yapay zeka ve makine öğrenmesi tabanlı yöntemlerden yararlanılabilmektedir. Bu çalışmada ÇGNT için bulanık bilişsel haritalardan yararlanan yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bulanık bilişsel haritalar, ele aldığı gerçek dünya sistem veya problemlerine ait özellikleri konsept olarak kabul eder. Daha sonra bu konseptler arasındaki ilişkileri kullanarak iteratif bir şekilde modelleme veya hesaplama işlemini gerçekleştirir. Günümüzde endüstri, sağlık, enerji, bilgisayar bilimi vs. gibi birçok alanda problemlerin çözümünde BBH'lar kullanılmaktadır. Bulanık bilişsel haritaların literatürde bilgisayar bilimi alanında sağladığı çözüm önerileri için daha dinamik bir yapıya ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmada çoklu görüde nesne takibi işlemi için geliştirdiğimiz bulanık bilişsel harita yapısında konsept ilişkilerinin dinamik bir şekilde güncellenmesi için derin yapay sinir ağlarından yararlanılmıştır. Deneysel sonuçların analizi farklı başarımlar hesaplama işlemleriyle gerçekleştirilmiştir. ÇGNT odaklı yöntemlerin başarımlarını hesaplamada kullanılan Birleşim Kesişimi (Intersection of Union) yöntemi ile yapılan analizlerde minimum %67,4 maksimum %99,8 ve ortalama %88,2 başarımlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Ele alınan problem için hesaplanan kesişim oranı literatür çalışmaları incelendiğinde çok yüksek bir başarıma sahiptir.

Anahtar kelimeler: Çoklu Görüde Nesne Takibi, Dinamik Bulanık Bilişsel Haritalar, Derin Yapay Sinir Ağları, Genetik Algoritma

Multi-View Object Tracking with Dynamic Fuzzy Cognitive Maps Using Deep Neural Networks

Abstract: Multi-view object tracking is an object tracking process based on calculating the location of the detected objects on the image frames obtained from a single imaging device in imaging systems where more than one imaging device is used, also on the image frames from other imaging devices. In order to solve the problem mentioned here, calculation methods in which different camera positions and orientations are generally used in the imaging system are used. With the increase in the ability of machine learning and artificial intelligence-based methods to solve problems in the field of computer vision, different artificial intelligence and machine learning-based methods can be used to perform the MVOT process. In this study, a new method using fuzzy cognitive maps has been developed for MVOT. Fuzzy cognitive maps are graph-based structures that take the features of real world systems or problems they deal with as a concept and perform the modeling or computation process iteratively using the relationships between these concepts. Today industry, health, energy, computer science etc. FCMs are used to solve problems in many areas such as. A more dynamic structure was needed for the proposed methods provided by fuzzy cognitive maps in the field of computer science in the literature. In this study, deep artificial neural networks were used to dynamically update the concept relations in the fuzzy cognitive map structure we developed for multi-view object tracking. The analysis of the experimental results was carried out with different performance calculations. In the analysis performed with the Intersection over Union method, which is used in the performance calculation of the MVOT-focused methods, it was observed that a minimum performance of 67.4%, maximum 99.8% and an average of 88.2% was achieved. When the literature studies are examined, the intersection rate calculated for the problem under consideration has a very high success.

Key words: Multi View Object Tracking, Dynamic Fuzzy Cognitive Maps, Deep Neural Networks, Genetic Algorithm

* Sorumlu yazar: fenbilimleri@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-8677-3105, ² 0000-0002-3276-3788

1. Giriş

Bilgisayarlı görü, görüntüleme aygıtları (kamaralar) vasıtasıyla elde edilen görüntüler üzerinde sinyal-görüntü işleme, görüntü analizi, istatistiksel metotlar, makine öğrenmesi ve yapay zeka yöntemlerinden yararlanılarak ilgili görüntü üzerindeki nesnelere, canlılar vs. üzerinde bilgi elde etmeye odaklanmış bilgisayar bilimi alanıdır. Bilgisayarlı görü teknikleri ile nesne takibi, insana ait farklı biyometrik bilgilerinin elde edilmesi, sınıflandırma, görüntü restorasyonu ve iyileştirilmesi, nesne sayma işlemleri, anomali tespiti ve analizi vs. gibi çeşitli problemlerin çözümü sağlanmaktadır.

Bu çalışmada Bilgisayarlı Görü alanında oldukça sık odaklanılan bir problem olan çoklu görüde nesne takibi (ÇGNT) üzerinde durulmuştur. Farklı görüntüleme aygıtlarından alınan görüntüler üzerindeki nesnelere aynı zamanda kaydedilmiş görüntü kareleri için eşleştirilmesi çoklu görüde nesne takibi olarak adlandırılmaktadır. Burada ele alınan problemin daha iyi anlaşılması için aynı anda birçok kamera ile görüntülenen bir stadyum örneğini ele alalım. Bilindiği üzere futbol müsabakalarında futbolculara ait kat edilen mesafe, oyunun hangi bölgede daha çok yoğunlaştığı, hakem kararlarının analizleriyle alakalı farklı uygulamalar farklı kameralardan elde edilen görüntüler üzerinde uygulanmaktadır.

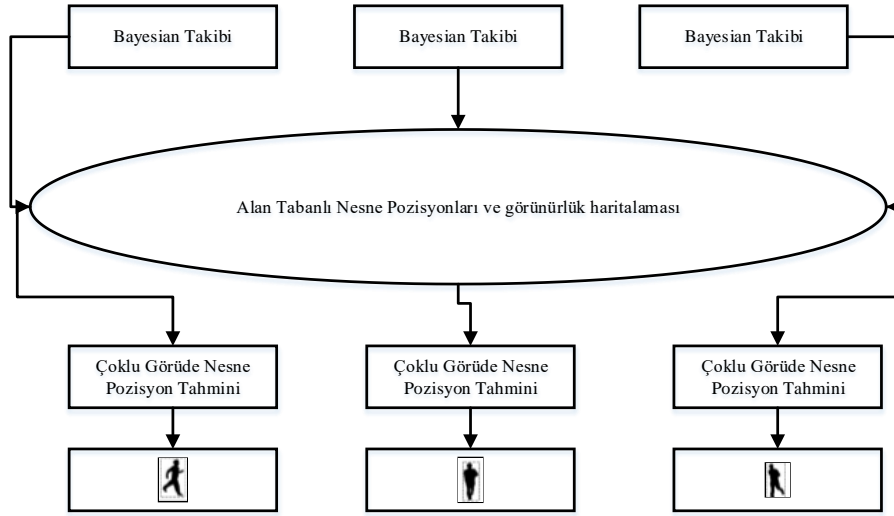
Şimdi aynı anda 8 adet kamerayla görüntülenen bir futbol müsabakası ve burada gerçekleştirdiğimiz bilgisayarlı görme uygulamasının da bu sekiz kamerayla elde edilen görüntüler üzerinde futbol topunun takibi olduğunu var sayalım. Burada futbol topunun tespit ve takip işleminin her görüntü karesi için ayrı ayrı yapılması 8 kat algoritmik maliyeti ifade etmektedir. Oysa ki takip ve tespit işleminin tek bir görüntü karesi üzerinden yapıp tespit edilen nesnenin diğer görüntü kareleri üzerindeki konumlarının hesaplanması daha az algoritmik maliyete sahip bir yöntem olabilir.

ÇGNT üzerine odaklanmış bir çok literatür çalışması bulunmaktadır. Bir çalışmada W. Chen ve arkadaşları çoklu kamera ile kaydedilmiş görüntüler üzerinde nesne takibi işlemini gerçekleştirmişlerdir [1]. Burada yazarlar, çoklu kamera içeren nesne takip uygulamalarında, kullanılan yöntemlerin genellikle kameralardan biri tarafından çekilmiş referans görüntü dizisi üzerindeki nesne takibi ve diğer görüntü dizilerindeki takip işleminin de bu işleme bağımlılığından kaynaklı olumsuzlukları gidermeye odaklanmıştır. Yani araştırmacılar, referans görüntü üzerinde yapılan nesne tespit ve takip işleminin düşük performanslı olması durumunda, çoklu kamerada nesne takibi işlemini iyileştirmek için yeni bir bakış açısı geliştirmişlerdir. Bilgisayar bilimlerinde, eşleşme problemlerini çözmekte oldukça sık kullanılan Macar algoritması tabanlı bir bakış açısı geliştiren araştırmacılar, geliştirdikleri yöntemi mevcut yöntemlerle kıyaslayarak çoklu kamerada takip işlemini daha başarılı bir şekilde gerçekleştirdiklerini ifade etmişlerdir.

Başka bir çalışmada, Parisa J. vd., kalman filtresi tabanlı bir yöntemle çoklu görüde nesne takibi işleminin gerçekleştirilmesine odaklanmıştır [2]. Burada ilk olarak bütün görüntüleme aygıtları ile çekilmiş görüntülere arka plan çıkarımı işlemi uygulanarak görüntü farklarını elde etmişlerdir. Daha sonra hizalama (homografi) kısıtı bulunan çoklu görü sistemleri için her görünümde tespit edilen nesnelere referans görüntüye bağlı bir hiza ile eşleştirilecektir. Daha sonra referans görüde olan görüntü karelerinden, grafik kesimi segmentasyonu ile ikili skalada görüntüler elde edilecektir. Bu şekilde kesişme noktalarının pozisyonunu referans görüntü içerisindeki diğer noktalardan ayırmaktadır. Araştırmacılar bu adımla, görüntüden kaynaklanan eksik algılamaları azaltmayı hedeflemişlerdir. Takip işlemi için de nesnelere ortalama konumlarından yararlanılmıştır. Kalman filtresi ile nesne konumunun herhangi bir zamanda optimum tahmini sağlanmaktadır. Araştırmacılar, deneysel sonuçlarla %94.8'lik bir başarımla çoklu görüde nesne takibi işlemini gerçekleştirdiklerini göstermişlerdir.

Başka bir çalışmada, Yixiao Y. vd., çoklu görüde nesne takibi işlemini farklı bir bakış açısıyla ele almışlardır [3]. Araştırmacılar öncelikle her görü için ayrı ayrı nesne takibi işlemini gerçekleştirip daha sonra buradaki nesnelere farklı görüdeki görüntü karelerindeki ile eşleştirmişlerdir. Bunun için epipolar kısıtlamalardan yararlanan araştırmacılar, her görünüm için bölge kovaryanslarını bularak nesne görünümünün referans bir modelini elde etmişlerdir ve takip edilen nesnelere hem tahmini konumlarını hem de görünüşlerini, farklı görülerde kaydedilmiş görüntü kareleri üzerinde haritalamışlardır. Şekil 1'de literatür çalışmasında önerilen yöntemin blok diyagramına yer verilmiştir.

Başka bir çalışmada, Chen Z. vd., çoklu kamerayla bir ağ sistemi üzerinden nesne tespiti ve takibi işlemlerine odaklanmıştır [4]. Burada ele alınan nesne tipi yayalar ve araçlardır. Nesne tespiti işlemi için arkaplan modellemesi ve çıkarımına dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Burada, tespit işlemi tek bir kameradan alınmış görüntü üzerinden yapılmakta ve çoklu kamera ağındaki, her nesnenin özellikleri ve yörüngelerinin eşleştirmeleri için kamera oryantasyonuna bağlı bir yöntem kullanılmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda, yazarlar bir şehirdeki farklı bölgelerde, tekli ve çoklu görüde takip işlemlerini başarılı bir şekilde yaptıklarını ifade etmektedirler.



Şekil 1. Literatür çalışmasında önerilen yöntemin blok diyagramı [3].

Başka bir çalışmada, Chen Z. vd., çoklu kameralı bir ağ sistemi üzerinden nesne tespiti ve takibi işlemlerine odaklanmıştır[4]. Burada ele alınan nesne tipi yayalar ve araçlardır. Nesne tespiti işlemi için arkaplan modellemesi ve çıkarımına dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Burada, tespit işlemi tek bir kameradan alınmış görüntü üzerinden yapılmakta ve çoklu kamera ağındaki, her nesnenin özellikleri ve yörüngelerinin eşleştirmeleri için kamera oryantasyonuna bağlı bir yöntem kullanılmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda, yazarlar bir şehirdeki farklı bölgelerde, tekli ve çoklu görüde takip işlemlerini başarılı bir şekilde yaptıklarını ifade etmektedirler.

Başka bir çalışmada Li H. vd., gelişmiş derin öğrenme ve dağıtılmış bilgi füzyonunu birleştirerek tıkanma ve yeniden yapılandırma sorunlarını etkili bir şekilde çözebilen, dağıtılmış bir kamera ağı kullanan çok hedefli bir izleme yöntemi önermişlerdir [5]. Bahsi geçen çalışmada hedefler ilk olarak derin öğrenmeye dayalı hızlı bir nesne algılama yöntemi kullanılarak tespit edilir. Daha sonra, güçlü hedef ilişkilendirmesi için Macar algoritmasında derin görsel özellik bilgilerini ve mekansal yörünge bilgilerini birleştirilir. Derin görsel özellik bilgisi, büyük ölçekli bir kişi yeniden tanımlama veri kümesi kullanılarak önceden eğitilmiş bir evrişimli sinir ağından çıkarılır. Çerçevelediği birden çok hedefin uzamsal yörüngeleri, füzyon ve izleme için bilgi ağırlıklı bir fikir birliği filtresi kullanan çok görüntülü bir bilgi füzyon yönteminden türetilmiştir. Ek olarak, çoklu görünüm bilgilerini kullanarak kimlik ataması için verimli bir takip işleme yöntemi de önerilmektedir. Önerilen yöntem herkese açık ve çevrimiçi elde edilmiş veri setleri üzerinde test edilmiştir ve yazarlara göre geliştirilen yöntem oldukça başarılıdır.

Literatür çalışmaları incelendiğinde ÇGNT odaklı çalışmalarda makine öğrenmesi ve yapay zeka tabanlı yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Buna ek olarak ÇGNT odaklı çalışmaların bilhassa akıllı şehir ve akıllı ulaşım teknolojik trendleri için oldukça geniş bir uygulama alanına sahip olduğu görülmektedir. Literatürdeki ÇGNT uygulamalarında kullanılan teknikler incelendiğinde makine öğrenme yöntemlerine ek olarak kamera oryantasyonuna ve nesne takibi işleminin bir eşleştirme (matching) problemi olarak ele alınıp Macar Algoritması (Hungarian Algorithm) gibi bilgisayar bilimlerinde eşleştirme problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan yöntemlere dayalı çözümlerden yararlandığı görülmektedir. Bize göre ÇGNT işleminin bir eşleştirme problemi olarak kabul edilmesi algoritmik maliyetlere sebep olmaktadır. Çünkü bu probleme eşleştirme bakış açısıyla yaklaşabilmek için bütün görüntü dizilerinde takip edilmesi gereken nesnelerin yeniden tespit edilmesi gerekmektedir.

Literatürde çoklu görüde nesne takibi uygulamalarına odaklanmış çalışmalar Tablo 1'de özetlenmiştir. Literatür çalışmaları incelendiğinde bazı çalışmaların kamera oryantasyonu ve / veya uzay zamansal özellikler kullandığı görülmektedir. Bazı çalışmalarda ise hespsal zeka yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Ayrıca önerilen yöntemin daha iyi anlaşılması için ikinci bölümde bulanık bilişsel haritalar ve bulanık bilişsel haritalara odaklanmış çalışmalar detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Üçüncü bölümde önerilen yöntem mantıksal adımlara ayrılarak her mantıksal adım detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Dördüncü bölümde deneysel sonuçlara yer verilmiştir. Burada hem görüntü kareleri üzerinde takibi gerçekleştirilen nesnelerin sınır kutu pozisyonlarına ve bunların görselleştirilmiş hallerine hem de önerilen yöntemin kullandığı başarımlı hesaplama yöntemleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Ayrıca BBH inşasının her bir adımına ait sonuçlar da yine bu bölümde detaylı bir şekilde verilmiştir. Beşinci bölümde deneysel sonuçlar yorumlanarak önerilen yöntemin sağladığı problemin çözümünde sağladığı katkı ve avantajlardan bahsedilmiştir.

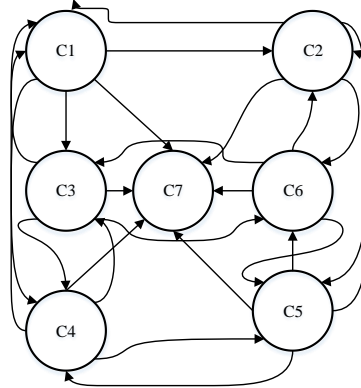
Tablo 1. Literatürdeki ÇGNT odaklı çalışmalarda kullanılan yöntemler.

Referans Numarası	Kullanılan Yöntem
[1]	Macar algoritması
[2]	Kalman Filtreleri ve graflar.
[3]	Homografi ve epipolar kısıtlamalar.
[4]	Kamera oryantasyonu.
[5]	Derin öğrenme
[6]	Konvolüsyonel Yapay Sinir Ağları ve uzaklık matrisleri.
[7]	Ağaç görselleştirme.
[8]	Bayesian filtreleme
[9]	Uzay-Zamansal Özellikler
[11]	YOLO ile Nesne Tespiti, Zaman ve Yer Özelliklerine Göre Nesne Etiketleme
[12]	Literatür İnceleme Çalışması

2. Bulanık Bilişsel Haritalar

Bulanık bilişsel haritalar, hem insan mantığına hem de buna karşılık gelen insan karar verme sürecine oldukça benzer olduğu düşünülen bir yaklaşımı takiben yumuşak bir hesaplama tekniğini içeren yapıya denilmektedir. Gösterimleri temelde çizge teorisine dayanmaktadır. BBH'lerle ifade edilecek bir sistem veya probleme ait özelliklerin her biri bir konsept olarak kabul edilir.

Bu özellikler arasındaki ilişkiler ise ağırlıklandırılmış komşuluklar ile ifade edilir. Bilişsel harita kavramı ilk olarak 1948 yılında Edward Tollman tarafından ortaya atılmıştır. Bulanık küme kavramı ise 1965 yılında L. A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Bulanık bilişsel harita kavramı 1986 yılında Bart Kosko tarafından kullanılmıştır. Şekil 2'de yedi düğümlü bir BBH yapısına yer verilmiştir.

**Şekil 2.** Yedi düğümlü bir BBH örneği.

BBH'lar $F(C,W)$ ile gösterilir. Burada;

- $C_i \rightarrow$ BBH'ya ait i . düğümü,
- $W_{ij} \rightarrow$ BBH'ya ait i ve j . düğüm arasındaki komşuluk ağırlığını ifade etmektedir.
- $W_{ij} \rightarrow [-1,1]$ aralığındaki değerlere sahip olabilir.

BBH iteratif bir yapıya sahiptir. Her bir iterasyondaki düğüm güncelleme işlemi aşağıdaki gibidir.

$$C_i^t = C_i + \sum_{j=1}^n (C_j W_{ji}) \quad (1)$$

BBH ile bir sistem modellenirken, sisteme ait özellikler konseptlerle, bu konseptler arasındaki ilişkiler ise ağırlıklarla ifade edilir. Sisteme ait konseptler belirlendikten sonra, konseptler arası ilişkiler gözetimsiz öğrenme yöntemleri, uzman görüşleri veya sisteme ait bir veri setinin işlenmesi sonucunda belirlenebilir. Sisteme ait konsept ve konseptler arası ilişkilerin belirlenmesinin ardından iteratif bir yapı olan BBH için kararlı durum kriteri ve aktivasyon fonksiyonu belirlenmelidir.

Bütün bu işlemlerin ardından bir sistemi modelleyen BBH inşası tamamlanmış olur. Daha sonra, alınan başlangıç konsept vektörleri ve önceden belirlenmiş ağırlıklar ile BBH işletimi başlatılır ve modellenen sistem simülasyonu bu şekilde sağlanmış olur. Herhangi bir öğrenme yöntemi ile takviye edilmemiş klasik ve statik

ağırlıklara sahip bulanık bilişsel haritaların, dinamik sistemleri modelleme konusunda bazı eksiklikleri ve başarısızlıkları görülmektedir. Bu durumun sebebi, statik ağırlıklara sahip bulanık bilişsel haritaların aynı konsept değerleri ve işletim zamanında aynı konsept ilişkilerini kullanmasından kaynaklanmaktadır. Literatürde BBH'lar üzerine odaklanmış birçok çalışma bulunmaktadır. Literatürde BBH'lerden yararlanan birçok çözüm önerisi bulunmaktadır.

Bunlardan birinde Gozhyj Aleksandr su kalitesinin modellenmesi için BBH'lerden yararlanmıştır [13]. Yapılan çalışmada öncelikle su kalitesine etki eden özellikler düğüm olarak ifade edilmiştir. Daha sonra düğümlerin ağırlıkları ve komşuluklar belirlenmiştir. BBH oluşturulup sistem karakteristiği analizi gerçekleştirilmiştir. BBH oluşturulduktan sonra, yapay veriler üzerinde yapılan simülasyonlar sonucu su kalitesi analizi gerçekleştirilmiştir.

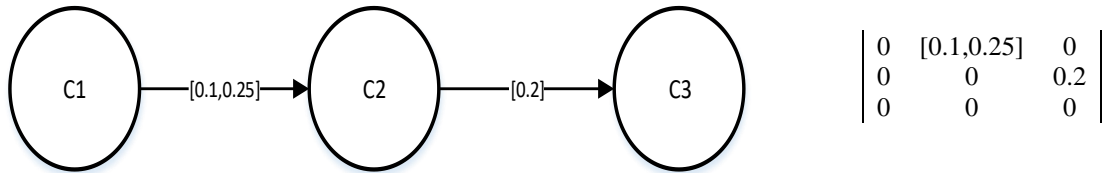
Başka bir çalışmada Pajares ve arkadaşları, BBH'nin bilgisayar görmesi uygulamalarındaki görevlerine yoğunlaşmışlardır [14]. Yapılan çalışmada ilk önce yola çıkma gayesi bilgisayar görmesi uygulamalarında ele alınan iki boyutlu görüntülerin gerçek hayatta üç boyutlu bir ortam içinden alınmış olmasıdır.

Çalışmaya göre iki boyutlu görüntüde üç boyutlu model elde etmek için gerekli olan ilişkiler korunmaktadır. Bundan ötürü iki boyutlu görüntülerden üç boyutlu model elde etmek mümkündür. Bahsedilen bu ilişkileri bir BBH ile modelleyerek üç boyutlama işlemi gerçekleştirmek mümkündür. Bu kapsamda çalışma, görüntü tanıma, görüntü üç boyutlama ve görüntü değişimi algılama gibi bilgisayarlı görme uygulamalarını BBH tabanlı bir bakış açısıyla gerçekleştirmiştir. Çalışmada ilk olarak görüntü sınıflandırma için BBH tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Buradaki sınıflandırma, görüntüdeki her pikselin bir kümeye ait olarak sınıflandırılması sağlayan bir birleşik sınıflandırıcıyı açıklar. Önerilen bu sınıflandırma yöntemi Bayes ağları ve Bulanık kümeleyici tabanlı bir eğitim aşaması ve BBH tabanlı bir karar aşamasından meydana gelmektedir.

Başka bir literatür çalışmasında ise, C. Chen vd., BBH'ler için farklı ağırlık eğitimi metodlarını ve eşik fonksiyonlarını incelemiş ve karşılaştırmışlardır [15]. Yapmış oldukları bu çalışmalardan yararlanarak kendi tabirleriyle esnek bir BBH yapısını sunmuşlardır. Burada verilen esnek BBH yapısı dinamik ağırlık güncelleme yeteneğine sahiptir. BBH'lerin yapay sinir ağı doğası kullanmış oldukları aktivasyon fonksiyonlarından kaynaklanmaktadır. Hesapsal zekâ yöntemlerinde en sık kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından biri sigmoid fonksiyondur. Bahsi geçen literatür çalışmasında verilen esnek BBH yapısında da sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile daha lineer bir aktivasyon fonksiyonu karşılaştırılmıştır. Aktivasyon fonksiyonları temelde hesapsal zekâ yönteminde kullanılan düğüm değerlerini 0,1 veya -1,1 aralığına ölçeklerler.

Başka bir çalışmada, Yuano M. tarafından BBH'nin nedensel ilişkileri modellerken statik bağlantılar kullanması sorununa odaklanıp dinamik bir BBH (DBBH) modeli önerilmiştir [16]. Daha önce de bahsedildiği gibi BBH'ler bir düğüm vektörü ve ağırlıklar matrisinden meydana gelmektedir.

Burada verilen DBBH yapısında iki düğüm arasındaki ağırlıkların tek bir değeri bulunmamaktadır. Yani ağırlıklar matrisinin her bir elemanı birer vektörle ifade edilebilir. Burada ağırlık vektörlerinden iterasyon esnasında kullanılacak elemanlar düğüm değerlerine veya iterasyon sayısına bağlı olarak seçilebilir. Şekil 1.4'te Yuano'nun verdiği DBBH modeline ait örnek bir yapıya yer verilmiştir.



Şekil 3. Literatür çalışmasında verilen dinamik BBH modeli ve ona ait ağırlık matrisi [16].

Başka bir çalışmada Bhutani K. vd. bulanık çıkarım sistemi (BÇS) ve BBH tabanlı bir sınıflandırma yöntemi vermişlerdir [18]. Yapılan çalışmada, BBH ile beraber kullanılan BÇS bir veri seti üzerinde uygulanmış ve BBH yapısı kaynak ve aralık adı verilen iki düğüm grubunun bipartite eşleştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin veri seti üzerindeki başarıyı %100 olarak belirlenmiştir. Kullanılan veri setinin girişleri;

- Yaş,
- Gözlük reçetesi,
- Astigmatik durum,
- Gözyaşı oranı olarak belirlenmiştir.

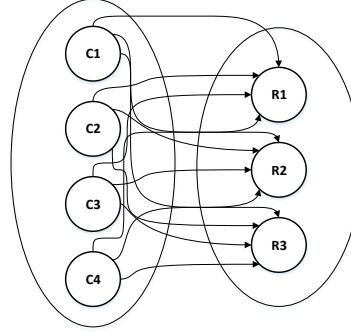
Sınıflandırma işleminin gerçekleştirileceği sınıflar ise;

- Yumuşak lensler,
- Sert lensler,
- Lens kullanmamalı.

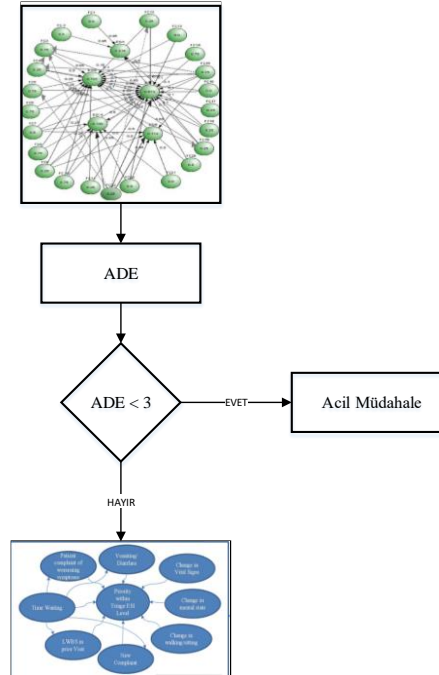
Toplam 24 veriden oluşan veri setinin 14 verisi eğitim için 10'u ise test için kullanılmıştır. Öncelikle veri seti üzerinde üçgen üyelik sınıfları kullanan bir BÇS işlemi uygulanmıştır. Daha sonra Şekil 1.5'te verilen yazarlar tarafından Bulanık İlişkisel Harita olarak adlandırılan (BİH) BBH modeli üzerinde sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Başka bir çalışmada Georgopoulos ve Stylios hastanelerin acil servislerinde hastalara müdahale önceliği için kritik durum sınıflandırması işlemini BBH tabanlı bir yöntemle gerçekleştirmişlerdir [19]. Triyaj, hastaların acil servislerde durumunu değerlendirmek ve kategorize etmek için yapılan işlemdir.

Acil servislerin kalabalık oluşu hastaların zamanında uygun tıbbi yardım alma sürecini oldukça zorlaştırmaktadır. Yapılan çalışmada öncelikle bir BBH modeli ile Acil Durum Şiddeti Endeksi (ADE) belirlenmiştir. Bahsi geçen bu ADE 1 ile 5 arasında değer almaktadır. Burada ADE'nin belirlenmesi için 23 özelliğe sahip bir BBH yapısı kullanılmıştır. Bu 23 özellik, hastada görülen semptomlar, hasta yaşı, hayati belirtiler, ağrı şiddeti vs. gibi özelliklerden oluşmaktadır. Yapılan bu BBH tabanlı işlemden sonra elde edilen ADE eğer 1 veya 2 ise hastanın acil bakıma ihtiyacı olduğu belirtilmektedir. Diğer durumlarda ise dinamik öncelik hesaplayan BBH modeli işletilir ve triyaj işlemi bu şekilde gerçekleştirilir. Literatür çalışmasına ait blok diyagramına Şekil 5'de yer verilmiştir.



Şekil 4. Literatür çalışmasında verilen BBH modeli [18].

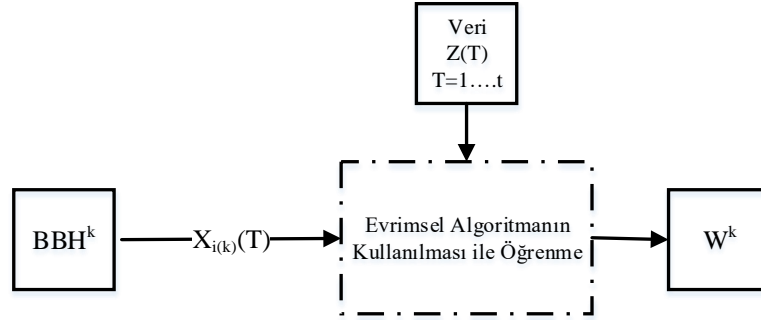


Şekil 5. Literatür çalışmasına ait blok diyagramı [19].

Diğer bir literatür çalışmasında, kompleks BBH'ların evrimsel öğrenme algoritmalarının analizi gerçekleştirilmiştir [20]. Yapılan çalışmada, BBH inşa adımları, ilgili probleme ait konseptlerin belirlenmesi, çıktı olarak değerlendirilecek konseptlerin belirlenmesi ve konsept ilişkilerinin belirlenmesi olarak ifade edilmiştir. Bu noktada literatür çalışmasının hedefi konsept ve konsept ilişkilerinin minimize ederek BBH yapısının çalışabileceği en iyi performansta uygulanmasını sağlayacak BBH inşasını gerçekleştirmektir. Önerilen yöntemin sağladıkları;

- Graf teorisi kriterlerine dayalı temel konseptlerin seçilmesi ve aralarındaki ilişkilerin belirlenmesi,
- Çıktı konseptlere dayalı öğrenme kriterinin belirlenmesi ve öğrenme sürecini analiz edilen probleme bağlanmasıdır.

Geliştirilen yöntemin optimum BBH inşası için gerekli konsept ve konsept ilişkilerini belirlemede uyguladığı adımlara Şekil 6'da yer verilmiştir.



Şekil 6. Literatür çalışmasında verilen yönteme ait blok diyagramı [20].

Literatürdeki çözüm önerileri incelendiğinde BBH tabanlı bir bakış açısı kullanan araştırmacılar aşağıda ifade edilen adımları izlemektedir;

- BBH'ın çözüm üreteceği problem veya modelleyeceği sistem özelliklerinin BBH konseptleri ile bulanıklaştırılarak ifade edilmesi,
- BBH konseptlerinin kullanacağı aktivasyon fonksiyonunun belirlenmesi,
- Belirlenen konseptler arasındaki bilişsel ilişkilerin belirlenmesi için kullanılan yöntemin seçilimi,
- BBH'ın iterasyonlardaki statik veya dinamik işleme sahipliğinin belirlenmesi,
- Dinamik işleme sahip BBH'lar için çevrimiçi ağırlık belirleme veya güncelleme yönteminin seçilmesi,
- BBH durdurma kriterinin belirlenmesi.

Yukarıda verilen literatür çalışmalarında da BBH'ların çok farklı alanlardaki problemlerin çözümlerine odaklandığını görülmektedir. Burada bahsi geçen uygulama alanlarına endüstri, sağlık, enerji, bilgisayar bilimi, ekoloji vs. örnek verilebilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus ele alınan probleme ait özelliklerin BBH konseptine dönüşümlerinin sağlanmasıdır. Bununla beraber BBH'ların geliştirilmesinden itibaren araştırmacılar bazı noktalarda statik işletimli yani sistem veya probleme ait bütün fazlarda aynı bilişsel ağırlıkların kullanıldığı BBH işletimlerini yetersiz görerek BBH'lara daha dinamik bir bakış açısı kazandırmaya veya statik işletimli BBH'larda farklı ağırlık belirleme yöntemlerinin geliştirilmesine odaklanmışlardır. BBH'ların statik ağırlık belirleme veya dinamik ağırlık güncelleme işlemleri için gözetimsiz öğrenme teknikleri (Hebbian vs.) , sezgisel optimizasyon teknikleri, bulanık mantık, gözetimli öğrenme teknikleri (Yapay Sinir Ağı vs.) kullanılmıştır. Ayrıca BBH'lar ele aldığı problemlerde bir sınıflandırıcı veya hesaplayıcı rol de üstlenebilmektedirler. Tablo 2'de literatürdeki BBH odaklı çalışmalara ait bazı özelliklere yer verilmiştir.

Tarafımızca yapılan yüksek lisans tezi ve bu tez çalışmasından doğan bazı akademik çalışmalarda konsept ilişkilerinin çevrimiçi güncellendiği derin yapay sinir ağlarını kullanan farklı bir DBBH yapısı önerildi [21-23].

Yine geliştirilen bu DBBH yapısı farklı sanal sayısal senaryolar ve nesne takibi uygulamaları üzerinde test edilmiştir. Burada tez çalışmamız içerisinde ve bu çalışmadan doğan [23] referans numaralı bildirimizde çoklu nesne takibi işlemi için önerilen derin yapay sinir ağlarını kullanan DBBH'tan yararlanılmıştır. Buradaki işlemde DBBH ardışık görüntü kareleri arasındaki nesnelerin eşleştirme skorlarını hesaplayarak bir sınıflandırıcı işlevindeydi. Bununla beraber tez çalışması üzerinde önerilen DBBH bakış açısının doğruluğunu test etmek için kullanılan sanal senaryolara ait sonuçları [22] referans numarası ile verdiğimiz çalışmamızda sunulmuştur. Burada verilen sanal senaryolarda DBBH hesaplayıcı bir rol üstlenmiştir. Bu çalışmada ise yüksek lisans tezi çalışmamızda geliştirilen DBBH yapısı ile çoklu görüde nesne takibi işlemi sunmaya odaklanılmıştır. Çoklu görüde nesne takibi uygulamasının, tekli görüde çoklu nesne takibi uygulamasından temel farkı DBBH'nın sınıflandırıcı değil hesaplayıcı bir rol ile kullanılmasıdır. Yani burada DBBH çoklu görüye sahip bir sistemde

referans bir görüntüleme aygıtına ait görüntü kareleri üzerinden tespit edilen nesne sınır kutularının pozisyonlarını başlangıç konsept vektörü olarak alır ve diğer görüntü kareleri üzerindeki karşılıklarını hesaplar. DBBH inşası ve önerilen yöntemin testi için bir basketbol antrenmanını görüntüleyen iki adet kameradan elde edilmiş görüntü kareleri ve bu kareler üzerinde tespit edilen nesnelerin sınır kutusu bilgilerini barındıran gerçek değer (ground truth) dosyalarından yararlanılmıştır. Önerilen yöntemin performans değerlendirmesi ise birleşim kesişimi (Intersection over Union) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. BBH odaklı literatür çalışmalarına genel bakış.

Referans Numarası	Ağırlık Belirleme Yöntemi	Uygulama Alanı
[13]	Uzman Görüşleri	Ekoloji
[14]	Bulanık Üyelik Fonksiyonları	Bilgisayarlı Görme
[15]	Gözetimsiz Öğrenme Yöntemleri	BBH Dinamikleştirme
[16]	Karar Fonksiyonları	BBH Dinamikleştirme
[17]	Büyük Veri Setleri ve Uzman Görüşleri	BBH Tasarımı
[18]	Bulanık Çıkarım Sistemleri	Sınıflandırma
[19]	Uzman Görüşleri	Sağlık
[20]	Evrimsel Algoritmalar	BBH Tasarımı
[21]	Derin Yapay Sınır Ağları, Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri	BBH Dinamikleştirme, BBH Tasarımı, Nesne Takip Uygulamaları
[22]	Derin Yapay Sınır Ağları, Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri	BBH Dinamikleştirme, BBH Tasarımı
[23]	Derin Yapay Sınır Ağları, Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri	Çoklu Nesne Takibi
[24]	Genetik Algoritma	BBH Tasarımı
[25]	Parçacık Sürü Optimizasyonu	BBH Dinamikleştirme

3. Önerilen Yöntem

Çoklu görüde nesne takibi işlemi, aynı alanın birden fazla görüntüleme aygıtı ile kaydedildiği görüntü dizilerinde yapılan nesne takibi işlemidir. Bizim buradaki amacımız iki veya daha fazla kamera ile görüntülenmiş bir alanın üzerinde nesne takibini gerçekleştirirken kameralardan birinin kaydettiği görüntü karelerini referans olarak kabul edip bu görüntü karesi üzerinde tespit edilen nesnelerin kontur pozisyonunu diğer görüntü kareleri üzerinde işaretlemektir. Bu çalışmada da daha önce ifade edildiği ÇGNT işlemi için derin öğrenme kullanan DBBH'lardan yararlanılmaktadır. Daha önce DBBH kullanan çözüm önerilerinde araştırmacıların izlemesi gereken adımlara ve göz önünde bulundurması gereken durumlara yer vermiştik. Önerilen yöntemin detaylı ve anlaşılır bir biçimde açıklanması için bahsi geçen bu DBBH yaklaşım adımlarının her biri ayrı ayrı ele alınacaktır.

A. DBBH Konseptlerinin Belirlenmesi

BBH tabanlı bir çözüm önerisi geliştirilirken öncelikle probleme ait özelliklerin DBBH konsepti olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Ele alınan ÇGNT işleminde referans görüntü karesi üzerinde tespit edilen nesne sınır kutularının pozisyonları başlangıç konsept vektörü olarak kabul edilmektedir. DBBH kararlı duruma geldiğinde ise elde edilen çıktı konsept vektörü hedef görüntü karesinde ele alınan nesneye ait sınır kutularının pozisyonlarını ifade etmektedir. Sonuç olarak DBBH konseptleri nesne sınır kutusunu ifade eden referans pozisyonun yatay eksenindeki değeri (X_c), düşey eksenindeki değeri (Y_c), sınır kutusunun düşey uzunluğu ($L1_c$) ve sınır kutusunun yatay uzunluğu ($L2_c$) olarak belirlenmiştir. Problem özelliklerinin bulanıklaştırılma işlemine ait matematiksel gösterimler Denklik 2'deki gibidir. Denkliklerden de anlaşılacağı üzere bulanıklaştırma işlemi için her özellik alabileceği maksimum değere bölünmüştür. Şekil 7'de DBBH konseptlerinin özelliklerini ifade eden bir blok diyagramına yer verilmiştir. DBBH konseptlerinin kullanacağı aktivasyon fonksiyonu Sigmoid olarak belirlenmiştir (6).

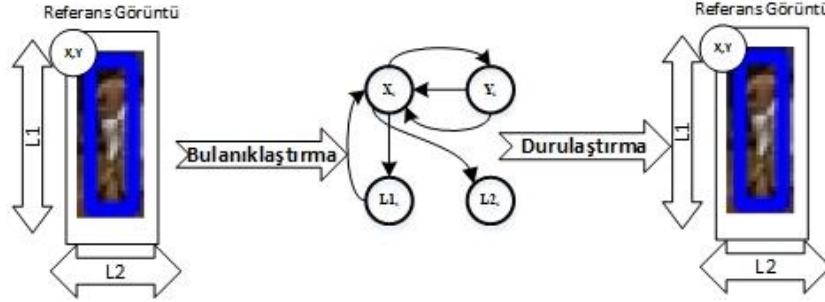
$$L1_c = \frac{L1}{\max(L1)} \quad (2)$$

$$L2_c = \frac{L2}{\max(L2)} \quad (3)$$

$$X_c = \frac{X}{\max(X)} \quad (4)$$

$$Y_c = \frac{Y}{\max(Y)} \quad (5)$$

$$\text{sig}(x) = \frac{1}{1+(e)^{-\lambda x}} \quad (6)$$



Şekil 7. DBBH konseptlerini ifade eden diyagram.

B. DBBH İşletimi

Daha önce de bahsedildiği gibi bu çalışmadaki DBBH işletimi derin yapay sinir ağlarından yararlanmaktadır. Bahsi geçen derin yapay sinir ağı ile her iterasyonda DBBH ağırlık matrisi, konseptlerin anlık değerlerine bağlı güncellenecektir. Dolayısıyla derin yapay sinir ağının giriş olarak DBBH konsept vektörünün o anki halini alırken çıkış olarak vektörleştirilmiş DBBH ağırlık değerlerini verecektir. DBBH durdurma kriteri gerçekleştirilene kadar her iterasyonda ağırlık güncelleme işlemi devam edecektir. Şekil 8’de DBBH işletim adımlarına yer verilmiştir. DBBH’ın durdurma kriteri ise DBBH konseptlerinin kararlılığına bağlı bir fonksiyon ile ifade edilmiştir. Burada konsept kararlılığı DBBH konseptlerinin iterasyon sonlarında değişim değerlerinin 0’a yaklaşmasını ifade eder. Kararlılık fonksiyonu ise ardışık iterasyonlardaki ortalama konsept değişim değerinin kararlılık toleransı değerinden (ϵ) küçük olup olmadığını kontrol eder.

C. DBBH İnşası

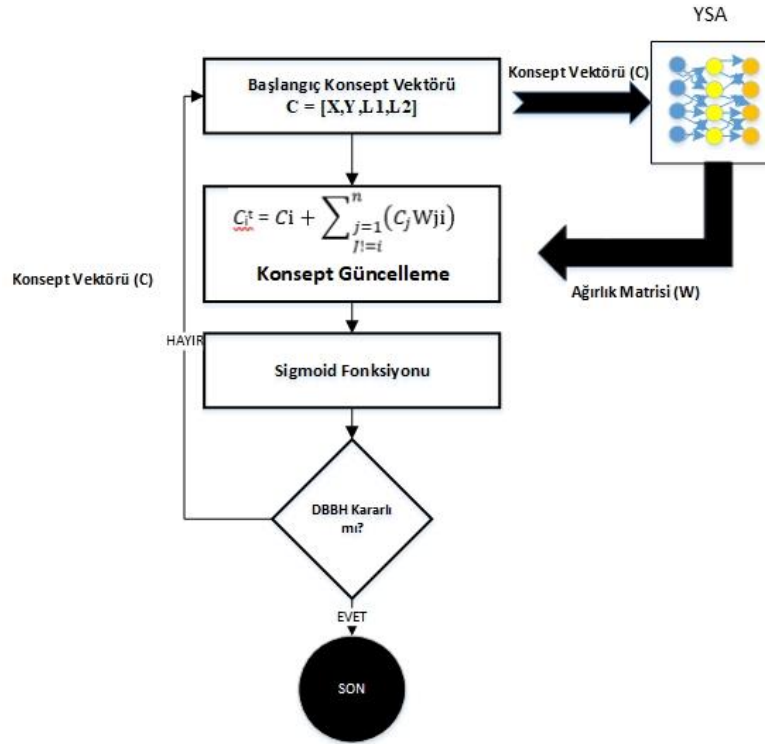
DBBH işletim yönteminin belirlenmesinin ardından istenilen özellikleri gerçekleştirebilecek DBBH’ın inşası için öncelikle ağırlık matrisini güncelleyecek derin yapay sinir ağı modelinin eğitilmesi gerekmektedir. Burada ele alınan derin yapay sinir ağının öncelikle 4 adet giriş ve 16 adet çıkış nöronuna sahip olması gerekmektedir. Burada giriş nöronlarına her iterasyon başında DBBH’ın anlık konsept vektör değerleri verilecek ve 16 elemanlı vektör olarak alınan ağırlık değerleri (4x4)’lük bir matrise çevrilerek DBBH ağırlık matrisi güncellenecektir. Burada derin yapay sinir ağının yapısına bakıldığında YSA eğitimi için içerisinde başlangıç konsept vektörlerine karşılık gelen ağırlık vektörünü bulduran bir veri seti gerekmektedir. Bu noktada böyle bir veri setine ham bir şekilde ulaşmak mümkün değildir. Çünkü mevcut ÇGNT veri setlerinde ancak tespit edilen nesnelerin sınır kutusu pozisyonlarının tutulduğu gerçek değer (ground truth) dosyaları sunulmaktadır. Yani DBBH konsept bakış açısıyla veri setlerini ele alacak olursak başlangıç konsept değerlerine karşılık gelen kararlı durum konsept değerlerinin bulunduğu veri seti ham olarak sahip olabiliriz. Dolayısıyla yapay sinir ağı eğitimi için bir veri seti dönüşümü işleminin gerçekleştirilmesi gerekir. Buradaki veri seti dönüştürme işlemi için veri setindeki her başlangıç konsept vektöründen DBBH işletimi ile kararlı konsept vektörünün elde edilmesi için gereken bilişsel ağırlıklar genetik algoritma tabanlı bir yöntem ile hesaplanmıştır. Dönüştürülen veri setinin elde edilmesinin ardından farklı eğitim parametrelerinin (gizli katman sayısı, öğrenme oranı, aktivasyon fonksiyonu vs.) kullanıldığı birden fazla YSA eğitimi işlemi gerçekleştirilmiştir ve bu eğitilmiş YSA modellerinden başarıyı en yüksek olan model DBBH işletimi için kullanılmıştır.

D. Genetik Algoritma Tabanlı Veri Seti Dönüşümü

Daha önce de bahsedildiği gibi derin yapay sinir ağının eğitiminde kullanılacak veri setinin başlangıç konsept vektörlerine karşılık gelen ağırlık değerlerinin bulunması gerekmektedir. Burada gerekli olan tipteki veri setinin elde edilmesi için genetik algoritma tabanlı bir veri seti dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin

gerçekleştirilmesi için öncelikle kimliklendirilmiş nesne konturlarının her görüntü karesi üzerindeki pozisyonlarını tutan bir veri setine ihtiyaç duyulmaktadır. Böyle bir veri setinden istenilen formattaki veri setini elde etmek için referans görüntü karesine ait kontur pozisyonları bulanıklaştırılarak DBBH'nin başlangıç durum vektörü olarak kabul edilir. Daha sonra, referans görüntüdeki nesne konturlarının diğer görüntü kareleri üzerinde ifade edilmesi için diğer görüntü kareleri üzerindeki kontur pozisyonları bulanıklaştırılarak istenilen konsept vektörü olacak şekilde genetik ağırlık belirleme işlemi gerçekleştirilir.

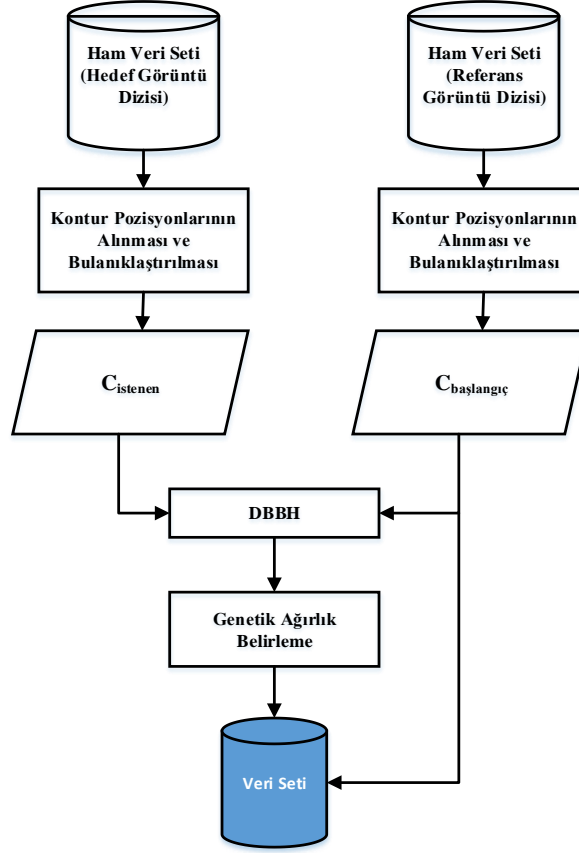
Burada referans kamera ile kayıt edilmiş görüntü dizileri haricindeki bütün görüntü dizileri için bu işlemin gerçekleştirilmesi ve farklı kameralar ile kaydedilmiş her görüntü dizisi için ayrı bir derin yapay sinir ağı modeli eğitilir. Şekil 9'da ham veri setinden istenilen formatta veri seti elde etmek için gerekli adımların blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 8. DBBH İşletim adımları.

Blok diyagramı incelendiğinde nesne sınır kutusu pozisyonlarının veri setinden alınması ve bulanıklaştırma işlemi gerçekleştirilir. Bu adımdan itibaren belirlenmiş popülasyon büyüklüğü ve durdurma kriterine sahip genetik algoritma adımları başlar. Genetik Ağırlık belirleme adımına ait blok diyagramı Şekil 10'daki gibidir. Genetik algoritma içerisindeki her bir kromozom birer DBBH ağırlık matrisidir. Dolayısıyla genler bu ağırlık matrisinin her bir elemanını ifade etmektedir. Genetik Algoritmanın başlangıç popülasyonunun oluşturulması için ağırlık değerleri rastgele bir yaklaşımla oluşturulmaktadır. Başlangıç popülasyonunun belirlenmesinin ardından her kromozomu ifade eden ağırlık matrisleri ve başlangıç konsept vektörü (Cbaşlangıç) ile BBH işletimi gerçekleştirilir. BBH işletiminin gerçekleştirilmesinin ardından elde edilen kararlı konsept vektörü (Ck) ve istenilen konsept vektörü (Cistenen) elemanlarının ortalama sapmaları hesaplanır. Burada elde edilen değer 1'den çıkarılmasıyla her kromozoma ait uygunluk değerleri belirlenir. Bu adımdan sonra kromozomların çaprazlanması ile yeni çocuk kromozomlar elde edilir ve bunların da uygunluk değerleri hesaplanarak çaprazlama işlemi gerçekleştirilir. Genetik ağırlık belirleme işleminin durdurma kriteri en iyi kromozom uygunluk oranının %95'ten büyük olmasıdır. Ayrıca bilindiği üzere BBH işletimi esnasında konseptler sigmoid fonksiyonuna tabi tutulmaktadır. Genetik ağırlık belirleme işlemi sırasında kromozomların yakınsama durumunun farklı sigmoid

lambda (λ) değerlerine göre değiştiği gözlemlenmiştir. Genetik ağırlık belirleme işlemi farklı lambda değerlerinin kullanıldığı BBH yapıları için birden fazla gerçekleştirilmiştir.



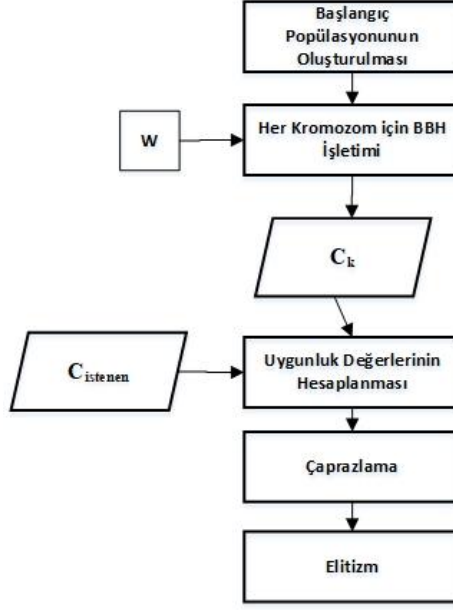
Şekil 9. Ham veri setlerinden istenilen formattaki veri setinin elde edilmesi.

E. Derin Yapay Sinir Ağı Eğitimi

Derin yapay sinir ağları birden fazla gizli katmana sahip yapay sinir ağlarıdır. Önerilen yöntemde istenilen formattaki veri setinin elde edilmesinin ardından farklı yapay sinir ağı eğitim parametrelerine göre birden fazla yapay sinir ağı modeli eğitilmiştir. Bunların içerisinde en yüksek başarıma sahip olan yapay sinir ağı modeli DBBH işletimi esnasında kullanılmıştır. Burada bahsedilen eğitim parametreleri ise katmanlarda kullanılan aktivasyon fonksiyonları, gizli katman sayısı, gizli katmanlara ait nöron sayıları, öğrenme yöntemi, öğrenme oranı, öğrenme iterasyon sayılarıdır. Burada bilişsel ağırlıklar -1 ile 1 değer aralığında olduğu için aktivasyon fonksiyonlarının sınır değerleri oldukça önemlidir. Örneğin hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonunun sınır değerleri $[-1,1]$ aralığında iken sigmoid fonksiyonunun sınır değerleri $[0,1]$ aralığındadır. Bu kapsamda yapay sinir ağı eğitiminde sigmoid fonksiyonu gibi sınır değeri $[0,1]$ aralığında bulunan bir aktivasyon fonksiyonu kullanılırsa bir normalizasyon (n) ve denormalizasyon fonksiyonu kullanılmalıdır. Burada ağırlık değerlerinin normalizasyonu ve denormalizasyonunu ifade eden matematiksel denklemler 7 ve 8'deki gibidir. Eğitim işleminde öğrenme yöntemi olarak "Adam Optimizer" kullanılmıştır.

$$n(w) = \frac{w+1}{2} \quad (7)$$

$$d(w) = (w \times 2) - 1 \quad (8)$$



Şekil 10. Genetik ağırlık belirleme adımı.

4. Deneysel Sonuçlar

Çoklu görüde nesne takibi işlemi için daha önce de belirtildiği gibi, referans bir görüntüleme aygıtı ile çekilmiş görüntü kareleri üzerinde tekli görüde çoklu nesne takibi işleminin gerçekleştirilmesinden sonra, burada belirlenen kontur pozisyonlarının farklı görüde kaydedilmiş görüntü kareleri üzerinde karşılığının belirlenmesi gerekmektedir. Burada uygulama için kullanılacak DBBH'nin inşası içinde öncelikle ham veri setinden içinde DBBH ağırlıklarının bulunduğu istenilen formattaki veri setinin elde edilmesi için genetik ağırlık belirleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada kullanılan veri seti bir basketbol antrenmanını farklı görülerden kaydeden iki adet görüntüleme cihazından alınmış görüntülerden oluşmaktadır.

Veri setinin gerçek değer dosyalarında bulunan nesne kontur değerlerinin %10'u ile genetik ağırlık belirleme işlemi gerçekleştirilip, elde edilen istenilen formatta veri seti ile yapay sinir ağı eğitimi gerçekleştirilmiştir. Genetik ağırlık belirleme adımı, optimum değerlere yakınsama için, BBH sigmoid lambda değerinin düzgün bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Şekil 11'de farklı sigmoid lambda değerlerinde işletilmiş genetik algoritmanın yakınsama grafiğine yer verilmiştir.

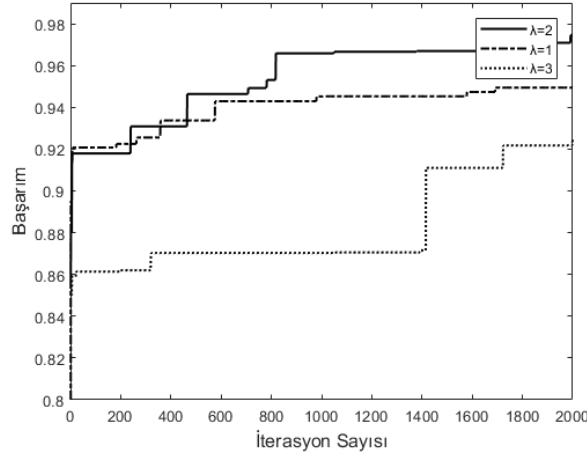
Şekil 11'de görülmektedir ki verilen problemin çözümünde kullanılacak DBBH sigmoid lambda değeri 2 olarak seçilmelidir. Tablo 3 ve 4'de kullanılan derin yapay sinir ağına ilişkin bilgiler bulunmaktadır. Kullanılan DBBH yapısı, 4 adet bulanıklaştırılmış kontur pozisyonu ve 1 adet yardımcı konseptten oluştuğu için yapay sinir ağına girdi katmanında 4 adet çıktı katmanında ise 25 adet nöron bulunması gerekir.

Tablo 3. Farklı eğitim faktörlerine göre YSA eğitimi başarımı.

Gizli Katman Sayısı	Aktivasyon Fonksiyonu	Öğrenme Oranı	Standart Fark	Eğitim Başarımı
3	Sigmoid	0.1	0.1	0.92
4	Sigmoid	0.001	0.001	0.90
4	Tanh	0.01	0.01	0.91
4	Sigmoid	0.1	0.1	0.92
4	Sigmoid	0.01	0.01	0.90
5	Sigmoid	0.01	0.01	0.91
5	Sigmoid	0.01	0.01	0.91
4	Tanh	0.01	0.01	0.92
4	Sigmoid	0.01	0.01	0.93

Tablo 4. Derin YSA'ya ait gizli katman nöron sayıları ve başarımlara yer verilmiştir.

Gizli Katman	Gizli Katman	Gizli Katman	Gizli Katman	Başarım
1	2	3	4	
8	8	32	32	%92.80
8	32	32	8	%91.12
4	64	64	32	%90.28
16	16	256	512	%92.61
8	16	16	8	%93.77
4	16	16	32	%94.47



Şekil 11. Farklı lambda değerlerine bağlı genetik ağırlık belirleme yakınsama grafiği.

Yapay sinir ağı eğitimi de gerçekleştirildikten sonra, referans görüntüdeki, kontur pozisyonları bulanıklaştırılarak, derin öğrenme kullanan DBBH'a sunulmuştur ve DBBH pozisyon tahminini yüksek bir başarımla gerçekleştirmiştir. Tablo 5'de DBBH'ın tahmin ettiği kontur pozisyonları ve gerçek konturlarla olan kesişimlerine bağlı başarımlarına yer verilmiştir. Burada kesişim hesaplama için kullanılan denklik, Denklem 9-12'deki gibidir. Tablo 6'da aynı konturların DBBH'ın referans kabul ettiği görüdeki pozisyonları, Tablo 7'de ise DBBH'ın tahmin ettiği kontur pozisyonlarının referans görüdeki karşılıklarına yer verilmiştir.

$$I_x = |RefX_1 - GX_1| \tag{9}$$

$$I_y = |RefY_1 - GY_1| \tag{10}$$

$$Kesişim Oranı = 100 \times ((RefX \times RefY) - I_s) / (RefX * RefY) \tag{11}$$

Tablo 5. DBBH tarafından tahmin edilen kontur pozisyonları.

Görüntü Karesi	Nesne id	X1	Y1	X2	Y2	Kesişim Oranı
1	0	283	34	319	114	%98,6
1	1	216	47	303	204	%99,4
1	2	246	37	274	116	%78,57
1	3	234	36	259	109	%69,2

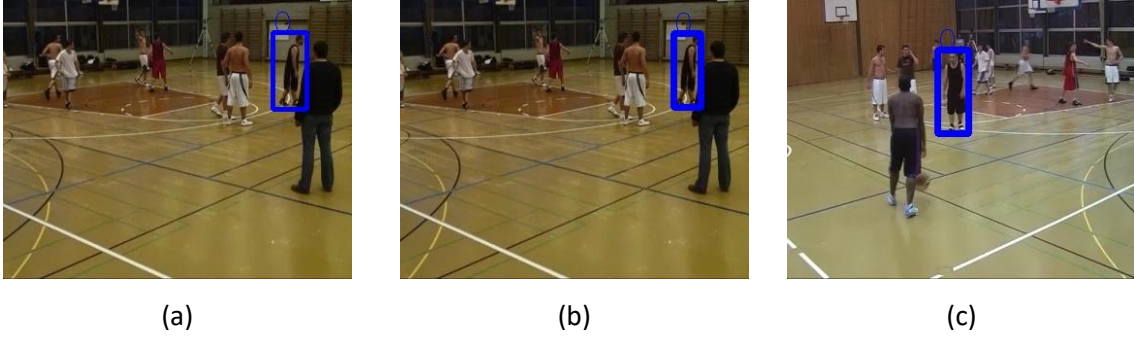
Tablo 6. DBBH tarafından tahmin edilen kontur pozisyonlarının gerçek değerleri.

Görüntü Karesi	Nesne id	X1	Y1	X2	Y2
1	0	282	35	310	111
1	1	215	43	313	200
1	2	224	33	258	129
1	3	211	35	241	123

Tablo 7. DBBH tarafından tahmin edilen kontur pozisyonlarının referans görüntüdeki karşılığı.

Görüntü Karesi	Nesne id	X1	Y1	X2	Y2
1	0	155	53	188	39
1	1	1	52	18	119
1	2	80	45	109	126
1	3	110	46	136	125

Şekil 12’de referans görüntü karesi üzerinde işaretlenmiş tek bir nesneye ait sınır kutusuna, ilgili nesnenin DBBH tarafından hesaplanan sınır kutusuna ve hedef görüntüde ilgili nesneye ait gerçek sınır kutusuna yer verilmiştir. Şekil 13’de ise birden fazla nesnenin referans görüntüdeki sınır kutusuna, DBBH tarafından hesaplanmış sınır kutusuna ve hedef görüntüdeki gerçek sınır kutusuna yer verilmiştir.

**Şekil 12.** Hedef görüntüdeki sınır kutusu (a), DBBH’ın elde ettiği sınır kutusu (b) ve referans görüntüdeki sınır kutusu (c).**Şekil 13.** DBBH’ın elde ettiği sınır kutusu (a) ve hedef görüntüdeki sınır kutusu (b).

6. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada çoklu görüde nesne takibi işlemi için bulanık bilişsel haritalara dayalı bir bakış açısı gerçekleştirilmiştir. Çoklu görüde nesne takibi işleminde nesnelerin her görüntü karesi için ayrı ayrı tespit edilmesi yüksek algoritmik maliyete sahip bir bakış açısıdır. Bundan ötürü nesnelerin takibi için referans bir görüntüleme aygıtı ile elde edilmiş görüntü kareleri üzerinde tespit edilip diğer görüntü kareleri için bu nesne konumlarının hesaplanması çok daha verimli bir bakış açısıdır. Literatürde çoklu görüde nesne takibi uygulamaları için kamera pozisyon bilgilerine dayalı veya hesapsal zeka yöntemlerinden yararlanan bakış açıları kullanılmaktadır. Bulanık bilişsel haritalar (BBH) ise bir probleme ait özellikleri ve bu özellikler arasındaki ilişkileri graflar (çizge) üzerinde ifade eder ve iteratif bir hesaplama işlemi gerçekleştirir. Bulanık bilişsel haritaların sunulan ilk halinde iterasyonlarda konseptler arası ilişkiler sabit kalmaktaydı bu da dinamik problemlerin çözümü için BBH’ların yetersiz kalmasına sebep oluyordu.

Bundan ötürü BBH üzerine çalışan araştırmacılar farklı bakış açılarıyla BBH'ları dinamikleştirmeye odaklandılar. Tarafımızca yapılmış geçmiş çalışmalarda derin yapay sinir ağlarını kullanan dinamik bir BBH yapısı önerilmiştir. BBH ilişkilerinin eğitilmiş derin yapay sinir ağı modelinden elde edildiği bahsi geçen çalışmada inşa edilen DDBH'ların gerçek dünya sistemlerini modelleme başarımının oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada da ÇGNT işlemi için inşa edilen DBBH yapısı bahsedilen derin yapay sinir ağı tabanlı bir çevrimiçi ağırlık güncelleme kabiliyetine sahiptir. Kullanılan DBBH'nın konseptleri ele alınan nesnelere ait konturların sınır kutusu konumlarının bulanıklaştırılmış halleridir. Başlangıç DBBH konsept değerleri sınır kutularının referans görüntüdeki konum değerlerini ifade ederken, kararlı DBBH konsept değerlerinde hedef görüntü karesindeki nesne sınır kutularının konumlarının hesaplanması hedeflenmiştir. Geliştirilen yöntem, bir basketbol antrenmanının görüntü ve nesne kontur gerçek değerlerini (ground truth) barındıran bir veri seti üzerinde test edilmiştir. Burada veri setinin %70'i eğitim için %30'u ise test işlemleri için kullanılmıştır. DBBH'nın ağırlık güncelleme işlemlerini gerçekleştirecek derin yapay sinir ağının girişi DBBH konsept değerleri çıkışı ise vektörleştirilmiş ağırlık matrisi olması gerekmektedir. Burada derin yapay sinir ağı eğitimi için veri setinin konsept değerlerine karşılık gelen ağırlık matrisini bulunduran bir forma dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem genetik algoritma (GA) tabanlı bir bakış açısıyla gerçekleştirilmiştir. GA tabanlı veri seti dönüşümü işlemi %95'in üzerinde bir başarımla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veri seti ve farklı eğitim parametreleri ile birden fazla YSA eğitimi gerçekleştirilerek %94,47'lik test başarımına sahip olan YSA modeli DBBH işletiminde kullanılmıştır. Çalışmada odaklanılan problemin karmaşıklığından ötürü klasik BBH öğrenme yöntemleri DBBH'nın düşük bir başarımla modelleme yapmasına sebep olmaktadır. DBBH inşasında derin yapay sinir ağlarından yararlanmak DBBH'a kompleks sistemleri modelleyebilme yeteneği kazandırmıştır. DBBH işletimi sonucunda elde edilen nesne kontur sınır kutusu konumları birleşim kesişimi (Intersection of Union) adına bir başarımla hesaplama yöntemi ile test edilmiş ve minimum %67,4 maksimum %99,8'lik başarımlar elde edilmiştir. Önerilen yöntemin ortalama birleşim kesişim başarımı ise %88,2'dir. Bununla beraber çalışma içerisinde verilen Şekil 13 ve 14 ile önerilen yöntemin başarımının nitel gözleminin gerçekleştirilmesine imkân verilmiştir. Önerilen yöntem ile ÇGNT işlemi yüksek başarımla ve performans ile gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Chen W, Cao L, Huang K. A novel solution for multi-camera object tracking. 2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP); 2014; pp. 2329-2333.
- [2] Jahanshahi P, Masoud A, Moghadam E. Multi-view tracking using Kalman filter and graph cut. 2015 AI & Robotics (IRANOPEN);2015; Qazvin. pp. 1-5.
- [3] Yun Y, Gu I, Aghajan H. Maximum-likelihood object tracking from multi-view video by combining homography and epipolar constraints. 2012 Sixth International Conference on Distributed Smart Cameras (ICDSC); 2012; Hong Kong. pp. 1-6.
- [4] Chen Z, Liao W, Xu B, Liu H, Li Q, Li H, Yang D. Object Tracking over a Multiple-Camera Network. 2015 IEEE International Conference on Multimedia Big Data; 2015; Beijing. pp. 276-279.
- [5] He L, Liu G, Tian G, Zhang, J, Ji, Z. Efficient Multi-View Multi-Target Tracking Using a Distributed Camera Network. IEEE Sensors Journal; 2020; vol 20; no 4; pp. 2056-2063.
- [6] Qian Y, Yu L, Liu W, Hauptmann A. ELECTRICITY: An Efficient Multi-camera Vehicle Tracking System for Intelligent City. 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW); Seattle; 2020. pp.2511-2519.
- [7] Chou Y S, Wang C Y, Chen M C, Lin S D, Liao H Y M. Dynamic Gallery for Real-Time Multi-Target Multi-Camera Tracking. 2019 16th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS); Taipei, Taiwan; 2019. pp.1-8.
- [8] Ong J, Vo B T, Vo B N, Kim D Y, Nordholm S. A Bayesian Filter for Multi-view 3D Multi-object Tracking with Occlusion Handling. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2020.
- [9] Zhang X, Izquierdo E. Real-Time Multi-Target Multi-Camera Tracking with Spatial-Temporal Information. 2019 IEEE Visual Communications and Image Processing (VCIP); Sydney; Australia; 2019. Pp. 1-4.
- [10] Liu X, Dong Y, Deng Z. Deep Highway Multi-Camera Vehicle Re-ID with Tracking Context. 2020 IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC); 2020; Chingqing; China. pp. 2090-2093.
- [11] Zhou W, Li Z, Gao P. Research on Moving Object Detection and Matching Technology in Multi-Angle Monitoring Video. 2019 IEEE 8th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC); 2019; ; Chingqing; China. pp. 741-744.
- [12] Del Rosario J R B, Bandala A A, Dadios E P. Multi-view multi-object tracking in an intelligent transportation system: A literature review. In 2017IEEE 9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM); 2017; Manila. pp. 1-4.

- [13] Gozhyj A, Kalinina I, Gozhyj V. Fuzzy cognitive analysis and modeling of water quality. In Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS);2017; Bucharest. pp. 289-293.
- [14] Pajares G, Jesús M. Fuzzy cognitive maps for stereovision matching. Pattern Recognition; 2007; 39(11). pp.2101-2114.
- [15] Chen CT, Chiu YT. A study of fuzzy cognitive map model with dynamic adjustment method for the interaction weights, 2016 International Conference on Advanced Materials for Science and Engineering (ICAMSE); 2016; Tainan. Pp.699-702.
- [16] Miao Y. Modelling dynamic causal relationship in fuzzy cognitive maps. 2014 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE); 2014; Beijing. pp.1013-1020.
- [17] Mazzuto G, Ciarapica FE, Stylios C, Georgopoulos VC. Fuzzy Cognitive Maps designing through large dataset and experts' knowledge balancing. 2018 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE); Rio de Janeiro; 2018. pp.1-6.
- [18] Bhutani K, Kumar M. Fuzzy inference system & fuzzy cognitive maps based classification. 2015 International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications; 2015. pp.305-309.
- [19] Georgopoulos VC, Stylios CD. Fuzzy cognitive maps for decision making in triage of non-critical elderly patients. 2017 International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS);2018;Okinawa. Pp. 225-228.
- [20] Poczeta K, Kubus L, Yastrebov A. Analysis of an evolutionary algorithm for complex fuzzy cognitive map learning based on graph theory metrics and output concepts. Biosystems;179;2019. Pp.39-47.
- [21] Altundoğan TG. Derin öğrenme kullanan dinamik bulanık bilişsel haritalar ile gerçek zamanlı nesne takibi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2019.
- [22] Altundogan TG, Karakose M. A New Deep Neural Network Based Dynamic Fuzzy Cognitive Map Weight Updating Approach. In 2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP);2019;Malatya, pp. 1-6.
- [23] Altundogan TG, Karakose M. Multiple Object Tracking with Dynamic Fuzzy Cognitive Maps Using Deep Learning. In 2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP);2019;Malatya, pp. 1-5.
- [24] Altundogan TG, Karakose M. Genetic Algorithm Based Fuzzy Cognitive Map Concept Relationship Determination and Sigmoid Configuration. In 2020 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE);2020; Vienna pp. 1-5.
- [25] Altundoğan, TG, Karaköse M. An Approach for Online Weight Update Using Particle Swarm Optimization in Dynamic Fuzzy Cognitive Maps. In 2018 3rd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK); 2018; Sarajevo (pp. 1-5). IEEE.

Siber Olaylara Müdahale ve Analiz Süreci

Muharrem Tuncay GENÇOĞLU^{1*}, Çağlar SERT²

¹ Teknik Bilimler MYO, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Siber Savunma Komutanlığı, Genel Kurmay Başkanlığı, Ankara, Türkiye

*¹ mtgencoglu23@gmail.com, ² caglarsert26@gmail.com

(Geliş/Received: 20/01/2021;

Kabul/Accepted: 03/06/2021)

Öz: Günümüzde siber saldırılar ve bununla birlikte siber güvenlik terimi hayatımızdaki varlığını giderek arttırmaktadır. Her saldırı tekniği karşısında bir savunma mekanizması geliştirilmiş, geliştirilen her savunma mekanizmasına karşı olarak atak vektörlerinde değişiklikler meydana gelmiştir. Bu çalışmada ilk olarak Türkiye’deki mevcut siber olay müdahale yapısı ve devamında siber olay müdahale süresince dikkate alınması gereken teknik inceleme ve detaylardan bahsedilmiştir. İleri seviye kalıcı tehditlerde (APT) iz ve emarelerin tespiti pek çok farklı kaynağın (Network, registry, ram gibi) detaylı analizi sonucu fark edilmektedir. Bu sebeple güncel saldırılarda kullanılan emare ve izlerin tespitinde yara kuralı tabanlı bir yazılım ve konsept ile şüpheli sistemler üzerindeki olay müdahale süreçlerine farklı bir bakış açısı kazandırma amaçlamıştır. Bu kapsamda literatüre araç (tool)bazlı analizin pratikliğini ve etkinliğini ispatlama noktasında katkı sağlayacaktır. Ayrıca bilgisayar olay analizinde izlenecek yol ve yöntemleri, disk incelemesi, APT şüphesi olan bir sistemde tarama, Windows ve Linux Sistemlerde müdahale ve kayıtların elde edilmesi hakkında kısa bir bilgi verilmiştir. Özellikle olay müdahale ve adli bilişim çalışmalarında mevcut teknolojinin ve basitleştirilmiş adli kılavuzların geliştirilmesine, yerli ve milli araçların oluşturulmasına rehber olabilecek bir çalışma olması hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Siber olay müdahale, Disk ve ram inceleme, Siber olay analiz, Uçuculuk

Cyber Incident Response and Process of Analysis

Abstract: Nowadays, cyber-attacks and the term cybersecurity are increasing their presence in our lives. A defense mechanism has been developed against each attack technique, and changes occur in attack vectors against each developed defense mechanism. In this context, the first in Turkey as working "until the current cyber incident response structure and continue the technical review and details were mentioned to be considered during cyber incident response. Detection of traces and signs in advanced persistent threats (APT) is realized as a result of detailed analysis of many different sources (such as Network, registry, ram). For this reason, it aims to bring a different perspective to the incident response processes on suspicious systems with a wound rule-based software and concept in the detection of signs and traces used in current attacks. Also, brief information was given about the methods and ways to be followed in computer event analysis, disk inspection, scanning in a system with APT suspicion, intervention in Windows and Linux systems and obtaining records. Especially in incident response and forensic informatics studies, it is aimed to be a study that can guide the development of existing technology and simplified forensic guidelines and the creation of domestic and national tools.

Key words: Cyber incident response, Disc and ram investigation, Cyber incident analysis, Volatility

1. Giriş

Günümüzde siber saldırılar ve bununla birlikte siber güvenlik terimi hayatımızda ki varlığını giderek arttırmaktadır. Ülkeler, kurumlar ve bireyler pek çok bilgiye internet üzerinde ulaşmakta, kamu ve özel hizmetler bu şekilde gerçekleşmektedir. Bilgi Çağı, her türlü bilginin (veri, görüntü, ses vb.) sayısal olarak ifade edilebilmesine, bir başka deyişle elektronik, optik veya manyetik ortamlar üzerinde saklanabilmesi, işlenebilmesi ve iletilebilmesine imkân tanıyan bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) gelişimini temsil etmektedir. Bütün bu imkânların yanında, birey, kurum ve devletlerin siber alandaki bilgilerinin ve hizmetlerin güvenliğinin sağlanması çok önemli bir sorun haline gelmiştir. Zira artık savaşlarda bu bilgiler ve hizmetler hedef haline gelmiştir. Bu durum bilgi toplumu olmayı hem bireysel, hem de kurumsal olarak gelişmeyi zorunlu hale getirmiştir. Türkiye’nin bilgi toplumuna geçiş sürecini çok eskilere dayandırmak mümkün olsa da TBMM’de Bilgi ve Bilgi Teknolojileri Grubunun oluşturulduğu 1998 yılını, bu dönüşümün başlangıcı olarak kabul edebiliriz. Bu tarihten sonra birçok resmi ve gayri resmi toplantılar yapılarak geçiş için altyapı oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu gelişmeler ile birlikte siber suçlar kavramında gündemde yerini fazlasıyla almaya başlamıştır.

* Sorumlu yazar: mtgencoglu23@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-8784-934, ² 0000-0003-1768-5117

Siber saldırılar ve bu saldırıların istatistiksel durumu, kurumların siber saldırı veya saldırı ihtimaline karşı savunma mekanizmaları ve bakış açıları ile ilgili çalışmada, hem saldırı boyut ve şekillerine hemde kurumsal olarak yaklaşımlardan detaylı olarak bahsedilmiş, ayrıca bilişim suçu mağdurlarının çok büyük miktarlarda para kaybettiğini, dünyada gerçekleştirilen uyuşturucu ve kara para ticaretinden bile karlı olduğunu ve son bir yılda siber suç oranının %34 arttığı belirtilmiştir [15]. 2017 tarihli bir rapora göreyse, fidye yazılım tehditleri 2016 yılında, 2015 yılına göre %36 artarak günde ortalama 1.270'e ulaşmıştır. Son dönemde yaşanan Covid-19 salgını ile yaşamın tamamına yakını dijital ortama taşınmıştır. Kamu işlevleri için kamu kurumlarına gitmek yerine uzaktan bu işleri halledebilme talep edilmektedir. Türkiye Cumhuriyet e-Devlet Kapısı bu noktada en mahir araç olmaktadır. Tüm vatandaşların girebildiği sistemde bundan sonra çok daha geniş yelpazede uygulamalar bulunabilecektir.

Siber güvenlik ile ilgili; bilgi toplumuna geçiş ve siber güvenlik, Türkiye'de polisin siber suçlarla mücadele politikası, uluslararası ilişkilerde yeni bir kuvvet çarpanı olarak siber savaşlar üzerine bir vaka analizi, Türkiye'nin siber güvenlik politikalarının analizi, siber güvenlik alanında teknik inceleme, Avrupa birliği siber güvenlik kanunu gibi çalışmalarda tüm bu dijital değişim ve dönüşümün yaşandığı ortamda meydana gelebilecek siber olayları teknik olarak inceleme, analiz ve değerlendirme yaklaşımı ortaya konulmaktadır [2, 3, 8-14].

2. Siber Olaylara Müdahale ve Analiz Süreci

Bilişim ve endüstriyel kontrol sistemlerinin veya bu sistemler tarafından işlenen bilginin gizlilik, bütünlük veya erişilebilirliğinin ihlal edilmesi veya teşebbüsünde bulunulmasına siber olay denir. Siber Olay, bilişim sistemlerine ve bu sistemlerin, işleyişine, bütünlüğüne ve işlevselliklerine yapılan saldırılar olarak tanımlanabilir. Bu konuda Türkiye'de bulunan otorite makamlarından Ulusal Siber Olaylara Müdahale Merkezi (USOM) tarafından yayımlanan, Siber Güvenliğe Giriş ve Temel Kavramlar klavuzu tüm bu süreçleri detaylı olarak anlatmaktadır [16]. Siber olaylara müdahale süreci ise aşağıdaki gibi gerçekleşir:

- Siber Olayın Tespiti: Tanı Konması.
- Olayın Risk Tanımlanmasının Yapılması: Çalışan sistemler ve Bilgi İfşası.
- Siber Olay Müdahale Ekibine Bildirim Yapılması: İlk bildirim kurumsal kurumsal Siber Olaylara Müdahale Ekibine (SOME) daha sonra Ulusal Siber Olay Müdahale Merkezine (USOM) bildirilmesi.
- Siber Olaya Müdahale
- Teknik Analiz Saldırgan IP Tespiti: Sistem log kayıtlarının örneklerinin alınması, vaka öncesi kayıtlar ile karşılaştırılması. Meydana gelen siber olay ile ilgili delil ve kanıtların toplanması.
- Önlem Alma: Tespit edilen IP'lere karşı engelleme işlemi yapılması.

Bu süreç Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Siber olaylara müdahale süreci

Tespit edilen zararlı yazılım var ise bunların çalışma işlemleri(proses) durdurularak karantina altına alınmalıdır. Böyle bir tespit sonrasında registry kayıtlarının ve bütünlüğünün korunması gereken tüm alanlarda kontroller yapılması gerekir. Bu tip bir dosya veya çalıştırılabilir bir dosya (.exe) var ise zararlı yazılım incelemesi yapılmalıdır.

3. Güncel Bir Adli Bilişim İncelemesi

Dünyada hemen hemen tüm kolluk kuvvetlerinde, siber olay müdahale ekiplerinde aktif olarak kullanılan Encase programı, bu alanda bilinirliği ve etkinliği en fazla olan ürünlerden biridir. Bu konu ile ilgili EMT Akademi Encase Eğitim Dokümanında, ürünün kullanımı ve özelliklerinden detaylı olarak bahsedilmektedir [6].

Encase Adli İnceleme Programı; adli incelemeyi, aynı anda birden fazla imajın incelemesini, hedef imajı mount ederek ağ üzerinden paylaşımını, hash değeri aynı olmayan benzer dosyaların tespit edilmesini, tespit ettiği şifreli dosyaların şifrelerinin kırılmasını, indexleme yapmasını, İEF ile bütünleşik çalışabilmeyi, USB yazma koruma yapmayı, yazılımsal imaj almayı ve canlı inceleme USB'si oluşturmayı sağlamaktadır.

Encase Timeline İnceleme: Encase incelemede en büyük kolaylığın başında dosyaların tarih ve saat özelliğine göre sorgulama imkânı bulunmasıdır. Eğer bilinen hedef dosyaların herhangi bir tarihi biliniyorsa, o dosyaya kısa sürede ulaşmak mümkün olmaktadır.

Encase Galeri İnceleme: Yine resimlerin hepsinin bir arada görülebileceği Gallery özelliği bulunmaktadır. Bu özellik sayesinde çok sayıda resmi kısa sürede incelemek mümkündür. Encase programı bilgisayar ile ilgili dünya genelindeki dosya türlerini tanıyarak içeriğini kullanıcıya gösterebilecek viewer özelliğine sahiptir. Eğer özel bir dosya tipi tespit edilmişse bu dosya türünü programa tanıtmaya imkânı bulunmaktadır.

Dava Dosyası Oluşturma Sıralaması: Encase programının kurulumundan sonra bazı ayarlar (options) bir kez, diğer ayarların ise her dava dosyasında yeniden yapılması gerekmektedir.

- İlk defa başlatıldığında Tools > Options altındaki seçeneklerin ayarlamaları yapılmalıdır. Bu ayarlar sonraki zamanda ihtiyaç duyulması halinde güncellenmelidir.

- Firma/kuruma ait logonun dava dosyası veya raporda görülmesi isteniyorsa uygun büyüklükte logo programa yüklenebilir.
- New Case ile yeni bir dava dosyası oluşturulmalıdır. Dava dosyasının hızlıca tamamlanması hedefleniyorsa imaj ve dava dosyası bir SSD disk üzerinde oluşturulmalıdır.
- İnceleme esnasında, bilgisayarın hızı ve boş alan durumuna göre, birden fazla imajı programa yüklemek mümkündür. Bu uygulamanın proses işleminin bitirilmesinin de zaman alacağı unutulmamalıdır.

EncasePathways: Encaseversion 7'den itibaren kullanıcılarına daha rahat kullanım imkânı sunan Pathways (Hazır İnceleme Şablonları) sistemi geliştirilmiştir. Bu sayede Encase Adli inceleme yazılımı hiç bilmeyen veya çok az bilen kişilerin de Encase ile inceleme yapabilmesine imkân verilmiştir. Kullanıcının yeterli eğitimi var ise Pathways'leri kullanmadan da doğrudan incelemeye devam edebilecektir.

FastBlock SE ile yazılım koruma sağlama: Encase'in en iyi özelliğinden bir tanesi yazılımsal olarak yazma-koruma sağlama sisteminin programa dâhil edilmiş olmasıdır. Bu sayede herhangi bir yazma koruma donanımına gerek kalmadan diskleri bilgisayara takmak mümkün olabilmektedir.

ProsesEvidence: Encase'in en önemli özelliğinden bir tanesi de Proses işlemidir. Bu özellik yapılmadan başlanacak inceleme eksik yapılmış olacak ve sonuçlara tam olarak ulaşamayacaktır. Yeni proses işleminde kullanıcılara kolaylık olması açısından kredi kart numaralarına ait grep kodları hazır olarak gelmektedir. Kullanıcı yine isterse buradaki numaralara ilaveten kendi soruşturma özelliğine uygun grep kodlarını hazırlayarak sisteme yükleyebilecektir. Proses'in süresi imajın büyüklüğü ve proses için seçilen menülerin çokluğu ile doğru orantılıdır. Uzun zaman geçmesine rağmen proses çubuğu ilerlememiş olsa bile, proses'in son durumu hakkında EvidenceProseserStatus menüsünden prosesin ilerleme durumu kontrol edilebilir.

BookMark Sistemi: Bookmark sistemi ile inceleme sırasında önem arz eden, delil niteliği taşıyan bulguları rapor hazırlama ekranına yönlendirmek ve tüm kritik bulguları bir araya toplamakta kolaylık sağlar.

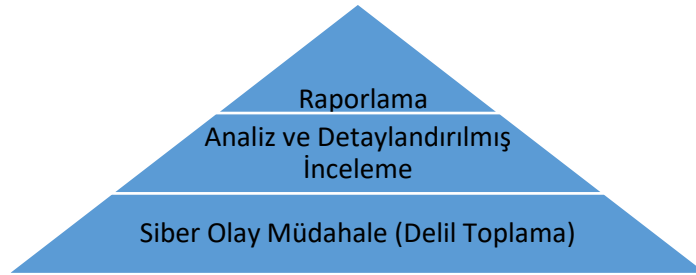
Hash ve Entropy: Aynı hash değerine sahip dosyaları bulmak bütün adli inceleme programlarında bulunmaktadır. Ancak Encase programına konan Entropy özelliği sayesinde, hash değeri değişmiş olsa bile bir dosyanın içeriğinin aynı olma olasılığına göre dosyaları arayabilmektedir.

Canlı İnceleme Modülü Oluşturma: Bu modül sayesinde imaj içeriği görsel olarak canlandırılarak veri üzerinde canlı çalışma imkanı sağlar. Bu modül genellikle adli birimlerde olayın görsel olarak anlatılmasında kolaylık sağlar.

Raporlama: Tüm bulguların ve delil niteliği kazanan materyallerin (resim, video, doküman vb) sonuçlandırıldığı tasnif edildiği alandır.

4. Adli Bilişim Çalışma Şekli (Olay Müdahale ve İnceleme Hiyerarşisi)

Siber olay veya şüpheli bilgi sistem olaylarına müdahale ve sonrasındaki süreçler Şekil 2'de özetlenmiştir.



Şekil 2. Olay Müdahale ve İnceleme Hiyerarşisi

4.1. Siber Olay Müdahale ve Delil Toplama Safhası

Yaşanan siber olayda bildirimden sonra yapılacak ilk iş sistemin ve sistemin kontrol ettiği verilerin ve diğer ağda bulunan kullanıcıların güvenliğinden emin olmaktır. Bundan sonra yapılacak iş, sistem açık ise ilk olarak uçucu verileri almak ile başlar. (Ram imajı, Network kayıtları gibi). Daha sonrasında kalıcı veriler (Non volatile data) diskin imajı alınır, alınan bu imajların 3 adet olması gerekir. Hash değeri ile sonrasında yapılacak kontrol ve araştırmalar için bütünlük değeri elde edilir, yani mühürlenir. Diskin 1 kopyası bilgisayarın kullanıcılarına veya

yöneticiye bırakılır. Orijinali disk inceleme ekibinde bulunur; çünkü o gerçek delildir ve ilk iş güvenli, şifreli statikken arındırılmış bir kasaya koyarak emniyeti sağlanır. Yapılan tüm çalışma kopya imajlar üzerinden yapılmalıdır. Kopya imajlar üzerinden farklı bir çalışma veya çoğaltma istenilmesi durumunda write-blocker özellikli bir imaj alma cihazı ile imaj yeniden alınmalıdır. Olay müdahale ve imaj alma aşamalarının tamamında bir yetkilinin bulunması şahit olunması bakımından çok önemlidir. Yapılacak tüm çalışmalarda savunma yapacak kişi veya kurumların tek savunması” ben koymadım, biz koymadık, biz indirmedik, biz yüklemelik” olacaktır. Bu bakımdan tanıklık edecek kişilerin olması ve hash değerinin kayıt altına alınması çok önemlidir. Yapacağımız çalışmadaki hatalar suçluyu suçsuz, hiçbir suç ve ihmali olmayan kişileri ise suçlu yapabilir.

SSD disk üzerinden alınacak imajlarda her imaj alındığında hash değeri farklı çıkabilmektedir. Bunun sebebi basitçe, elektrik sinyali ile yazılıp silinmesinden kaynaklanmaktadır. İmajı alınan disklerin her biri için ayrı tutanak tutulmalı, “SSD disklerin yapısı gereği her diskin hash (Bütünlük kontrol) değeri farklı çıkmıştır” şeklinde tutanakla kayıt altına alınmalı, böylece vakayı takip eden ve konuya hâkim olmayan insanlar vaka ile ilgili farklı süreçlerde önlerine gelecek itiraz veya farklı durumlarda bilgi sahibi olmuş olurlar.

4.2. Analiz ve İnceleme

Analiz ve incelemede ilk yola çıkılacak husus; olay bildirim raporunun iyi tutulmasıdır. Bahsi geçen şüpheli olay nasıl olmuş, belirli zaman aralıklarında mı olmuş, diğer servislerin veya kullanıcıların çalışmasını engelleyen bir durum mu olmuş. Bu ve benzer yaşanmış, yaşanabilecek kayıtlar inceleme esnasında büyük kolaylık sağlayacaktır. Bunların dışında olay müdahale ekiplerinin ilk sorusu yapılan son pentest rapordur. Bu rapor, mevcut son açıklıkların sömürülüp sömürülmediği üzerinden yola çıkıldığında, süreci hızlandıracaktır. Yapılan çalışma mevcut açıklıklardan yola çıkılarak çözümü hızlandıracaktır.

4.3. Raporlama

Raporlama, yapılan tüm çalışmanın özetidir. Raporlama yapılırken teknik konular ile sonuç kısmının birbirinden farklı olması önemlidir. Sonuç kısmı teknik detaylara boğulmamalıdır. Sonuç raporu hem adli merciler hem de kurumlarda yöneticilerin anlayabileceği şekilde hazırlanmalıdır. Teknik detaylar; görülen aksaklıklar ve hatalar gibi ayrı başlıklar altında belirtilebilir. İlk giriş kısmı çözümlerin ve bu çözümlere götüren delillerin ekran görüntülerinden oluşabilir. Bu kısımda yorum asla olmamalıdır, görünen bilinen açık bir şekilde sunulmalıdır. Rapor, sonuç ve siber olayın yaşanmasına neden olan gerekçelerle birlikte kapatılmalıdır. Sonuç kısmında önceki bölümde tespit edilen delil ve sistem durumlarının özet analiz bilgileri yer almalıdır. Siber olayın yaşanmasına neden olan eksiklik ve aksaklıklar da yine aynı şekilde kapanış bölümünde yer almalıdır. Yine bu bölümde ispatlı tespitlere yer verilme ve görüş belirtmekten uzak durulmalıdır.

5. Gelişmiş Kalıcı Tehdit (APT) Taraması

Gelişmiş kalıcı tehditler genellikle, sistemlere farklı yollar ile bulaşıp (Otalama saldırısı ve USB bağlantısı gibi) sistemde kendini gizleyerek ya planlanan zamanda sistemi devre dışı bırakmak ya da bilgi sızdırmak (casusluk) amacıyla sistemde kalırlar. Bu saldırılar sistemde normal işleyen yazılımlar üzerinden kendini gizleyerek uzun süre varlığını korumaya çalışırlar. Bu durumun önüne geçebilmek amacıyla SIEM sistemler, IOC incelemeleri veya ileri seviye APT taraması yapılması gerekmektedir. Kısaca bu çalışmalardan bahsedecek olursak,

- *SIEM Sistemler:* Bu sistemler korelasyon çalışma kuralları ile sistem çalışmasını inceler, denetler olağanın dışında meydana gelecek durumlarda alarm üretir ve önlem alırlar.
- *IOC İncelemeleri:* Bu incelemeler de sistem günlükleri ve kayıt defterlerindeki olaylardan, ilişkilerden anormal olduğu değerlendirilenler vurgulanır.
- *APT Taraması:* APT taraması için aslında ileri seviye yazılımlar olması gerekmektedir. APT saldırılarından korunmak için ağ ve firewall yapılandırmasının düzgün yapılması gerekmektedir. Bu özellik veri sızıntısı kaynaklı saldırıları engelleyecektir. Bunun dışında sistemde anormallik veya APT şüphesi var ise bunu kapsamlı yara kuralları üzerinden tarayarak gerçekleştirmek gerekir. Bu konuda yaygın olarak kullanılan programlardan biri “Thor Apt Scanner” yazılımıdır. Bu program kullanılırken; dll yapısı, çalışma şekli, verilerin olması gereken boyutta ve buna göre şüpheli bir durum olup olmadığının tespiti oldukça önemlidir. Bu işlemlere ait bir örnek rapor,

Şekil 3'te görülmektedir [1]. Thor Apt Scanner Dökümanında belirttiği üzere, bu yazılım 15.000 den fazla YARA kuralını sistem üzerinde tek tek uygulayarak anormallikleri tespit eder.

Scan Information	Modules	Statistics
Version: 10.4.0	Loaded: 2	Alerts: 10
Run on System: C:\SRTP\0849433\01	Imported: 44	Warnings: 9
Argument list: "wordlist.txt"; "c:\sgm*_*.ini"; "memokamp.net"; SCAND: 8; İsvnl; İsvnl		Errors: 0
Signature Database: 2020/03/09 16:000		Help
Start Time: Sat Mar 21 22:40:43 2020		Click the [Use Ctrl + (Windows) icon] or [Alt + (macOS)] to return to the top of the filters.
End Time: Sat Mar 21 22:54:27 2020		You can provide a file (-filter file) with regular expressions to suppress false alerts.
IP Addresses: 192.168.167.1; 192.168.80.1		Some scanner statements contain links to the scanners' home page.
Run as user: C:\SRTP\0849433\01		Values contain links to search engines.
Admin rights: sys		
System: Windows 10 Pro 64-bit; 8; İsvnl; İsvnl		
Log File: C:\SRTP\0849433_Exec_2020-03-21.txt		
Log Filters Applied: 0		
Alerts		
Alert 1: Mar 21 19:46:37 [C:\SRTP\0849433\192.168.167.1] MODULE: DumpGDI MESSAGE: YARA Rule Match SCAND: 8; İsvnl; İsvnl YAROE: memokamp.net TIME & TAMP: Fri Mar 20 15:40:50 2020 TYPE: file NAME: HKLM_Mimikatz_EXE_F6019_1 SCORE: 80 DESCRIPTION: Detects another protected Mimikatz installed in Feb 2010 OFFSET: 32601472 TAGS: LRU; FILE; CPU; HKLM; 11003; 11075; 11087; 11178 MATCHING_STRINGS: Str1: Embedded due to license expiration in		
Alert 2: Mar 21 19:46:38 [C:\SRTP\0849433\192.168.167.1] MODULE: DumpGDI MESSAGE: YARA Rule Match SCAND: 8; İsvnl; İsvnl YAROE: memokamp.net TIME & TAMP: Fri Mar 20 15:40:50 2020 TYPE: file NAME: HKLM_Mimikatz_EXE_F6019_1 SCORE: 80 DESCRIPTION: Detects another protected Mimikatz installed in Feb 2010 OFFSET: 34020688		

Alarms	
Alarm 1	MODULE: Registry MESSAGE: Malware file name in registry entry detected STRING: C:\TEMP\gsecdump.exe - THOR Test PATTERN: gsecdump AND gsecdump AND gsecdump.exe SCORE: 225 DESC: HvS Client 1 KEY: CMI-CreateHive(D43B12B8-09B5-40DB-B4F6-F6DFEB78DAEC)\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Run HIVE: C:\Users\rinity\NTUSER.DAT
Alarm 2	MODULE: Registry MESSAGE: Malware file name in registry entry detected STRING: C:\Documents and Settings\All Users\Application Data\icrowj.exe - TestDummy! PATTERN: All Users\Application Data(*)(1,50). (EXE E E) AND All Users\Application Data(*)(5,6).exe AND (daten\icrowj.exe) SCORE: 115 DESC: Pandemiyia Malware Pattern KEY: CMI-CreateHive(D43B12B8-09B5-40DB-B4F6-F6DFEB78DAEC)\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Run HIVE: C:\Users\rinity\NTUSER.DAT
Alarm 3	MODULE: DNSCache MESSAGE: Malware Domain found in DNS Cache ENTRY: www.eamim.com DESC: Kaspersky MiniDuke
Alarm 10	MODULE: DNSCache MESSAGE: Malware Domain found in DNS Cache ENTRY: mizsoft.operas.net DESC: Cisco Web VPNs Leveraged for Access and Persistence http://www.volexity.com/blog/?p=179
Alarm 4	MODULE: ProcessCheck MESSAGE: Score Rule Match PID: 3780 COMMAND: V77C:\Windows\system32\conhost.exe *20506904022111505656966029487173173438-468212100-1627221800170866059-1849357909 RULE: CN_C2_Domain_Client8 DESCRIPTION: THOR HV5 Client8 - C2 domain in file SCORE: 75 STRINGS: Str1: mofamails.com
Alarm 5	MODULE: ProcessCheck MESSAGE: Score Rule Match PID: 3780 COMMAND: V77C:\Windows\system32\conhost.exe *20506904022111505656966029487173173438-468212100-1627221800170866059-1849357909 RULE: PassTool_Mimikatz DESCRIPTION: Detects Mimikatz tool SCORE: 80 STRINGS: Str1: mimikatz Str2: gentikw Str3: KibCred generated Str4: mimikatz_dolocal
Alarm 6	MODULE: ServiceCheck MESSAGE: Malware file name in service detected STRING: WCE SERVICE - WCE SERVICE - M\wce\wce_v1_2_x64.tar\wce.exe -S PATTERN: wce.exe AND wce.exe AND wce.exe SCORE: 185 DESC: WCE KEY: WCE SERVICE SERVICE_NAME: WCE SERVICE IMAGE_PATH: M\wce\wce_v1_2_x64.tar\wce.exe -S START_TYPE: ONDEMAND_START USER: LocalSystem

Warnings	
Warning 1	MODULE: Registry MESSAGE: YARA Rule Match KEY: Registry Key CMI-CreateHive(D43B12B8-09B5-40DB-B4F6-F6DFEB78DAEC)\Payload_malware with 2 values and 0 subkeys NAME: Executable_Binary_Reg SCORE: 70 DESCRIPTION: Registry key of type binary contains an executable REF: https://twitter.com/TgnyRK/status/55103854851437568 MATCHED_STRINGS: Str1: binaryimage32.4D5A
Warning 2	MODULE: Registry MESSAGE: Uncommon size of registry key KEY: CMI-CreateHive(D43B12B8-09B5-40DB-B4F6-F6DFEB78DAEC)\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Run HIVE: C:\Users\rinity\NTUSER.DAT SIZE: 136536
Warning 3	MODULE: Registry MESSAGE: YARA Rule Match KEY: Registry Key CMI-CreateHive(D43B12B8-09B5-40DB-B4F6-F6DFEB78DAEC)\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Run with 3 values and 0 subkeys NAME: Pandemiyia_Trojan_ThreatKey SCORE: 70 DESCRIPTION: Detects registry values of the Pandemiyia Trojan (RSA) REF: https://blogs.nsa.com/new-pandemiyia-trojan-emerges-alternative-zeus-based-variants/ MATCHED_STRINGS: Str1: CurrentVersion\Run;TestDummy! C:\Documents and Settings\All Users\Application Data\icrowj.exe
Warning 4	MODULE: Registry MESSAGE: YARA Rule Match KEY: Registry Key CMI-CreateHive(D43B12B8-09B5-40DB-B4F6-F6DFEB78DAEC)\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Run with 3 values and 0 subkeys NAME: Suspicious_Startup_Loc_RegistryKey SCORE: 70 DESCRIPTION: Detects suspicious registry values often used by malware REF: - MATCHED_STRINGS: Str1: CurrentVersion\Run;TestDummy! C:\Documents and Settings\All Users\Application Data\icrowj.exe
Warning 5	MODULE: Registry MESSAGE: YARA Rule Match KEY: Registry Key CMI-CreateHive(D43B12B8-09B5-40DB-B4F6-F6DFEB78DAEC)\Software\Microsoft\Windows\NT\CurrentVersion\Image File Execution Options\goodfile.exe with 1 values and 0 subkeys NAME: Debugger_Registry_Entry SCORE: 70 DESCRIPTION: Debugger definition for a system executable - this may be malicious REF: http://goo.gl/b6YE7F MATCHED_STRINGS: Str1: Image File Execution Options\goodfile.exe;Debugger:C:\temp\evil.exe
Warning 6	MODULE: Registry MESSAGE: YARA Rule Match KEY: Registry Key CMI-CreateHive(D43B12B8-09B5-40DB-B4F6-F6DFEB78DAEC)\Software\Microsoft\Windows\NT\CurrentVersion\Image File Execution Options\sethc.exe with 1 values and 0 subkeys NAME: Debugger_Registry_Backdoor SCORE: 70 DESCRIPTION: Detects a backdoor established via Debugger reg key to invoke cmd.exe via Debugger established via Debugger reg key to invoke cmd.exe at login screen REF: http://goo.gl/b6YE7F MATCHED_STRINGS: Str1: Image File Execution Options\sethc.exe;Debugger:C:\Windows\System32\cmd.exe
Warning 7	MODULE: Registry MESSAGE: YARA Rule Match KEY: Registry Key CMI-CreateHive(D43B12B8-09B5-40DB-B4F6-F6DFEB78DAEC)\Software\Microsoft\Windows\NT\CurrentVersion\Image File Execution Options\sethc.exe with 1 values and 0 subkeys NAME: Debugger_CMD_Registry_Backdoor SCORE: 70 DESCRIPTION: Command line cmd.exe defined as Debugger for a system executable REF: http://goo.gl/b6YE7F MATCHED_STRINGS: Str1: Image File Execution Options\sethc.exe;Debugger:C:\Windows\System32\cmd.exe
Warning 8	MODULE: Registry MESSAGE: YARA Rule Match KEY: Registry Key CMI-CreateHive(D43B12B8-09B5-40DB-B4F6-F6DFEB78DAEC)\Software\Microsoft\Windows\NT\CurrentVersion\Image File Execution Options\sethc.exe with 1 values and 0 subkeys NAME: Debugger_Registry_Entry SCORE: 70 DESCRIPTION: Debugger definition for a system executable - this may be malicious REF: http://goo.gl/b6YE7F MATCHED_STRINGS: Str1: Image File Execution Options\sethc.exe;Debugger:C:\Windows\System32\cmd.exe
Warning 9	MODULE: Registry MESSAGE: YARA Rule Match KEY: Registry Key CMI-CreateHive(D43B12B8-09B5-40DB-B4F6-F6DFEB78DAEC)\Software\Microsoft\Windows\NT\CurrentVersion\Image File Execution Options\sethc.exe with 1 values and 0 subkeys NAME: APT_sethc_Debbuger_Backdoor_Regkey SCORE: 70 DESCRIPTION: APT sethc.exe Debbuger Backdoor Hack REF: - MATCHED_STRINGS: Str1: Windows\NT\CurrentVersion\Image File Execution Options\sethc.exe

Şekil 3. Thor Apt Scanner Result

5.1. Linux Forensic

Son yıllarda, Linux işletim sistemi yüksek performansı ve güvenilirliği nedeniyle Adli bilişimde oldukça önemli hale gelmiştir. Çok geniş bir alana uygulanması sebebiyle, Linux işletim sistemi adli tıp, bilgisayar adli bilimi gibi alanlarda oldukça hayati konumdur. Madencilik ve analiz, Linux işletim sisteminin öne çıkan özelliklerindedir [17].

Linux sistemler ile ilgili yapılacak müdahalelerde özellikle sistem açık halde ise alınacak kayıtları aşağıdaki gibi listeleyebiliriz;

- Kullanıcı Bilgisi
- Network İstatistik Durum Bilgisi

- Prosesler ve Durumları
- Dosya Değişiklik Durum Kodu ve Ekranı
- Açık Dosya Ekranı
- Yüklenen Modüller
- Soket Bağlantı Durumu
- Takas Alan Durum

Kısaca bu sekiz maddeden bahsedecek olursak kimlik bilgilerinin elde edilmesi ile başlayan inceleme süreci uçucu verilerin toplanması ve daha sonra kalıcı verilerin elde edilmesi ile sonlandırılır. İlk inceleme ve gerekli durumda müdahale işlemi sonrası inceleme safhasına geçilir.

İlk olarak kullanıcı kayıt bilgileri ve işletim sistemi mimari bilgisi elde edilmelidir. Söz konusu bilgiler ekran kaydı olarak alınabileceği gibi `uname -a > kullanıcıbilgisi.txt` komutu ile kayıt altına da alınabilir.

Netstat daha açıklayıcı hali ile `net statistics; network` bağlantısı var ise bunun hangi yoldaki dosya tarafından açıldığını gösterir. `netstat > netstat.txt` ile netstat kaydı alınabilir.

Tespit edilen pid değerleri incelenir ve “kill -9 Pid numarası” şeklinde sonlandırma yapılır. Sonlandırma yapılmadan önce trafiği yaratan prosesi export ederek gerekli incelemelerin yapılması sağlanmalıdır.

Dosya değişiklik durumunun takibi için. “`find /etc -type f -printf '%TY -%Tm -% TT %P\n' | sort -r > son değişen.txt`” komutunu girerek son değişiklik dosyaları listelenmeli, detaylı inceleme ve raporlama için kayıt altına alınmalıdır. Son yapılan değişikliği, açılan dosya ve bunların network bağlantılarını listelemekte incelemede büyük kolaylık sağlayacaktır. Komutu `ls -l > acikdosyalar.txt` komutu kullanılarak kayıt altına alınabilir. Burada, `ls -l` komutundan sonra akılda kalması kolay olacağı için `ls -l` komutuna da değinelim; `ls -l` komutunun görevi ise yüklü modülleri ve çalışmalarını listelemektir. Yüklenen modül ve kullanılan kaynak detaylı olarak boyutu ile listelenmektedir. “`ls -l > lsmod.txt`” komutu kullanılarak kayıt altına alınabilir. Ayrıca, yine önemli bir komut olan “`ss`” soket statics’den de bahsetmek gerekir. Bu komut ile açılan bir soket bağlantısı listelenir. Daha önce çalışması yapılan proses listeleri ile özel inceleme yapmak mümkündür. “`ss -l -p -n | grep pid`” değeri girilerek spesifik olarak bir proses listelenir.

Son olarak Swap alanından da bahsetmekte fayda vardır. Sanal belleğin yeterli kalmadığı durumlarda işletim sistemi disk üzerinde faydalanacağı bir alan yaratır. Buna swap alanı (takas) alanı denir. `swapon -s` komutu ile listelenir.

5.2. Windows Forensic

Bu kısımda, windows sistemlerinde kullanılacak ilk müdahale komutları ve müdahalede alınması gereken bilgiler ve kayıtlardan bahsedilecektir. Olay müdahalede yapılması gereken işlemlerden en önemlisi canlı sistemde ilk olarak uçucu (volatile) kayıtların elde edilmesidir. Uçucu veriler anlık değişiklik gösterebilecek, hatta erişilmez noktaya gelebilecek verilerdir. Bu sebeple, bir sıra dâhilinde, kritiklik seviyesine göre bu verileri elde etmekte büyük fayda vardır. Siber olay müdahale ekiplerinde yer alan kişilerin, hem olay müdahale hem de inceleme aşamalarında kendilerine aşağıdaki bir kontrol listesi yapması (Check List) ve bu aşamaları takip ederek hareket etmesi olayın çözümlenmesinde hayati öneme sahiptir. İnceleme yapma noktasında da yine kullanılan komut, araç ve yöntemler ile ilgili elimizde bir uygulama formu (Cheat -Sheet) bulunması faydalı olacaktır.

- Sistem Bilgisi
- Login Kullanıcı Bilgisi
- Network Durumu Hakkında Bilgi
- Network Bağlantı Durumu
- Proses Bilgileri
- Proses Port Eşleşmeleri (Port Mapping)
- Proses Hafıza İşlemleri (Proses Memory)

Sistem zamanı, inceleme sürecine başlarken delilleri mukayese etmede, süreci değerlendirmede referans noktasını teşkil edecektir. Windows komut ekranı (Command Prompt) açılarak bu parametreler girilir. Komut “`date /t & time /t`” şeklindedir. Kullanıcı bilgileri ve oturum bilgilerinin listelenmesi vakanın şekillenmesinde en önemli adımlardan biridir. Bu bilgiler `PsloggedOn - Net Sessions -Logon Sessions`. `Pslogged on` uygulaması için `sysinternals` araçlarını indirmiş olmak gerekmektedir. Sürükle bırak olarak komut satırına aktarılarda çalıştırılabilir.

5.3. Network İşlemleri

Siber saldırganlar sistemlere erişim sağladıklarında ilk erişim aldıkları noktadan daha ileriye gitmek isterler. Bunun asıl amacı yetki alanını genişletme ve daha fazla etkili olabilmektir. Tüm bu hareketleri de network üzerinden yapmaktadırlar. Bu sebeptendir ki, şüpheli olayın meydana geldiği noktada derin bir network araştırması, kayıtların incelenmesi de önemli aşamalardan birini teşkil etmektedir. Network ile ilgili inceleme esasları aşağıdaki gibi olmalıdır:

- Network protokol ve topolojisi öğrenilmeli
- IPS / IDS log kayıtlar
- Firewall log kayıtları
- Switch ve Router üzerinden alınacak kayıtlar
- Olayın Tespit zamanındaki oturum kayıtları

6. Ram İmajı Üzerinde Analiz Yapma

Ram imajı, inceleme yapan kişi açısından büyük bir öneme sahiptir. Çalışır sistemden alınmış ram imajı veya sistem kapansa bile elde edilen pagefile.sys, swapfile.sys ve hibernfile.sys dosyaları bu konuda önemli fayda sağlamaktadır. Ram imajı incelemede en yaygın kullanılan uygulama, volatility programıdır. Bu program içerisinde barındırdığı çeşitli modüller sayesinde ram imajını en sağlıklı şekilde incelemeye olanak sağlar. Ram İmaj Kayıtlarına ait tüm örnekler ve kullanım kılavuzu bulunmaktadır [7]. Bu program Debian Linux sistemlerde komut satırı üzerinden çalışmakta olup, Windows işletim sistemleri için Volatility Workbench uygulaması bulunmaktadır.

7. Lisanslı Yazılım Kullanarak Muhtemel Zararlı Yazılım Tespiti

Responder Pro. Yazılımı mevcut memory imajlarını statik olarak inceler. Disassemble işlemine tabi tutar ve muhtemel zararlı şüphelileri listeler. Kısaca Responder Pro. Programının işlevlerinden bahsetmek gerekirse, Responder Pro yazılımı hafıza imajını aldıktan sonra, yaptığı statik inceleme sonrası şüpheli prosesleri listeler. Responder Pro Eğitim Dökümanında konu ile ilgili detaylı açıklamalara yer vermiştir [5].

Adli bilişim çalışmalarında en önemli ve detaylı araştırma konularından biriside networkte yaşanmış olayların incelenmesidir. Bu araştırmalarda zorluk derecesi sistemdeki kullanıcı sayısı, sistem işletiminde yürürlükte olan politika (kurallar), ve olayın gerçekleşme biçimidir. Network üzerinde çalışmalar yapabilmek için network yapısına hakim olmak, cihazların nasıl konuştuğunu bilmek kesinlikle şarttır. Bu nedenle de Hub, Switch, Router, Bridge, Firewall gibi network cihazlarının temel yapılarına hakim olmak oldukça önemlidir. Bu ağ cihazlarının kayıtlarının elde edilmesi, konfigürasyonlarının kontrolü ve eksikliklerinin tespiti network analizlerinde ilk başlangıç için çok önemlidir.

8. Sonuç ve Çıkarımlar

Bilgi teknolojilerinin gelişmesi ve yaygınlığının hayatın merkez noktasına gelmesi, bu alanda mağduriyetleride saldırı, dolandırıcılık vb. pek çok başlık altında arttırmıştır. Bu konuda hem kurumsal olarak hem bireysel olarak önlemlerin alınması gerektiği fikri kabul görmüştür. Bu nedenle öncelikle kapsam, farkındalık ve güvenlik anlamında gelişimin tamamlanmasının gerekliliği anlaşılmıştır. Tüm bu gelişmelerin yanında teknik anlamda yapılan çalışmalar da siber olay yaklaşımının inceleme ve analizinin bu alanda çalışacak kişiler açısından da sürekli olarak gelişmelerin takip edilmesi, bu alanda kullanılan yazılım ve donanımlara hakimiyet kazanılması zorunlu hale gelmiştir. Bu bağlamda siber olay ve siber olay müdahale süreçlerinin düzgün bir şekilde belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Siber olaylarda ilk müdahaleden yatay ve dikey koordinasyona kadar pek çok etken vardır. Tüm kurumlarda bu olgunun oturması büyük önem taşımaktadır. Kurumsal müdahale ve konseptten farklı olarak teknik açıdan şüpheli durumların kıymetlendirilmesi, siber olay olduğu değerlendirilen durumlarda bahsi geçen tüm prosedürlerin tekniklerin ve araçların kullanılması sonuca ulaşmada hayati önem taşımaktadır.

Olay müdahale ve adli bilişim çalışmalarında bilgi ve tecrübenin yanı sıra, araç kullanımının doğrudan etkili olması, seçilecek yazılım ve donanımlarda hassas olmayı mecbur kılmıştır. Bu sebeple sektöre yeni girecek kişilerin, sektörde aktif olarak kullanılan yazılım ve donanımları meslek hayatlarına girmeden önce tecrübe etmeleri önem kazanmaktadır. Bu bağlamda çalışmamızda; hem ürünü elde etmenin zorluğu hemde eğitim dokümanına ulaşmada yaşanabilecek sorunlar sebebiyle, tüm bu süreç ve yazılımların pratik kullanım şekilleri ve ara yüzleri anlatılmıştır.

Bu çalışma olay müdahale ve adli bilişim çalışmalarında gelecekte mevcut teknolojinin ve basitleştirilmiş adli kılavuzların geliştirilmesine, yerli ve milli araçların oluşturulmasına rehberlik edecektir.

Kaynaklar

- [1] ADEO Bilişim Danışmanlık Hizmetleri (2020). Thor Apt Scanner Dökümanı, <https://adeo.com.tr/>
- [2] Aliusta, C., Benzer, R., (2018). Avrupa Siber Suçlar Sözleşmesi ve Türkiye'nin Dahil Olma Süreci. Uluslararası Bilgi Güvenliği Mühendisliği Dergisi, 4(2), 35-42.
- [3] Yılmaz, E., Halil, U., Gönen, S. (2015). Bilgi toplumuna geçiş ve siber güvenlik. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 8(3), 133.
- [4] Yılmaz, O. (2020). Covid-19 Salgını Sonrası Dönemin Dijital Kodları ve Siber Güvenlik, TASAV. tasav.org.tr
- [5] Difose Adli Bilişim Hizmetleri (2019) Responder Pro Eğitim Dökümanı. www.difose.com.tr
- [6] EMT Elektronik (2019) EMT Akademi Encase Eğitim Dokümanı. <https://www.emtakademi.com.tr/>
- [7] Ram İmaj Kayıtları (2020) <https://github.com/volatilityfoundation/volatility/wiki/Memory-Samples>
- [8] Ünver, M., Canbay, C., Mirzaoğlu, A. G. (2009). Siber güvenliğin sağlanması: Türkiye'deki mevcut durum ve alınması gereken tedbirler. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK), Ankara, 8, 2018.
- [9] Darıcılı, A. B. Türkiye'nin Siber Güvenlik Politikalarının Analizi; Türkiye'nin Siber Güvenlik Modeli için Öneriler. TESAM Akademi, 6(2), 11-33.
- [10] Yenal, S., Akdemir (2020), N. Uluslararası İlişkilerde Yeni Bir Kuvvet Çarpanı: Siber Savaşlar Üzerine Bir Vaka Analizi. Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 11(1), 414-450.
- [11] Taşcı, U., Can, A. (2015). Türkiye'de Polisin Siber Suçlarla Mücadele Politikası: 1997-2014. Firat University Journal of Social Sciences/Sosyal Bilimler Dergisi, 25(2).
- [12] Darıcılı, A. B. (2019). Türkiye'nin Siber Güvenlik Politikalarının Analizi; Türkiye'nin Siber Güvenlik Modeli için Öneriler. TESAM Akademi, 6(2), 11-33.
- [13] Koşan, M. A., Benzer, R. (2019). Siber Güvenlik Alanında Derin Öğrenme Yöntemlerinin Kullanımı. 6. International Management Information Systems Conference 2019.
- [14] Nezgıtlı, S., Benzer, R. (2020). Avrupa Birliği Siber Güvenlik Kanunu. Journal of Information Systems and Management Research, 2(1), 10-17.
- [15] Yıldırım, E. Y. (2018). Bilişim Sistemlerine Yönelik Siber Saldırıları ve Siber Güvenliğin Sağlanması. International Vocational Science Symposium, IVSS 2018.
- [16] Ulusal Siber Olaylara Müdahale Merkezi (USOM -TRCERT). (2014). Siber Güvenliğe İlişkin Temel Bilgiler.
- [17] Zhang, R. Yu, M. Yu, W. (2007). Linux file system kernel mechanism analysis and research, Computer and Modernization, no. 12, pp. 14-21.

Cu Elementinin Mekanik Özelliklerine Tek Eksenli Çekme Zorlanmasının Etkisi: Moleküler Dinamik Yöntemi

Sefa KAZANÇ¹, Canan Aksu CANBAY^{2*}

¹ Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi, Eğitim Fakültesi, Fırat Üniversitesi, 23119, Elazığ/TÜRKİYE

² Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, Fırat Üniversitesi, 23119, Elazığ/TÜRKİYE

¹ skazanc@firat.edu.tr, ^{2*} caksu@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 23/01/2021;

Kabul/Accepted: 22/04/2021)

Öz: Bu çalışmada sıcaklığın, atom sayısının ve tek eksenli zorlanmanın Cu model sisteminin gerilme davranışı üzerine etkileri moleküler dinamik yöntemi kullanılarak incelendi. Atomlar arasındaki etkileşmelerin belirlenmesinde çok cisim etkileşmelerini içeren Gömülmüş Atom Metodu (GAM) kullanıldı. Zorlanma işlemi esnasında bölgesel atomik yapıların değişimleri Honeycutt ve Andersen tarafından tasarlanan genel komşu analiz (Common Neighbor Analysis-CNA) yöntemi ile belirlendi. Sıcaklığın, atom sayısının ve zorlanma oranının model Cu elementinin gerilme davranışları üzerinde etkili olduğu, kritik yüklenme değerinin sıcaklık artışı ile azaldığı, zorlanma oranının ve atom sayısının artışı ile arttığı gözlemlendi.

Anahtar kelimeler: Zorlanma oranı, moleküler dinamik benzetimi, gömülmüş atom metodu, zor-zorlanma.

The Effect of Uniaxial Tensile Strain on the Mechanical Properties of Cu Element: Molecular Dynamics Method

Abstract: In this study, the effects of temperature, number of atoms and uniaxial strain on the stress behavior of the Cu model system were investigated using molecular dynamics method. The Embedded Atom Method (GAM), which includes many body interactions, was used to determine the interactions between atoms. During the strain process, the changes of the regional atomic structures were determined by the Common Neighbor Analysis-CNA method designed by Honeycutt and Andersen. It was observed that temperature, atomic number and strain rate had an effect on the stress behavior of model Cu element, critical loading value decreased with increasing temperature and increased with increasing strain rate and atomic number.

Keywords: Strain rate, molecular dynamics simulation, embedded atom method, stress-strain.

1. Giriş

Dış zorun ve sıcaklığın etkisi altında katıların davranışlarının bilinmesi oldukça önemlidir bu nedenle maddelerin mekanik özelliklerinin karakterizasyonu malzeme biliminin önemli çalışma alanlarından biridir. Özellikle yüksek zorlanma şartlarında malzemelerin mikro yapısal gelişimlerinin tespit edilmesi etkili kullanılmaları açısından gereklidir. Literatürde farklı sıcaklık ve zorlanma oranlarında element ve alaşımların gerilme davranışları üzerine yapılmış hem deneysel hem de teorik birçok çalışma bulunmaktadır [1-4]. Cu elementinin özellikleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır, ayrıca elastik sabitleri, oda sıcaklığında çatlak yayılımı, gözenekli yapılara değişik sıcaklıklarda mekanik deformasyonun etkisi, ince filmlerde yorulma gibi Cu elementinin birçok özelliği üzerine çalışmalar yapılmıştır [5].

Maddelerin atomik boyutta yapısal ve termodinamik özelliklerinin anlaşılmasında bilgisayar benzetimleri önemli bir rol oynamaktadır bunun yanı sıra atomik benzetim yöntemleri kullanılarak nano seviyede katıların mekanik özelliklerinin incelenmesi nano teknolojinin gelişmesiyle birlikte ilgi çeken araştırmalar arasına girmiştir [5]. Son yıllarda klasik Moleküler Dinamik (MD) benzetim yöntemi ile katı maddelerin mekanik davranışları ve deformasyon mekanizmalarını incelemek için teorik olarak birçok çalışma yapılmakla birlikte yoğunluk fonksiyonu teorisine dayalı ilk prensip metodu (first principle) kullanılarak yapılan çalışmalarda mevcuttur, fakat bu metodu kullanarak atom veya molekül sistemlerini modellemek için düşük parçacık sayısına ve çok sayıda işlemci içeren bilgisayarlara ihtiyaç vardır. MD benzetimi konum ve momentum uzayı olarak bilinen faz uzayında sonlu bir zaman aralığından atomların yörüngelerini üretir. Bu yörüngelerden yararlanarak atomik sistemin fiziksel ve termodinamik birçok özelliği hesaplanmaktadır [6-10]. Modellenen sistem için atomlar arasındaki etkileşmeleri ifade eden potansiyel enerji fonksiyonunun seçimi elde edilecek sonuçların deneysel değerlerle uyum içerisinde olması açısından son derece önemlidir [11-13]. Literatürde farklı element ve alaşım sistemlerinin

* Sorumlu yazar: caksu@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-5151-4576, ² 0000-0002-8896-8571

modellenmesi için çok sayıda potansiyel fonksiyonu bulunmakla birlikte çok cisim etkileşmelerini içeren GAM ile yapılan çalışmaların sayısı bir hayli fazladır [14-17].

Bu çalışmada tek eksenli gerilme zorlanmasına maruz kalan hacimsel (bulk) Cu model sisteminin mekanik tepkisi MD benzetim yöntemi kullanılarak incelenmeye çalışıldı. Çalışmalarda LAMMPS açık kaynak kodlu moleküler dinamik benzetim programı kullanıldı [18]. Atomlar arası etkileşmeler Zhou tarafından geliştirilen GAM ile belirlendi. Elde edilen benzetim sonuçlarından model Cu sisteminin gerilme davranışına zorlanma oranının, atom sayısının ve sıcaklığın etkili olduğu belirlendi. Kritik zorlanma değerinin atom sayısı ve zorlanma oranı artarken arttığı, sıcaklık azalırken azaldığı tespit edildi. Ayrıca model sistemin poisson oranı ve Young modülü gibi mekanik özelliklerinin değişimleri de incelendi. Zorlanma sonucu oluşan yapıların analizi için CNA metodu kullanıldı.

2. Materyal ve Metot

N atomdan meydana gelen parçacıklar topluluğunun Lagrange veya Hamiltonyen fonksiyonlarından belirlenen hareket denklemlerinin bir sayısal algoritma ile çözümü klasik MD yönteminin temelini oluşturmaktadır. Parrinello ve Rahman tarafından ileri sürülen ve hesaplama hücresi için Lagrange fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir;

$$L_{PR}(\mathbf{r}^N, \dot{\mathbf{r}}^N, \mathbf{h}, \dot{\mathbf{h}}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N m_i (\dot{\mathbf{s}}_i^T \mathbf{G} \dot{\mathbf{s}}_i) - \sum_{i=1}^N \sum_{j>i}^N \phi(|\mathbf{h} \mathbf{s}_{ij}|) + \frac{1}{2} M \text{Tr}(\dot{\mathbf{h}}^T \dot{\mathbf{h}}) - P_{ext} V \quad (1)$$

burada; s_i , i atomunun skalalandırılmış koordinatı, \mathbf{h} MD hücre eksenlerini, \mathbf{G} , metrik tensörü, P_{ext} sisteme uygulanan dış basıncı ve ifade etmektedir. Sistemin hareket denklemleri ise aşağıda verilmiştir.

$$\ddot{\mathbf{s}}_i = -\frac{1}{m_i} \mathbf{F}_i - \mathbf{G}^{-1} \dot{\mathbf{G}} \dot{\mathbf{s}}_i \quad (2)$$

$$\ddot{\mathbf{h}} = M^{-1} (\mathbf{\Pi} - \mathbf{I} P_{ext}) \sigma \quad (3)$$

burada; $\mathbf{\Pi}$, mikroskobik zor tensörü (virial zoru olarak da adlandırılmaktadır) temsil eder ve;

$$\mathbf{\Pi} = V^{-1} \left[\sum_{i=1}^N m_i \mathbf{v}_i \cdot \mathbf{v}_i - \sum_{i=1}^N \sum_{j>i}^N \frac{F_{ij}}{r_{ij}} \mathbf{r}_i \cdot \mathbf{r}_i \right] \quad (4)$$

şeklinde ifade edilmektedir [19, 20].

Bu çalışmada model hacimsel (bulk) Cu sistemin atomları başlangıç konumları olarak fcc örgü noktalarına yerleştirildi. Periyodik sınır şartları [100], [010] ve [001] doğrultuları boyunca uygulandı. Atomlara ilk hızları Maxwell-Boltzman hız dağılımına uyularak rasgele atandı. Hareket denklemlerinin sayısal çözümü için Verlet algoritmasının hız formu kullanıldı. İntegrasyon adım aralığı 1 fs olarak belirlendi. Çalışma boyunca gerilme testleri uygulanmadan önce model sistemin kararlı yapıda olabilmesi için hesaplama hücresi 50000 MD adımı dengeletildi. Potansiyelin kesilim mesafesi $r_c = 2a_{Cu}$ olarak belirlendi.

2.1 Potansiyel enerji fonksiyonu

Cu atomları arasındaki etkileşmeler çok cisim etkileşmelerini içeren Gömülmüş Atom Metodu (GAM) tarafından belirlendi. Gömülmüş Atom Metodunda (GAM) N atom içeren bir hesaplama hücresinde sistemin toplam enerji ifadesi [21, 22];

$$E_T = \frac{1}{2} \sum_{i,j}^N \phi(r_{ij}) + \sum_i^N F(\bar{\rho}_i) \quad (5)$$

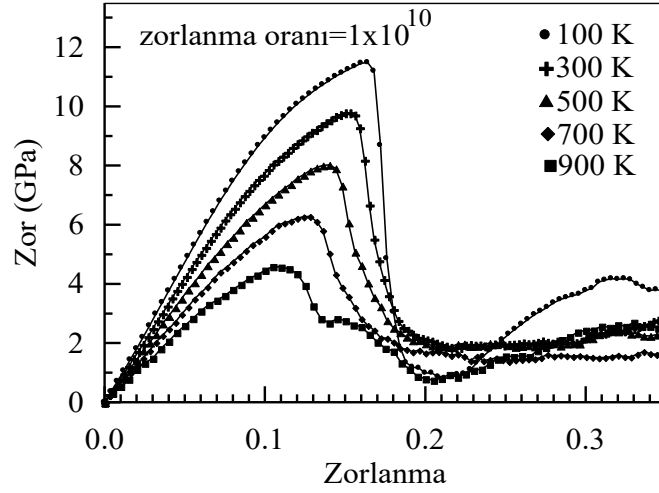
şeklinde verilmektedir. Fonksiyonda, atomlar arasındaki ikili etkileşmeleri içeren ilk terim itici etkileşmeleri ve gömme fonksiyonu olan ikinci terim ise çekici etkileşmeleri ifade etmektedir. İkili etkileşme potansiyeli ve gömme fonksiyonunun farklı sistemler için farklı türde tanımlanması sebebiyle GAM'ın farklı türleri bulunmaktadır [23,

24]. Bu çalışmada kullanılan Potansiyel fonksiyonunun detayları ve Cu elementi için parametrelerin değerleri literatürden bulunabilir [25].

MD hücresi içerisinde fcc, hcp, bcc gibi sıkı paket yapıların belirlenmesi benzetim çalışmalarında oldukça önemlidir. Birçok sayısal analiz yöntemi katı fazdaki bu yapıların belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin temel hedefi her bir parçacığa bir yapısal tür atamaktır. Ayrıca bu yöntemler yerel bir yapıyı idealleştirilmiş bir yapıyla eşleştirerek, ne kadar yakın olduklarını belirlemeye çalışır. MD benzetim çalışmalarında yapı karakterizasyon yöntemleri olarak merkez simetri parametre analizi (centrosymmetry parametre analysis), genel yakın komşu analizi (common neighbor analysis), bağ-yönelim analizi (bond-order analysis), bağ açısı analizi (bond-angle analysis), Honeycutt-Andersen, Voronoi analizi oldukça sık kullanılmaktadır [26, 27].

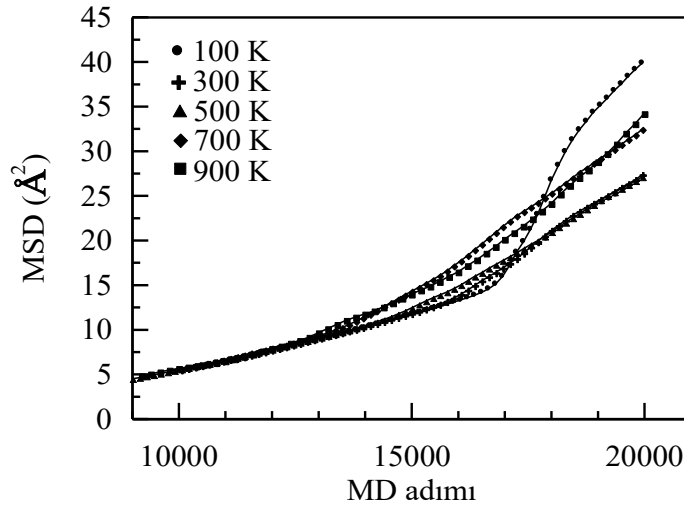
3. Bulgular

Bu çalışmada [100] yönünde uygulanan tek eksenli gerilme zorunun farklı sıcaklık, zorlanma oranı ve atom sayısına bağlı olarak bulk Cu model sisteminin gerilme davranışlarına etkisi MD yöntemi kullanılarak incelenmeye çalışıldı. 32000 atom benzetim çalışmasının başlangıcında fcc örgü noktalarına yerleştirildi ve model sistem farklı şartlarda çekme işlemleri uygulanmadan önce 50000 MD adımı dengeletildi. Şekil 1'de 5 farklı sıcaklık değerinde hacimsel Cu sistemine [100] doğrultusu boyunca uygulanan gerilme zoru için elde edilen zor-zorlanma eğrisi verilmiştir. Her sıcaklık değeri için zorlanma oranı $\epsilon=1 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ olarak alınmıştır. Şekil 1 deki zor-zorlanma grafiğinden her sıcaklık değeri için düşük zorlanmalarda ($\epsilon < 0,09$) doğrusal değişimin meydana geldiği bölge görülmektedir. Bu bölge elastik deformasyon bölgesi olarak bilinir. Zorlanma kritik bir değere ulaştığında zorda aniden bir düşüş meydana gelmektedir. Zor-zorlanma grafiğindeki bu ani azalma model sistemde meydana gelen plastik deformasyonun bir göstergesidir. Bununla birlikte zorun ulaştığı bu maksimum değer, homojen dislokasyon çekirdeklenmesi için gerekli akma zoru olarak bilinmektedir [28]. Önemli materyal özelliklerinden olan akma zoru, geri çevrilemeyen plastik deformasyonun başlangıcıyla ilişkili bir zor seviyesidir [29]. Model hacimsel Cu sistemi için akma zoru 100K, 300K, 500K, 700K ve 900K sıcaklık değerleri için sırasıyla 11,48 GPa, 9,8 GPa, 8,08 GPa, 6,28 GPa ve 4,58 GPa olarak belirlenmiştir. Sıcaklığın yükselmesiyle akma zorunun azaldığı açıkça görülmektedir. Yüksek sıcaklık değerlerinde atomik yapı yüksek entropiye sahiptir. Atomlar denge konumları etrafında sıcaklığa bağlı olarak büyük genliklerle titreşirler. Düşük sıcaklık değerleriyle karşılaştırıldığında yüksek sıcaklıklarda yeterli kinetik enerjiyi kazanan çok sayıda atom aktivasyon enerji engelini aşar. Elastik bölgenin ötesinde zor, akma noktasına ulaştıktan sonra aniden düşer ve böylece model sistemde plastik deformasyon meydana gelir. Bununla birlikte elde edilen sonuçlardan termal sürecin Cu elementinin uzamasında aktif bir rol oynadığı söylenebilir [30, 31]. Akma zorunun 100 K sıcaklığında 11,48 GPa olan değeri Cu elementinin deneysel akma zoru değeri olan 0,069 GPa değerinden oldukça düşük değerde tespit edilmiştir. Benzetim çalışmaları sonucu elde edilen akma zoru değerinin deneysel değerden farklı çıkmasında en büyük etken benzetim çalışmalarında kullanılan Cu model sisteminde deformasyon sürecini destekleyen herhangi bir kusur, dislokasyon, boşluk ve safsızlık bulunmaması gösterilebilir [31]. Akma zoru değerinin üzerinde bir zorlanma malzemeye uygulandığında plastik şekil değişimi başlamış olur ve kayma mekanizması devreye girer. Başka bir ifadeyle dislokasyonlar hareket etmeye başlar ve plastik şekil değiştirme meydana gelmiş olur. Ortam sıcaklığının plastik şekil değişim mekanizması üzerinde önemli bir etkisi vardır. Maddeye uygulanan kuvvet altında elastik şekil değiştirmesinin bir ölçüsü olarak bilinen Young modülünün yüksek değerleri o maddenin elastik özelliğinin azaldığını göstermektedir. Şekil 1 de zor zorlanma grafiğinde elastik deformasyonun meydana geldiği doğrusal bölgenin regresyon analizi sonucu Young modülü 100 K, 300 K, 500 K, 700 K ve 900 K sıcaklık değerleri için sırasıyla 95,14 GPa, 82,86 GPa, 71,03 GPa, 59,97 GPa ve 48,54 GPa olarak belirlenmiştir. Deneysel olarak Cu için Young modülü 130 GPa değerindedir [32]. Bununla birlikte Young modülünün değeri artan sıcaklıkla azalmaktadır [33]. Genellikle bu azalma erime sıcaklığı değerinin yarısına kadar hemen doğrusal olarak değişmekte ve bu noktadan sonra azalma artmaktadır. Erime sıcaklığında atomlar arası çekim kuvveti olmadığından, Young modülü değeri sıfıra yaklaşır [34]. Modelleme çalışması erime sıcaklığından düşük sıcaklık değerlerinde yapıldığından bu azalmanın doğrusal bir şekilde değiştiği görülmektedir.



Şekil 1. $1 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ zorlanma oranı için 5 farklı sıcaklık değerinde elde edilmiş zor-zorlanma eğrisi.

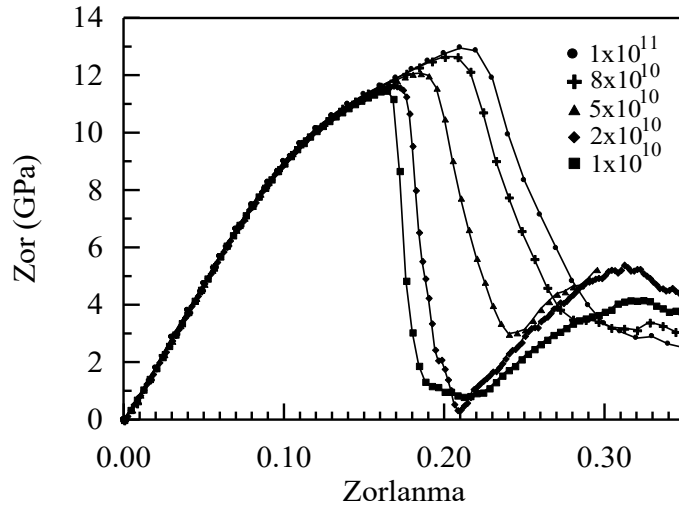
Yapısal bir değişim atomların kısa mesafeli yer değiştirmelerini gerektirmekte ve dönüşümün meydana geldiği bölgedeki atomlar daha fazla hareketli olmaktadır. Bundan dolayı model sistem içindeki atomların ortalama yer değiştirmesi artacaktır. Bu değişim kare ortalama yerdeğiştirme (mean square displacement-MSD) bağıntısı kullanılarak incelenebilir [35]. Şekil 2'de $1 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ zorlanma değeri için 5 farklı sıcaklık değerinde elde edilen MSD verilmiştir. Sisteme zorlanma uygulanmaya başladıktan sonra elde edilen MSD grafiğinde model sistemin bulunduğu farklı sıcaklık değerlerinde uygulanan aynı zorlanma değeri için sıcaklığın artmasıyla kinetik enerjileri artan atomların MSD değerlerinin daha erken MD adımlarında meydana geldiği görülmektedir. Şekil 2 de farklı sıcaklık değerlerinde Cu sistemine uygulanan aynı zorlanma oranı için zorlanmanın artmasıyla, sıcaklık artışına bağlı olarak MSD de daha önce bir artışın meydana geldiği görülmektedir. MSD eğrilerinde görülen artışlar akma noktalarına karşılık gelmektedir. Plastik deformasyonun başlamasıyla atomların ortalama yer değiştirmelerinde de artma meydana geldiği söylenebilir.



Şekil 2. $1 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ zorlanma oranı için 5 farklı sıcaklık değerinde elde edilmiş MSD değişimi.

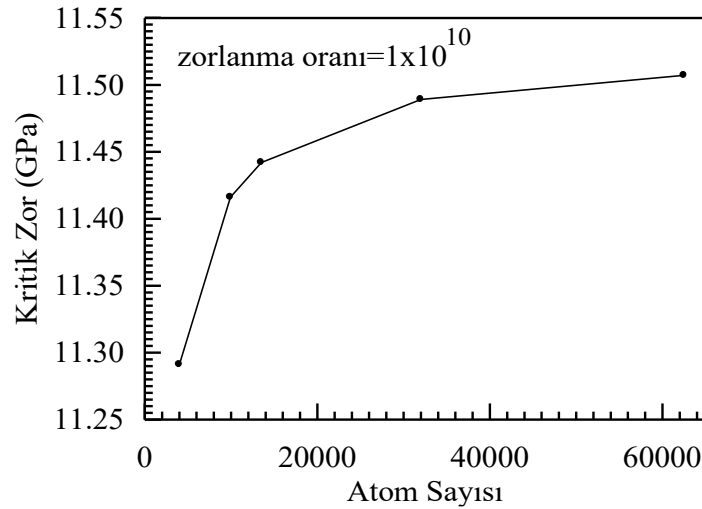
Şekil 3'de hacimsel Cu model sisteminin 100 K sıcaklık değerinde $1 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$, $2 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$, $5 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$, $8 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ ve $1 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$ zorlanma oranları için elde edilen zor-zorlanma eğrileri görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan zorlanma oranları deneysel değerlerle karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Çünkü MD nin zaman ölçeği atomik hareketlilik tarafından belirlendiği için çok kısa bir süre benzetim yapılabilir. Kısa zaman ölçeğinin bir sonucu olarak mevcut zamanda uygun bir deformasyon için yüksek bir zorlanma oranı gereklidir [31]. Bütün zorlanma oranları için zor değerinin, zorlanmanın 0,08 değerine kadar doğrusal olarak arttığı Şekil 3'den açıkça görülmektedir. Bu değer altında zor-zorlanma eğrisi uygulanan bütün zorlanma oranları için tamamen örtüşür. Bu plastik deformasyonun meydana gelmediği elastik bölge için model sistemin elastik özelliklerinin zorlanma

oranına bağlı olmadığı söylenebilir. Ayrıca Young modülünün zorlanma oranına bağlı olmaması, tek kristallerde aynı kristalografik yönlerde oluşan elastik deformasyon esnasında bağların aynı gerilme değerleri için aynı atomlararası kuvvete ihtiyaç duymasından kaynaklandığını göstermektedir. Benzer şekilde farklı zorlanma oranlarında olsa bile aynı kristal doğrultularında ikizlenmelerin çekirdeklenmesi için aynı zor gereklidir. Bu nedenle de Young modülünün zorlanma oranından bağımsız olduğu söylenebilir [36]. Zor-zorlanma grafiğinde elastik deformasyonun meydana geldiği doğrusal bölgenin regresyon analizi sonucu Young modülü 96.2 GPa olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte model Cu sistemi için zorun ulaştığı maksimum değer olan akma zoru $1 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$, $2 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$, $5 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$, $8 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ ve $1 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$ zorlanma oranları için sırasıyla 11,48 GPa, 11,64 GPa, 12,07 GPa, 12,64 GPa ve 12,95 GPa olarak belirlenmiştir. Zorlanma oranının artmasıyla akma zor değerinin arttığı açıkça görülmektedir. Zorlanma oranının artmasıyla model sistemin plastik deformasyona uğraması için daha yüksek zorlara ihtiyaç duyulduğu söylenebilir.



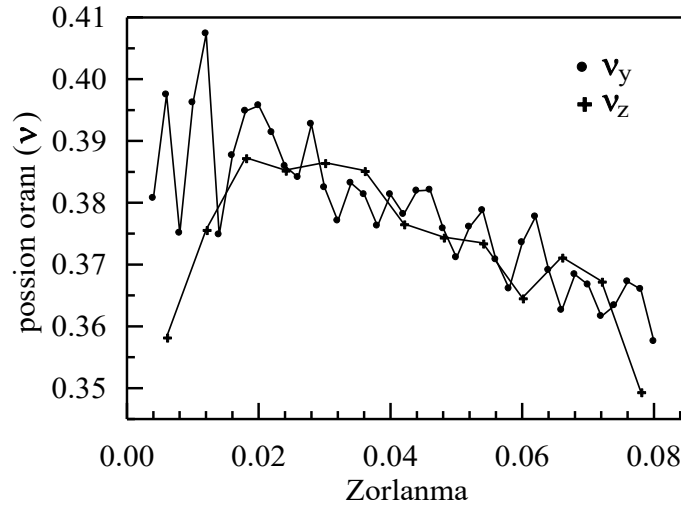
Şekil 3. 100 K sıcaklık değeri için 5 farklı zorlanma oranı için zor-zorlanma eğrisi.

Maddelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin atom sayısına bağlılık göstermesi beklenen bir durumdur [31]. Bundan dolayı modellenecek sistemde kullanılacak atom sayısı sistemin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde önemli bir faktördür. Parçacık sayısının kritik akma zoru üzerindeki etkisini belirlemek için çalışmada 4000, 9912, 13500, 32000 ve 62500 atom içeren MD hücresi kullanılmıştır. Şekil 4 te Cu model sistemi $1 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ zorlanma oranı için atom sayısı ile kritik zorun (akma zoru) değişimi görülmektedir. Parçacık sayısının artması ile kritik zor değerinde de bir artış meydana gelmektedir. 9912 parçacık sayısından sonra kritik zordaki artış değerinin azaldığı görülmektedir. Parçacık sayısının artmasının atomlar arasındaki bağlanmanın daha güçlü olmasına ve böylece plastik deformasyon için gerekli olan zor değerinin artmasına sebep olduğu söylenebilir.



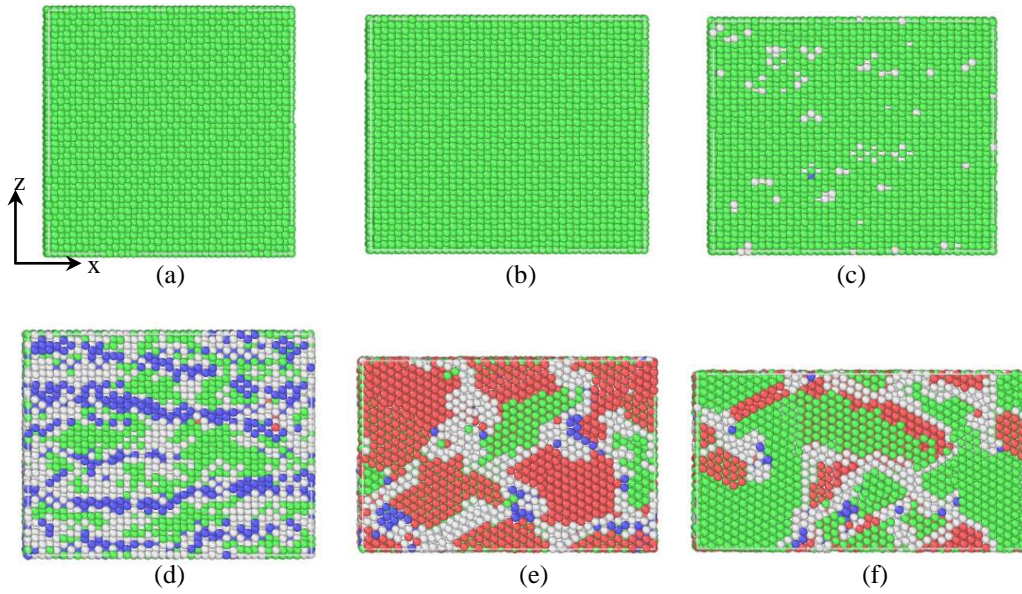
Şekil 4. 100 K sıcaklık ve $1 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ zorlanma oranı için atom sayısına bağlı olarak kritik zor değerinin değişimi.

Maddelerin deformasyonunu belirleyen önemli bir parametre de poisson oranı (ν) dır. Bir maddeye elastik bölge sınırları içinde çekme ve sıkıştırma şeklinde bir zor uygulandığında atomların birbirine yaklaşacak veya uzaklaşacağından hacimde bir değişiklik meydana gelecektir. Zorlanma yönüne dik yöndeki doğrultularda meydana gelen değişim poisson oranı ile hesaplanır. Eğer malzemeye x yönünde bir gerilme uygulanırsa y ve z yönlerindeki poisson oranı $\nu_y = -\epsilon_y / \epsilon_x$ ve $\nu_z = -\epsilon_z / \epsilon_x$ olarak hesaplanır. Burada ϵ_x , ϵ_y ve ϵ_z sırasıyla x, y ve z yönlerindeki zorlanmaları göstermektedir. Poisson oranı bütün metaller için hemen hemen 0,28 ile 0,34 arasında değer almaktadır [37]. Malzeme plastik deformasyona maruz kaldıktan sonra birim hücrede bir sıkışma veya genişleme meydana gelmediğinden dolayı hacim sabit kalmaktadır ve bu durumda poisson oranı 0,5 değerini alır. Şekil 5 te Cu model sistemine elastik sınırları içinde uygulanan zorlanmaya karşı y ve z yönlerinde hesaplanan poisson oranının değişimi görülmektedir. Bu değişimin ortalama değerleri alındığında y ve z yönlerindeki poisson oranları $\nu_y = 0,378$ ve $\nu_z = 0,376$ olarak belirlenmiştir. Deneysel olarak Cu için poisson oranı 0,34 değerindedir. Hesaplamalardan elde edilen değer ile MD benzetim çalışmasından elde edilen değerlerin birbiriyle uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

**Şekil 5.** 100 K sıcaklık ve $1 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ zorlanma oranı için zorlanma ile poisson oranının değişimi.

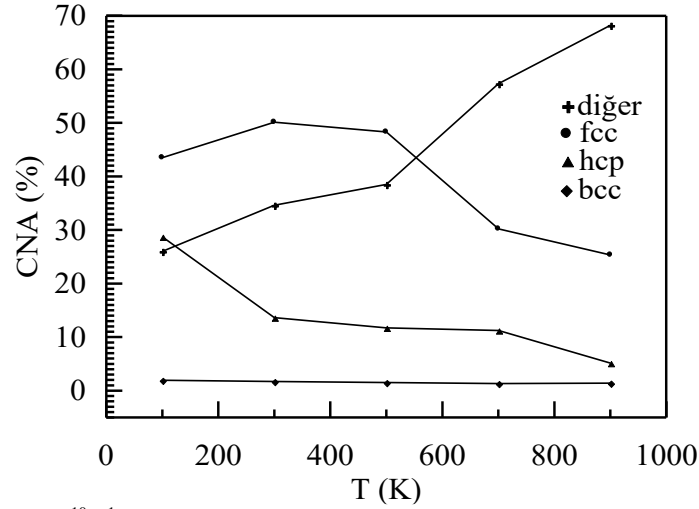
Deneysel olarak özellikle yüksek zorlanma değerlerinde malzemenin mikro yapısal gelişimini anlamak oldukça zorken, MD benzetim yöntemi farklı yüklenme durumlarında malzemenin mikro yapısal gelişimi açıklamak için oldukça kullanışlı bir tekniktir [38]. Bu çalışmada, çekme işlemi esnasında model sistemdeki atomların etrafında oluşan fcc, hcp, bcc gibi bölgesel yapıların yüzdesini belirlemek için Honeycutt ve Andersen tarafından önerilen ortak komşu analizi (common neighbor analysis-CNA) olarak bilinen topolojik analiz yöntemi kullanıldı. CNA analizi kristal yapıların yığılma kusurları, tane sınırları, deformasyon ve değişik fazlar gibi yapısal gelişimleri belirlemek için kullanılan yararlı bir karakterizasyon tekniğidir [39-41]. CNA algoritması, bir referans atomu etrafındaki en yakın komşuların geometrik bir analizini gerçekleştirir. Radyal dağılım fonksiyonunun ilk iki tepe noktası arasındaki minimum değeri ile seçilen atomların belirli bir mesafe içerisindeki dizilimleri tek tek analiz edilir [42]. Bu analizde model sistemdeki her bir atom, bir atom ve en yakın komşuları arasındaki bağlar tarafından belirlenen bölgesel kristal yapıya göre sınıflandırılır. Bu nedenle burada atomlar fcc, hcp, bcc ve "diğer" olmak üzere 4 sınıfa ayrılır. Bölgesel bir fcc düzenindeki atomlar fcc atomları olarak kabul edilir. Bölgesel bir hcp düzenindeki atomlar, fcc kristalinde oluşan yığılma kusuru yapılar olarak görülen hcp atomları olarak dikkate alınır. Diğer tüm yerel düzenlenmelerdeki atomlar ise "diğer" atomlar olarak adlandırılır [43]. Atomik görüntüler ve CNA analizi OVITO programı kullanılarak belirlenmiştir [44]. OVITO programına göre atomlar renklendirilmiştir. Yeşil renk fcc, kırmızı hcp, mavi bcc ve beyaz renk "diğer" olarak adlandırılan bu yapıların haricindeki bölgesel yerleşme gösteren atomları temsil etmektedir. Şekil 6 (a-f)'de 100 K sıcaklığında $1 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ zorlanma değeri için farklı zorlanma değerlerinde CNA analizinden elde edilmiş atomik görüntüler yer almaktadır. Şekil 6 (a)'da model sistem 100 K sıcaklığında dengeye getirilmiş ve herhangi bir zorlanma uygulanmadan önce elde edilen atomik görüntüleri verilmiştir. Yeşil renkli atomlar fcc birim hücreli yapıları

göstermektedir. x eksenini doğrultusunda uygulanan zorlanma 0,1 değerine ulaştığında fcc yapının korunduğu ve x eksenini boyunca uzamanın meydana geldiği Şekil 6 (b)'de açıkça görülmektedir. Zorlanma değeri 0,16'a ulaştığında model sistemde fcc yapının %95,6 oranında olduğu, buna karşılık %0,1 bcc ve %4,4 diğer yapıların oluşmaya başladığı belirlenmiştir. Zorlanmanın 0,17 olduğu akma sınırına değerine yaklaşılmaya başlandığında model sistemdeki fcc birim hücreli yapı yüzdelinde ani bir düşüşün olduğu, buna karşılık %19,3 bcc, %0,3 hcp ve %50,2 oranında diğer yapıların meydana geldiği Şekil 6 (d) de görülmektedir. Akma sınırının aşıldığı 0,21 zorlanma değerine ulaşıldığında %23,6 fcc, %5,1 bcc, %37,4 hcp ve %33,6 diğer yapıların oluştuğu tespit edilmiştir. Şekil 6 (f)'de 0,35 zorlanma değerinde model sistemde fcc %43,5, bcc %1,9, hcp %28,7 ve diğer yapıların %26 değerinde olduğu belirlenmiştir. Bilindiği gibi Cu'da yığılma kusuru, Cu'nun düşük yığılma kusur enerjisinden dolayı kolaylıkla oluşmaktadır [43]. Akma zoru aşıldıktan sonra model sistem içerisindeki iç zorlar yığılma kusurların artmasına sebep olmuştur. hcp yüzdesindeki artışın bu durumun bir göstergesi olduğu söylenebilir.



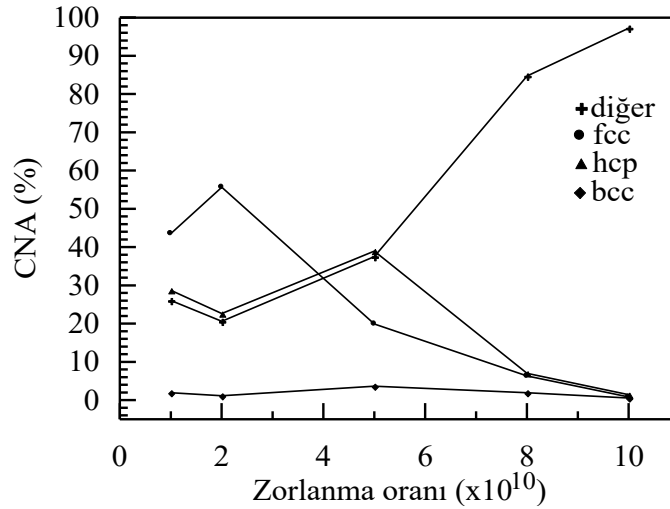
Şekil 6. 100 K sıcaklık ve $1 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ zorlanma oranı için zorlanmanın, (a) 0, (b) 0,1, (c) 0,16, (d) 0,17, (e) 0,21 ve (f) 0,35 değerleri için CNA analiz sonuçları. Yeşil renk fcc, kırmızı renk hcp, mavi bcc yapıları temsil etmektedir. Beyaz renkler ise "diğer" olarak ifade edilen tanımsız yapıları göstermektedir.

Şekil 7'de $1 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ zorlanma oranı için zorlanmanın 0,35 olduğu değerinde CNA analizinden elde edilen sıcaklığa karşı model sistem içindeki bölgesel yapıların yüzde değişimleri verilmiştir. Sıcaklığın yükselmesi "diğer" yapılarda bir artışa, bu karşılık fcc ve hcp yapıların yüzdelinde bir azalmaya sebep olmuştur. Atomların bcc yapıdaki komşuluk yüzdelinde ise tüm sıcaklık değerlerinde hemen hemen bir değişim görülmemiştir. Sıcaklığın yükselmesiyle atomlar arasındaki bağ kuvvetlerinin zayıflaması ve hareketlilikleri artan atomların uygulanan zorlanma altında bölgesel düzenli yapılarını koruyamadıkları ve bundan dolayı bir azalmanın meydana geldiği söylenebilir.



Şekil 7. $1 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ zorlanma oranı için farklı sıcaklıklarda elde edilen CNA analiz sonuçları.

Şekil 8’de 100 K sıcaklık değerinde zorlanma oranı ile model sistemdeki bölgesel yapıların yüzde değişimleri verilmiştir. Bu yüzde değerleri zorlanmanın $0,35$ olduğu anda belirlenen değerlerdir. Zorlanma oranının artmasıyla “diğer” yapıların yüzdesinde bir artma ve bu karşılık fcc ve hcp yapıların yüzde değerlerinde azalma açıkça şekilden görülmektedir. bcc yapıların yüzdesinde tüm zorlanma değerleri için herhangi bir değişim görülmemektedir.



Şekil 8. 100 K sıcaklık değerinde farklı zorlanma oranlarında elde edilen CNA analiz sonuçları.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada tek eksenli gerilme zorlanmasının Cu model sisteminin gerilme davranışı ve yapısal özellikleri üzerine etkisi MD benzetim yöntemi kullanılarak incelenmeye çalışıldı. Atomlararası etkileşmelerin belirlenmesinde GAM potansiyel fonksiyonu kullanıldı. Cu’ın gerilme davranışının hem sıcaklık hem de zorlanma oranından önemli derecede etkilendiği belirlendi. Akma zoru (kritik zor) değerinin sıcaklık artışı ile azaldığı, zorlanma oranının ve atom sayısının artışı ile arttığı gözlemlendi. Young modülü, akma zorlanması, poisson oranı gibi önemli mekanik parametreler MD benzetim yöntemi ile belirlenerek deneysel değerlerle karşılaştırıldı. Ayrıca CNA yapı analiz yöntemi ile farklı sıcaklık ve zorlanma oranlarında model sistemin yapısal değişimler gösterdiği belirlendi.

Kaynaklar

- [1] Luu HT, Gunkelmann N. Pressure-induced phase transformations in Fe-C: Molecular Dynamics Approach. *Computational Materials Science* 2019; 162: 295-303.
- [2] Yildiz YO, Ahadib A, Kirca M. Strain rate effects on tensile and compression behavior of nano-crystalline nanoporous gold: A molecular dynamic study. *Mechanics of Materials* 2020; 143: 103338.
- [3] Wen YH, Zhang Y, Wang Q, Zheng JC, Zhu ZZ. Orientation-dependent mechanical properties of Au nanowires under uniaxial loading. *Computational Materials Science* 2010; 48: 513-519.
- [4] Tang CY, Zhang LC, Mylvaganam K. Rate dependent deformation of a silicon nanowire under uniaxial compression: Yielding, buckling and constitutive description. *Computational Materials Science* 2012; 51: 117–121.
- [5] Chang WJ. Molecular-dynamics study of mechanical properties of nanoscale copper with vacancies under static and cyclic loading. *Microelectronic Engineering* 2003; 65: 239-246.
- [6] Silva EZD, Silva AJRD, Fazzio A. How do gold nanowires break? *Phys. Rev. Lett.* 2001; 87: 256102.
- [7] Jelínek P, Pérez R, Ortega J, Flores F. First-principles simulations of the stretching and final breaking of Al nanowires: Mechanical properties and electrical conductance. *Phys. Rev. B* 2003; 68: 085403.
- [8] Nakamura A, Brandbyge M, Hansen LB, Jacobsen KW. Density functional simulation of a breaking nanowire *Phys. Rev. Lett.* 1999; 82: 1538-1541.
- [9] Silva EZ, Novaes FD, Silva AJR, Fazzio A. Theoretical study of the formation, evolution, and breaking of gold nanowires. *Phys. Rev. B* 2004; 69: 115411.
- [10] Davoodi J, Ahmadi M. Molecular Dynamics simulation of elastic properties of CuPd nanowire. *Composites: Part B* 2012; 43: 10-14.
- [11] Etesami S.A., Asadi E., Molecular dynamics for near melting temperatures simulations of metals using modified embedded-atom method. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2018, 112: 61–72.
- [12] Chamati H, et al. Embedded-atom potential for Fe and its application to self-diffusion on Fe(100). *Surface Science* 2006; 600: 1793–1803.
- [13] Mendeleev MI, et al., Development of new interatomic potentials appropriate for crystalline and liquid iron. *Philosophical Magazine* 2003; 83(35): 3977–3994.
- [14] Cagin T, Dereli G, Uludogan M, Tomak M. Thermal and mechanical properties of some fcc transition metals. *Phys. Rev. B* 1999; 59(4): 3468-3472.
- [15] Zhang XJ, Chen CL. Phonon dispersion in the Fcc metals Ca, Sr and Yb. *J. Low Temp. Phys.* 2012, 169: 40-50.
- [16] Tolpin KA, Bachurin VI, Yurasova VE. Features of energy dependence of NiPd sputtering for various ion irradiation angles. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 2012; 273: 76-79.
- [17] Louail L, Maouche D, Roumili A, Hachemi A. Pressure effect on elastic constants of some transition metals. *Mat. Chem. Phys.* 2005; 91: 17-20.
- [18] <http://lammps.sandia.gov/LAMMPS> Molecular Dynamics Simulator (Erişim Tarihi:02.01.2021).
- [19] Kazanc S. The effects on the lattice dynamical properties of the temperature and pressure in random NiPd alloy. *Can. J. Phys.* 2013; 91: 833–838.
- [20] Kazanc S, Ozgen S, Adiguzel O. Pressure effects on martensitic transformation under quenching process in a molecular dynamics model of NiAl alloy. *Physica B* 2003; 334: 375-381.
- [21] Voter AF, Chen SP. Accurate Interatomic Potentials for Ni, Al, and Ni3Al. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 1987; 82: 175.
- [22] Finnis MW, Sinclair JE. A simple empirical N-body potential for transition metals. *Philosophical Magazine*, 1984; 50: 45-55.
- [23] Cai J, Ye YY. Simple analytical embedded-atom-potential model including a long-range force for fcc metals and their alloys. *Phys. Rev. B* 1996; 54: 8398.
- [24] Kazanc S, Özgen S. The Changes of barrier energy in fcc-bcc phase transformation by shear stresses. *G.U. Journal of Science* 2004; 17(2): 35-42.
- [25] Wadley HNG, Zhou X, Johnson RA, Neurock M. Mechanism, models and methods of vapor deposition. *Progress in Materials Science* 2001; 46: 329-377.
- [26] Malins A, Williams SR, Eggers J, Royall CP. Identification of structure in condensed matter with the topological cluster classification. *The Journal of Chemical Physics* 2013; 139: 234506.
- [27] Stukowski A. Structure identification methods for atomistic simulations of crystalline materials. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering* 2012; 20: 045021.
- [28] Zhang L, Lu C, Tieu AK. Nonlinear elastic response of single crystal Cu under uniaxial loading by molecular dynamics study. *Materials Letters* 2018; 227: 236-239.
- [29] Schiotz J, Tolla FDD, Jacobsen KW. Softening of nanocrystalline metals at very small grain sizes. *Nature* 1998; 391: 561-563.
- [30] Jing Y, Meng Q, Zhao W. Molecular dynamics simulations of the tensile and melting behaviours of silicon nanowires. *Physica E* 2009; 41: 685-689.
- [31] Wen YH, Zhu ZZ, Zhu RZ. Molecular dynamics study of the mechanical behavior of nickel nanowire: Strain rate effects. *Computational Materials Science* 2008; 41: 553-560.
- [32] Howatson AM, Lund PG, Todd JD. *Engineering Tables and Data*. London: Chapman and Hall, 1972.

- [33] Wang J, Huang QA, Yu H. Size and temperature dependence of Young's modulus of a silicon nano-plate. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2008; 41: 165406.
- [34] Koh SJA, Lee HP, Lu C, Cheng QH. Molecular dynamics simulation of a solid platinum nanowire under uniaxial tensile strain: Temperature and strain-rate effects. *Phys. Rev. B* 2005; 72: 085414.
- [35] Rahman A. Correlation in the motion of atoms in liquid Argon. *Physical Review* 1964; A405: 136.
- [36] Li L, Han M. Molecular dynamics simulations on tensile behaviors of single-crystal bcc Fe nanowire: effects of strain rates and thermal environment. *Appl. Phys. A* 2017; 123: 450.
- [37] Yang Z, Yang Q, Zhang G. Poisson's ratio and Young's modulus in single-crystal copper nanorods under uniaxial tensile loading by molecular Dynamics. *Physics Letters A* 2017; 381: 280-283.
- [38] Rawat S, Mitra N. Twinning, phase transformation and dislocation evolution in single crystal titanium under uniaxial strain conditions: A molecular dynamics study. *Computational Materials Science* 2020; 172: 109325.
- [39] Bonny G, Castin N, Terentyev D. Interatomic potential for studying ageing under irradiation in stainless steels: the FeNiCr model alloy. *Model. Simul. Mater. Sci. Eng.* 2013; 21: 085004.
- [40] Mishin Y, Mehl M, Papaconstantopoulos D, Voter A, Kress J. Structural stability and lattice defects in copper: Ab initio, tight-binding, and embedded-atom calculations. *Phys. Rev. B* 2001; 63: 224106.
- [41] Winey J, Kubota A, Gupta Y. A thermodynamic approach to determine accurate potentials for molecular dynamics simulations: thermoelastic response of aluminum. *Model. Simul. Mater. Sci. Eng.* 2009; 17: 055004.
- [42] Bañuelos EU, Aburto CC, Arce AM. A common neighbor analysis of crystallization kinetics and excess entropy of charged spherical colloids. *The Journal of Chemical Physics* 2016; 144: 094504.
- [43] Fanga R, Wanga W, Guoa L, Zhanga K, Zhanga X, Lib H. Atomic insight into the solidification of Cu melt confined in graphene Nanoslits. *Journal of Crystal Growth* 2020; 532: 125382.
- [44] Stukowski A. Visualization and analysis of atomistic simulation data with OVITO—the Open Visualization Tool. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering* 2010; 18(1): 015012.

Manyetik Aktif Karbon ile Modifiye Edilmiş Bitümün Fiziksel ve Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Bahadır YILMAZ^{1*}

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, Türkiye

*¹ bahadir.yilmaz@btu.edu.tr

(Geliş/Received: 21/01/2021;

Kabul/Accepted: 01/04/2021)

Öz: Bu çalışmada, manyetik aktif karbon (MAK) ile modifiye edilmiş saf bitümlü bağlayıcının fiziksel ve reolojik özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır. Çalışma kapsamında B 160/220 penetrasyon sınıfına sahip bitümlü bağlayıcıya %5,%10,%15 ve %20 oranlarında MAK ilave edilerek modifiye bitümler elde edilmiştir. Kısa dönem yaşlandırılmış ve saf bağlayıcılara, geleneksel bağlayıcı deneyleri, dinamik kayma reometresi (DSR) ve dönel viskozimetre (RV) deneyleri uygulanmıştır. DSR deneyi, yükleme hızları ve deney sıcaklıkları değiştirilerek gerçekleştirilmiş ve bitümlü bağlayıcıların farklı şartlar altında kompleks kayma modülü (G*) değerleri ve faz açılarındaki değişimler incelenerek tekerlek izi oluşumuna karşı dayanımları değerlendirilmiştir. Test sonuçlarına göre katkı oranının artması ile birlikte modifiye bitümlerin penetrasyon değerlerinin azaldığı, yumuşama noktası değerlerinin arttığı, reolojik özelliklerin iyileştiği ve buna bağlı olarak yüksek sıcaklık performansının geliştiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bitüm, Modifikasyon, Manyetik Aktif Karbon, Reoloji.

Investigation of Physical and Rheological Properties of Magnetic Activated Carbon Modified Bitumen

Abstract: In this study, changes in physical and rheological properties of base bituminous binder modified with magnetic activated carbon (MAK) were investigated. Within the scope of the study, modified bitumens were obtained by adding MAK at the rates of 5%,10%,15% and 20% to the bituminous binder with B 160/220 penetration class. Conventional binder experiments, dynamic shear rheometry (DSR) and rotary viscometry (RV) experiments were applied to short-term aged and pure binders. The DSR test was carried out by changing the loading speeds and test temperatures and the complex shear modulus (G *) values of the bituminous binders under different conditions and the changes in phase angles were examined and their resistance against the formation of traces was evaluated. According to the test results, it was determined that with the increase in the rate of additives, the penetration values of the modified bitumen decreased, the softening point values increased, the rheological properties improved, and consequently the high temperature performance improved.

Key words: Bitumen, Modification, Magnetic Activated Carbon, Rheology.

1. Giriş

Bitümlü sıcak karışımlar agrega ve bitümün belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen yol kaplama malzemeleridir. Karışımda iskelet görevi gören agregalar kayaların kırılıp ufalanması ile elde edilirken, bitüm ise ham petrolün rafine işlemi görmesi sonrasında elde edilmektedir. Bitümlü bağlayıcılar, bitümlü sıcak karışımların ağırlıkça %5-7'sine tekabül etmekle birlikte agregalara yapışarak düzgün bir kaplama yüzeyi oluşturur ve geçirimsizlik elde edilmesine yardımcı olurlar [1-4]. Servis ömrünün başlarında yüksek performans sergileyen asfalt kaplamalarda, çeşitli dış ve iç etkilerden dolayı zamanla bozulmalar meydana gelmektedir. Bu etkiler ağır ve tekrarlı trafik yükleri, değişken iklim koşulları, özellikle çok düşük ve yüksek sıcaklıklar, çevresel faktörler, kimyasal maddeler olabilmekle birlikte, inşa ve proje aşamasındaki eksiklikler de önem arz etmektedir. Bitümlü sıcak karışımlarda bu sebeplerden dolayı zamanla kalıcı deformasyonlar, termal çatlaklar, düşük sıcaklık çatlakları, yorulma çatlakları ve soyulmalar gibi çeşitli bozulmalar meydana gelmektedir [5-8]. Bitümlü sıcak karışımların serilip sıkıştırılması ile elde edilen asfalt kaplamaları servis ömrü boyunca olumsuz yönde etkileyen bu bozulmaların en önemli sebeplerinden biri bağlayıcı özellikleridir [9-11]. Saf bitümlü bağlayıcılar yüksek ve düşük sıcaklıklara karşı gerekli toleransı çoğu iklim koşulunda gösterememekle birlikte, yeterli elastikiyet ve mukavemet özelliklerini de ağır ve tekrarlı trafik yükleri karşısında sağlayamamaktadır. Bu durumda asfalt kaplamaların servis ömrü azalmakta, bakım ve onarım maliyetleri artmaktadır [12-14]. Bu sebeple bitümlü bağlayıcıların düşük ve yüksek sıcaklık özelliklerini, kalıcı deformasyonlara karşı dayanımlarını, stabilitelelerini ve bunun gibi performans kabiliyetlerini geliştirmek veya istenen şartlara uygun

* Sorumlu yazar: bahadir.yilmaz@btu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-8328-5328

hale getirmek suretiyle servis ömrünü uzatmak amacıyla çeşitli katkı malzemeleri ilave edilerek modifiye bitümler elde edilmektedir. Bu şekilde asfalt kaplamaların ilk yapım maliyetleri artmasına rağmen servis ömrü boyunca harcanan toplam para açısından bakıldığında fayda sağlanmaktadır [15-18]. Günümüzde modifiye bitüm elde etmek için çoğunlukla polimer malzemeler kullanılmakla birlikte, kauçuk, siyah karbon, çözücüler, elyaflar, lifler, organik veya inorganik atık malzemeler, yağlar gibi çeşitli katkıları da tercih edilebilmektedir [19-24].

Katkı olarak özellikle karbon bazlı maddelerin kullanılmasının bitümlü bağlayıcıların fiziksel, reolojik, termal ve elektriksel iletim, durabilite gibi özelliklerini artırdığı bilinmektedir. Ayrıca bitümün kimyasal yapısı hidrokarbonların kompleks bir karışımı olduğundan karbon bazlı katkıları bitümle iyi bir kimyasal ilişki oluşturarak uyumsuzlukların önüne geçmekte, modifikasyon işlemi sırasında meydana gelebilecek topaklanma, homojen yapı oluşumu gibi çeşitli problemlerin oluşumunu engellemektedir.

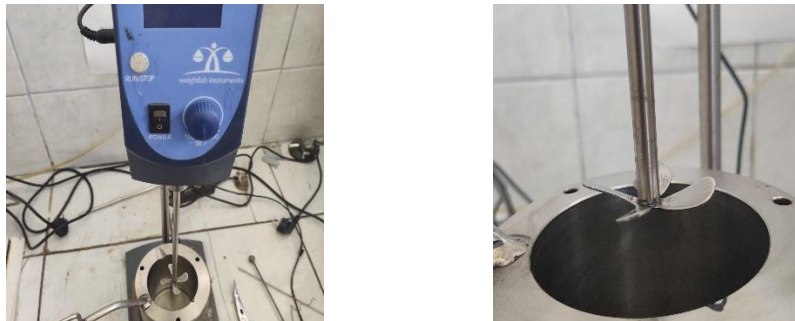
Bugüne kadar bitümlü bağlayıcılarda gerek katkı malzemesi [25-27] gerekse filler malzemesi [28-29] olarak çeşitli tip, üretim şekilleri ve kaynaklardan elde edilen karbon kullanılmıştır. Öğütülmüş araç lastiklerinin piroliz işleminden geçirilmesi sonucu elde edilen karbon siyahı bitümlü bağlayıcılara katkı olarak kullanılmış ve bitümün rijitliğini artırarak tekerlek izine karşı dayanım parametrelerini de geliştirmiştir [30]. Notani ve ekibinin yapmış oldukları çalışmada bitüm katkısı olarak karbon siyahı kullanılmış ve bazı fiziksel ve reolojik özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir [11]. Cong ve diğ. yaptıkları çalışmada bitümlü bağlayıcılara katkı olarak en yaygın kullanılan madde olan SBS ve karbon siyahını birlikte kullanmış ve bağlayıcının yüksek sıcaklık performans özelliklerini, termal iletkenliğini artırırken depolama stabilitesi ve elektriksel hassasiyetini azalttığı sonucuna varmışlardır [31].

Son zamanlarda endüstriyel alanlardaki kirliliklerin temizlenmesinde, gıda sanayinde, ilaç sektöründe, kozmetik sektöründe aktif karbon kullanılmaktadır [32,33]. Aktif karbon, karbon içeren çok çeşitli organik ve inorganik malzemelerden, hindistan cevizi, meyve çekirdeği, fındık kabuğu vb., elde edilebilmektedir [34]. Aktif karbon çeşitli alanlarda tercih edilmesinin yanı sıra bitümlü bağlayıcılarda da katkı malzemesi olarak kullanılabilir. Seyrek ve ekibinin yapmış olduğu çalışmada tarımsal atıklardan elde edilen aktif karbon bitüm modifikasyonunda kullanılmıştır. %5,10 ve 15 oranlarında katkı kullanılarak elde edilen modifiye bitümlerin reolojik özellikleri ve bitümlü sıcak karışımların da mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Saf ve modifiye bağlayıcılar üzerinde BBR, DSR, dönel viskozimetre (RV), yumuşama noktası ve penetrasyon deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, aktif karbonun bitümlü bağlayıcılarda katkı olarak kullanılması ile bitümün rijitliğinin ve yüksek sıcaklık performanslarının arttığı belirlenmiştir. Ayrıca karışımın stabilite, rijitlik ve kalıcı deformasyon değerlerini artırmıştır [35].

Bu çalışmada %5, %10, %15 ve %20 oranlarında manyetik aktif karbon (MAK) ilave edilerek modifiye bitümler elde edilmiş, saf ve modifiye bağlayıcılar üzerinde geleneksel bağlayıcı deneyleri, dönel viskozimetre (RV), DSR ve RTFO deneyi uygulanmış ve fiziksel, reolojik özellikleri değerlendirilmiştir.

2. Malzeme ve Metot

Saf bağlayıcıya %5, %10, %15 ve %20 olmak üzere dört farklı oranda manyetik aktif karbon (MAK) ilave edilerek modifiye bitümler elde edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalara göre katkı malzemesi saf bitüme yavaş yavaş eklenerek, 1000 devir/dakika hızda 180°C sabit sıcaklıkta bir saat süre ile karıştırılmıştır [35-37]. Modifiye mikseri ve modifiye işleminde kullanılan dört bıçaklı pervane Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Modifiye mikseri ve dört bıçaklı pervane

2.1. Bitümlü Bağlayıcı

Çalışmada bağlayıcı olarak TÜPRAŞ Batman rafinerisinden alınan B 160/220 sınıfı bitüm kullanılmıştır. Saf bağlayıcının fiziksel özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Saf bağlayıcının fiziksel özellikleri

Özellikler	Değer	Şartname
Penetrasyon (25°C, dmm)	176.7	ASTM D-5
Yumuşama Noktası (°C)	43.7	ASTM D-36
Düktilite (25°C, cm)	100+	ASTM D-113
Parlama Noktası (°C)	223	ASTM D-92
Özgül ağırlık (25°C, g/cm ³)	1.018	ASTM D-70
Viskozite (135°C, cP)	275	ASTM D-4402
Viskozite (165°C, cP)	100	ASTM D-4402

2.2. Manyetik Aktif Karbonun Özellikleri

Çalışmada kullanılan manyetik aktif karbonun fiziksel özellikleri ve görüntüsü sırasıyla Tablo 2 ve Şekil 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Manyetik aktif karbonun özellikleri

Özellik	Değer
Görünür yoğunluk (g/cm ³)	1.2814
Gerçek yoğunluk (g/cm ³)	2.52245
BET yüzey alanı (Mikro+Mezo)(m ² /g)	310.9
Mikroporyüzey alanı (m ² /g)	210.1
Mezoporyüzey alanı (m ² /g)	100.8
Langmuiryüzey alanı (m ² /g)	495.3
Por hacmi (Mikro+Mezo)(cm ³ /g)	0.4523
Mikroporhacmi (cm ³ /g)	0.2957
Mezoporhacmi (cm ³ /g)	0.1866
Porçapı (Å)	24.9
Partikülboyutu [Ağırlıklıortalama(D[4,3]), µm]	11.552
Partikülboyutu [d(0.1), µm]	2.256
Partikülboyutu [d(0.5), µm]	11.820
Partikülboyutu [d(0.9), µm]	23.456



Şekil 2. Manyetik aktif karbonun görüntüsü

2.3. Geleneksel Bağlayıcı Deneyleri

Penetrasyon deneyi TS 118 EN 1426 standardına uygun olarak, asfaltın sertlik ve kıvam özelliklerini belirlemek üzere yapılmaktadır [38]. Deney sonucu elde edilen penetrasyon değeri, standart özelliklere sahip bir iğnenin, yine standart bir süre içerisinde, belirli bir sıcaklıktaki bitüme dikey doğrultuda batma miktarıdır. Bulunan penetrasyon değerinin birimi 0,01 cm'dir. Standarttaki değerler, 25°C sıcaklık, 5 saniye süre ve 100 gr'lık yüküdür.

Yumuşama noktası deneyi, TS 120 EN 1427 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Bu deney bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında dayanımlarının bir ölçütü olan yumuşama noktası değerini belirlemek için yapılan bir deneydir [39]. Deneyde elde edilen yumuşama noktası değeri üzerinde bir bilye bulunan standart bir halka içerisindeki bitümün belirli bir hızda ısıtılması suretiyle malzemenin yumuşaması sonucu malzemenin sehpanın alt tabanına temas ettiği anda cihazda okunan sıcaklık değeridir.

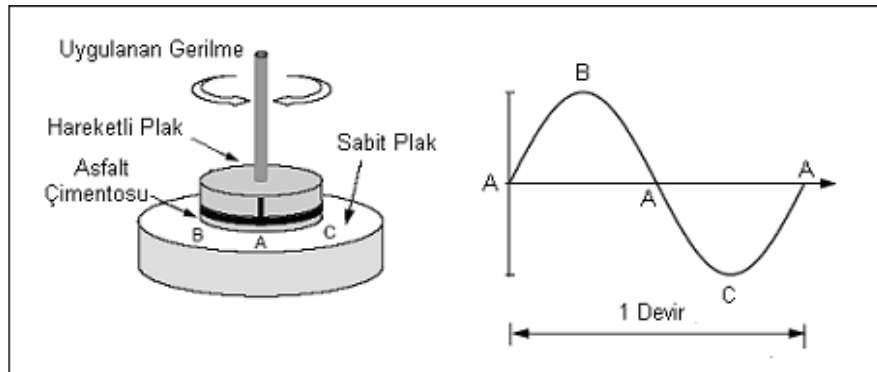
Bağlayıcının ısı hassasiyetlerini belirlemek için Penetrasyon İndeksi (PI) kullanılmaktadır. Penetrasyon İndeksi, standart penetrasyon ve yumuşama noktası verileri ile hesaplanmaktadır (Denklem 1). Formüldeki P_{25} , 25°C'deki penetrasyon deneyi sonucunu, T_{YN} ise yumuşama noktası deney sonucunu belirtmektedir. Bitümlü bağlayıcıların ısı hassasiyetlerinin artmasıyla PI değerleri azalmaktadır.

$$A = \frac{\log 800 - \log P_{25}}{T_{YN} - 25}$$

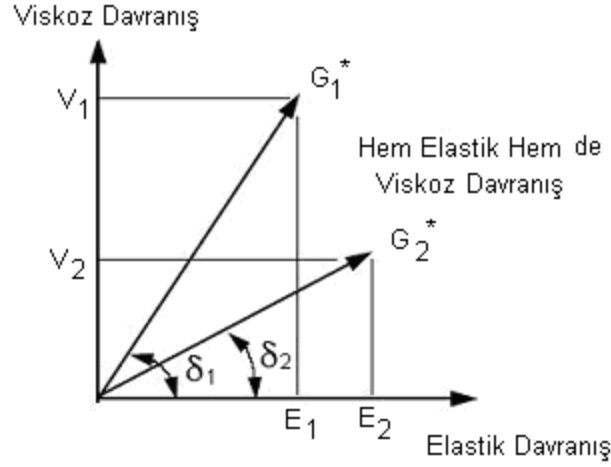
$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A} \quad (1)$$

2.4. Dinamik Kayma Reometresi Deneyi (AASHTO TP5)

DSR deneyinde bir alt tabaka ve hareketli üst tabaka arasında konulan bitümlü bağlayıcıya sinüsoidal gerilmeler uygulanmaktadır (Şekil 3). DSR deneyi, asfalt çimentosunun kompleks kayma modülü (G^*) ve faz açısı (δ) değerlerini belirlemek amacıyla yapılmakta ve bitümlü bağlayıcının elastik tepkilerini belirlemektedir. G^* , bitümlü bağlayıcıda meydana gelen tekrarlı kayma gerilmeleri sebebiyle oluşan deformasyonlara karşı bağlayıcının gösterdiği direncin bir ölçüsüdür. Hem faz açısı hem de G^* değerleri mevcut ısı ve yükleme hızı ile önemli ölçüde değişmektedir (Şekil 4). Bitümlü bağlayıcıların tekerlek izi oluşumuna karşı dayanımlarını değerlendirmek amacıyla DSR cihazında 1000 mikron yükseklikte ve 25mm çapında olmak üzere 1.59Hz (10rad/s) frekans altında saf ve RTFOT ile yaşlandırılmış bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklık performans sınıfı (PG) değerleri belirlenerek, G^* , δ ve $G^*/\sin \delta$ değerleri elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında yaşlandırmaya tabi tutulmamış olan B 160/220 bitüme beş farklı sıcaklıkta DSR deneyi uygulanmış ve bitümün yüksek sıcaklık performans sınıfı belirlenmiştir. Ayrıca, bitümlü bağlayıcılar üzerinde 40°C, 50°C, 60°C ve 70°C sıcaklıklarda, 0.01-10 Hz aralığında gerilme kontrollü olarak frekans taraması yapılmıştır. Belirlenen sıcaklıkta RTFOT ile yaşlandırmaya tabi tutulmuş bağlayıcılar üzerinde de aynı deney gerçekleştirilerek şartname sınırlarını aşp aşmadığı kontrol edilmiştir. Superpave şartnamesine göre saf bitümlü bağlayıcıya uygulanan DSR deneylerinde tekerlek izi değerinin en az 1.0 kPa, RTFOT'a tabi tutulmuş bağlayıcılarda ise 2.20 kPa olması gerekmektedir.



Şekil 3. DSR Deneyinin yapılış şekli ve gerilmelerin doğrultuları [40]



Şekil 4. Bitümün viskoelastik özelliği [41]

2.5. Dönel Viskozimetre (RV) Deneyi

ASTM D 4402 standardına göre gerçekleştirilen bu deneyde amaç bitümlü bağlayıcının yüksek sıcaklıklarda akışkanlık karakteristiklerini belirlemektir. Bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklıktaki viskozite değerleri, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarına maruz kaldıkları esnada bağlayıcıların yeterli akışkanlığa sahip olup olmadıklarının tespit edilmesi amacıyla elde edilmektedir. Deneyde, bağlayıcı içerisine 20 rpm hıza sahip bir mil batırılarak bu milin hareketiyle dönmeye karşı direnç belirlenmektedir ve bu şekilde viskozite değerleri elde edilmektedir. Saf bağlayıcıya uygulanan RV deneyinde standart olarak 135°C'deki viskozite değerlerinin 3000 cP'yi geçmemesi gerekmektedir.

2.6. Dönel İnce Film Halinde Yaşlandırma Deneyi (AASHTO T240 / ASTM D2872)

Karıştırma işlemi sırasında bitümlü bağlayıcının yaşlanması olayının temsil edildiği deneydir. Bu deneyde bitümün hazırlandığı platformdaki karıştırma işlemi esnasında etkisinde olduğu sertleşme olayını temsil edecek biçimde, ince film halinde hareket eden asfalt bağlayıcıların üzerinde sıcaklık ve havanın etkisi bir arada değerlendirilmektedir.

Deney, 163°C sıcaklığa ayarlı etüve 8 adet şişe yerleştirilerek ve TS EN 12607-1'e göre gerçekleştirilmektedir. İçerisine 35 gram bitüm doldurulan her bir şişe düşey ekseninde dakikada 15 devir yaparak 75 dakika döndürülmektedir. Dönme sırasında hava üfleyen bir mekanizma ile şişelere akışı 4000 ± 200 mL/dak olacak şekilde hava verilmektedir. Sıcaklık ile birlikte bağlayıcı şişeleri ince bir film tabakası halinde kaplamakta ve yaşlanma olayının meydana gelmesi kolaylaşmaktadır.

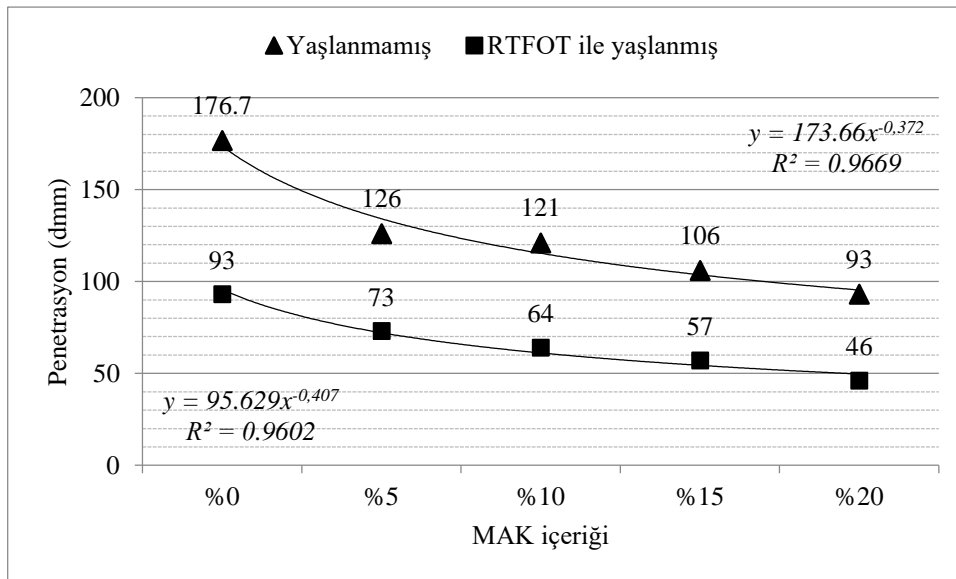
3. Deneysel Sonuçlar

3.1. Geleneksel Deney Sonuçları

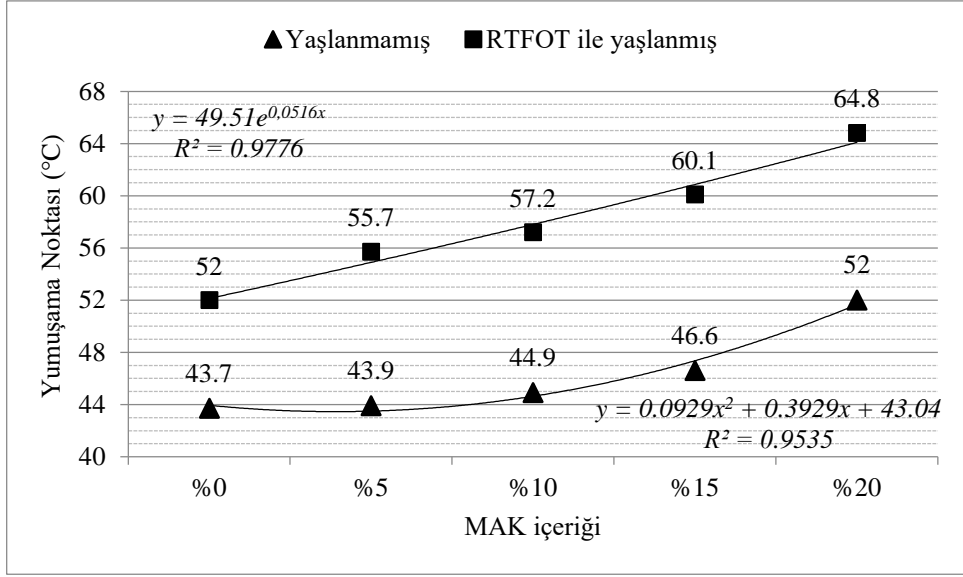
Deneyleer	%0	%5	%10	%15	%20
Yumuşama Noktası (°C)	43.7	43.9	44.9	46.6	52
Penetrasyon (dmm)	176.7	126	121	106	93
Penetrasyon İndeksi (PI)	0.89	-0.40	-0.21	-0.11	0.98
Düktilite (cm)	100	100	100	100	100
Parlama Noktası (°C)	223	226	225	229	231
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	1.018	1.022	1.024	1.03	1.032
RTFOT sonrası					
Yumuşama Noktası (°C)	52	55.7	57.2	60.1	64.8
Penetrasyon (dmm)	93	73	64	57	46
Kalıcı Penetrasyon (%)	52.63	57.94	52.89	53.77	49.46
Penetrasyon İndeksi (PI)	0.98	1.09	1.13	1.39	1.73
Yumuşama noktası farkı, ΔS (°C)	8.3	11.8	12.3	13.5	12.8
Düktilite (cm)	+100	100	100	100	98
Kütle Kaybı (%)	0.84	0.44	0.48	0.49	0.53

Tablo 3. Saf ve modifiye asfalt bağlayıcıların geleneksel deney sonuçları

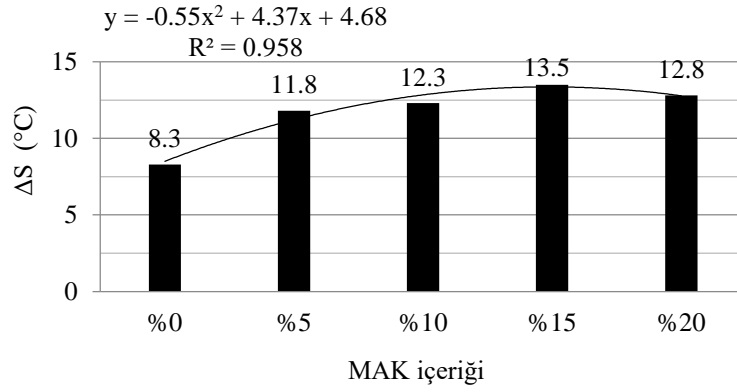
Yaşlanmamış bağlayıcının penetrasyon değeri %5, %10, %15 ve %20 katkı içeriğinde saf bağlayıcıya göre sırasıyla %28.7, %31.5, %40.0 ve %47.4 oranlarında azalırken, yumuşama noktası değeri ise yine saf bağlayıcıya göre sırasıyla %0.5, %2.7, %6.6 ve %19.0 oranlarında artmıştır. Bu sebeple, MAK ilavesinin bitümlü bağlayıcının kıvamını artırdığı, sıcaklık hassasiyetini ise düşürdüğü sonucuna varılmaktadır. RTFOT ile yaşlandırılmış bağlayıcının penetrasyon değeri %5, %10, %15 ve %20 katkı içeriğinde saf bağlayıcıya kıyasla sırasıyla %21.5, 31.1, %38.7 ve %50.5 oranlarında azalırken, yumuşama noktası değerleri ise %7.1, %10.0, %15.6 ve %24.6 oranlarında artmıştır (Şekil 5 ve 6). Saf bitümlü bağlayıcının kalıcı penetrasyon değeri %52.63 olarak belirlenmiş, MAK içeriği %5 iken %57.94 değeri elde edilmiş ve diğer oranlarda azalarak %20 katkı içeriğinde %49.46'a kadar düşmüştür (Tablo 3). Şekil 7'de gösterilen ΔS değerlerine göre MAK oranı arttıkça yumuşama noktası sıcaklık farklarının, saf bitümlü bağlayıcıya kıyasla artış gösterdiği ve bu artışın en yüksek %62.65 oranında %15 MAK ilavesinde meydana geldiği görülmektedir. Bunun yaşlandırma sürecinde bitümün yapısında bulunan fonksiyonel gruplarındaki moleküllerin, yapısal değişime uğradığının bir göstergesidir.



Şekil 5. Yaşlandırılmamış ve RTFOT ile yaşlandırılmış bitümlü bağlayıcıların penetrasyon değerleri

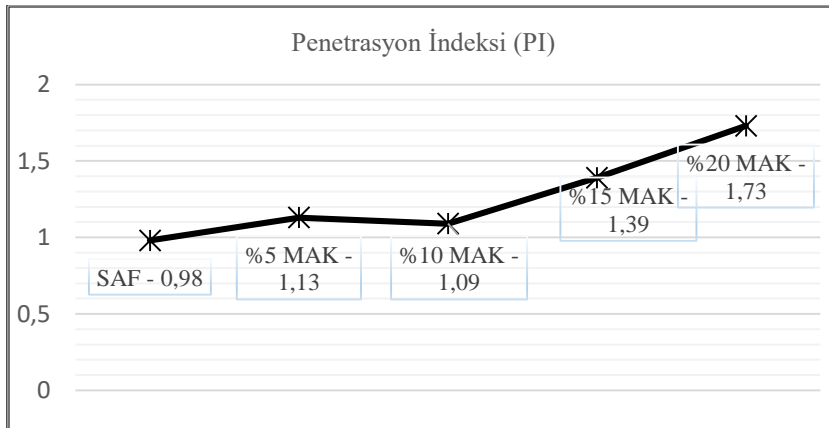


Şekil 6. Yaşlandırılmamış ve RTFOT ile yaşlandırılmış bitümlü bağlayıcıların yumuşama noktası değerleri



Şekil 7. Bitümlü bağlayıcıların RTFOT ile yaşlanma öncesi ve sonrası yumuşama noktası sıcaklık farkları

Saf ve modifiye bağlayıcıların Penetrasyon İndeksi sonuçları Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Penetrasyon İndeksi (PI) değerleri

Şekil 8 incelendiğinde MAK ilave edilmesiyle sıcaklık hassasiyetlerinin bir ölçüsü olan PI değerlerinde genel bir artış olduğu görülmektedir. Bu durum MAK ilavesi ile bitümlü bağlayıcıların daha kıvamlı olup, düşük sıcaklığa sahip bölgelerde tercih edilebileceğini göstermektedir.

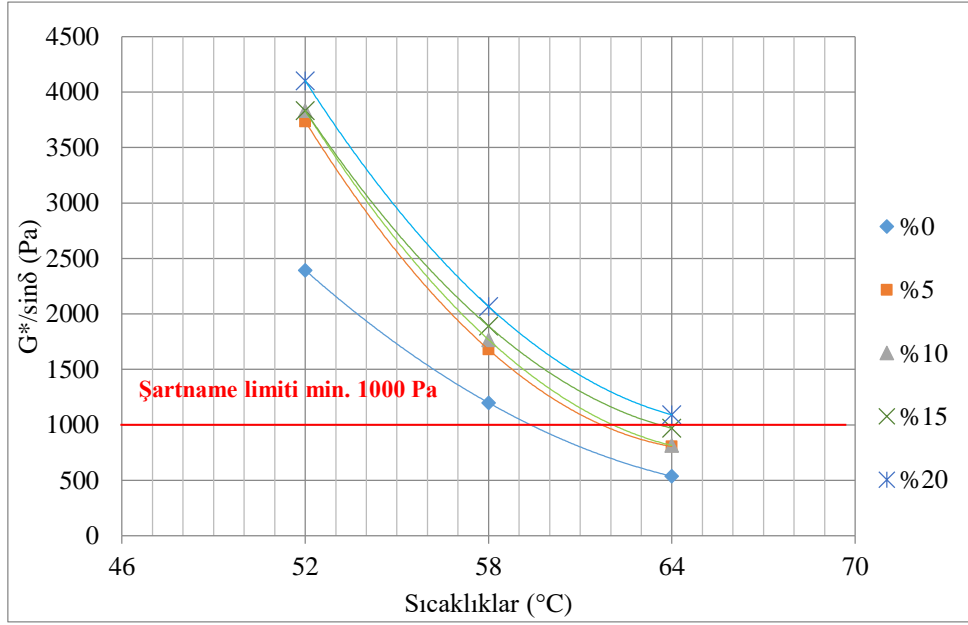
3.2. Dinamik Kayma Reometresi Deneysel Sonuçları

Yaşlandırılmamış saf ve modifiye bağlayıcılar üzerinde uygulanan DSR deneyinden elde edilen sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Yaşlandırılmamış bitümlü bağlayıcıların DSR deney sonuçları

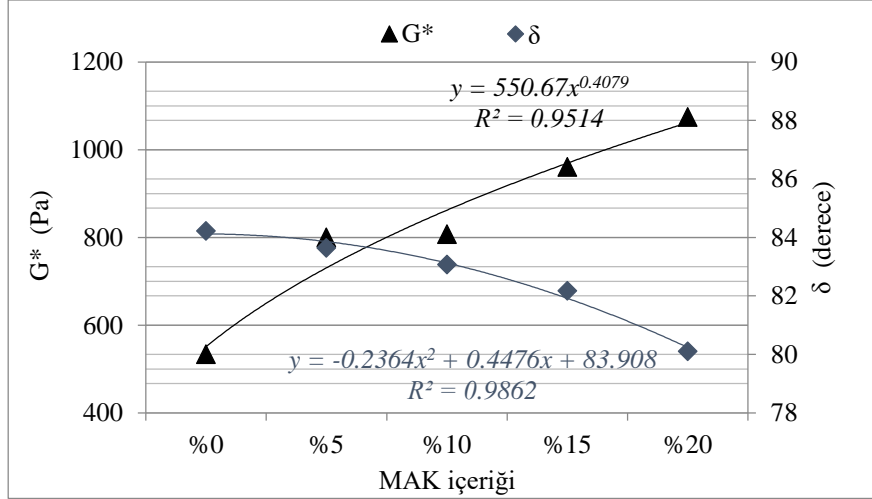
MAK içeriği	Sıcaklık (°C)	G* (Pa)	δ (°)	G*/sin δ (Pa)	RTFOT sonrası G*/sin δ (Pa)	Sınır Sıcaklık (°C)	Performans Aralığı
0%	52	2345.3	78.42	2394	9430	59.4	PG 58-Y
	58	1189.5	82.80	1199	4063		
	64	534.3	84.23	537	1934		
5%	52	3651.9	77.82	3736	11893	61.6	PG 58-Y
	58	1659.2	81.20	1679	5271		
	64	800.5	83.65	805	2418		
10%	52	3761	78.93	3832	13024	62.0	PG 58-Y
	58	1747.2	81.21	1768	6672		
	64	807.7	83.08	814	3160		
15%	52	3734	77.01	3832	13071	63.5	PG 58-Y
	58	1860	79.82	1890	6899		
	64	961.2	82.18	970	3355		
20%	52	3984.8	76.27	4102	15066	64.1	PG 64-Y
	58	2026.4	78.63	2067	7152		
	64	1074.8	80.11	1091	4062		

Saf ve MAK modifiyeli bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklık performans sınıfları (PG), Tablo 4'te faz açısı (δ), kompleks kayma modülü (G*) ve tekerlek izi dayanım parametreleri (G*/sin δ) değerleri ile birlikte verilmiştir. MAK katkı miktarındaki artış ile aynı sıcaklıktaki G* ve G*/sin δ değerlerinin arttığı görülmüş ve %20 MAK ilavesi ile bitümlü bağlayıcının yüksek sıcaklık performans sınıfı yükselmiştir. Ayrıca, %15 MAK katkılı bağlayıcı 1000 Pa şartname limitini 63.5°C sıcaklıkta sağladığı ancak 70°C sıcaklığı sağlayamadığından bir üst performans sınıfında değerlendirilememiştir. En az katkı oranı içeren (%5) bağlayıcıya bakıldığında bile 3 sıcaklık değerinde de G*/sin δ değerlerinin arttığı, dolayısıyla tekerlek izine karşı dayanımının saf bağlayıcıya kıyasla geliştiği açıkça görülmektedir. Performans sınıfının saf bağlayıcıya göre 58°C'den 64°C'ye yükselmesi ile, %20 MAK ilavesinin asfaltın elastik özelliklerini artırarak tekerlek izi oluşumuna karşı dayanımına katkı sunduğu sonucuna varılmıştır.



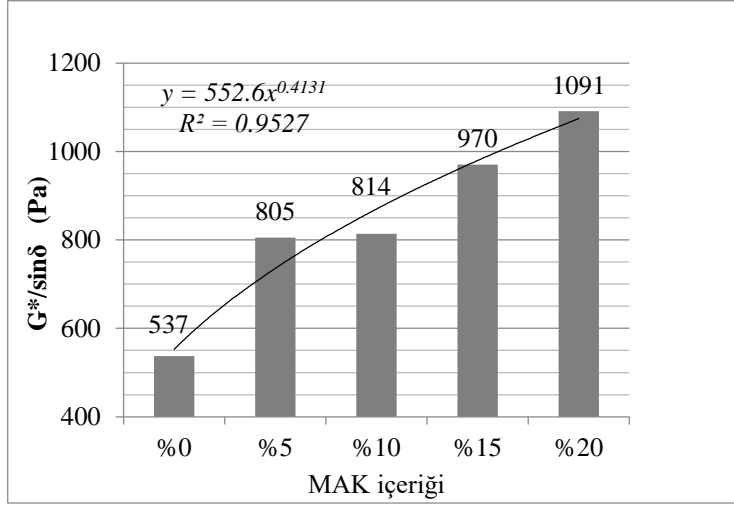
Şekil 8. Bitümlü bağlayıcıların tekerlek izi dayanım parametre değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi

Bitümlü bağlayıcıların viskoelastik özelliklerden dolayı, performanslarının değerlendirilmesinde en önemli parametrelerden biri sıcaklıktır. Şekil 9 incelendiğinde artan sıcaklık ile birlikte tekerlek izi dayanım parametresi olan $G^*/\sin \delta$ değerlerinin azaldığı, ancak MAK ilavesi ile bu değerlerin kayda değer miktarda arttığı görülmektedir.

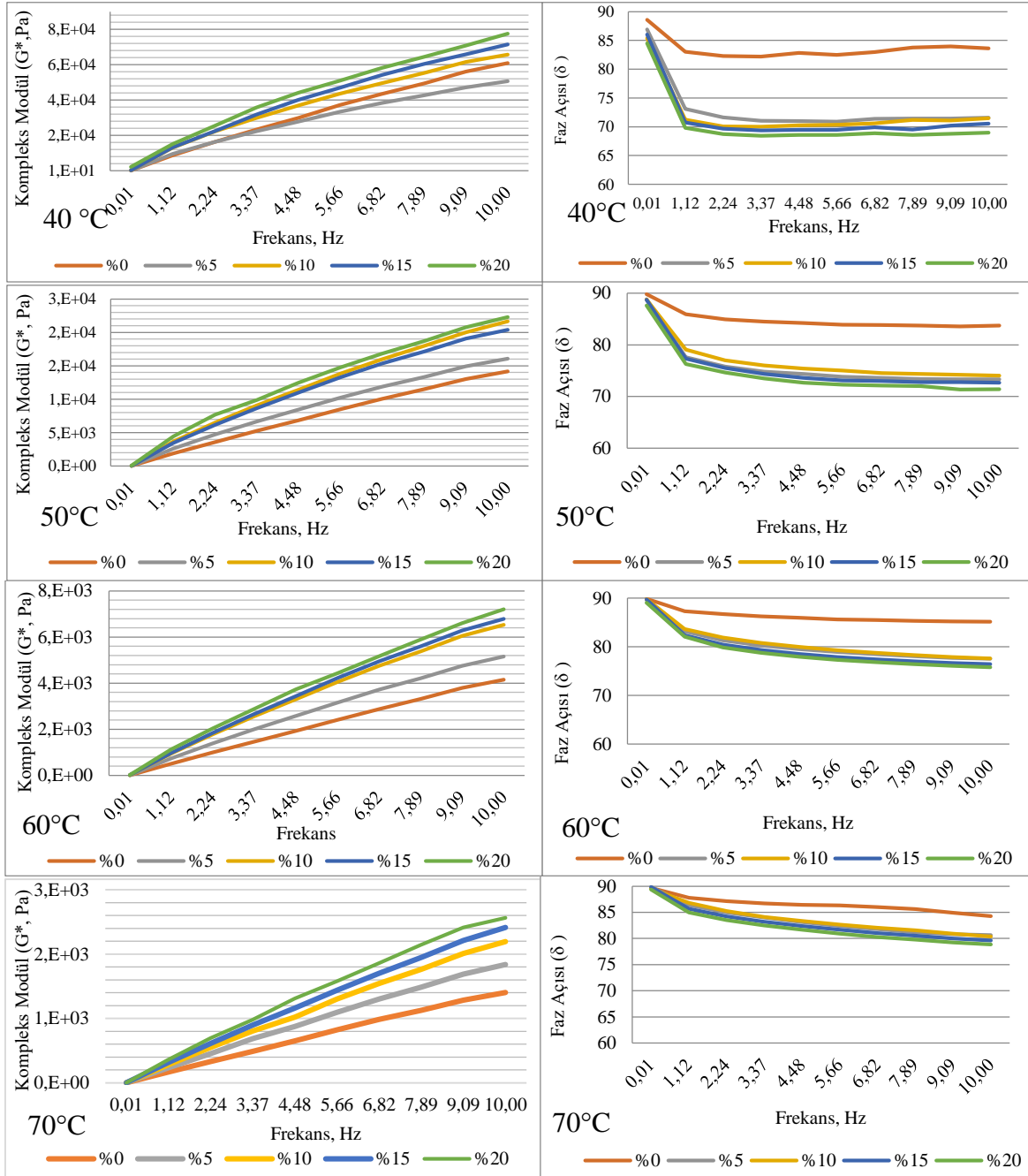


Şekil 10. Bitümlü bağlayıcıların 64 °C sıcaklıktaki kompleks kayma modülü ve faz açısı değerleri

Bitümlü sıcak karışımlarda bağlayıcı olarak kullanılan bitüm, karışımdaki deformasyonun dağıtımında etkilidir. Bu sebeple elastikiyet özellikleri önem arz etmektedir. 64°C sıcaklıktaki kompleks kayma modülü G^* ve faz açısı δ değerleri incelendiğinde (Şekil 10 ve 11), istenildiği gibi MAK katkı oranı arttıkça G^* değerleri artmış, δ değerleri azalmış, dolayısıyla bu ters ilişkiden ötürü bitümün elastik özellikleri artmıştır. Bu sayede, bitümlü bağlayıcıya MAK ilavesi ile kalıcı deformasyonlara karşı dayanım kazanılmıştır. Faz açısının küçük olması, başka bir deyişle deformasyonda meydana gelecek gecikmelerin az olması, bitümlü bağlayıcının o kadar elastik davranması demektir. Ek olarak, Şekil 11 incelendiğinde 64°C'de $G^*/\sin \delta$ değerlerinin arttığı görülmüş ve bu durumun geleneksel bağlayıcı deneylerinin sonuçlarına göre bitümün kıvamının artması ile de örtüşmüştür.



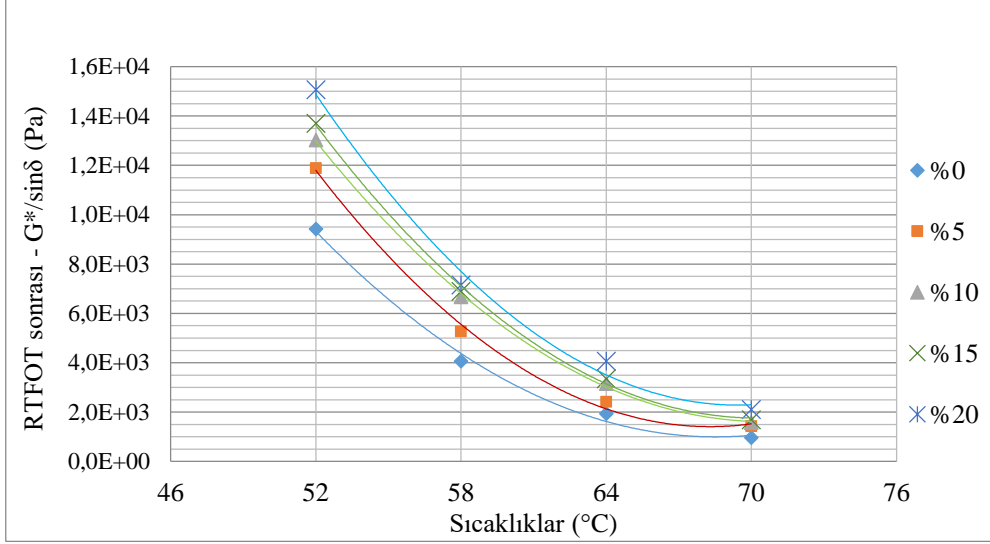
Şekil 11. Bitümlü bağlayıcıların 64 °C sıcaklıktaki tekerlek izi dayanım parametresi değerleri



Şekil 12. Bitümlü bağlayıcıların 0.01-10 Hz aralığındaki frekans tarama, kompleks kayma modülü ve faz açısı değerleri

Çalışma kapsamında saf ve MAK modifiyeli bitümlü bağlayıcılara uygulanan frekans taraması değerlerine göre bitümlü bağlayıcıların çeşitli koşullardaki reolojik tepkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre genel olarak frekansın ve MAK içeriğinin artması ile bitümlü bağlayıcıların tekerlek izi dayanımları artmıştır (Şekil 12). Düşük frekans ile yükleme yapılması, yükleme süresinin uzun olması ve dolayısıyla yavaş yükleme hızını temsil ederken, yüksek frekans ile yükleme yapılması yükleme süresinin kısa ve yükleme hızının yüksek olması anlamına gelmektedir. Bu sebeple, frekans arttıkça bitüm elastik davranışlar sergilemektedir. G* değerleri de bunu doğrular niteliktedir. Şekil 12 incelendiğinde deney sıcaklığının artması ile kompleks kayma modülü (G*) değerlerinin azaldığı görülmektedir. Örneğin 40°C ve 10Hz frekans altında %10 MAK modifiyeli bitümün G* değeri 5610 Pa iken, 70°C'de 1837 Pa'dır. Faz açısı değerleri incelendiğinde düşük frekanslarda yükleme

yapılırken azalmış, fakat frekans arttıkça düzenli bir azalma görülmeyip, neredeyse sabit kalmıştır. Fakat katkı oranı arttıkça, başlangıç frekanslarındaki düşüş daha yumuşak hale gelmiş ve ilk frekans ile son frekans arasındaki fark azalmıştır. Bu durum, katkı oranının artmasının hızlı yüklemelere karşı bitümlü bağlayıcının elastik davranışlarını geliştirdiğini göstermektedir.

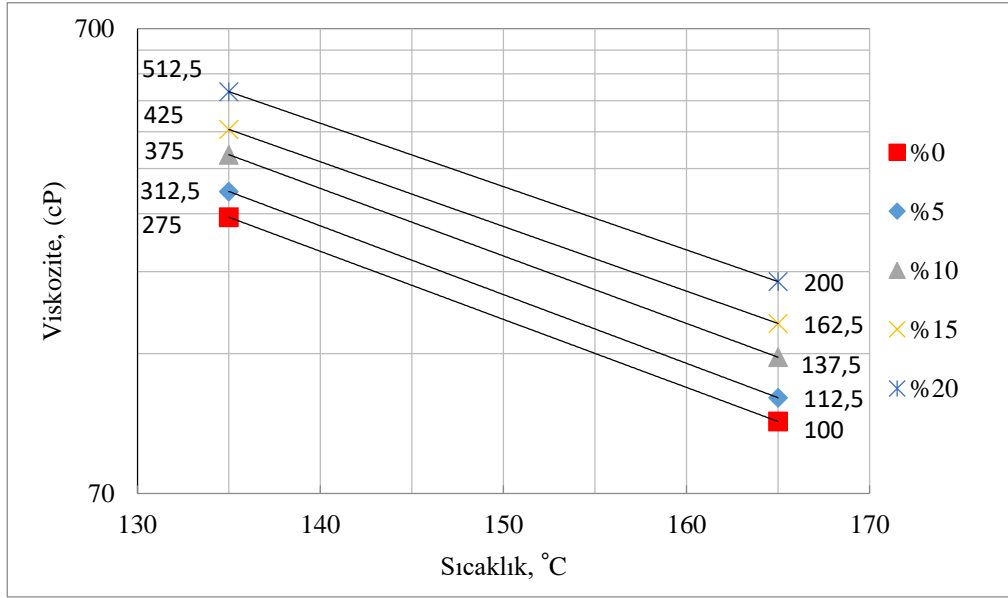


Şekil 13. Bağlayıcıların RTFOT sonrası tekerlek izi dayanım parametresi değerleri

Superpave şartnamesine göre RTFOT sonrası bitümlü bağlayıcıların $G^*/\sin \delta$ değerlerinin 2200 Pa'm altına düşmemesi gerekmektedir. Şekil 13 incelendiğinde 52°C, 58°C ve saf bağlayıcı hariç 64°C'de tüm bağlayıcılar şartname limitini sağlamıştır. Ayrıca RTFOT sonrası $G^*/\sin \delta$ sonuçlarına bakıldığında %5, %10, %15, %20 MAK ilavesi ile bu değerlerin saf bağlayıcıya göre sırasıyla 52°C'de %26.11, %38.11, %45.29, %59.76; 58°C'de %29.73, %64.21, %69.80, %98.23; 64°C'de %25.02, %63.39, %73.47, %110.03 oranlarında artışlar tespit edilmiştir. Özellikle %20 MAK ilavesi ile yüksek sıcaklıklarda tekerlek izine karşı dayanım parametrelerinde önemli düzeyde artışlar olmuştur.

3.3. Dönel Viskozimetre (RV) Deney Sonuçları

Manyetik aktif karbon ilavesi, RV deneyinin gerçekleştirildiği sıcaklık değerlerinin tamamında bitümlü bağlayıcının viskozite değerlerini artırmıştır. Katkı oranı ve viskozite doğru orantılı olarak artmıştır. Saf bitümlü bağlayıcının 135°C'deki viskozite değerleri %5, %10, %15, %20 katkı içeriğinde sırasıyla %13.64, %36.36, %54.55, %86.36 ve 165°C'de ise %12.50, %37.50, %62.50, %100 oranlarında artmıştır. Şekil 14 ve Tablo 5 incelendiğinde bütün katkı içeriklerinde, 135°C'deki viskozite değerleri 3000 cP değerinin altında kalarak şartname limitini sağlamıştır. MAK modifiyeli bitümün karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları saf bitüme göre fazla çıkmıştır. Sonuçlara göre, katkı maddesinin saf bitümün kıvamını artırarak tekerlek izi direncini yükselttiği ve bitümün işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilemediği anlaşılmaktadır.



Şekil 14. Logaritmik sıcaklık-viskozite grafiği

Tablo 5. Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları

MAK içeriği	Karıştırma Sıcaklığı (°C)		Sıkıştırma Sıcaklığı (°C)	
%0	146	153	137	138
%5	150	152	141	142
%10	156	162	141	147
%15	160	161	145	152
%20	165	166	151	158

4. Sonuçlar

Bu çalışmada B 160/220 sınıfı saf ve MAK modifiyeli bitümlü bağlayıcıların fiziksel ve reolojik özelliklerini belirlemek amacıyla, yaşlandırılmamış ve RTFOT yöntemiyle yaşlandırılmış bağlayıcılar üzerinde yumuşama noktası deneyi, penetrasyon deneyi, dinamik kayma reometresi (DSR) deneyi ve dönel viskozimetre (RV) deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçlara göre:

-Penetrasyon deney sonuçlarına göre; artan katkı içeriği ile birlikte saf bağlayıcının kıvamının ve sertliğinin arttığı belirlenmiştir.

-Yumuşama noktası deney sonuçlarına göre; saf bağlayıcının yumuşama noktası sıcaklığının artan katkı içeriğiyle paralel olarak yükseldiği gözlenmiştir.

- Penetrasyon ve yumuşama noktası deney sonuçları birlikte değerlendirildiğinde saf bağlayıcının sıcaklık hassasiyetinin azaldığı tespit edilmiştir.

-RV deney sonuçlarına göre; saf bağlayıcının viskozite değerlerinin MAK ilavesi ile arttığı ve 135°C'deki şartname limitini aşmadığı görülmüştür.

-DSR deney sonuçlarına göre; MAK ilavesi oranının artışına bağlı olarak saf bağlayıcının, kompleks kayma modül değerlerinin arttığı, faz açısı değerlerinin azaldığı ve böylelikle elastik özelliğini iyileştirerek tekerlek izine karşı dayanımını artırdığı tespit edilmiştir.

Teşekkür

Manyetik Aktif Karbon (MAK) katkısının sentezlenmesindeki katkılarından dolayı Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya ve Proses Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Hasan Arslanoğlu'na teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] Lav AH, Lav MA. Shell Bitüm El Kitabı. İsfalt Bilimsel Yayınları, No:3, İstanbul, 334s.
- [2] Geçkil T, Önal Y, İnce CB. Atık Polietilen Tereftalat (PET) ile Modifiye Edilmiş Saf Bitümün Fiziksel, Morfolojik ve Isıl Özellikleri. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi 2020; 32(1): 157-166.
- [3] Tunç A. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul, 2007.
- [4] Furtana B, Yalçın E, Kök BV, Yılmaz M. EVA Bazlı Reçine Modifiyeli Bitümlü Karışımların Mekanik Özellikler Bakımından SBS Modifikasyonu ile Karşılaştırılması. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi 2019; 31(2): 497-506.
- [5] Yılmaz M, Kök BV. Ferrokrom Cürufu Kullanımının Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Dergisi 2008; 12(3).
- [6] Yılmaz M, Kök BV, Erdoğan Yamaç Ö. Bitüm Modifikasyonunda Stiren-Butadien-Stiren ile Gilsonit'in Birlikte Kullanılmasının Bitümlü Sıcak Karışımların Kalıcı Deformasyon Dayanımına Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Dergisi 2018; 22(2): 811-822.
- [7] Francken L. Bituminous Binders and Mixes. Rilem Reports, E&FN Spon, London, 1998.
- [8] Yılmaz M, Kök BV, Yalçın E. Farklı Katkılar İçeren Bitümlü Sıcak Karışımların Yorulma Ömürlerinin İncelenmesi. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi 2017; 29(2): 173-183.
- [9] Geçkil T, Seloğlu M. Reaktif Terpolimerin Bitümün Kıvamına ve Sıcaklık Duyarlılığına Etkisi. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi 2019; 31(1): 203-213.
- [10] Rahbar-Rastegar R, Daniel JS, Dave EV. Evaluation of viscoelastic and fracture properties of asphalt mixtures with long-term laboratory conditioning. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board 2018; 2672(28): 503-513.
- [11] Notani MA, Arabzadeh A, Satvati S, Tabesh, MT, Hashjin NG, Estakhri S, Alizadeh M. Investigating the high-temperature performance and activation energy of carbon black-modified asphalt binder. SN Applied Sciences 2020; 303.
- [12] Zhang J, Sun C, Li, P. Effect of different viscous rejuvenators on chemical and mechanical behavior of aged and recovered bitumen from RAP. Construction and Building Materials 2020; 239.
- [13] Kök BV, Yılmaz M, Şağbanşua L. Effect of hot mixture modification on overall cost of the pavement. The 2015 WEI International Academic Conference Proceedings, 18-20 June 2015; Prague, Czech Republic.
- [14] Erkuş Y, Kök BV, Yılmaz M. Evaluation of performance and productivity of bitumen modified by three different additives. Construction and Building Materials 2020; 261.
- [15] Airey GD. Rheological evaluation of ethylene vinyl acetate polymer modified bitumens. Construction and Building Materials 2002; 16(8): 473-487.
- [16] Kök BV, Yılmaz M, Guler M. Evaluation of high temperature performance of SBS+Gilsonite modified binder. Fuel 2011; 90(10): 3093-3099.
- [17] Topal A. Evaluation of the properties and microstructure of plastomeric polymer modified bitumens. Fuel Processing Technology 2010; 91(1): 45-51.
- [18] Zhu, J, Birgisson B, Kringos N. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges. European Polymer Journal 2014; 54: 18-38.
- [19] Kök BV, Yılmaz M, Akpolat M. Evaluation of the conventional and rheological properties of SBS+Sasobit modified binder. Construction and Building Materials 2014; 63: 174-179.
- [20] Sengoz B, Isikyakar G. Evaluation of the properties and microstructure of SBS and EVA polymer modified bitumen. Construction and Building Materials 2008; 22(9): 1897-1905.
- [21] Polacco G, Berlincioni S, Biondi D, Stastna J, Zanzotto L. Asphalt modification with different polyethylene-based polymers. European Polymer Journal 2005; 41(12): 2831-2844.
- [22] Yalçın E, Baykara A, Yılmaz M, Kök BV. Irak ve Batman Bitümleri Kullanılan SEBS Modifiyeli Bağlayıcıların Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi 2020; 32(1): 95-104.
- [23] Oruç Ş, Yılmaz B, Sancak K. Effect of boron-containing additives on rheological properties of asphalt binder. Road Materials and Pavement Design 2015; 17(4): 810-824.
- [24] Oruç Ş, Yılmaz B. Improvement in performance properties of asphalt using a novel boron-containing additive. Construction and Building Materials 2016; 123: 207-213.
- [25] Casado-Barrasa R, Lastra-González P, Indacochea-Vega I, Castro-Fresno D. Assessment of carbon black modified binder in a sustainable asphalt concrete mixture. Construction and Building Materials 2019; 211: 363-370.
- [26] Chen Q, Wang C, Wen P, Wang, M, Zhao J. Comprehensive performance evaluation of low-carbon modified asphalt based on efficacy coefficient method. Journal of Cleaner Production 2018; 203: 633-644.

- [27] Tanzadeh R, Shafabakhsh G. Surface free energy and adhesion energy evaluation of modified bitumen with recycled carbon black (micro-nano) from gases and petrochemical waste. *Construction and Building Materials* 2020; 245.
- [28] Ahmetzade P, Alataş T, Geçkil T. Asfalt betonunda siyah karbonun filler olarak kullanımı. *İMO Teknik Dergi* 2008; 297: 4493-4507.
- [29] Ahmetzade P, Alataş T, Geçkil T. The effect of carbon black on the mechanical properties of asphalt mixtures. *Journal of Engineering and Natural Sciences* 2007; 25(2).
- [30] Alataş T, Yılmaz M, Kök BV, Çeloğlu ME, Akpolat M, Erdoğan Yamaç Ö, Yalçın E. Ögütülmüş araç lastiğinin ve piroliz işleminden sonra oluşan karbon siyahının bitümlü bağlayıcıların reolojik özellikleri üzerindeki etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 2018; 23(1): 311-328
- [31] Cong P, Xu P, Chen S. Effects of carbon black on the anti aging, rheological and conductive properties of SBS/asphalt/carbon black composites. *Construction and Building Materials* 2014; 52: 306–313.
- [32] Saygılı H. Yeni bir hammadeden üretilmiş karbonlu malzemenin yapısal, morfolojik ve gözenek özellikleri üzerine çalışmalar. *DÜMF Mühendislik Fakültesi Dergisi* 2017; 8(1): 245-252.
- [33] Açışlı Ö. Doum palm meyve kabuklarından aktif karbon üretimi ve karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2019; 16: 544-551.
- [34] Sayın ZE, Kumaş C, Ergül B. Fındık kabuğundan aktif karbon üretimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2016; 16: 409-419.
- [35] Seyrek EŞ, Yalçın E, Yılmaz M, Kök BV, & Arslanoğlu, H. Effect of activated carbon obtained from vinasse and marc on the rheological and mechanical characteristics of the bitumen binders and hot mix asphalts. *Construction and Building Materials* 2020; 240.
- [36] Yılmaz M, Çeloğlu ME. Effects of SBS and different natural asphalts on the properties of bituminous binders and mixtures. *Construction and Building Materials* 2013; 44: 533–540.
- [37] Kök BV, Yılmaz M, Akpolat M. Effect of CR and FT-paraffin versus SBS modification in terms of conventional and rheological properties. *International Journal of Pavement Engineering* 2016; 18(12): 1052–1059.
- [38] TS 118 EN 1426, Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-İğne Batma Derinliği. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü, 2015.
- [39] TS 120 EN 1427, Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Yumuşama Noktası Tayini-Halka ve Bilye Metodu. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü, 2015.
- [40] Zaniwski JP, Pumphrey ME. Evaluation of performance graded asphalt binder equipment and testing protocol. Asphalt Technology Program, Morgantown, West Virginia, 2004. 107p.
- [41] McGennis RB, Shuler S, Bahia HU. Background of Superpave Asphalt Binder Test Methods. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, FHWA-SA-94-069, Washington, DC., 1994.

Naldöken Civarındaki Guleman Ofiyolitine Ait Magmatik Kayaçların Jeokimyası (GD Elazığ, D Türkiye)

Esra YILDIRIM^{1*}, İlker KARABULUT²

¹ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

*¹ eozyildirim@gmail.com, ² ilkerkarabulutgeo@gmail.com

(Geliş/Received: 22/01/2021;

Kabul/Accepted: 26/04/2021)

Öz: Guleman ofiyolitinin manto peridotitleri (serpantinize dünit-harzburgit) ve okyanusal kabuk birimleri (gabro, diyabaz, bazalt ve derin deniz sedimanları) Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı (GDAOK)'nda Naldöken (Elazığ GD, Türkiye) bölgesinde yüzeylenmektedir. Bu çalışma, okyanusal kabuğa ait gabro ve ilişkili intrüzif kayaların petrografisi ile tüm-kaya jeokimyasal verilerini sunmaktadır. Gabroyik kayalar, toleyitik bileşimli olup, kondrite göre normalize edilmiş, yatay görünümü nadir toprak element (NTE) desenleri (L_{an}/Y_{bn} : 0,43-1,03; L_{an}/Sm_n : 0,54-1,44; Sm_n/Y_{bn} : 0,58-0,88), Nb ve Ta'daki tüketilme, büyük iyon yarıçaplı litofil elementler (LILE)'lerinde zenginleşme (Ba, Rb, Th, Sr, Pb) ve daha düşük kalıcılığı yüksek element (HFSE) içerikleriyle, yitimle-ilişkili bazaltlara (ada-yayı toleyitleri veyay-önü bazaltları) benzerlik göstermektedir. Guleman ofiyolitinin okyanusal kabuk kayalarına ait tüm jeokimyasal veriler, okyanus-ıçı dalma-batma zonu (SSZ) ortamında genişletilmiş bir yay-önü ortamındaki ofiyolitlerin kademeli bir magmatik evrimini göstermektedir. Güney Neotetis içerisinde gelişmiş olan Guleman ofiyoliti Doğu Akdeniz bölgesindeki Göksun (Kahramanmaraş), İspendere (Malatya) ve Kömürhan (Elazığ) ofiyolitlerini kapsayan Güneydoğu Anadolu ofiyolit kuşağının bir parçasıdır. Ofiyolitik seriye ait gabro ve diyabazları kesen tonalitler, yarı-alkalen kayaçların genel özelliklerini sergilerken; NTE, spider ve tektono-magmatik sınıflandırma diyagramları bu kayaçların yitimle ilişkili yay-magmatizmasını işaret etmektedir. Bu özellikleri ile Güneydoğu Anadolu ofiyolitleri ile intrüzif ilişkili granitoidler (Baskil ve Esence) ile benzerdir.

Anahtar kelimeler: Naldöken (GD Elazığ, Türkiye), Guleman ofiyoliti, tonalit, ada-yayı.

Geochemistry of the Magmatic Rocks of Guleman Ophiolite Around Naldöken (SE Elazığ, E Turkey)

Abstract: Mantle peridotites (serpentinized dunite-harzburgite) and oceanic crust units (gabbro, diabase, basalt and abyssal sediments) of Guleman Ophiolite outcrop in Naldöken (SE Elazığ, Turkey) region at the Southeast Anatolian Orogenic Belt. This study presents the petrographical and whole rock geochemical data of intrusive rocks related to the oceanic crust gabbros. Gabbroic rocks have tholeiitic affinity. They show similarity with subduction-related basalts (island-arc tholeiites and fore-arc basalts) by their flat Rare Earth Element (REE) patterns (L_{an}/Y_{bn} : 0,43-1,03; L_{an}/Sm_n : 0,54-1,44; Sm_n/Y_{bn} : 0,58-0,88), Nb-Ta depletions, enrichment in large ion lithophile elements (Ba, Rb, Th, Sr, Pb) and lower high field strength element contents. Geochemical data of oceanic crustal rocks of Guleman ophiolite indicate a gradual magmatic evolution of ophiolites that are in an extended fore-arc setting on the supra-subduction zone. The Guleman ophiolite developed within S Neotethis is a part of Southeast Anatolian ophiolite belt and contains Göksun (Kahramanmaraş), İspendere (Malatya) and Kömürhan (Elazığ) ophiolites situated in the Eastern Mediterranean region. While tonalitic rocks that cut gabbro and diabase belonging to ophiolitic series exhibit general characteristics of sub-alkaline rocks, REE, spider, and tectono-magmatic classification diagrams indicate that these rocks are the result of arc-magmatism related to subduction. With these features, they have some similarities with the granitoides (Baskil and Esence) which have an intrusive relation with the Southeast Anatolian Ophiolites.

Key words: Naldöken (SE Elazığ, Turkey), Guleman ophiolite, tonalite, island arc.

1. Giriş

Karmaşık jeolojik hareketler milyonlarca yıldır Anadolu (Küçük Asya) yarımadasını şekillendirmiştir. Alp-Himalaya orojenik sistemi içerisinde yer alan bölge, yaklaşık olarak D-B uzanımlı tektonik kuşaklar arasında (Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımlar) Tetis okyanusal basenlerinin (Paleotetis ve Neotetis) kalıntıları içerir ([1, 2]; Şekil 1a).

* Sorumlu yazar: eozyildirim@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-0823-988X, ² 0000-0003-1711-2570

Anatolid/Torid ile Arap platformları arasında yer alan GDAOK, Alp-Himalaya orojenik sisteminin en karmaşık parçalarından biridir. Önceki çalışmalar, bu kuşağın Ediyakaran-Kuvaterner arasında hüküm süren farklı jeokimyasal bileşimlere sahip tektono-magmatik birimleri içerdiğini göstermektedir [3-7]. GDOAK içerisinde yer alan inceleme alanı, Ergani (Diyarbakır) ilçesinin 25 km batısındadır (Şekil 1b). Bu alanda, Paleozoyik yaşlı Pütürge Metamorfileri, Geç Kretase yaşlı Guleman ofiyoliti, Orta Eosen yaşlı Maden Grubu ve Alt Miyosen yaşlı Çüngüş formasyonuna ait kayaçlar yüzeylenmektedir (Şekil 1b). Tetis evriminin önemli bölgesinden biri olan GDOAK’nda okyanus-ıçi yitim zonu ofiyolitleri ile başlayıp, Toros platformu ile Arap platformunun çarpışması ile son bulan Neotetis’in güney kolunun gelişim (kapanması ve kıta-kıta çarpışması) süreçlerinin yorumlanabilmesi için Guleman ofiyolitinin jeolojik evriminin bilinmesi zorunludur.

Bu çalışmada, Ergani ile Maden ilçe sınırında yer alan Armutova ve Naldöken köyleri arasında yüzeyleyen magmatik kayaçların (Şekil 1c), petrografik ve jeokimyasal özellikleri belirlenerek hangi litolojik birime karşılık geldiklerinin belirlenmesiyle bölgenin jeolojik evrimine katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Ayrıca inceleme alanında çeşitli mineralizasyonlar da izlenmektedir. Bu mineralizasyonlar, diyabazik-gabroyik kayaçları kesen yoğun silisifiye olmuş tonalitik kayaçlar içerisinde saçınım pirit-kalkopirit ve malahit oluşumları şeklindedir. Bu çalışma, inceleme alanındaki muhtemel maden yatakları-yan kayaç ilişkisinin ortaya çıkarılması açısından da önem arz etmektedir. İnceleme alanı güvenlik açısından tehlikeli bir bölgede yer alırken, zorlu arazi şartları da akademik çalışmaların sınırlı kalmasına neden olmuştur. Bu çalışma, uzun yıllardan sonra bölge jeolojisine yeni veriler kazandırması bakımından önemlidir.

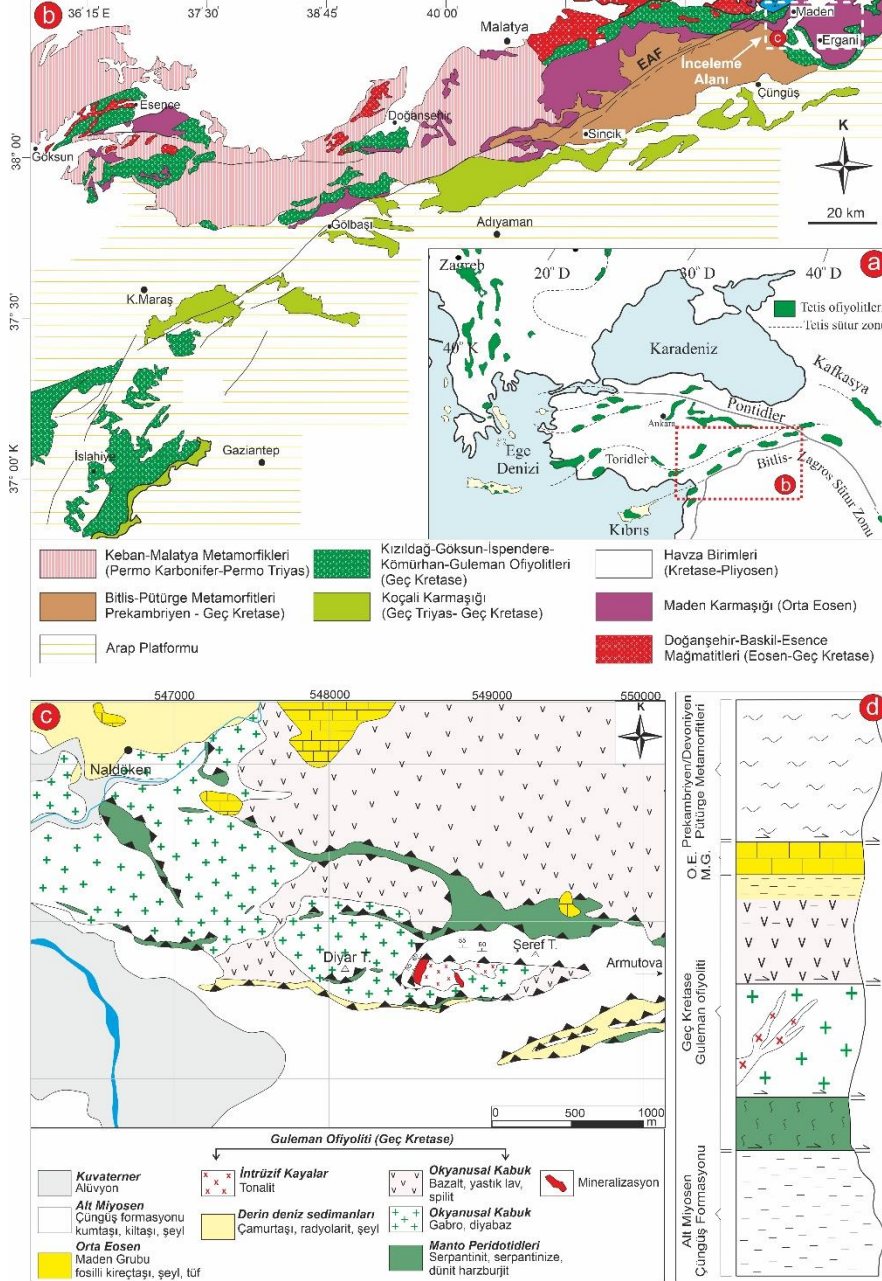
2. Bölgesel Jeoloji ve Stratigrafi

İnceleme alanı Toridler ve Kenar Kıvrımları arasında (GDAOK) yer almaktadır. GDAOK, yaklaşık D-B uzanımlı üç farklı tektonik birlikten oluşmaktadır [3]. Bu tektonik birlikler kuzeyden güneye doğru Nap zonu, Yığışım Prizması ve Arap Platformu şeklindedir. Arap platformu, Alt Paleozoik- Miyosen aralığında, kalın otokton bir sedimanter istif ile temsil edilmektedir [3, 8]. Nap zonu ve yığışım zonu ise, esas olarak metamorfik ve ofiyolitik kaya birliklerinden oluşmaktadır [3]. Çalışma alanı Nap zonu ile Yığışım prizması sınırında yer almakta ve Paleozoyik yaşlı Pütürge Metamorfileri, Geç Kretase yaşlı Guleman ofiyoliti, Orta Eosen yaşlı Maden Grubu ve Alt Miyosen yaşlı Çüngüş formasyonu tarafından temsil olunmaktadır (Şekil 1b-c, 2a). Pütürge Metamorfileri, genellikle Guleman ofiyolitinin üzerine itilmişlerdir. İnceleme alanı şaryaj kuşağı içerisinde yer aldığından, birçok birimi ekaylanmış halde bir arada görmek mümkündür (Şekil 1c-d, 2a). İnceleme alanında yer alan metamorfik ve magmatik/volkanik kayaç topluluklarının jeolojik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Pütürge Metamorfileri (Paleozoyik): İnceleme alanındaki en yaşlı birim, Prekambriyen / Devonyen yaşlı Pütürge Metamorfileri’dir. Bu metamorfiler konum olarak daha doğuda yer alan ve yaklaşık D-B uzanımlı, Bitlis Metamorfileri’nin batı uzantısı niteliğindedir [9]. Anadolu’nun güneydoğu kesiminde yer alan ve oldukça geniş bir bölgeyi (yaklaşık 300 km uzunluk, 40 km genişlik) kapsayan metamorfik bir alandır. Bu masif, bölgesel ölçekte alloktondur ve Erken Miyosen’de güneye doğru Arap kıta kenarına yerleşmiştir [3, 10, 11]. Pütürge masifindeki granitik sokulumlar Prekambriyen yaşında, üzerindeki kalkıştiller ise Permiyen-Alt Triyas yaşında olmalıdır [1]. Pütürge Metamorfiti, inceleme alanının batısında yer almakta ve mikaşist, kalkışist, serizitist, kloritistlerle temsil edilmektedir. Birim, tektonik olarak Guleman ofiyoliti ile Çüngüş formasyonu üzerine gelmektedir (Şekil 1d).

Guleman Ofiyoliti (Geç Kretase): Birimin tip kesit yeri Elazığ ilinin 60 km güneydoğusunda yer alan Guleman ilçesi ve çevresidir. GDAOK’nın en önemli ofiyolitik masiflerinden biridir [12, 13]. Ofiyolitik seri; manto peridotitleri (hazburjit, dünit ve podiform kromitit) ile ultramafik kümülat (dünit-verlit-klinopiroksenit-gabro-troktolit), tabakalı ve izotropik gabrolar, levha dayk karmaşığı, bazaltik yastık lavlar ve derin deniz sedimanlarından oluşur. Birim tektonik olarak Alt Miyosen yaşlı Çüngüş formasyonunu üzerler ve Üst Maastrichtiyen-Alt Eosen yaşlı Hazar Karmaşığı ve Orta Eosen yaşlı Maden Grubu tarafından üzerlenir [14]. Guleman ofiyoliti, üst manto ve okyanusal kabuktan oluşan Kretase okyanusal litosferinin bir parçasıdır. Önceki çalışmalarda Guleman ofiyolitinin okyanus-ortası sırta olduğu ve yeşil-şist fasiyesinde metamorfizma geçirdiği öne sürülmüştür [13, 15]. Son yıllarda Güneydoğu Anadolu ofiyolitleri üzerinde yapılan çalışmalarda [16-25] bu ofiyolitlerin yitimle ilişkili ofiyolitler olduğu kabul edilmektedir. [26], Guleman ofiyolitinin manto peridotitlerinin yitimle-ilişkili mantoya karşılık geldiğini ve yay-önü ortamda oluştuğunu belirtmişlerdir. Perinçek [27], stratigrafik ilişkilere dayanarak Guleman ofiyolitinin Kampaniyen-Erken Maastrichtiyen yaşlı olduğunu belirtirken; Bingöl vd. [21], zirkon U-Pb yaşlandırma yöntemine göre 92±2My yaşı elde etmişlerdir. İnceleme alanında Guleman ofiyoliti manto peridotitleri (serpantinit, serpantinize harzburjit, serpantinize dünit), okyanusal kabuğa ait mafik kayalar (diyabaz-gabro, bazaltik yastık lav) ve derin deniz sedimanları (çamurtaşı, radyolarit, şeyl) ile temsil edilir (Şekil 1c, 2a). Mafik kayalar (gabro-diyabaz) yer yer tonalitik kayaçlar ile kesilmektedir (Şekil 2a-b). Elazığ-Malatya yöresi ve inceleme alanında yaygın yüzlekler veren, esas olarak radyolarialı çört, çamurtaşı, şeyl

ve pelajik kireçtaşlarıyla ilişkili bazaltik dayk ve yastık lavdan oluşan tektonik olarak kaotik bir topluluktan oluşan birim bazı çalışmacılar [28, 29] tarafından, Orta-Geç Kretase’de oluşmuş yay ve yay-ardı volkanizması ile temsil edilen Yüksekova Karmaşığı’na dahil edilmiştir. Yıldırım ve Eroğlu [30] ise, inceleme alanında çevre mineralizasyonlarının izlendiği bu birimi Maden Grubu içerisinde değerlendirmiştir.



Şekil 1. (a) Alp-Himalaya orojenik kuşağında yer alan ofiyolitler (Dilek ve Flower [31]’den değiştirilerek), (b) GDAOK (Gaziantep-Diyarbakır)’da yüzeylenen tektono-stratigrafik birimlerin dağılımı (MTA 2002 [32]’den sadeleştirilerek), (c) İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Yıldırım ve Eroğlu [30]’dan değiştirilerek) ve (d) Tektono-stratigrafik kolon kesiti.

Maden Grubu (Orta Eosen): Perinçek ve Kozlu [33] tarafından Maden Kompleksi olarak isimlendirilen birim bazı çalışmalarda [34] Maden Grubu olarak tanımlanmıştır. Maden Grubu Bitlis-Zagros kenet kuşağı boyunca Pütürge Metamorfileri ve Guleman ofiyoliti üzerinde yüzlek verir. Maden Grubu’nu oluşturan kayalar; altta konglomera-kumtaşı-şeyl (Ceffan Formasyonu) ve bunu izleyen kireçtaşı-tuf-şeyl (Arbo formasyonu), üste doğru ise volkanik kayaç ve kristalize kireçtaşı mercekli sleyt-fillit ve meta-kumtaşı (Melefan formasyonu) ile

volkaniklerden oluşmaktadır [34]. Maden Grubu'nun oluşum ortamı hakkında araştırmacılar birbirinden farklı yorumlar yapmışlardır. Okyanus tabanı yayılımı veya kenar denizi ortamında oluştuğu [35]; gerilme kökenli açılmış derin deniz havzasında geliştiği [36]; kıta kabuğu üzerinde geliştiği [9, 14, 37] şeklindedir. Robertson vd. [38], Orta Eosen'deki riftleşme ile Maden havzasının oluştuğunu, burada toplanan malzemenin Arap kıtasıyla çarpışması sonucunda da tüm bindirme kümesinin Arap burnuna yerleştiğini belirtmişlerdir.

Önceki çalışmalara göre [14] birimin yaşı Orta Eosendir. Pişkin ve Delaloye [39], Karadere formasyonunun yastık lavları ve diyabazlarından 45 ± 5.7 ile 52.0 ± 10.3 My K-Ar yaşı elde etmişlerdir. İnceleme alanı içerisinde çok geniş yüzlek vermeyen Maden Grubu fosilli-kumlu kireçtaşı, şeyl ve tuf ile temsil edilmektedir. Birim, çoğunlukla Guleman ofiyolitik serisine ait volkanik ve çökel kayaları üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır (Şekil 1c-d, 2a).

3. Örneklem ve Analitik Yöntemler

Çalışma kapsamında, inceleme alanında yüzeyleyen magmatik kayaçlardan 50 adet örnek alınmıştır. Alınan bu kayaç örneklerinden 30 adet ince kesit yapılarak polarizan mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. Polarizan mikroskopta ince kesit incelemeleri sonucu yapılan petrografik değerlendirme ile seçilmiş ofiyolitik seriye ait 8 adet mafik kayaç ve 5 adet felsik bileşimli intrüzif kayacın ana oksit, iz ve NTE analizleri Kanada'daki ACME Analytical laboratuvarında ICP-OES (inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer) ve ICP-MS (inductively coupled plasma-mass spectrometer) cihazları ile yaptırılmıştır. Kayaçların alterasyon derecesinin veya analitik problemlerin göreceli olarak anlaşıldığı ateşte kayıp (loss on ignition 'LOI') değerleri % 0.7 ile % 4.7 arasında değişmektedir.

4. Magmatik Kayaçların Petrografisi

4.1. Ofiyolitik kayalar

İnceleme alanında ofiyolitik kayalar; ultramafikler (serpantin, serpantinize-harzburgit, serpantinize-dümit), mafik kayalar (diyabaz-gabro, bazalt, yastık lav) ve derin deniz sedimanları (çamurtaşı, radyolarit) ile temsil edilir. Gabro ve diyabazik kayalar bazı seviyelerde tonalitik kayaçlar ile kesilmektedir. Bölgenin yığılma prizması zonu içerisinde bulunmasından ötürü birimler arasındaki ilksel ilişkiler çoğunlukla kaybolmuştur.

Ultramafikler: Ofiyolitik seriye ait diğer kayaç grupları ile tektonik ilişkili olup, çok kalın olmayan ekay dilimleri şeklinde yüzeylenmektedir (Şekil 2a). Serpantinize ultramafik kayalar; serpantin, serpantinize-harzburgit, serpantinize-dümit ile temsil edilir. Ayrışma renkleri yeşilin tonlarında olup, makroskopik ölçüde yaygın serpantinleşme izlenmektedir. Mikroskopik incelemelerde, piroksenlerin bastit mineraline (Şekil 2c), olivinlerin ise lizartit ve krizotil gibi serpantin minerallerine dönüşümleri yaygın olarak izlenmektedir. Serpantinleşme nedeniyle birincil doku özellikleri kısmen veya tamamen kaybolmuş ve ağısı (mesh) doku gelişmiştir (Şekil 2d).

Gabro: Yaygın izlenen ofiyolitik kayaç gruplarından olan gabrolarda granüler ve heterogranüler (Şekil 2e) dokular, ender olarak da pegmatitik doku gözlenmiştir. Ayrışma yüzeyi gri, yeşil, kahve renkli, taze yüzeyi yeşil, siyahımsı renkli olup kırık ve çatlaklıdır. Gabro-tonalit dokanalarında silisleşme yaygın olup, kloritleşme tipiktir (Şekil 2b). İnce kesitlerin petrografik değerlendirmesine göre gabrolar esas olarak plajiyoklas, mafik mineral olarak piroksen ve az oranda da opak minerallerden oluşmaktadır. Öz şekilli ve yarı-özşekilli kristaller halindeki plajiyoklaslarda karlsbad+albit ve albit ikizlenmeleri görülmektedir (Şekil 2e). Piroksenler, öz şekilsiz olup, klinopiroksenlerde soluk yeşilimsi pleokroizma belirgindir.

Diyabaz: Yeşil ve tonlarında ayrışma rengine sahip olan diyabazik kayalarda, makroskopik olarak kloritleşme ve epidotlaşma gibi alterasyonlar izlenebilmektedir. İnceleme alanının kuzeybatısında (Diyar Tepe civarında) gabrolarla birlikte yer alan bu kayaçlar felsik dayklarca kesilmektedir (Şekil 1c, 2a). Gabrolar ile ilişkileri belirgin olmayan ve iç yapısını kaybetmiş olan diyabazlar, ince taneliden, iri taneliye kadar değişebilen kristal boyutlarına sahiptirler. Diyabazlar, esas olarak plajiyoklas, mafik mineral olarak piroksen ve olivin, az oranda da ikincil kalsit, klorit ve opak minerallerden oluşmuşlardır. Plajiyoklaslar, öz şekilli ve yarı özşekilli çubuksu kristaller halindedir. Polisentetik ikizlenmeler görülmektedir. Bazı kristallerde zonlanma izlenmekte ve kristallerin merkezi çoğunlukla karbonatlaşmıştır. Piroksenler, öz şekilsiz, bazen de yarı-özşekilli kristaller halinde olup, canlı polarizasyon rengine sahiptir. Olivinler, özşekilsiz kristaller halinde bol kırıklı, çatlaklı bir görünümündedir. Diyabazlarda intersertal ve intergranüler dokular (Şekil 2f) görülür.

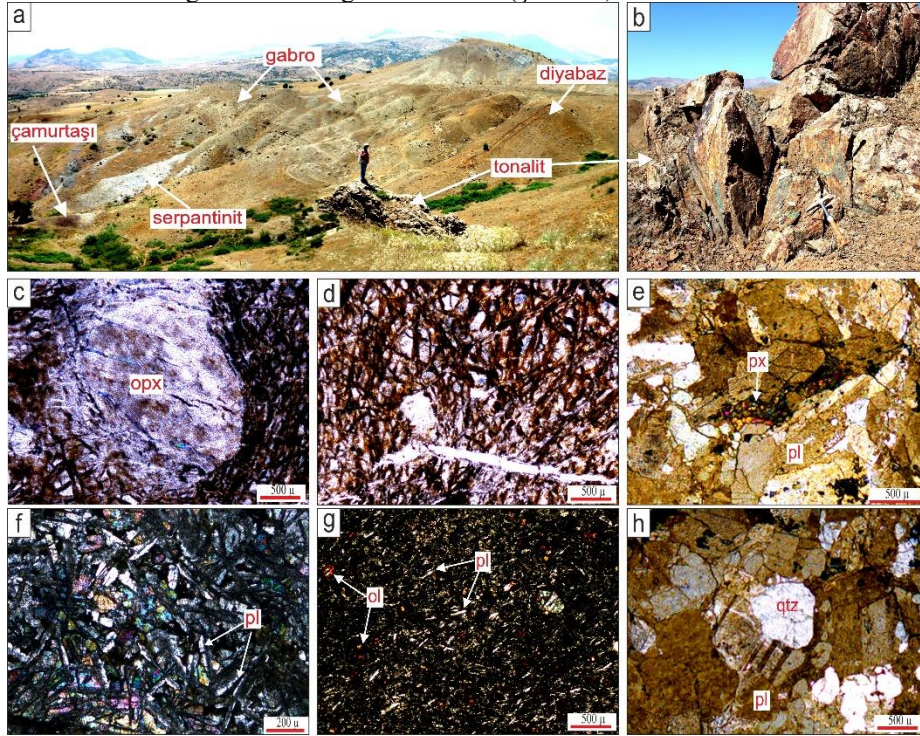
Bazalt: Ofiyolitik seriye ait bazaltlar en geniş yüzleklere sahiptir ve ultramafiklerle tektonik ilişkilidir (Şekil 1c). Bazaltlar, seyrek olarak, ince pelajik radyolaritler ve çamurtaşları ile ardalanmalar içerir. Bordo, yeşil ve gri

renklidir, masif lavlar yastık lavlara oranla daha fazladır. Yastık lavlarda spilitleşmeden ötürü yeşilimsi gri renk hakimdir. Esas olarak plajiyoklastan oluşan bazaltlarda mafik mineral olarak piroksen, olivin ve ikincil mineral olarak da kalsit, kuvars, klorit, albit ve zeolit bulunmaktadır. Bazaltlarda, genellikle küçük, çubuksu kristaller halindeki plajiyoklastların oluşturduğu mikrolitik doku (Şekil 2g) ve plajiyoklastların fenokristaller halinde olduğu mikroporfirik doku izlenmektedir. Gaz boşluklarının ikincil minerallerle dolduğu amigdaloidal doku da yaygın bir şekilde izlenmektedir. Kloritleşme, seritleşme ve karbonatlaşma tipinde alterasyonlar yoğun şekilde izlenir.

4.2. Felsik Bileşenli Magmatik Kayalar

Ofiyolitik seriye ait gabro/diyabazik kayalar ile intrüzif ilişkiye sahip felsik bileşenli kayalar oldukça dar alanlarda yüzelemektedir (Şekil 1c-d). Tonalitik bileşimli bu kayalarda, yoğun silisifikasyon ve sülfür minerallerince zengin hidrotermal tip mineralizasyonlar yaygındır (Şekil 2a,b).

Tonalit: Makro örneklerde orta taneli ve açık renkli kayalardır. Esas olarak plajiyoklast ve kuvars mafik mineral olarak da amfibol ve/veya biyotit içermektedirler. Kuvars, genelde küçük öz şekilsiz kristaller halinde mineraller arası boşlukları doldururken, bazen de büyük kristallidir. Bazı kristallerde deformasyona bağlı dalgalı sönme gözlenmektedir. Plajiyoklast, öz şekilli ve yarı öz şekilli kristaller halindedir. Alterasyonun az olduğu kesitlerde plajiyoklastlarda albit+karlsbad ve albit ikizlenmeleri (Şekil 2h) izlenmektedir. Örneklerin bazılarında plajiyoklastların kenar kısımlarında alterasyon sonucu karbonatlaşma ve serizitleşme görülür (Şekil 2h). Yoğun alterasyon nedeniyle plajiyoklastların türü belirlenememiştir. Yarı öz şekilli ve öz şekilsiz kristaller halindeki biyotitlerde oksidasyon yaygındır. Amfiboller, çoğunlukla yarı öz şekilli ve öz şekilsiz kristaller halindedir. Tonalitler, genel olarak heterogranüler doku göstermektedir (Şekil 2h).



Şekil 2. (a) Ofiyolitik seriye ait birimlerin genel görünümü (Diyar Tepeye batıya doğru bakış), (b) Gabroyik kayaları kesen silisifiye tonalit, (c) Serpantinize harzburjitlerde bastitleşmiş ortopiroksen (ÇN), (d) Serpantinitlerde gelişmiş ağsı (mesh) doku (ÇN), (e) Gabrolarda gözlenen heterogranüler doku ve plajiyoklast ikizlenmeleri (ÇN), (f) Diyabazlarda izlenen intergranüler doku (ÇN), (g) Bazaltlarda izlenen mikrolitik doku (ÇN), (h) Tonalitlerde gözlenen heterogranüler doku ve plajiyoklastlardaki albit ikizlenmeleri (ÇN). (ÇN=Çift Nikol, opx=ortopiroksen, px= piroksen, pl= plajiyoklast, ol= olivin, qtz= kuvars).

5. Jeokimya

5.1. Ofiyolitik Seriye Ait Mafik Kayalar

Ofiyolitik serinin kabuksal birimlerine ait gabrolardan 8 adet örneğin tüm kayaç jeokimyası verileri

Tablo 1’de sunulmaktadır.

Tablo 1. İnceleme alanındaki gabro ve tonalit kayalara ait jeokimyasal (ana-oksit, iz ve NTE) analiz verileri.

Örnek	Tonalit					Gablo							
	1	3	20	26	29	7	9	11	12	13	14	27	32
SiO ₂	75.65	69.37	72.24	80.34	67.89	43.18	39.96	42.2	42.01	47.64	46.59	92.32	47.51
Al ₂ O ₃	11.71	12.05	10.43	10.39	14.6	17.34	16.43	14.47	13.11	10.6	18.65	2.57	16.53
Fe ₂ O ₃	3.63	6.34	5.85	2.01	3.07	16.5	17.25	19.83	21.31	9.18	7.96	1.96	5.38
MgO	0.49	1.64	0.52	0.33	0.48	7.7	10.42	7.88	8.37	11.64	8.32	0.35	9.33
CaO	1.91	4.79	8.81	0.59	11.63	6.13	7.74	8.49	8.45	14.06	10.49	1.46	16.34
Na ₂ O	4.53	2.19	0.03	5.23	0.12	0.92	1.34	1.03	1.52	1.38	1.86	0.1	1.2
K ₂ O	0.28	0.97	0.16	0.14	0.13	3.27	0.37	1.71	0.4	0.83	1.45	0.34	0.64
TiO ₂	0.29	0.56	0.33	0.21	0.25	1.02	1.18	1.44	1.62	0.46	0.31	0.5	0.21
P ₂ O ₅	0.05	0.15	0.09	0.04	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
MnO	0.04	0.06	0.06	0.01	0.07	0.16	0.15	0.15	0.18	0.16	0.13	0.02	0.1
Cr ₂ O ₃	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.003	<0.002	0.009	0.077	0.015	<0.002	0.047
LOI	1.4	1.8	1.4	0.7	1.6	3.4	4.7	2.4	2.6	3.6	4	0.8	2.5
Toplam	99.95	99.93	99.94	99.98	99.92	99.64	99.63	99.6	99.55	99.63	99.78	99.99	99.78
Ba	21	146	11	14	15	265	31	111	33	63	65	20	38
Be	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Co	4.9	8.3	4.1	4.7	2.8	54.1	77.1	62.9	62.7	47.9	42.3	3.2	28.7
Cs	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.1	<0.1	0.6	0.2	1.1	1.7	0.1	0.6
Ga	10.5	15.8	21.4	4.8	17.2	14.4	15.8	14.8	12.6	7.3	10.7	2.9	6.7
Hf	4.1	2.5	2.1	2.7	3.9	0.2	0.8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.2
Nb	1.8	1.5	1.2	1.2	1.9	<0.1	0.4	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.4	<0.1
Rb	3	12	3.4	1.1	1.7	75.6	6.8	37.4	6.2	14.4	25.6	5.6	9.9
Sn	<1	2	1	1	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1	<1
Sr	73.2	178.8	273.7	91.2	344.9	174	89.9	117.5	134.8	169.7	443.4	113.4	281.1
Ta	0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Th	0.5	0.4	0.2	<0.2	0.6	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
U	0.3	0.2	0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
V	11	19	12	11	73	1116	962	1376	1617	346	171	13	216
W	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Zr	129.2	74.1	64.1	90.4	149.1	6.4	25.4	12.2	12.1	13.6	14.6	20.9	5.6
Y	47.6	48.1	41.3	26.8	34.1	5.6	12.9	9	8.5	8.3	8	6.3	4.8
La	3.5	4.7	4.7	4.7	6.9	0.9	1	0.8	0.6	0.6	0.6	0.8	0.6
Ce	10.7	14.8	12.8	11.3	15.9	0.9	3.2	1.4	1.3	1.6	1.6	1.7	0.8
Pr	1.95	2.53	2.18	1.62	2.29	0.13	0.55	0.24	0.23	0.25	0.26	0.27	0.11
Nd	11.7	13.8	12.3	8.8	11.1	0.9	3.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.5	0.8
Sm	4.35	4.73	3.85	2.68	3.69	0.39	1.15	0.58	0.5	0.59	0.61	0.47	0.37
Eu	1.12	1.98	1.58	0.56	0.93	0.23	0.28	0.32	0.27	0.29	0.34	0.27	0.17
Gd	6.27	6.92	5.72	3.84	5.15	0.74	1.78	1.16	1.04	1.07	1.07	0.9	0.62
Tb	1.23	1.26	1.06	0.71	0.92	0.14	0.33	0.23	0.2	0.21	0.2	0.16	0.13
Dy	8.11	8.11	6.86	4.82	6	0.94	2.23	1.49	1.57	1.46	1.39	1.09	0.87
Ho	1.83	1.85	1.62	1.07	1.34	0.23	0.52	0.33	0.35	0.34	0.28	0.23	0.19
Er	5.76	5.66	4.83	3.26	3.97	0.72	1.6	1.03	0.96	0.98	0.91	0.78	0.55
Tm	0.84	0.79	0.73	0.48	0.59	0.1	0.22	0.14	0.14	0.13	0.11	0.12	0.07
Yb	5.89	5.18	5.1	3.13	3.97	0.59	1.4	0.95	0.94	0.92	0.78	0.77	0.46
Lu	0.83	0.81	0.76	0.47	0.57	0.07	0.2	0.12	0.12	0.11	0.11	0.09	0.04
Mo	0.5	0.4	0.2	0.5	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.4	<0.1
Cu	115.8	3.8	4	5.2	2.9	23.3	3.6	22.8	5.1	651.4	14.5	4	10.1
Pb	59	29.1	11.5	14	12.2	7.4	5.3	5.5	5.4	4.4	3.7	16.9	5.2
Zn	74	73	72	75	36	46	73	47	61	81	62	53	21
Ni	2.1	1	2.3	1	1.2	17.6	29.3	17.3	19.8	34.8	25.5	1.2	12.8
Sc	8	18	11	7	2	48	41	61	48	61	35	2	55
As	64.8	35.4	14.2	19.3	17.3	5	3.6	3.1	5.1	3.9	3.3	23.4	7.3
Cd	0.3	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	<0.1
Sb	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1
Bi	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ag	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1
Au	6.4	4.1	1	2.6	1.8	0.7	<0.5	0.8	0.5	2.8	<0.5	3	1.8
Hg	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Tl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Se	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5

Gabroyuk kayalar, toleyitik özellikleri ile çok düşük Zr/Ti, Nb/Y oranlarına karşın yüksek Ti/Y içermektedir (Şekil 3a,b). Ta/Yb'ye karşı Th/Yb diyagramında, MORB'a göre görece daha yüksek Th/Yb oranlarına sahiptirler

(Şekil 3c). Örneklerin kondrite göre normalize edilmiş NTE dağılımları, hafif nadir toprak elementler (LREE) bakımından oldukça az tüketilme (La_n/Yb_n : 0,43-1,03) ve yatay ve yataya yakın bir dağılım sunarlar (düşük La_n/Sm_n : 0,54-1,44; Şekil 3d). Kayaç örneklerinin normal-okyanus ortası sırtı bazaltları (N-MORB)'na göre normalize edilmiş örümcek diyagramında LIL elementleri (Rb, Ba, Th, K), HFS elementlerine (Ta, Nb, Hf, Zr, Ti, Y) göre zenginleşmiştir (Şekil 3e). HFS elementleri MORB çizgisine paraleldir, ancak MORB'a göre daha fazla tüketilmiştir. Ayrıca örnekler, Sr ve Pb'ce zenginleşmiş, Nb'ca tüketilmiştir (Şekil 3e).

5.2. Felsik Bileşenli Magmatik Kayalar

Tonalitik kayaların jeokimyasal özellikleri ve oluştukları jeodinamik ortamı belirlemek amacı ile 5 adet tonalit örneğinin tüm-kayaç jeokimyasal analizi gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). Bu kayalar yüksek SiO_2 içerikleriyle (Tablo 1) asidik bileşimli, görece yüksek Zr/Ti içeriğine karşın düşük Nb/Y oranları ile tonalit karakterlidir (Şekil 3a). Kondrite göre normalize edilmiş NTE diyagramında, NTE'ler genel olarak yatay veya yataya yakın bir dağılım sunmakla birlikte, ağır nadir toprak element (HREE)'lerine göre LREE'ler görece tüketilmiştir (Şekil 3f). Eu elementinin hafif bir negatif anomalisi, plajiyoklaz fraksiyonlanmasıyla ilişkili olabilir. Tonalitler, tipik volkanik-yay graniti NTE deseni sunmaktadırlar. Örnekler, okyanus sırtı granitleri (ORG)'ne göre normalize edilmiş örümcek diyagramında K, Rb, Ba ve Th gibi LIL elementlerinde zenginleşme ve Nb, Zr, Hf ve Y gibi HFS elementlerinde tükenme sergiler (Şekil 3g). Negatif Nb ve Ta anomalisi, bu kayaların oluşumu sırasında bir yitim bileşeninin veya kabuk kirliliğinin varlığının göstergesidir [44, 45].

6. Tartışma ve Sonuçlar

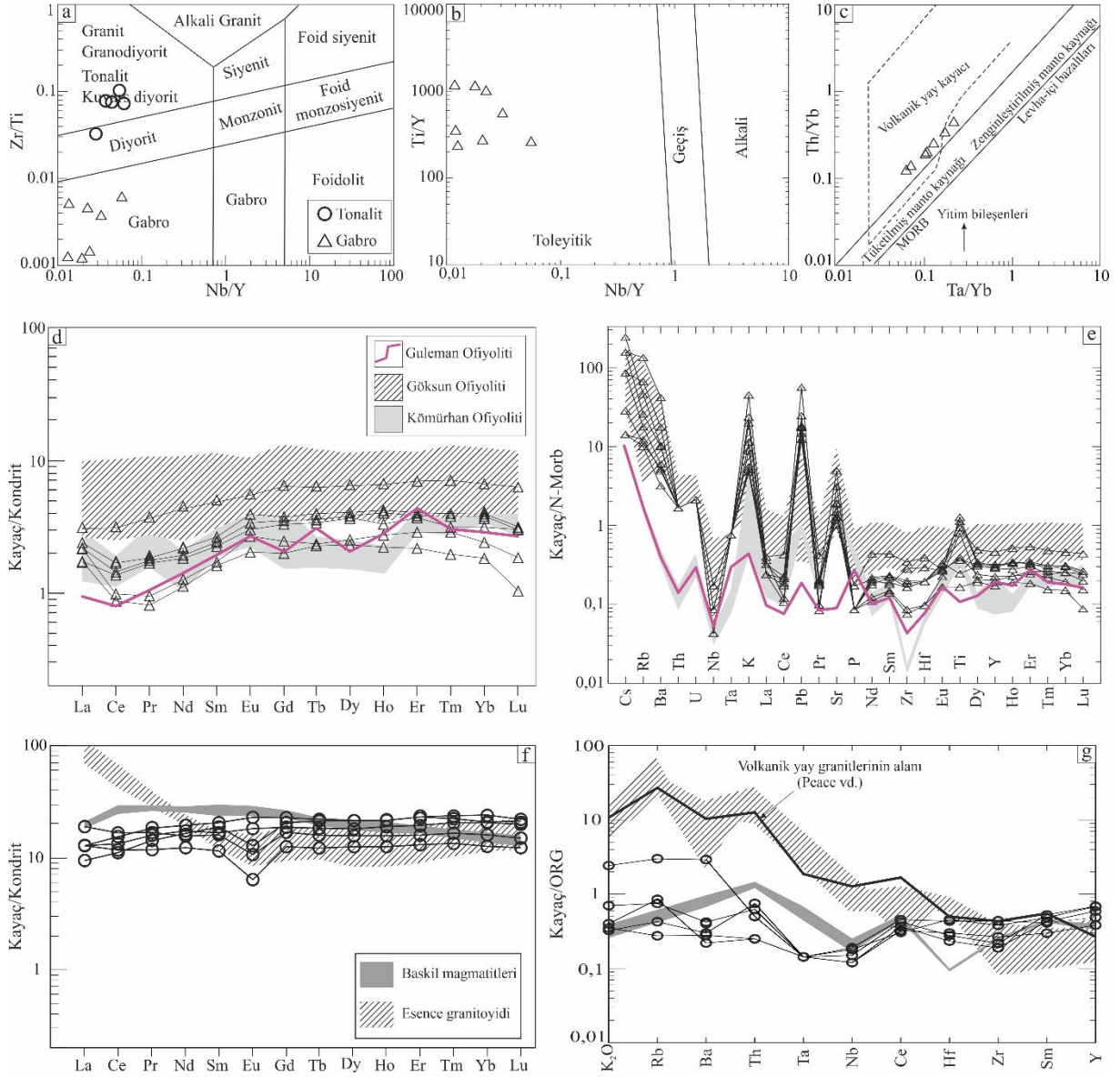
Ofiyolitlerin, eski okyanusal litosfer parçalarının günümüzde kıtasal kabuk üzerine yerleşmiş kalıntıları olduğu bilinmektedir. Tektonik ortamlarına göre ofiyolitler Tetis ve Kordillera ofiyolitleri olarak iki tipe bulunurlar [48]. Kordillera ofiyolitleri yığılma zonları üzerine yerleşmiş olarak gözlenirken, Tetis ofiyolitleri tektonik olarak kıta kenarını üzerlemektedir [25]. Tetis okyanusuna ait ofiyolitler ve ilişkili diğer magmatik birimler günümüz modern okyanus kabuğu ile karşılaştırıldığında, birbirlerinden farklı tektonik ortam ve kökeni temsil etmektedirler [2, 21].

GDOAK boyunca farklı iki kuşak halinde yüzeyleyen Geç Kretase yaşlı ofiyolitik birimler, Güneydoğu Anadolu ofiyolitleri (kuzey kuşak) ve peri-Arabian (güney kuşak) olarak bilinmektedir. Kuzeyde, Toros karbonat platformunun altında yer alan Güneydoğu Anadolu ofiyolitleri, Göksun (Kahramanmaraş), İspendere (Malatya), Kömürhan ve Guleman (Elazığ) ofiyolitlerini kapsamaktadır [2, 19, 23, 24]. Güney kuşakta yer alan Geç Kretase yaşlı Kızıldağ (Hatay), Koçalı (Adıyaman), Baer-Bassit (Suriye) ve Troodos (Güney Kıbrıs) ofiyolitleri ise doğrudan Arap platformu üzerinde tektonik olarak yer almakta ve Peri-Arabian ofiyolit kuşağı olarak adlandırılmaktadır [25, 49-52]. Her iki kuşakta yüzeyleyen ofiyolitlerin, okyanus-ıçi yitim zonu üzerinde (SSZ-tipi) oluştuklarına dair birçok çalışma mevcuttur [2, 19, 21, 23-25, 53].

Guleman ofiyoliti, bölgesel ölçekte Güneydoğu Anadolu bölgesindeki kenar kıvrımları kuşağı boyunca batıdan doğuya yaygın yüzeylemelere sahiptir. Güneydoğu Anadolu Orojeni, Kahramanmaraş'tan Malatya-Elazığ-Diyarbakır'a ve daha doğuda Siirt'e kadar uzanan kuşak boyunca ofiyolitik kayaç topluluklarını içermekte ve farklı isimlendirmelerle (Kahramanmaraş bölgesinde Göksun ofiyoliti; Malatya bölgesinde İspendere-Kömürhan ofiyoliti; Elazığ-Siirt bölgesinde Guleman ofiyoliti) tanımlanmıştır.

Bölgeyi de içine alan kuşağın yoğun tektonik özellikleri nedeniyle gelişmiş kıvrımlanma, bindirme ve nap dilimleri düzenli bir ofiyolitik istifin izlenmemesine neden olmuştur. İnceleme alanında Guleman ofiyoliti; ultramafikler, mafik kayalar ve derin deniz sedimanlarını kapsamakta ve gabroyik kayalar bazı seviyelerde felsik dayklarca kesilmektedir.

Ofiyolitik seriye ait kabuksal kayaların (gabro) ana, iz ve nadir toprak element içerikleri bu kayaların, toleyitik bir eğilim sergilediklerini, ada-yayı toleyitlerine benzediklerini ve okyanus içi dalma-batma zonu (SSZ) üzerinde oluştuklarını göstermektedir. N-MORB'a göre normalize edilmiş örümcek diyagramında düz NTE desenleri, Nb ve Ta'da tüketilme, LILE'lerde zenginleşme (Ba, Rb, Th, Sr, Pb) gösterir ve daha düşük HFSE zenginleşmesi ile temsil edilir. Gabroların jeokimyası, yitimle-ilişkili bazaltları (ada-yayı toleyitleri ve yay-önü bazaltları) yansıtmaktadır. Farklı ortamlardaki bazaltları ayırt etmek ve yitim girdisini gösteren Th-Yb/Ta-Yb diyagramında, ok yönünde dalan levhadan ayrılan uçucular ve sıvılar gibi dalma-batma bileşeninin eklenmesiyle manto kaynağında Th/Yb oranında bir artış meydana getirmektedir [42]. Örneklerin de bu artışla birlikte volkanik-yay kayaçlarına benzedikleri görülmektedir.



Şekil 3. Gabro örneklerine ait (a) Kayaç sınıflandırma (Nb/Y-Zr-Ti) diyagramı [40], (b) Nb/Y-Ti/Y değişim diyagramı [41], (c) Ta/Yb'ye karşı Th/Yb diyagramı [42], (d) Kondrite göre normalize edilmiş NTE diyagramı ve (e) N-MORB'a göre normalize edilmiş örümcek diyagramı. Tonalit örneklerine ait (f) Kondrite göre normalize edilmiş NTE diyagramı ve (g) ORG'a göre normalize edilmiş örümcek diyagramı (Kondrit, N-MORB ve ORG değerleri Sun ve McDonough [43]'dan; Guleman ve Kömürhan ofiyolitinin gabrolarına ait örnek analizleri Bingöl vd. [21]'den; Göksun ofiyoliti gabrolarına ait örnek analizleri Yıldırım [24]'den; Baskil magmatitlerinin tonalitlerine ait örnek analizleri Rızaoğlu [19]'den; Esence granitoyidinin tonalitlerine ait örnek analizleri Yıldırım, [24]'den alınmıştır).

Bingöl vd. [21], GDOAK boyunca yüzeyleyen tüm ofiyolitik birimleri Güneydoğu Anadolu ofiyolitleri [12] başlığı altında değerlendirmiş ve Guleman ofiyolitinin tüm kaya jeokimyasal verilerine göre, SSZ ortamında boninitik-tip magmadan oluştuğunu belirtmiştir. Rizeli vd. [26]'ne göre, Guleman ofiyolitinin manto peridotitlerine ait Cr-spinel kimyası da, yitimle-ilişkili mantoyu ve yay-önü ortamını işaret etmektedir. Bu veriler, Naldöken bölgesindeki ofiyolitik kayaların jeokimyası ile karşılaştırıldığında, değişken bir biçimde tüketilmiş manto kaynağının ergimesinin farklı derecelerindeki jeokimyasal ayırt edici özelliklerini göstermektedir. Guleman ofiyoliti magmalarının bu evrimsel (ada-yayı toleyitlerinden boninitige) eğilimleri, birçok Tetis ofiyolitinin

(Trodos, [54]; Kızıldağ, [2, 51, 53]; Koçali, [25]) evrim tarihi içerisinde yaygındır ve dalma-batma zonu içerisinde başlangıç aşamasındaki bir yay magmatizmasının ofiyolitik şablonunu yansıtmaktadır [2, 25, 52, 53]. Naldöken gabroyik kayalarının jeokimyasal verileri, Güneydoğu Anadolu ofiyolitleri (Göksun, Kömürhan, Guleman) ile birlikte değerlendirildiğinde (Şekil 3d-e), SSZ ortamında genişletilmiş bir yay-önü ortamındaki ofiyolitlerin kademeli bir magmatik evrimi gösterdiği şeklinde yorumlanabilir.

Bölgede ve inceleme alanında geniş yüzleklere sahip volkanitler (bazalt, masif lav akıntıları, yastık lavlar, spilit) ve derin deniz sedimanları, ofiyolitik sekansın üst bölümüne dahil edilmiştir. Bu birimde jeokimyasal ve jekronolojik bir çalışmamız olmamasına karşın, litolojisi ve tektono-stratigrafik konumu itibarıyla Yüksekova Karmaşığı [9, 28, 29] ile denetirilebilir.

Güneydoğu Anadolu ofiyolitleri, Toros platformu ile birlikte Geç Kretase yaşlı I-tipi kalkalkali karakterli yay- granitoidleri (Esence ve Baskil) tarafından kesilmişlerdir [10, 22, 55, 56]. İnceleme alanı ve çevresinde (Elazığ-Maden bölgesi) de yüzlek veren benzer granitik kayalar (tonalit), okyanusal kabuğa ait birimler ile intrüzif ilişkili olarak izlenmektedir. Yarı-alkalen bileşimli bu kayalar Ba, Th ve Pb'de zenginleşmiş; Ti ve Ta'a ek olarak Nb elementlerince tüketilmişlerdir. Naldöken civarındaki tonalit kayaların jeokimyasal karakteristikleri, Güneydoğu Anadolu ofiyolitleri (Guleman-Kömürhan-İspendere-Göksun) ile intrüzif ilişkili Elazığ/Baskil magmatitleri ve Esence granitoidleriyle karşılaştırıldığında (Şekil 3f-g), bu kayalar ile yakın benzerlik sundukları ve yay-granitlerine benzedikleri görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Koordinatörlüğü MF.18.19 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmalarında katkıları olan Jeoloji Mühendisi Dr. Nail Yıldırım, Jeoloji Yüksek Mühendisi Mahmut Eroğlu ve Jeoloji Mühendisi Yunus Sönmez'e teşekkür ederiz. Yazarlar, makaleye yapıcı eleştiri ve görüşleriyle katkı sağlayan dergi editörleri ve hakemlere teşekkür eder.

Kaynaklar

- [1] Robertson, A. H. F., Parlak, O., Rızaoğlu, T., Ünlügenç, U. C., Inan, N., Tash, K., and Ustaömer, T. Tectonic evolution of the South Tethyan ocean: evidence from the Eastern Taurus mountains (Elazığ region, SE Turkey), in Deformation of the Continental Crust. The Legacy of Mike Coward, Geological Society of London, Special Publications 2007; 272, : 233-272, Eds. Ries, A.C., Butler, R.W.H., Graham, R.H.
- [2] Parlak, O., Rızaoğlu, T., Bağcı, U., Karaoğlu, F., Höck, V. Tectonic significance of the geochemistry and petrology of ophiolites in southeast Anatolia, Turkey. Tectonophysics 2009; 473(1): 173-217.
- [3] Yılmaz, Y. New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian orogen. Bull. Geol. Soc. Am. 1993; 105.
- [4] Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y. Tethyan evolution of Turkey : A plate tectonic approach :Tectonophysics 1981;75:181-241.
- [5] Ustaömer, P.A., Ustaömer, T., Collins, A.S., Robertson, A.H.F. Cadomian (Ediacaran–Cambrian) arc magmatism in the Bitlis Massif, SE Turkey:Magmatism along the developing northern margin of Gondwana. Tectonophysics 2009; 473: 99-112.
- [6] Beyarslan, M., Lin, Y-C., Bingöl, A.F., Chung, S-L. Zircon U-Pb age and geochemical constraints on the origin and tectonic implication of Cadomian (Ediacaran-Early Cambrian) magmatism in SE Turkey. Journal of Asian Earth Sciences 2016; 130: 23-238.
- [7] Ertürk, M.A., Beyarslan, M., Chung, S-L., Lin, T-H. Eocene magmatism (Maden Complex) in the Southeast Anatolian Orogenic Belt: Magma genesis and tectonic implications. Geoscience Frontiers 2017; 9: 1829-1847.
- [8] Elmas, A. and Yılmaz, Y. Development of an Oblique Subduction Zone—Tectonic Evolution of the Tethys Suture Zone in Southeast Turkey. International Geology Review 2003; 45: 827–840.
- [9] Perinçek, D. Geological Investigation Of The Çelikhan-Sincik- Koçali Area (Adıyaman Provinz). İst. Üniv. Fen. Ed. Mec. Seri: B 1979; 127-147.
- [10] Aktaş, G., Robertson, H.F. The Maden Complex, S E Turkey : evolution of a Neotethyan active margin In : The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean (J.E.Dixon and A.H.F. Robertson eds.). Published for The Geological Society by Blackwell Scientific Publication Oxford London Edinburgh Boston Palo Alto Melbourne 1984; p. 375-401.
- [11] Perinçek, D., Duran, O., Bozdoğan, N., Çoruh, T. Stratigraphy and paleogeographical evolution of the autochthonous sedimentary rocks in the SE Anatolia. In: Turgut, S. (Ed.), Ozan Sungurlu Symposium Proceedings. O. Sungurlu Foundation, Ankara 1991; pp. 274–305.
- [12] Özkan, Y.Z. Guleman (Elazığ) Ofiyoliti'nin jeolojisi ve petrolojisi. Yerbilimleri, İstanbul 1982; 3(1/2): 295-311.
- [13] Özkan, Y.Z., Öztunalı, Ö. Petrology of the magmatic rocks of Guleman Ophiolite. Proceeding of the International Symposium on the Geology of the Taurus Belt 1984; 285-293.
- [14] Özkaya, İ. Ergani-Maden yöresi stratigrafisi. Türkiye Jeol. Kur. Bült. 1978; 21/2: 129-139.

- [15] Erdoğan, B. Ergani-Maden Yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit Kuşağının Jeolojisi ve Volkanik Kayaları. *Türk. Jeol. Kur.* 1982; 25: 49-59.
- [16] Beyarslan, M., Bingöl, A.F. Petrology of the İspendere Kömürhan and Guleman Ophiolites Southeast Turkey Subduction Initiation Rule SIR Ophiolites and Arc Related Magmatics. *GEOS 3rd Annual International Conference on Geological and Earth Sciences 2014*; 50-60.
- [17] Bağcı, U., Parlak, O., Höck, V. Whole rock and mineral chemistry of cumulates from the Kızıldağ (Hatay) ophiolite (Turkey): clues for multiple magma generation during crustal accretion in the southern Neotethyan ocean. *Mineralogical Magazine* 2005; 69: 53-76.
- [18] Bağcı, U., Parlak, O., Höck, V. Geochemistry and tectonic environment of diverse magma generations forming the crustal units of the Kızıldağ (Hatay) ophiolite, Southern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 2008; 17:43-71.
- [19] Rızaoğlu, T., Parlak, O., Höck, V., İşler, F. Nature and significance of Late Cretaceous ophiolitic rocks and its relation to the Baskil granitoid in Elazığ region, SE Turkey. *Special Publications* 2006; 260: 327–350, Geological Society, London.
- [20] Bingöl, A.F., Beyarslan, M., Chung, S. L. The Peri-Arabian Ophiolites (Turkey and Syria): Mid-Oceanic - Ridge (MOR) and or Subduction Initiation Rule (SIR) Ophiolites. *Bul. Shk. Geol. '1/2014 - Special Issue Proceedings of)(X CBGA Congress, Tirana, Albania 2014.*
- [21] Bingöl, A.F., Lin, Y-C., Lee, H-Y., Beyarslan, M. Geochronological and geochemical constraints on the origin of the Southeast Anatolian ophiolites. *Turkey, Arabian Journal of Geosciences* 2018.
- [22] Karaoğlu, F., Parlak, O., Klötzli, U., Thöni, M., Koller, F. U-Pb and Sm-Nd geochronology of the Kızıldağ (Hatay, Turkey) ophiolite: implications for the timing and duration of suprasubduction zone type oceanic crust formation in southern Neotethys. *Geological Magazine* 2013.
- [23] Parlak, O., Karaoğlu, F., Rızaoğlu, T., Nurlu, N., Bağcı, U., Höck, V., Önal, A., Kürüm, S., Topak, Y. Petrology of the İspendere ophiolite from the Southeast Anatolia: implications for the Late Mesozoic evolution of the southern Neotethyan ocean. *Geology Society, London, Special Publication* 2013;372:219-249.
- [24] Yıldırım, E. Geochemistry, petrography and tectonic significance of the ophiolitic rocks, felsic intrusions and Eocene volcanic rocks of an imbrication zone (Helete area, Southeast Turkey). *Journal of African Earth Sciences* 2015;107: 89–107.
- [25] Yıldırım, N., Koçali Karmaşığını (Adıyaman) Oluşturan Okyanusal Birimlerin Petrolojik Özellikleri ve Tektonik Önemi. *Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2017.*
- [26] Rizeli, M.E., Beyarslan, M., Wang, K. L., Bingöl, A.F. Mineral chemistry and petrology of mantle peridotites from the Guleman ophiolite (SE Anatolia, Turkey): Evidence of a forearc setting. *Journal of African Earth Sciences* 2016;123:392-402.
- [27] Perinçek, D. Hakkari ili ve dolayının stratigrafisi, (Hakkari Province, Southeast Turkey). (Stratigraphy of Hakkari city and surrounding.) *Turkish Petroleum Society Bulletin* 1990; 2:21–68.
- [28] Ural, M. Geochemistry of the Volcanic Rocks of the Yüksekova Complex near Güneyköy (SE of Elazığ, E Turkey). *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2019; 17: 1125-1133.
- [29] Tekin, U.K. Ural, M., Göncüoğlu, M. C. Arslan, M., & Kürüm, S. Upper Cretaceous Radiolarian ages from an arc-back-arc within the Yüksekova Complex in the southern Neotethys mélange, SE Turkey. *Comptes Rendus Palevol* 2015;14(2):73-84.
- [30] Yıldırım N., Eroğlu, M. Maden Karmaşığına Ait Dasitik Kayaçlarla İlişkili Hidrotermal Tıp Bakır Cevherleşmelerine Güneydoğu Anadolu'dan Bir Örnek (Yukarı Şeyhler, Diyarbakır). *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* 2015.
- [31] Dilek, Y., Flower, M.F.J. Arc-trench rollback and forearc accretion: 2. A model template for ophiolites in Albania, Cyprus, and Oman. *Geological Society [London] Special Publication* 2003;218:43–68.
- [32] MTA. 1:500,000 scale geology map of Turkey. General Directorate of Mineral Research and Exploration (Turkey), Ankara, Turkey 2002.
- [33] Perinçek, D., Kozlu, H. Stratigraphy and structural relations of the units in the Afşin–Elbistan–Doğanşehir region (Eastern Taurus), in the Geology of Taurus Belt. *Proceedings International Symposium, MTA, Ankara, Turkey* 1984; 181–198.
- [34] Yiğitbaş, E., Genç, Ş. C., Yılmaz, Y. Güneydoğu Anadolu orojenik kuşağında Maden grubunun tektonik konumu ve jeolojik önemi. *A. Suat Erk Sempozyumu, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi* 1993.
- [35] Sungurlu, O., Arpat, E. Türkiye doğu kesiminin jeolojisi ve beklenir kabuk yapısı. *TPAO Arama Grubu* 1978; Rapor no. 1204, 8 s., Ankara.
- [36] Şengör, A.M.C., Özeren, M.S., Keskin, M., Sakıncı, M., Özbakır, A.D., Kayan, İ. Eastern Turkish high plateau as a small Turkic-type orogen: Implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic-type orogens. *Earth-Science Reviews* 2008; 90: 1-48.
- [37] Yiğitbaş, E., Yılmaz, Y. New evidence and solution to the Maden complex controversy of the southeast Anatolian orogenic belt (Turkey). *Geol. Rundsch* 1996; 85:250–263.
- [38] Robertson, A. H. F., Parlak, O., Rızaoğlu, T., Ünlügenç, Ü., İnan, N., Taslı, K., Ustaömer, T. Tectonic evolution of the South Tethyan Ocean: evidence from the Eastern Taurus Mountains (Elazığ region, SE Turkey). *Geological Society, London, Special Publications* 2007; 272(1):231-270.
- [39] Piskin, O., et M., Delaloye. *Petrologie et Geochronologie des ophiolites de Celikhan (Taurus oriental, Turquie)*. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt* 1981; 61:133-145.
- [40] Pearce, J.A. A users guide to basalt discrimination diagrams. *Geol Ass Canada, Short Course Notes* 1996;12:79–113.

- [41] Winchester, J.A. & Floyd, P.A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 1977; 20:325-343.
- [42] Pearce, J. A. Trace Element Characteristics of Lavas from Destructive Plate Boundaries. In: Thorpe, J. S (ed.), *Andesites*, John Wiley, New York 1982; 525-548.
- [43] Sun, S.S. and McDonough, W.F. Chemical and systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. *Geological Society of London*, London 1989; 42: 313-345.
- [44] Pearce, J. A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. *Shiva Publications* 1983; 230-249.
- [45] Wilson, M. *Igneous Petrogenesis: a Global Tectonic Approach*. Chapman and Hall, London 1989;1-466.
- [46] Middlemost EAK. Naming materials in magma/igneous rock system. *Earth Sci Rev* 1994; 37:215-224.
- [47] Pearce, J.A., Harris, N.B.W. & Tindle, A.G. Trace-element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 1984; 25:956-983.
- [48] Moores, E. M. Origin and emplacement of ophiolites. *Rev. Geophys* 1982; 20(4): 735-760.
- [49] Selçuk, H., Etude geologique de la partie meridionale du Hatay (Turquie). PhD. Thesis, Univ. De Geneve, 1981.
- [50] Al-Riyami, K., Robertson, A.H.F. Mesozoic sedimentary and magmatic evolution of the Arabian continental margin, northern Syria: evidence from the Baer-Bassit Melange. *Geological Magazine* 2002; 139: 395-420.
- [51] Dilek, Y., Thy, P. Island arc tholeiite to boninitic melt evolution of the Cretaceous Kizildag (Turkey) ophiolite: model for multi-stage early arc-forearc magmatism in Tethyan subduction factories. *Lithos* 2009; 113 (1-2): 68-87.
- [52] Dilek, Y., Furnes, H. Structure and geochemistry of Tethyan ophiolites and their petrogenesis in subduction rollback systems. *Lithos* 2009; 113: 1-20.
- [53] Bağcı, U., Parlak, O., and Höck, V. Geochemistry and tectonic environment of diverse magma generations forming the crustal units of the Kızıldağ (Hatay) ophiolite, Southern Turkey. Submitted to *Turkish Journal of Earth Sciences* 2008.
- [54] Robinson, P.T., Melson, W.G., O'Hearn, T. & Schmincke, H.U. Volcanic glass compositions of the Troodos ophiolite, Cyprus. *Geology* 1983;11:400-404.
- [55] Beyarslan, M., Bingöl, A.F. Petrology of a supra-subduction zone ophiolite (Elazığ, Turkey). *Canadian Journal of Earth Sciences* 2000; 37:1411-1424.
- [56] Rızaoglu, T., Parlak, O., Höck, V., Koller, F., Hames, W.E., Billor, Z. Andean type active margin formation in the eastern Taurides: geochemical and geochronological evidence from the Baskil granitoid, SE Turkey. *Tectonophysics* 2009; 473: 188-207.

Türkçe Haber Metinlerinin Çok Terimli Naive Bayes Algoritması Kullanılarak Sınıflandırılması

Emrah AYDEMİR^{1*}, Murat IŞIK², Türker TUNCER³

¹ Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İşletme Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

² Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, Türkiye

² Adli Bilişim Sistemleri Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ emrahaydemir@sakarya.edu.tr, ² muratisik@ahievran.edu.tr, ³ turkertuncer@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 31/01/2021;

Kabul/Accepted: 23/04/2021)

Öz: Hızla gelişen teknoloji ile verilere erişmek oldukça kolaylaşmış ancak elde edilen bu veri yığınlarının işlenmesi ve analiz edilmesi ise büyük bir problem haline gelmiştir. Bu çalışmada çevrimiçi bir haber sitesinden metin halinde toplanan yazıların, metin madenciliği ile daha önceden belirlenmiş haber kategorilerine ayrılması sağlanmıştır. Metin halinde toplanan 2248 haber verisi için iki ayrı yöntem kullanılmış ve haberlerin, birinci yöntemde %95,24'ü ikinci yöntemde ise %99,86'sı doğru olarak sınıflandırılmıştır. Türkçe dilinin özgün yapısından kaynaklı sınıflandırma yapılmasının zorluğundan dolayı bu çalışma ileriki metin madenciliği uygulamaları için faydalı olacaktır. Ayrıca elde edilen sonuçlar, literatürde yer edinmiş benzer çalışmalar ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Metin madenciliği, veri madenciliği, metin sınıflandırma, naive bayes, rastgele orman, makine öğrenmesi.

Classification of Turkish News Texts with Multinomial Naive Bayes Algorithm

Abstract: Rapidly developing technology, it has become quite easy to access data, however the processing and analysis of these collected data have become a major problem. In this study, the news articles collected from an online news website in text form are classified into predefined categories with text mining. Two different methods were applied to 2248 news collected in text-form. The news articles were classified with 95.24% accuracy by applying the first method and 99.86% accuracy by applying the second method. This study will be useful for future text mining applications due to the difficulty of text-classification because of original structure of the Turkish language. In addition, the results were analyzed by comparing them with the similar studies in the related literature.

Key words: Text mining, data mining, text classification, naive bayes, random forest, machine learning.

1. Giriş

Gelişen teknoloji ile günümüzde veri toplama araçları oldukça gelişmiş ve bu sayede veriye ulaşmak oldukça kolaylaşmıştır. Ancak elde edilen verilerin çokluğu; bu verilerin anlaşılması, işlenmesi ve analiz edilmesi gibi birtakım problemleri ortaya çıkarmıştır. Bu problemin çözümünde kullanılan yöntemlerden en önemlisi veri madenciliği tekniğidir [1]. En basit anlamıyla veri madenciliği, toplanan veri yığınının anlamlı bir bilgi çıkarma işlemidir. Günümüzde veri madenciliğinin; pazarlama yönetimi, bankacılık, sınıflandırma ve gruplama, maliye, finans, borsa, satış yönetimi, sigortacılık, telekomünikasyon, elektronik ticaret, sağlık sistemleri, tıp, biyoloji, biyokimya, genetik, endüstriyel analiz ve çözümler, eğitim, istihbarat, bilim ve mühendislik [2-5] gibi oldukça geniş kullanım alanları mevcuttur. Veri yığınının türüne ve kullanım amacına göre uygulanacak veri madenciliği tekniği değişmektedir. Metin madenciliği bu tekniklerden birisidir ve amacı metinsel olarak saklanan verilerden (e-postalar, incelemeler, düz metinler, web sayfaları, raporlar, makaleler ve resmi belgeler gibi) [6] anlamlı bilgi çıkarımı yapmaktır [7-8]. Diğer bir ifadeyle, metin madenciliği geniş hacimdeki metin içeriklerinin ana eğilimlerini çıkarmak ve farklı konulardaki uğraşları analiz etmek için, süreçleri otomatikleştirmeyi mümkün kılan bir tekniktir [9]. Veri madenciliğinde veri seti belli olan, düzgün oluşturulmuş veri tabanları kullanılırken, metin madenciliğinde doğal dil işleme kullanılarak elde edilen düzgün metinler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada metin madenciliği teknikleri ile haber makalelerinin önceden tanımlanmış kategorilere göre ayrılması sağlanmıştır. İnternetin gelişmesiyle birlikte insanlar gazetelerden haber okumak yerine dijital haberleri okumayı tercih eder hale gelmişlerdir [10]. Haberciler yazılarını hazırladıktan sonra içeriklerine göre daha önceden

* Sorumlu yazar: emrahaydemir@sakarya.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-8380-7891, ² 0000-0003-3200-1609, ³ 0000-0002-1425-4664

belirledikleri kategorilere yerleştirirler. Esiyok ve ark. [11] yılında yaptıkları bir çalışmada bu kategorilerin önemini ve haber okuyucularının aynı kategoriye ait haberleri okuma eğiliminde olduklarını göstermiştir. Bu yüzden haberlerin kategorilere ayrılması, okuyucuların hazırlanan haberleri okuması açısından oldukça önemlidir. Geliştirilen model habercilerin hazırladıkları haber makalelerinin kategorilere ayrılmasında bir yardımcı araç olarak kullanılabilir.

2. Amaç ve Hedef

Bu çalışmada metin madenciliği teknikleri kullanılarak metinsel veri yığını olarak alınmış haber içeriklerinin önceden tanımlanmış haber kategorilerine göre ayrılması amaçlanmıştır. Yaşam, dünya, ekonomi, kültür-sanat, magazin, otomobil, spor, teknoloji olmak üzere toplam sekiz kategori üzerinde çalışılmıştır. Geliştirilen modelin haberciler tarafından kullanılabilmesi için sınıflandırma başarısı olarak en az %90 başarı oranının elde edilmesi hedeflenmiştir. Metinsel ifadeleri kullanarak sınıflandırma işlemi; doğal dil işleme (DDİ) gibi dil alanının en temel problemlerinden biri olarak sayılabilir [12]. Türkçe dilinin kendine özgün yapısından dolayı metinsel verilerle çalışmak ve anlamlı sonuçlar elde etmek ise oldukça zordur [13]. Bundan dolayı bu çalışmanın sonraki yapılacak DDİ çalışmaları için faydalı olması hedeflenmektedir.

3. Benzer Çalışmalar

Usmani ve Shamsi [14] yapmış oldukları bir çalışmada haber başlıkları sınıflandırma algoritması geliştirilmişlerdir. Bu algorithmada basit DDİ teknikleri ile %88 başarıya ulaşılmıştır. Acı ve Çırak, [15] 2019 yılında Türkçe haber metinlerini Konvolüsyonel Sinir Ağları (KSA) ve Kelime Vektörü (Word2Vec) algoritmasını kullanarak %93,3 oranda başarıyla sınıflandırmıştır. 2018 yılında yapılan bir çalışmada yazılan haberin yapısal özelliklerine göre, haber makaleleri kategorilere ayrılmıştır. Sınıflandırma aracı olarak Destek Vektör Makineleri (DVM) kullanılmıştır. Ters piramit yapısına göre hazırlanan haberleri tespit etmede %81,7 başarı sağlarken, Martini yapısına göre haberleri tespit etmede %19,1 oranında başarıya ulaşılmıştır [16]. 2017 yılında yapılan bir çalışmada haber başlıkları kullanılarak ilgili haberin kategorisi belirlenmiştir. Farklı tekniklerle ortalama %76 - %79 arasında başarı elde etmişlerdir [17]. 2017 yılında yapılan bir diğer çalışmada ise farklı haber sitelerinden 4 farklı kategoriye ait 20'şer haber alınarak toplam 80 haber metni toplanmıştır. Toplanan haberlerin 60 tanesi eğitim, 20 tanesi de test için kullanılmıştır. Topladıkları tüm haberleri başarılı bir şekilde sınıflandırmışlardır [18]. Toraman ve ark. [19] 2011 yılında yaptıkları çalışmada; C4.5, en yakın komşu (eYK), Naive Bayes (NB) and DVM (Radyal temel işlevli çekirdek ve Poly) algoritmaları kullanılarak iki farklı veri seti üzerinde çalışmışlar ve sırasıyla %83,3 ve %87,5 başarı elde etmişlerdir. 2010 yılında yapılan farklı bir çalışmada ise haber içerikleri kullanılarak sınıflandırma yapılmış ancak sadece belirli kategorilerde başarılı sonuçlar elde edilmiştir [20]. 2007 yılında yapılan bir çalışmada haberleri okuyan kişilerin duygusal durumlarına göre haberleri daha önceden belirlenen 8 sınıfa ayırmışlardır. Veri olarak haber başlıkları, haber saati, haber kategorisi, haberin meydana geldiği yer ve haber türü alınmıştır. Sınıflandırma aracı olarak ise DVM kullanılmıştır. Okuyucunun duygusal durumuna göre haberleri ayırmada %71,26 başarılı olmuşlardır [21]. 2005 yılında Maksimum Marj Etiketleme (MME) tabanlı yeni bir algoritma ile haber konusuna göre kategorilere ayırma işlemi yapılmıştır. 5000 adet rastgele seçilmiş haber makalelerine ait konular üzerinde yaptıkları çalışmada, haber sayısı arttıkça başarı oranı oldukça düşmüştür [22]. 1999 yılında yapılan bir çalışmada ise yazılan haberlerin anahtar kelimeleri kullanılarak sınıflandırma yapılmış ve sadece belirli kategorilerde %70 - %76,7 arasında başarı elde etmişlerdir [23].

Haber kategorisinin tespiti ile ilgili literatürde yer edinmiş çalışmalar ve okuyucuların aynı kategoriye ait haberleri okuma eğilimleri [11], haber kategorisi seçiminin önemini göstermektedir. Buraya konu olan benzer çalışmaların, bu çalışma ile arasındaki farklılıklar sonuç bölümünde incelenmiştir.

4. Yöntem

Bu çalışmada Türkçe dilinde çevrimiçi (online) olarak haber yapan bir internet sitesinden sekiz kategoriye ait 2248 adet haber metinleri toplanmıştır. C# programlama dili kullanılarak haber metinleri otomatik olarak elde edilmiştir. Haber metinlerinden tüm görseller, bağlantılar, reklam ifadeleri, birden fazla boşluğun yan yana olması gibi gereksiz metinler çıkarılmıştır ve ham metin kayıt altına alınmıştır. Ayrıca metinsel ifadede geçen tüm hipermetin işaretleme dili (Hypertext Markup Language) etiketleri ve içerikleri temizlenmiştir. Bunun haricinde veri setine herhangi bir ön işlem uygulanmamış; bağlaçlar, soru ekleri gibi tek başına anlamsız olan kelimeler çıkartılmamıştır.

Toplanan veriler Weka programı kullanılarak analiz edilmiştir. Weka programı arff uzantılı dosyalar üzerinde işlem yapması nedeniyle veriler haber metni ve kategorisi olacak şekilde iki sütunlu ayarlanmış arff uzantılı olarak düzenlenmiştir. Veriler başka araştırmacılar tarafından test amaçlı kullanılabilmesi için açık kaynak olarak herkesin kullanımına açılmıştır [24]. Metinlerin analizinde ve sınıflandırılmasında, varsayılan parametreler ile sınıflandırma analizi yapan ve yaygın olarak kullanılan algoritmalarından biri olan Çok Terimli Naive Bayes Algoritması (ÇTNBA) [25] ile rastgele orman (RO) (Random Forest) [26] algoritmaları kullanılmıştır. Çalışma içerisinde kullanılan bu iki yöntemin sonuçları verilmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır.

Kappa istatistiği iki değer arasındaki karşılaştırmalı uyuşmanın güvenliğini ölçen bir istatistik yöntemidir [32]. Hesaplanırken iki farklı olasılık hesaplanır. Bunlar iki değerleyici için gözlemlenen uyuşmaların toplama oranıtısı $Pr(a)$ ve bu uyuşmanın şans eseri ortaya çıkma olasılığı $Pr(e)$ 'dir. $Pr(a)$ iki değerlendirici için gözlemlenen uyumların toplam oranıtısı iken, $Pr(e)$ bu uyumun şansa bağlı ortaya çıkma olasılığıdır. Bu iki olasılık üzerinden kappa istatistiği için kullanılan formül Denklem 1'de bulunmaktadır.

$$K = \frac{Pr(a) - Pr(e)}{1 - Pr(e)} \quad (1)$$

Hata matrisinin analizlerde nasıl kullanılacağını anlamak için öncelikle aşağıdaki tanımların bilinmesi gereklidir.

- Doğru Pozitif (DP) (True Positive): Gerçek değeri pozitif olup pozitif olarak tahmin edilenler.
- Yanlış Negatif (YN) (False Negative): Gerçek değeri pozitif olup negatif olarak tahmin edilenler.
- Yanlış Pozitif (YP) (False Positive): Pozitif olarak tahmin edilmiş gerçek değeri negatif olanlar.
- Doğru Negatif (DN) (True Negative): Negatif olarak tahmin edilmiş ve gerçek değeri negatif olanlar.

Hata matrisi yukarıda belirtilen tanımlar doğrultusunda oluşturulur. Aşağıdaki Tablo 1'de pozitif sınıf kabulü için örnek bir hata matrisi verilmiştir.

Tablo 1. Örnek Hata Matrisi Tablosu

		Tahmin Değerleri		
		a	b	
Gerçek Değerler	a	DP	YN	Gerçek a toplamı
	b	YP	DN	Gerçek b toplamı
		Toplam Pozitif	Toplam Negatif	

Kategorik değerlerin başarı analizinde kullanılan bir başka hassasiyet (precision), geri çağırma (recall) ve F-Ölçüsü değerleri Denklem 2,3 ve 4'te bulunan formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Hassasiyet (p) = \frac{dp}{dp+yn} \quad (2)$$

$$Geri Çağırma (r) = \frac{dp}{dp+yp} \quad (3)$$

$$F - \text{Ölçüsü} = 2 \times \frac{Kesinlik \times Hassasiyet}{Kesinlik + Hassasiyet} = 2 \frac{pr}{p+r} \quad (4)$$

Denklem 5'te bulunan doğruluk oranı ise doğru tahmin edilen sınıfların toplam örneklem sayısına oranıdır. Başarı ölçütü olarak en çok kullanılan formül olmakla birlikte çok kolay olarak hesaplanır.

$$Doğruluk Oranı = \frac{dp+dn}{dp+dn+yp+yn} \quad (5)$$

NB sınıflama algoritması; Bayes teorisi tabanlı [27] anlaşılması kolay ve benzerlerine kıyasla oldukça hızlı çalışan bir algoritmadır. NB, makine öğrenmesi, veri madenciliği ve metin madenciliği için kullanılan en etkili tümevarımsal öğrenme algoritmalarından biri olmasının yanı sıra hem tahmin edici hem de tanımlayıcı bir sınıflama tekniğidir [28].

RO; Leo Breiman ve Adele Cutler tarafından geliştirilen [29] ve karar ağaçları için tanımlanmış olmasına rağmen, tüm sınıflandırıcılar için kullanılabilen bir algoritmadır [30]. RO içerisinde oylama metodunu bulunur ve

birçok karar ağacının biraya gelmesiyle oluşur ve bireysel ağaçlar tarafından oylanarak kazanan sınıf belirlenir. Rastgele orman yönteminin önemli bir avantajı, çok sayıda girdi değişkenlerini ele almasıdır [30].

Rastgele orman algoritması kullanılmadan önce metinden dizi kelime (MDK) (String To Word Vector) filtresi kullanılarak haber metninden elde edilen haber metinleri, kelime dizisi şeklinde sütunlara dönüştürülmüştür. Bu sayede farklı öznitelikler elde edilmesinin önu açılan veri yapısına, tüm sınıflandırma algoritmalarının uygulanması mümkün hale gelmiştir. Çalışmaya konu olan her iki sınıflandırma algoritması kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılmış ve elde edilen veriler Bulgular kısmında paylaşılmıştır. Toplanan haber metni sayısına göre çıkan sonuçların güvenilirliği için çapraz doğrulama tekniği olan 10-katlı çapraz doğrulama (cross validation) tekniği kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar iki veya daha fazla gözlemci arasındaki uyumun güvenilirliğini ölçen bir istatistik yöntemi olan ve literatürde en çok tercih edilen [31] kappa katsayısı hesaplanarak kontrol edilmiştir.

5. Veri Seti ve Bulgular

Birbirine yakın sayıda haber içeren 2248 haber metni toplanmıştır. Tablo 2'de her bir haber kategorisinden toplanan haberler ve bu haberlerin ortalama sözcük sayısı görülmektedir. Her bir haber metni ortalama 1586 sözcükten oluşmaktadır. En uzun haberler Kültür-Sanat kategorisine ait iken en kısa haberler ise Magazin kategorisinde olmuştur. Bu duruma sebep olarak magazin haberlerinin ağırlıklı olarak fotoğraflardan oluşması gösterilebilir.

Tablo 2. Kategorilerine Göre Haber Sayıları

Kategoriler	Toplam Haber Sayısı	Ortalama Sözcük Sayısı
Yaşam	292	1018
Dünya	249	1450
Ekonomi	261	2127
Kültür-Sanat	183	3140
Magazin	315	606
Otomobil	303	2056
Spor	315	1409
Teknoloji	330	1573
Genel Toplam/Ortalama	2248	1586

ÇTNBA kullanılarak veriler analiz edildiğinde %95,24 oranında başarılı sınıflandırma yapılmıştır. 2248 haberden 2141 tanesi doğru sınıfta tahmin edilmiş ve 0,94 kappa istatistiği elde edilmiştir. Kappa değerinin 1'e yakın olması, tahmin ve gerçek değer arasında uyumun yüksek olduğunu göstermektedir. ÇTNBA için oluşan karışıklık matrisi Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. ÇTNBA için karışıklık matrisi

Kategoriler	Yaşam	Dünya	Ekonomi	Kültür-Sanat	Magazin	Otomobil	Spor	Teknoloji
Yaşam	281	0	0	0	11	0	0	0
Dünya	4	240	0	0	5	0	0	0
Ekonomi	7	2	248	0	4	0	0	0
Kültür-Sanat	10	0	0	130	43	0	0	0
Magazin	2	0	0	0	313	0	0	0
Otomobil	0	0	0	0	5	298	0	0
Spor	2	2	0	0	2	0	309	0
Teknoloji	0	0	0	0	8	0	0	322

ÇTNBA ile yapılan analiz sonuçlarına yönelik Doğru Pozitif Oranı (DP), Yanlış Pozitif Oranı (YP) ve F-Ölçüsü gibi değerler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. ÇTNBA için Analiz Sonuçları

	DP Oranı	YP Oranı	Hassasiyet	Geri Çağırma	F-Ölçüsü	MCC	ROC Alanı	PRC Alanı	Sınıf
	0,962	0,013	0,918	0,962	0,940	0,931	0,999	0,991	Yaşam
	0,964	0,002	0,984	0,964	0,974	0,970	0,999	0,996	Dünya
	0,950	0,000	1,000	0,950	0,974	0,972	0,999	0,995	Ekonomi
	0,710	0,000	1,000	0,710	0,831	0,832	0,990	0,946	Kültür-Sanat
	0,994	0,040	0,801	0,994	0,887	0,873	0,996	0,957	Magazin
	0,983	0,000	1,000	0,983	0,992	0,990	1,000	1,000	Otomobil
	0,981	0,000	1,000	0,981	0,990	0,989	0,999	0,996	Spor
	0,976	0,000	1,000	0,976	0,988	0,986	0,999	0,998	Teknoloji
Ağırlıklı Ortalama	0,952	0,008	0,960	0,952	0,952	0,948	0,998	0,987	

Elde edilmiş bu başarılı sınıflandırma oranı biraz daha geliştirilmek istenmiş ve verilere MDK filtresi uygulandıktan sonra elde edilen 5774 sütunlu veriler rastgele orman algoritması ile analiz edilmiştir. Bu analizde %99,86 oranında başarılı sınıflandırma yapılmış ve 2248 veriden yalnızca üç tanesi yanlış sınıflandırılmış ve 0,99 kapa istatistiği elde edilmiştir. Rastgele orman algoritması için oluşan karışıklık matrisi aşağıdaki Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Rastgele orman için karışıklık matrisi

Kategoriler	Yaşam	Dünya	Ekonomi	Kültür-Sanat	Magazin	Otomobil	Spor	Teknoloji
Yaşam	292	0	0	0	0	0	0	0
Dünya	0	249	0	0	0	0	0	0
Ekonomi	0	0	261	0	0	0	0	0
Kültür-Sanat	0	0	0	183	0	0	0	0
Magazin	0	0	0	0	315	0	0	0
Otomobil	0	0	0	0	0	303	0	0
Spor	0	0	0	0	0	0	315	0
Teknoloji	0	0	0	0	3	0	0	327

Rastgele Orman ile yapılan analiz sonuçlarına yönelik Doğru Pozitif Oranı (DP), Yanlış Pozitif Oranı (YP) ve F-Ölçüsü gibi değerler Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Rastgele Orman için Analiz Sonuçları

	DP Oranı	YP Oranı	Hassasiyet	Geri Çağırma	F-Ölçüsü	MCC	ROC Alanı	PRC Alanı	Sınıf
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	Yaşam
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	Dünya
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	Ekonomi
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	Kültür-Sanat
	1,000	0,002	0,991	1,000	0,995	0,994	1,000	1,000	Magazin
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	Otomobil
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	Spor
	0,991	0,000	1,000	0,991	0,995	0,995	1,000	1,000	Teknoloji
Ağırlıklı Ortalama	0,999	0,000	0,999	0,999	0,999	0,998	1,000	1,000	

Karışıklık matrisinde köşe değerlerin kategori sayısına yakınlığı ilgili kategorinin yüksek tahmin başarısına sahip olduğunu göstermektedir. Tablo 3 ve 5'te bulunan karışıklık matrisleri incelendiğinde incelendiğin de bazı

köşe değerlerinin olabilecek en yüksek değer olduğu diğerlerinin ise oldukça başarılı olduğu görülmektedir. En çok hatalı sınıflandırma işleminin Magazin ve Yaşam alanlarında olduğu görülmektedir. Bunun temel sebebi olarak alanların birbirlerine oldukça yakın olmasından dolayı fazla benzer kelimeler içermesi gösterilebilir. Spor, Otomobil, Ekonomi, Teknoloji ve Kültür-Sanat gibi birbirine uzak alanların sınıflandırılmasında ise hiçbir hata elde edilmemiştir. Bunun temel sebebi olarak bu alanlarda kullanılan kelimelerin alana özgü olmasından dolayı farklılık göstermesidir. Ayrıca elde edilen Kappa değerlerinin 1'e oldukça yakın olması [32] değerlendirmedeki uyumun oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.

5. Tartışma ve Sonuç

Veri seti olarak kullanılan haber metinlerinin sayısının artırılması, farklı dillerdeki metinlerin kullanılması ve daha fazla kategoriye göre incelenmesiyle elde edilecek sınıflandırma başarılarının karşılaştırılması faydalı olacaktır. Türkçe dilinin özgün yapısından dolayı veri seti elde edilirken mümkün olduğu kadar farklı yazarların haberlerinin toplanması sınıflandırma başarısının doğruluğunu artıracaktır.

Bu çalışmanın, benzer çalışmalar ile karşılaştırması Tablo 7'de verilmiştir. Tablo incelendiği zaman bu çalışmaya konu olan yöntemler ile elde edilen sonuçların oldukça başarılı olduğu ve metinsel içeriği hazırlanan bir haberin önceden belirlenmiş kategorilere göre sınıflandırılmasında kullanılabileceği görülmektedir.

Tablo 7. Benzer çalışmalar ile karşılaştırılması

Benzer Çalışmalar	Kullanılan veri sayısı	Başarı Oranı	Bu çalışma ile farklılıkları
Usmani ve Shamsi [14]	2500000	%88	Haber başlıkları kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır.
Acı ve Çırak [15]	600	%93,3	KSA ve Kelime Vektörü Kullanılarak sınıflandırılma yapmışlardır.
Dai ve ark. [16]	853	%81,7	Metin Türkçe değildir ve Yazının yapısal özelliğini veri olarak kullanmıştır.
Qiu ve ark.[17]	12000	%76 – %79	Metin Türkçe değildir ve Haber başlıklarını veri olarak kullanmıştır. Farklı kategorilerde farklı sonuçlar elde etmiştir.
Başkaya ve Aydın [18]	80	%100	İncelenen veri sayısı oldukça az olmasının yanı sıra, sadece 4 kategori üzerinde sınıflandırma yapılmıştır.
Toraman ve ark. [19]	7540	%83,3 – %87,5	C4.5, en yakın komşu (eYK), Naive Bayes (NB) and DVM algoritmaları kullanılarak farklı sonuçlar elde etmişler ve bu sonuçları karşılaştırmışlardır. Toplam 6 farklı kategori için çalışma yapılmıştır ancak kategoriler birbirinden oldukça uzak seçilmiştir.
Krishnalal ve ark. [20]	400	%80,22 - %96,34	Sadece 4 kategoriye bölme işlemi yapılmıştır.
Lin ve ark. [21]	1200	%80,22 – %96,34	Metin Türkçe değildir. Sadece birkaç kategoride yüksek sonuçlar elde edilmiştir.
Kazawa ve ark. [22]	5000	Veri sayısına göre değişmektedir.	Haber konularından, haber kategorisi tespit etmeye yönelik olup, veri sayısı artıkça başarı oranı düşmektedir.
Jo [23]	1000	%70 – %76,7	Metin Türkçe değildir ve yazılan haberlerin anahtar kelimeleri veri olarak kullanmıştır. Farklı kategorilerde farklı sonuçlar elde etmiştir.
Bu çalışma	2248	%99,86	

Ortalama 1586 sözcükten oluşan 2248 haber metni (Türkçe dili) veri olarak kullanılmıştır. Toplanan veriler ÇTNBA kullanılarak analiz edildiğinde %95,24 oranında başarılı sınıflandırma ve 0,94 kappa istatistiği elde

edilmiştir. Sonrasında bu verilere MDK filtresi uygulanıp RO algoritması ile analiz edilmesi sonucunda %99,86 oranında başarılı sınıflandırma ve 0,99 kappa istatistiği elde edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Doğan K, Arslantekin S, Büyük veri: önemi, yapısı ve günümüzdeki durum. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi 2016; 56(1): 15-36.
- [2] Gautam P, Singh YP, Shaikh P, Significance and Importance of Data Mining for Marketing Analysis in Finance. Banking Sectors, Int. J. Appl. Res. Sci. Eng 2017; 26–29.
- [3] Khedr AE, Salama SE, Yaseen N, Predicting stock market behavior using data mining technique and news sentiment analysis. Int. J. Intell. Syst. Appl. 2017; 9(7): 22-30.
- [4] Martinez-Martin N, Insel TR, Dagum P, Greely HT, Cho MK, Data mining for health: staking out the ethical territory of digital phenotyping. npj Digit. Med. 2018; 1(1): 1-5.
- [5] Bustince H, Herrera F, Montero J. Fuzzy Sets and Their Extensions: Representation, Aggregation and Models. 1th ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- [6] Bach MP, Krstić Ž, Seljan S, Turulja L. Text mining for big data analysis in financial sector: A literature review. Sustain 2019; 11(5): 2019.
- [7] Alsaïdi SA, Sadiq AT, Abdullah HS. English poems categorization using text mining and rough set theory. Bull. Electr. Eng. Informatics 2020; 9(4): 1701-1710.
- [8] Doğan K, Arslantekin S. Elektronik Belge Yönetimi, Dijital Arşivleme Sistemleri ve Büyük Veri. Bilgi Sistemleri ve Bilişim Yönetimi: Beklentiler ve Yeni Yaklaşımlar, Ankara Üniversitesi Basımevi, 2017; 65-80.
- [9] Monino JL, Sedkaoui S. Big Data, Open Data and Data Development. 3rd ed. London: ISTE Ltd., 2016.
- [10] Liu C, Wang W, Zhang Y, Dong Y, He F, Wu C. Predicting the Popularity of Online News Based on Multivariate Analysis. IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT); 21-23 August 2017; Helsinki, Finland.
- [11] Esiyok C, Kille B, Jain BJ, Hopfgartner F, Albayrak S. Users' reading habits in online news portals. 5th Information Interaction in Context Symposium; 26-29 August 2014; New York, U.S.A.
- [12] Sukiennik N, Hui P. Inflo: News Categorization and Keyphrase Extraction for Implementation in an Aggregation System. ArXiv; 2018; abs (1812.03781).
- [13] Yüksel A, Tan G. Metin Madenciliği Teknikleri ile Sosyal Ağlarda Bilgi Keşfi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 2018; 6(2): 324-33.
- [14] Usmani S, Shamsi JA. News Headlines Categorization Scheme for Unlabelled Data. In 2020 International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies (ICETST); 26 – 27 March 2020; Karachi, Pakistan: IEEE. pp. 1-6
- [15] Acı Çİ, Çırak A, Türkçe Haber Metinlerinin Konvülsiyonel Sinir Ağları ve Word2Vec Kullanılarak Sınıflandırılması. International Journal of InformaticsTechnologies 2019; 12(3).
- [16] Dai Z, Taneja H, Huang R. Fine-grained structure-based news genre categorization. 2018 Events and Stories in the News Workshop; 20-21 August 2018; New Mexico, U.S.A.
- [17] Qiu X, Gong J, Huang X. Overview of the NLPCC 2017 shared task: Chinese news headline categorization. National CCF Conference on Natural Language Processing and Chinese Computing; 8-12 November 2017; Dalian, China.
- [18] Başkaya F, Aydın İ. Haber metinlerinin farklı metin madenciliği yöntemleriyle sınıflandırılması. International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP); 1-5, September 2017; Malatya, Turkey.
- [19] Toraman C, Can F, Koçberber S. Developing a text categorization template for Turkish news portals. International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, June 2011; 379-383.
- [20] Krishnalal G, Rengarajan SB, Srinivasagan KG, A new text mining approach based on HMM-SVM for web news classification. International Journal of Computer Applications, 2010; 1(19): 98-104.
- [21] Lin KHY, Yang C, Chen HH, What emotions do news articles trigger in their readers?. 30th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval; 23-27 July 2007; Amsterdam, Holland.
- [22] Kazawa H, Izumitani T, Taira H, Maeda E. Maximal margin labeling for multi-topic text categorization. Advances in neural information processing systems 2005; 649-656.
- [23] Jo TC. "Text categorization with the concept of fuzzy set of informative keywords". 1999 IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings; 22-25 August 1999; 99CH36315(2): 609-614.
- [24] https://websiteyonetimi.ahievran.edu.tr/_Dosyalar/Genel/HaberMetinleri.rar, E.T.:01.03.2021.
- [25] <https://weka.sourceforge.io/doc.dev/weka/classifiers/bayes/NaiveBayesMultinomialText.html>, E.T.:01.03.2021.
- [26] <https://weka.sourceforge.io/doc.dev/weka/classifiers/trees/RandomForest.html>, E.T.:01.03.2021.
- [27] Arpacı SA, Kalıpsız O. Yazılım Hata Sınıflandırmasında Farklı Naive Bayes Tekniklerin Kıyaslanması. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2018; 7(1): 1-13.
- [28] Aydoğan E. Veri Madenciliğinde Sınıflandırma Problemleri İçin Evrimsel Algoritma Tabanlı Yeni Bir Yaklaşım: Rough-Mep Algoritması. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, 2008, Ankara.
- [29] Skurichina M, Duin RPW. Bagging, boosting and the random subspace method for linear classifiers. Pattern Analysis and Applications 2002; 5(2): pp. 121–135.

- [30] Korkem E, Mikroarray Gen Ekspresyon Veri Setlerinde Random Forest ve Naive Bayes Sınıflama Yöntemleri Yaklaşımı. Yüksek Lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, 2013, Ankara.
- [31] Zec S, Soriani N, Comoretto R, Baldi I. Suppl-1, M5: high agreement and high prevalence: the paradox of Cohen's Kappa. The open nursing journal 2017; 11(1).
- [32] Cohen JA. Coefficient of Agreement for Nominal Scales", Educational and Psychological Measurement 1960; 20(1): 37-46.

Mühendislikte Etik

R. Tuğrul OĞULATA^{1*}

¹ Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye
^{*1} ogulata@cu.edu.tr

(Geliş/Received: 08/02/2021;

Kabul/Accepted: 02/05/2021)

Öz: Mühendislik, insan hayatını kolaylaştırmayı amaçlayan bir meslektir. Mühendisler bilim ve teknolojiyi kullanarak sorunlara çözüm aramaktadırlar. Bununla beraber mühendis karar veya eylemleriyle sorunlara neden olabilmektedir. Bilindiği gibi, bazı mühendislik uygulamaları insan, çevre ve doğa üzerinde istenmeyen etkiler meydana getirebilmektedir. Bu nedenle mühendis, karar ve eylemlerinin sonuçlarını her yönüyle düşünebilmelidir. Mühendis yapacağı tercihlerinde doğru karar vermeyi öğrenmelidir. Bu sebeple mühendisler evrensel etik ilkelere ve mesleki etik ilkelere gereken önemi vermelidirler.

Anahtar kelimeler: Mühendislik Etiği, Etik İlkeler, Etik İnkilemler, Karar Verme.

Ethics in Engineering

Abstract: Engineering is a profession that aims to facilitate human life. Engineers seek solutions to problems using science and technology. However, the engineer can cause problems with his decision or actions. As it is known, some engineering applications may cause undesirable effects on human, environment and nature. Therefore, the engineer must be able to think through all aspects of the consequences of his decisions and actions. The engineer should learn to make the right decision in his choices. For this reason, engineers should give due importance to universal ethical principles and professional ethical principles.

Key words: Engineering Ethics, Ethical Principles, Ethical Dilemmas, Decision Making.

1. Giriş

Günümüzde toplumsal ve ekonomik hayatın birçok alanında oluşan sorunları çözmeye, önlemeye veya daha iyiye ulaşmak için yaratıcı, planlayıcı, tasarımcı ve uygulayıcı olarak hizmet veren çok sayıda mühendislik dalı bulunmaktadır. Bilindiği gibi günlük hayatın farklı kesimlerinde toplumun tüm bireylerinin yaşamlarını kolaylaştıran ve toplumların gelişmesine doğrudan katkısı olan mühendislik hizmetleri, mühendisler tarafından gerçekleştirilmektedir. Bir mühendislik dalında eğitim alan ve aldığı eğitimi meslek olarak icra edenlere de mühendis denilmektedir. Bir mühendisin görevi; bilime ve teknolojiye dayalı olarak yürüttüğü çalışmalarını, insanlığın ekonomik ve toplumsal ihtiyaçlarını karşılamak üzere bunları belli bir meslek etiği doğrultusunda uygulamak olmalıdır. Mühendislik bilindiği gibi, insanların günlük yaşamındaki somut ihtiyaçlarını karşılayarak, belli amaçlara ulaşmak için oluşturulan sistemli bir mekanizmadır. Bu doğrultuda problem olarak gördüğü sorunlara çözüm yolları düşünerek en uygun olanı uygulamak durumundadır. Bu kapsamda mühendislik; matematik ve temel bilimlerin alanında eğitim ve deneyimle elde edilen bilgilerin kullanılarak, doğadaki malzemelerin ve güçlerin/enerjilerin insanlık yararına olacak şekilde tasarımlarının yapılarak en verimli şekilde yapılara, makinelere, ürünlere ve proseslere dönüştürülmesidir. Mühendislik mesleğinin tarihsel gelişimi içinde toplumun istekleri ve ihtiyaçları doğrultusunda mühendislikten beklentilerin değişmesiyle, mühendislik eğitiminin de belirli bir standarda getirilmesinin gerekli olduğu görülmektedir. Bugün mühendislik eğitiminde ana hedef, sorunları tespit eden, sorgulayan, yenilikleri izleyen, toplumun ihtiyaçlarına yönelik çalışmalar yaparak ekonomik açıdan da topluma katkı sağlayan, ancak etik değerlere de önem veren bir yaklaşım olmaktadır [1].

Mühendislik bölümlerini akredite eden bir kuruluş olan ABET (The Accreditation Board for Engineering and Technology) mühendisliği, doğadaki kaynakların ve gücün, doğa bilimleri ve matematiği kullanarak, uygulama ve deneyim yaparak insanlığın yararına sunulması şeklinde tanımlamaktadır [1]. ABET'in 2020-2021 Mühendislik Programları Akreditasyon Kriterlerine göre öğrenci çıktıkları aşağıda verilmiş olup, bu sonuçların elde edilmesinin mezunları profesyonel mühendislik uygulamalarına hazırlayacağı düşünülmektedir [2].

1. Mühendislik, bilim ve matematik prensiplerini uygulayarak karmaşık mühendislik problemlerini tanımlama, formüle etme ve çözme becerisi,

* Sorumlu yazar: ogulata@cu.edu.tr. Yazarın ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-2783-5246

2. Toplumun sağlığı, güvenliği ve refahının yanı sıra küresel, kültürel, sosyal, çevresel ve ekonomik faktörleri dikkate alarak belirli ihtiyaçları karşılayan çözümler üretmek için mühendislik tasarımı uygulama becerisi,
3. Çeşitli izleyicilerle etkili bir şekilde iletişim kurma becerisi,
4. Mühendislik durumlarında etik ve mesleki sorumlulukları tanıma ve mühendislik çözümlerinin küresel, ekonomik, çevresel ve toplumsal bağlamlardaki etkisini dikkate alarak bilinçli kararlar verme yeteneği,
5. Üyelerinin birlikte liderlik sağladığı, işbirlikçi ve kapsayıcı bir ortam yarattığı, hedefler belirlediği, görevleri planladığı ve hedefleri karşıladığı bir ekipte etkili bir şekilde çalışabilme yeteneği,
6. Uygun deney geliştirme ve yürütme, verileri analiz etme ve yorumlama ve sonuçlara varmak için mühendislik yargısını kullanma becerisi,
7. Uygun öğrenme stratejilerini kullanarak gerektiğinde yeni bilgi edinme ve uygulama yeteneği.

Görüldüğü gibi mühendislik öğrencilerinin hedeflenen çıktlarıyla, bir mühendisten beklenenler oldukça fazladır. Genel olarak değerlendirildiğinde; matematik, bilim ve mühendislik prensiplerini uygulama, deney yapma, verileri analiz etme ve yorumlama ile tasarlama yeteneğine sahip olması, ekip çalışması yapabilmesi, uygulamalarında toplumun sağlığı, güvenliği ve refahını dikkate alması istenmektedir. Bunun yanında, yeni bilgi edinme ve uygulama yeteneğini kazanması gibi özellikler vurgulanırken, kararlarında etik ve mesleki sorumluluklarının da farkında olması gerektiği belirtilmektedir.

Çok farklı alanlarda faaliyet gösteren mühendisler toplumların refah seviyesini artırma ve sorunlarına çeşitli yollarla çözüm bulma yaklaşımlarıyla ekonomiye doğrudan etki etmektedirler. Mühendislerin toplum ve ekonomi üzerindeki bu etkileri, ister istemez değer yargıları açısından sorgulanmak durumuyla karşı karşıya kalabilmektedir. Özellikle toplum sağlığı ve yararı, çarpık kentleşme, çevre, küresel ısınma, doğal kaynakların kullanımı, verimlilik, sermaye, kar-kazanç, çalışma şartları, insan hakları, yeniliklerin getirdiği fayda ve zararlar, teknoloji kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri gibi birçok alanda verdikleri kararlarda, yaptıkları uygulamalarda ve eylemlerde çıkar çatışmalarının tarafı olmak durumunda kalabilmektedirler. Dolayısıyla insanların hayatında bu kadar yoğun etkisi olan mühendislerin ihtiyaçlara cevap verirken, sorunlara çözüm önerirken veya topluma meslekleriyle ilgili yeni şeyler sunarken, etik sorunların tarafı olmaları da son derece doğaldır. Bu nedenle tüm mühendislerin görevleri nedeniyle önlerine çıkabilecek etik sorunları yaşamaması veya mevcut etik sorunlar karşısında nasıl bir yol izlemesinin uygun olacağı konusunda, etik açıdan yeterli bilgi ve tecrübeye sahip olmaları önemli görülmektedir.

2. Mühendislikte Etik İlkeler

Mühendislik genel olarak toplumun ihtiyaçlarını karşılamaya gayret eden, insanlığın gelişimi için çalışan bir meslek grubudur. Doğal olarak mühendisler, mühendislik çalışmalarında bulunurken insanlığın zararına olabilecek her türlü faaliyetten kaçınmak zorundadırlar. Bir mühendisin yaptığı uygulamanın veya verdiği bir kararın aynı anda çok sayıda insanın hayatını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilme özelliği, mühendislikte etiğin ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle mühendisliğin bu öneminin farkına varılmasıyla mühendislikte etik, geçmişten günümüze giderek üzerinde daha çok durulan bir konu olarak gündeme gelmektedir.

Mühendislikle ilgili yazılı etik kural çalışmalarına ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'ndeki mühendislik alanındaki sivil toplum kuruluşları öncülük etmiştir. İlk yazılı kurallar, 1912 yılında American Institute of Electrical Engineers (AIEE, Amerikan Elektrik Mühendisleri Derneği) tarafından kabul edilmiştir. İnşaat mühendisliği alanındaki ilk etik kurallar çalışmaları ise 1914 yılında ABD'de American Society of Civil Engineers (ASCE, Amerika İnşaat Mühendisleri Topluluğu) üyeleri tarafından yapılmıştır. Mühendisliğin diğer alanları için ortak etik kural arayışlarına da 1932 yılında başlanmış ve 1947 yılında "Etiğin Temel İlkeleri" kabul edilmiştir [3]. Söz konusu ilkeler daha sonraki yıllarda birkaç kez gözden geçirilerek günümüze kadar gelmiştir. Örneğin ASCE'nin Etik kuralları en son Ekim 2020 tarihinde yeniden güncellenmiştir [4]. Amerika Birleşik Devletleri'nde Ulusal Profesyonel Mühendisler Derneği (National Society of Professional Engineers, NSPE) tarafından 1954 yılında kabul edilen "Mühendislerin Yemini" ise etik ilkelerin özü olarak görülmekte ve o tarihten itibaren de üyelerine bu mühendislik yemini içirilmektedir. Mühendisler bu yeminle; özetle mesleki bilgi ve yeteneklerini insanlığın refahı ve güvenliğini arttırmak ve geliştirmek için kullanacaklarına, kar etme gayesinden önce hizmete, kişisel çıkarlarından önce meslek onurlarını korumaya özen göstereceklerine dair söz vermektedirler. Bütün mühendislik disiplinlerinden gelen profesyonel mühendisler için olan NSPE, aynı zamanda öğrenci statüsünde de üye kabul etmektedir. NSPE'ye üye olan mühendisler için geçerli olan temel etik ilkeler iki ana başlık değerlendirilmekte olup, aşağıda verilmiştir [5, 6].

Mühendis mesleki görevlerini yerine getirirken:

1. Halkın sağlığını, güvenliğini ve refahını her şeyin üstünde tutar.
2. Hizmetlerini yalnızca yetkin oldukları alanda verir.
3. Kamuoyuna açıklamalarını objektif ve doğru bir şekilde verir.
4. Her işveren veya müşterileri için sadık temsilciler olarak hareket eder.
5. Aldatıcı eylemlerden kaçınır.
6. Mesleğinin onurunu, itibarını ve kıymetini arttırmak için onurlu, sorumlu, etik ve yasalara uygun şekilde davranır.

Mesleki yükümlülükleri ise ana başlıklar halinde aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

1. Mühendisler tüm ilişkilerinde en yüksek dürüstlük ve doğruluk standartlarına göre hareket etmelidir.
2. Mühendisler her zaman kamu yararına yönelik olarak hizmet etmeye çalışmalıdır.
3. Mühendisler halkı aldatan her türlü davranış veya uygulamadan kaçınmalıdır.
4. Mühendisler hizmet verdikleri mevcut veya eski müşterilerinin, işverenlerinin veya kamu kuruluşlarının iş ilişkileri veya teknik süreçleri hakkında izin almadan gizli bilgilerini açıklamamalıdır.
5. Mühendisler mesleki görevlerini yaparken çıkar çatışmalarının etkisinde kalmamalıdır.
6. Mühendisler, mesleğinde ilerleme kaydedebilmek amacıyla diğer mühendisleri gerçeklerle ilgisi bulunmayan şekilde veya uygunsuz yöntemlerle eleştirmemelidir.
7. Mühendisler, kötü niyetli veya yanlış bir şekilde, doğrudan ya da dolaylı olarak, diğer mühendislerin istihdamına, beklentilerine, uygulamalarına ve mesleki itibarına zarar vermeye çalışmamalıdır. Başkalarının etik olmayan veya yasa dışı uygulamalarından suçlu olduğuna inanan mühendisler, bu tür bilgileri yetkili makamlara bildirmelidir.
8. Mühendisler yapmış oldukları her türlü mesleki etkinlik için sorumluluğu üzerlerine almalıdır. Ancak, çıkarlarının başka bir şekilde korunmadığı zamanlarda, ağır ihmal görüldüğü durumlar hariç olmak üzere, mühendisler hukuki işlemlere karşı dokunulmazlık talep edebilirler.
9. Mühendisler, başka bir mühendisin çalışmasının hakkını vermeli ve çalışma sahibinin çıkarlarını gözetmelidir.”

Dünya Mühendisler Birliği ise 5 Ekim 1977 tarihinde mühendislik etiği ilkelerini benimsemiştir. Dünya mühendisler birliği tarafından kabul edilen mühendislik etiği şöyle ifade edilmiştir; “Mühendisler, mühendislik mesleğinin, doğruluğunu, onurunu ve değerini, insanların rahat yaşaması için bilgi ve becerilerini kullanarak, dürüst ve tarafsız olarak halka ve kendi işlerine sadakatle hizmet ederek, kendi disiplinlerinin mesleki ve teknik saygınlığını arttırmaya çalışarak yüceltir ve geliştirirler”. Dünya Mühendisler Birliğinin belirlediği bu mühendislik etiği kapsamında kabul ettiği “Mühendislik Etiği İlkeleri” ana başlıklar halinde aşağıda belirtilmiştir [7]. Buna göre mühendisler;

1. Mesleki görevlerini yerine getirirken, toplumun güvenliğini, sağlığını ve refahını en önde tutacaklardır.
2. Sadece kendi uzmanlık alanlarındaki hizmetleri vermelidirler.
3. Yalnızca objektif ve gerçek resmi raporlar yayınlayacaklardır.
4. Mesleki konularda, her işveren veya müşteri için güvenilir vekil olarak davranacaklar ve çıkar çatışmalarından kaçınacaklardır.
5. Hizmetlerinin geçerliliği konusunda mesleki itibarlarını oluşturacak ve diğerleriyle haksız rekabete girmeyeceklerdir.
6. Mesleğin doğruluğunu, onurunu ve değerini yüceltmek ve geliştirmek için çalışacaklardır.
7. Mesleki gelişmelerini kendi kariyerleriyle devam ettirecekler ve kendi kontrolleri altındaki mühendislerin mesleki gelişmeleri için olanaklar sağlayacaklardır.

Türkiye’de ise TMMOB, ülkemizdeki mühendis ve mimarlar için hazırladığı “Mesleki Davranış İlkelerini”, Mayıs 2004 tarihinde yapılan TMMOB 38. olağan genel kurulunda kabul ederek yürürlüğe koymuştur. TMMOB söz konusu kararında mühendislerin sorumluluklarının önemine değinerek, üyelerinin belirlenen mesleki davranış ilkelerine uymalarının bir görev olduğunu vurgulamaktadır. Bu ilkeler, dört başlık altında sınıflandırılmaktadır [8,9,10].

A-Topluma ve Doğaya Karşı Sorumluluklar

Bilimi ve teknolojiyi insanlık yararına kullanmayı mesleki etkinliklerinin temel ilkesi kabul eden mühendis ve mimarlar;

1. Mesleki bilgi, beceri ve deneyimlerini, toplumun güvenliği, sağlığı ve refahı; insani kazanımların ve kültürel mirasın korunması için kullanırlar. Toplum yararı için duymuş oldukları sorumluluk ve kaygı her

zaman kendi kişisel çıkarlarının, meslektaşlarının çıkarlarının ya da içinde buldukları meslek grubunun çıkarlarının üstünde yer alır.

2. Doğaya ve gelecek kuşaklara karşı sorumluluklarının bilinciyle, doğayı, çevreyi, kültür ve tabiat varlıklarını korumayı, uygulamalarının doğayla uyumlu olmasını sağlamayı mesleki sorumluluklarının ayrılmaz parçası olarak görürler; doğal kaynakların ve enerjinin tasarrufuna özel önem verirler.
3. Mesleki etkinliklerini sürdürürken, din, dil, ırk, inanç, cinsiyet, coğrafi ayırım farkı gözetmezler; farklı kültürlerle saygıyla yaklaşır; toplumdaki herkese adil, dürüst ve iyi niyetle davranırlar.
4. Kendilerinden istenen işin toplum ve doğa için ciddi bir tehlike yaratacağı sonucuna varırlarsa ve bu konudaki mesleki yargıları hizmet verilen gerçek ve tüzel kişiler tarafından dikkate alınmıyorsa, onların talimatlarına kayıtsız şartsız uymayı reddederler; bu durumun kendilerine hizmet verilenleri uyarmak, gerektiğinde meslek örgütlerini ve hatta kamu oyunu bilgilendirmek gibi hak ve yükümlülükler getirdiğini dikkate alırlar.
5. Toplumun ilgi alanı içinde bulunan teknik konulardaki görüşlerini, raporlarını, konuyu yerinde ve tam anlamıyla incelemiş ve yeterli bilgi ve verilerle donanmış olarak, ticari ve kişisel kaygıları bir yana bırakarak, adil, doğru, eksiksiz ve nesnel bir biçimde açıklarlar.
6. Ülkenin teknoloji yeteneğinin geliştirilmesi sürecinde, teknolojinin gerek kendisinin gerekse yanlış kullanılmasının olası olumsuz sonuçlarının da toplum tarafından anlaşılması ve gerekli önlemlerin alınması için çaba harcarlar.
7. İşyerlerindeki sağlık ve güvenliği titizlikle ve ertelemeksizin korur ve geliştirirler. Gerekli önlemlerin alınması için zorlayıcı, uygulayıcı, eğitici ve dayanışma içinde olurlar.

B-Hizmet Verilen Gerçek ya da Tüzel Kişilere Karşı Sorumluluklar

Mühendisler ve mimarlar,

1. Mesleki hizmet verilirken, güvenilirliklerini titizlikle gözeterek, yaptıkları her türlü sözel ya da yazılı sözleşmede yer alan bütün hükümlere tam olarak uyarlar ve karşı taraftan da aynı duyarlılığı beklerler.
2. Her türlü mesleki hizmet sırasında, toplumun güvenliğini, sağlığını ve refahını tehlikeye atmamaya en üst düzeyde özen göstererek, mesleki beceri ve deneyimlerini yaptıkları işe bütünüyle yansıtarak düzgün bir iş standardıyla çalışırlar.
3. İş ilişkilerini etkileyecek şekilde doğrudan ya da dolaylı olarak herhangi bir armağan, para ya da hizmet ya da iş teklifi kabul etmezler; başkalarına teklif etmezler; mesleki ilişkilerini geliştirmek amacıyla siyasal amaçlı bağış yapmazlar.
4. Yaptıkları işin kendi deneyimlerini zenginleştirmesi için titizlikle çaba gösterirken, toplum ve doğa için kesin bir tehlike oluşturmadığı sürece, hizmet verilen gerçek ve tüzel kişilerin ticari ve teknolojik sırlarını izin almadan başkalarına açıklamazlar, kişisel çıkarları için kullanmazlar.

C-Mesleğe ve Meslektaşına Karşı Sorumluluklar

1. Mesleki etkinliklerini, tüm meslektaşlarının güvenini kazanacak bir biçimde ve mesleğin saygınlığına azami özen göstererek sürdürürler.
2. Tüm meslektaşlarına saygıyla yaklaşır, dürüst ve adil davranırlar. Meslektaşlarıyla haksız rekabet içinde olmazlar. Genç meslektaşlarının gelişimi için özel çaba harcarlar, onlara yardımcı olurlar. Telif haklarına ve özgün çalışmalara saygı gösterirler; başkalarının çalışmalarını kendi çalışmaları gibi göstermekten titizlikle kaçınırlar.
3. Yalnızca yeterli oldukları alanlarda mesleki hizmet üretmeyi hedef ve ilke kabul ederler; hizmetlerini etkileyebilecek diğer uzmanlık alanlarındaki yetkililerin görüşlerine başvururlar; disiplinler arası ortak çalışmayı özendirirler.
4. Mesleki görev, yetki ve sorumluluklarını, sadece zorunlu durumlarda ve ancak ehil olan meslektaşlarına devrederler.
5. İşlerini yalnızca kendilerine tanınmış mesleki görev, yetki ve sorumluluk çerçevesinde yaparlar, yalnızca resmi olarak hak kazanmış oldukları sıfat ve unvanları kullanırlar.
6. Meslek örgütlerinin etkinliklerine aktif olarak katılmaya çaba gösterirler, onları desteklerler, mesleğin gelişmesine katkıda bulunurlar.
7. Mesleki Davranış İlkelerine aykırı davrananlara yardımcı olmazlar; onlara hoşgörü göstermezler, etkinliklerinin içinde yer almazlar ve uyarırlar; bu konuda meslek örgütleriyle işbirliği içinde olurlar; bu ilkelere uygun davrananları bütün güçleriyle desteklerler.

D-Kendilerine Karşı Sorumlulukları

1. Mesleki bilgilerini ve kültürlerini sürekli geliştirirler.
2. Mesleki etkinliklerine ilişkin olarak meslektaşlarının dürüst ve nesnel eleştirilerini dikkate alırlar, gerektiğinde kendileri de eleştirmekten kaçınmazlar.”

Bu kapsamda yukarıda belirtilmiş olan Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Profesyonel Mühendisler Derneğinin (NSPE) kabul ettiği mühendislerin yemininin bir benzeri ülkemizde de uygulanmaktadır. Mesleğe yeni başlayan mühendislerle ilgili odalar tarafından yaptırılan bu “Mühendisin Yemini” şöyledir;

“Bana verilen Mühendislik unvanına daima layık olmaya; onun bana sağladığı yetki ve yüklediği sorumluluğu bilerek, hangi şartlar altında olursa olsun, onları ancak iyiye kullanmaya; yurduma ve insanlığa yararlı olmaya, kendim ve mesleğimi maddi ve manevi alanlarda yükseltmeye çalışacağıma namusum ve şerefim üzerine yemin ederim.” [11].

Mühendislik uygulamalarının daha önce de bahsedildiği gibi, özelliği nedeniyle toplumsal yaşam üzerinde önemli etkilerinin bulunması, mühendislik mesleğini diğer mesleklerden ayrıcalıklı hale getirmektedir. Bu nedenle dünyanın her yerinde mühendislerle yüklenen sorumluluğun büyüklüğüyle, tarihsel süreç içerisinde mühendislerden beklentiler de oluşmaya ve artmaya başlamıştır. Zaman içerisinde bu beklenti mühendislerin mesleklerini, belirli standartlar ve belirli kurallar çerçevesinde yapmalarının gerekliliği şeklinde olgunlaşmıştır. Dolayısıyla mühendisler için özel bir takım etik ilke ve kurallara ihtiyaç olduğu anlaşılmıştır. Bu sebeple mühendislikle ilgili birlikler veya kurumlar tarafından etik ilkeler oluşturulmuştur.

Bu kurumlardan bazılarının, mühendislerden uymalarını istedikleri hemen hemen aynı amaca yönelik olarak hazırlanmış oldukları etik değerleri yukarıda verilmiştir. Görüldüğü gibi bütün kurumların mühendislikle ilgili etik kural veya ilkelerinde genel olarak; mühendislerin kullandıkları bilim ve teknolojiyi insanlık yararına kullanması, uygulamalarında doğaya ve çevreye duyarlılık göstermesi, ilişkilerinde dürüstlük ve doğruluğu esas alması, objektif olması, çıkar ilişkilerinden uzak kalması ve sosyal sorumluluk bilinciyle mesleklerini icra etmesi yönünde değerlendirmeler bulunmaktadır.

3. Mühendislikte Etik Yaklaşımlar

Son yüzyıldaki teknolojideki ilerlemeler, buna bağlı olarak gelişen ve çeşitlenen mühendislik uygulamaları, insanları ve yaşadığımız dünyayı farklı yönlerden etkilemiş ve etkilemeye de devam etmektedir. Bu etkiler, bir yandan insan hayatını kolaylaştırmaya yönelik birçok problemin çözülmesi yönünde olumlu katkılar şeklinde olurken, diğer yandan sınırlı doğal kaynakların tahribi ve tüketilmeleri nedeniyle çevresel dengeyi bozan olumsuzluklar olarak da görülmektedir. İnsan hayatını kolaylaştırma amacıyla yapılan faaliyetler nedeniyle, hava, su, toprak, gürültü ve görüntü kirlilikleri yoğun bir şekilde yaşanmaya başlanmış ve insan yaşamını tehdit eder noktaya gelmiştir. Bu sorunların ulaşılmış olduğu tehlikeli boyutların doğal sonucu olarak birçok mühendislik uygulamalarının ve gelişen teknolojinin insan hayatındaki yeri, anlamı ve değeri, yapılan yanlışlıkların etkileri nedeniyle sorgulanmak durumunda kalmaktadır. Bu sorgulamada üzerinde durulması gereken husus, sahip olduğumuz teknolojinin gerekli olup olmadığı değil, teknolojiye yön veren, onu üreten ve nasıl kullanılacağını kararlaştıran mühendisliğin değer ve anlam sorumluluklarının farkına varmaktır. Bu nedenle yapılan bir mühendislik uygulaması, doğru olanı dikkate alarak, belirli bir durum için söz konusu olan değer ve ilkelerin kullanılmasıyla eyleme yönelerek, karar şeklinde gerçekleştirilmelidir. Değerlendirmeye dayanan her karar verme durumunda, tercih edilen davranışlar gibi tercih edilmeyen davranışlar da söz konusu olmaktadır. Bundan dolayı bir kararda, tercih edilen ve edilmeyen şeklinde beliren değerlendirmelerde, mühendisin sahip olduğu değerler ve ilkeler esas olmaktadır [12]. Karar vermek, aslında kişinin alternatif seçenekler arasından birini tercih etme durumudur. Bu tercih durumu, hedeflere erişmek için alternatiflerin tespiti, geliştirilmesi, değerlendirilmesi ve bunlar arasından en uygun olanın seçilmesi işlemidir. Bu nedenle karar verme durumunda olan mühendislerin, her bakımından doğru ve yerinde karar verebilmesi için karar verme sürecinde nasıl hareket etmeleri ve hangi değerlere önem vermeleri gerektiğini iyi bilmeleri gerekmektedir. Mühendislerin etik konusunda bilgi sahibi olmaları, karar verme durumlarındaki pratik düşünme yeteneklerini de geliştirmektedir. Bu sebeple mühendislerin karar verme süreçlerinde faydalanabileceği etik teorilerine kısaca göz atmakta fayda bulunmaktadır.

Etikten beklenti daha ziyade; doğrunun, yanlışın, iyinin ve kötünün ne olduğuyla, karşılaşılan durumlarda neyin yapılıp yapılmadığının gerektiğiyle, hayatta hangi amaçların gerçekleştirilmesinin uygun olduğuyla, yaşamların ne şekilde sürdürülmesinin gerektiğiyle ilgili insana yol gösterecek bilginin verilmesidir. Bu ihtiyacı karşılayarak, insanların ahlaki eylemlerine norm ve düzenleyici ilkeler getiren etik ise normatif etik olmaktadır. Bu nedenle Mühendislik uygulamalarında, etik teorilerinden normatif etik ön plana çıkmaktadır.

Normatif etik, beklentiler doğrultusunda insanlara rehber olmakta ve yararlanacakları normları temin etmektedir. Dolayısıyla, normatif etik insanın nasıl yaşaması gerektiğini gösteren ahlaki ilkeleri araştırmakta ve insan hayatında en yüksek değere sahip olan şeylerin neler olduğunu tartışmaktadır [13]. Normatif etik; teleolojik etik, deontolojik etik ve erdem etiği şeklinde üç grupta sınıflandırılmaktadır. Teleolojik kavramı, sonuçlar hakkında akılcı düşünme anlamına gelmektedir. Teolojik teorilerde bir eylemin ahlaki açıdan haklı olması, eylemin sonuçlarına bakılarak değerlendirilmektedir. Eylem sonuçları itibarıyla iyiye ve insanı mutlu kılıyorsa

etik bakımdan doğru, eylemin sonuçları insana acı veriyorsa etik bakımdan yanlış şeklinde kabul edilmektedir. İyi ve kötü kavramı, yapılan eylemin sonuçlarına göre değerlendirilmektedir. Buna göre etik olarak en iyi eylem, en fazla iyinin üretildiği eylem olarak görülmektedir [14].

Teleolojik etik de birbiriyle ilişkili üç ayrı teoriyle açıklanmaktadır. Bunlar benlikçilik/egoizm, hazcılık ve faydacılık şeklinde ifade edilmektedir. Benlikçilik (etik egoizm); bireyin kişisel çıkarları doğrultusunda hareket etmesi gerektiğini, başkalarının menfaatleriyle ilgili bir sorumluluğu olmadığını ileri süren bir görüştür. Bu görüşe göre, bireyi mutlu eden ve birey için iyi olan şey doğru olarak kabul edilmektedir. Bireysel etik egoizmde “kişi her zaman kendisini en çok mutlu edecek şekilde eylemde bulunmalıdır”. Evrensel etik egoizmde ise “herkes kendine en çok mutluluk verecek şekilde eylemde bulunmalıdır”. Hazcılık (Hedonizm) ise zevk ve mutluluğu artırmanın temel ahlaki sorumluluk olduğunu öne süren bir görüştür. Bu görüşte, bireye en çok zevk veya haz veren şeyin doğru olduğu değerlendirilmektedir [15]. Faydacılık (yararcılık) teorisi de en doğru ahlaki eylemin, yararının en fazla olduğunu ileri süren bir görüştür. Buna göre en çok sayıdaki insan için mutluluk veya zevk veren şey doğru olarak kabul edilmektedir. Bu teoride bir eylem veya durumun iyi veya kötü olarak görülmesi, söz konusu eylemden etkilenen insanların sağladığı yararları göre belirlenmektedir. Buna göre insanların eylem ve tecrübelerinden hangilerinin doğru veya etik olduğunun belirlenmesinde işlenen eylem veya politikaların faydalılık derecesinin önemli olduğu önemsenmektedir. Bu kapsamda bir etik ikilem durumunda, bütün çözüm önerilerinin maliyet ve yararlarının değerlendirilmesi ve bunlardan mümkün mertebe çok kişinin faydasının maksimize edilmesinin sağlanması savunulmaktadır. Bu nedenle faydacılık teorisinde en çok sayıda insan için en çok yararı sağlayan ya da en az sayıda insan için en düşük seviyede zarara neden olan eylem, etik açıdan doğru sayılmaktadır [14].

Normatif etik teorilerinin ikincisi deontolojik etikdir. Deontolojik teorilerde, teolojik teorilerin aksine, bir eylemin ahlaki yönü ele alındığında eylemin sonuçlarından daha çok görev ve ahlaki sorumlulukların göz önüne alınması gerektiği ileri sürülmektedir. Bu sebeple deontolojik teorilerde bir eylemin iyi veya kötü olarak değerlendirilmesi için çoğunluk veya çoğunluğun yararı gösterge olarak düşünülmemektedir [14]. Dolayısıyla bu yaklaşımda, eylemin sonucunun iyi ve yararlı olması ya da olmaması fark etmemekte, eylemin doğruluğu üzerine dikkat edilmektedir. İyiliğin, bireyin ahlaksal zorunlulukları ve sorumlulukları anlama ve karşılama yeteneğinde yattığı belirtilmektedir [15]. Bu teoriyle ilgili çeşitli ifadeler geliştirilmiş olmasına rağmen literatürde daha çok benimsenen Immanuel Kant’ın görev ahlakı yasasıdır. Kant’ın ahlakında, ahlaki davranışı harekete geçiren etki, mutluluk, zevk veya yarar değildir. Ahlakilik bu bakımdan koşulsal bir durum olarak görülmemektedir. Diğer bir ifadeyle ahlaki davranmak için belirli şartların oluşması beklenmemektedir. Ahlaki davranış her şartta ve her durumda ortaya konması gereken bir davranış şeklidir ve insanın tek başına sorumlu olduğu eylemlerden gelmektedir [14].

Normatif etiğin üçüncüsü erdem etik teorisidir. Yukarıda ifade edilen teoriler anlaşıldığı gibi etik davranışlarla ilgilenmişlerdir. İnceleme konusu yapılan temel sorular “bir eylemin iyiyi mi yoksa kötüyü mü ortaya çıkaracağı” ya da “belirli bir şeyi yapmanın doğru mu veya yanlış mı olduğu” üzerinde toplanmaktadır. Erdem etiği ise iyiliği veya doğruluğu belirleme yerine, insanın karakterinin gelişmesi üzerinde durmakta ve mutluluğu bireylerin en yüksek amacı olarak düşünmektedir. Dolayısıyla erdem etiğinde, doğruluk eylemin kendisi veya sonucu tarafından değil, insanın karakteri tarafından belirlenmektedir [15]. Erdem etiğini savunan düşünürler, eylemi neyin iyi yaptığından daha çok bireyi neyin iyi yaptığı sorusuna odaklanmaktadırlar. Bu düşünce şekli bireyin ahlaki yapısına odaklandığından dolayı, eylemin kendisiyle veya sonuçlarıyla ilgilenmemektedir. Dolayısıyla bu etik, bireyin doğru olanı yapmasını doğal içgüdüünün eğilimi olarak tanımlamaktadır. Bu sebeple temel sorular, bireyin nasıl biri olması gerektiği konusuna ve karakterine indirgenmiştir. Erdem etiği, bireylerin karakterlerini önemsemektedir. İyi alışkanlıkların ve erdemliliğin insanın doğal yapısını etkilediğini ve onun insani gelişimini destekleyen davranışlara şekil verdiğini ifade etmektedir. [16].

Bu kapsamda günümüzde etik açıdan herhangi bir eylemin iyi ya da kötü olarak değerlendirilmesinde sırayla erdem, görevcilik ve sonuç teorilerinin göz önüne alındığı söylenebilmektedir. Genel olarak yapılan bir eylemin sadece kendisinin doğru veya yanlış olduğunu değerlendirmek, etiğe görevci (deontolojik etik) bakış açısıyla yaklaşmak şeklinde görülmektedir. Eylemin sadece sonuçları üzerinde değerlendirme yapmak ise sonuçsal, eylemi yalnızca yapan açısından değerlendirmekse erdemsal yaklaşım olarak kabul edilmektedir [17, 18].

Mühendislik uygulamalarına bakıldığında ise özellikle gelişmiş teknolojiye sahip toplumlarda sonuç teorisinin daha fazla önem kazandığı görülmektedir. Örneğin; motorlu araçlara egzoz gazı emisyonunu azaltıcı bir cihaz yerleştirmek hava kirliliğini önleme, daha temiz ve yaşanılır bir çevre açısından oldukça iyi, ancak bu cihazın araç maliyetini arttırması açısından oldukça kötü olduğu söylenebilmektedir. Araçlara böyle bir cihazın eklenmesi kararı, doğal olarak bu iki sonucun karşılaştırılması yapıldıktan sonra verilmelidir. Eylemin sonuçlarına bakarak etik değerlendirmeleri yapan sonuçsal etiğin bilinen en belirgin şekli ise faydacılık etiğidir.

Faydacılık teorisinin en önemli isimlerinden biri olan John Stuart Mill, bu teorisinin temelini en yüksek mutluluk ilkesi üzerine kurmuştur. Alternatif eylemler arasından, en fazla sayıda insan için en yüksek mutluluğu meydana getiren eylemin tercih edilmesini öneren bu ilke, sistem içerisinde eylemlerin ahlaki bakımdan doğruluk standardı olarak kabul görmektedir. Bu anlayışa göre, bir eylem faydacılık ilkesine uygun bir davranışsa ahlaki olarak doğru, tersi durumda ise yanlış olarak değerlendirilmektedir. Faydacı teoride mutluluk, bütün eylemlerin kendisine yöneldiği nihai amaç olarak görülmektedir [19]. Faydacılık; en iyi, en doğru eylemlerin faydayı en fazla yapan eylemler olduğunu ileri süren bir etik teoridir. Ekonomide ise fayda, genel olarak insanların bir ürünü ya da hizmeti tüketirken elde ettikleri zevk veya memnuniyet olarak kabul edilmektedir. Aynı zamanda ekonomide, memnuniyet ve zevk terimlerini, paranın karşılığı olarak değiştirebilmek söz konusu olabilmektedir [20]. Bu ise ekonomide faydacılık teorisinin, kar ve zarar dengesi şeklinde kendini göstermesi olarak yorumlanmaktadır. Bu durumda örneğin bir makine mühendisinin ya da otomotiv mühendisinin yapmayı tasarladığı veya geliştirmeyi düşündüğü bir otomobilde güvenlik sistemlerinin özelliklerine göre oluşturduğu ek maliyetin değerlendirilmesi söz konusu edilebilmektedir. Nitekim birçok otomobil markasında, farklı güvenlik paketlerinin farklı ücretlerle opsiyonlu olarak otomobil fiyatlarına yansıtıldığı bilinmektedir. Maksimum güvenlik sistemlerini içeren bir otomobilin, bu güvenlik sistemlerinin en alt düzeyde olanını içerenlere göre çok daha yüksek fiyatlarla satıldığı ise bilinen bir gerçektir. Rekabetçi ortamda benzer üretim yapan firmaların pazar paylarını korumak ve geliştirmek için en uygun fiyatla piyasaya malını arz etmesi ve maksimum oranda kar etmesi ana hedeflerinden biridir. Bu durumda bir otomobil üreticisi, tüketicinin ihtiyaçlarını minimum seviyede karşılayacak özellikte uygun fiyatlı otomobilini piyasaya sunmak için kendi açısından faydacılık ilkesini uygulamaktan kaçınmayabilmektedir. Bu durumda üreticinin, örneğin otomobilin maliyetini düşürmek için güvenlik sistemlerinden bir miktar taviz vermesi söz konusu olabilmektedir [21].

Faydacı yaklaşım yapılan eylemin etikliğini sonuçlarına göre değerlendirmekte iken görevci (deontolojik) yaklaşım ise eylemin kendisi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Deontoloji kuramının kurucusu Alman filozof Kant'a göre ahlaki davranış, her şart ve durumda gösterilmesi gereken bir tavidir ve sonuç önemli değildir. Bir eylemin sonucu olumlu da olsa, söz konusu eylem ilkesel açıdan yanlış olabilmektedir. Ona göre ahlakın temelinde herkese göre değişmeyen değerler bulunmalıdır. Yapılan herhangi bir eylemin veya davranışın iyi veya kötü mü olduğunun yanıtı "Eğer herkes bu şekilde yaparsa sonuçta ne olur?", "Herkesin bu şekilde yapmasını ister miyiz?", "Kimse sözünün arkasında durmazsa ne olur?", "Bunu ister miyiz?" sorularında yatmaktadır. Kant'ın bu güçlü rasyonalizmi, insana saygı ve onu bir araç olarak kullanmama olgusuyla tamamlanır. Örneğin, Kantçı yaklaşımda bir işletmenin çalışanlarına vereceği sağlık ve güvenlik gibi hizmetleri, insanlara saygı ilkesinin gereği olarak yapılmaktadır; faydacı yaklaşımda ise işletmeye olan faydalarının dikkate alınmasıyla yerine getirilmesi söz konusudur [22]. Anlaşıldığı gibi deontolojik teori; bir eylemin değerini, eylemin sonuçlarından daha çok, eylemin arkasındaki iyi niyete bağlamaktadır. İnsanları bu niyete düşündüren, sahip oldukları ödev ve zorunluluklardır. Dolayısıyla etik eylem bireyin görevini yapmasını içine almaktadır. Buna göre görevin yapılması doğru, yapılmaması ise yanlış olarak görülmektedir. Deontolojik yaklaşımlar, görev ve zorunluluklara odaklaştığı için, bu nedenle mesleki etiğin önemli kısmını oluşturmaktadırlar [23].

Bu durumda mühendislerin meslek yaşamlarında önlerine çıkabilecek benzer sorunlar karşısında nasıl davranması gerektiği üzerinde ister istemez tartışmalar yapılmaktadır. Örneğin bu tür problemlerle karşılaştıklarında görevci teoriyi uygulayabilecekler midir? Çalıştıkları işletmelerde bunu uygulama imkanları bulabilecekler midir? Ya da görevci anlayışla çalışmalarına izin verilecek midir? Bu nedenle üçüncü olarak erdem etiğini de değerlendirmekte yarar bulunmaktadır. Teleolojik etik iyi ve yararlı sonuçların önemine, deontolojik etik ödev, sorumluluklar ve evrensel ahlak yasası gibi kavramların gerekliliğine yer verirken, erdem etiği ise ahlaki hayatın belirleyici unsuru olarak kişinin karakterine ve erdeme vurgu yapmaktadır. Erdem etiği temelde iyi hayatla ve bireyin nasıl bir insan olması gerektiğiyle ilgilenmekte ve karakter kavramını kullanmaktadır. Erdem etiğinde önemli olan iyi veya erdemli yani karakterli bir insan olmaktır. Bu yaklaşımda insanın ahlaki hayatını belirlemede kurallar ve sonuçlar değil, inançlar, duyarlılık ve tecrübe önemli görülmektedir. Burada esas olan eylemlerin sonucunda bireye veya topluma fayda veya zarar gelmesi değil, insanın erdemli davranışlar sergileyebilmesidir. Bu anlayışa göre eylemler insanın içsel ahlakının bir yansıması olup, içsel ahlakı şekillendiren de erdemleridir [24]. Erdem veya karakter etiği ilk defa Homeros'un yazılarında geçmiş, Eflatun ve Aristo da onu takip etmişlerdir. Bilgelik, cesaret, ılımlılık, adalet, cömertlik, inanç, umut ve yardımseverlik gibi kavramlar erdem etiği içinde değerlendirilmiştir. Günümüz düşünürleri dürüstlük, merhamet, şefkat, sorumluluk, bütünlük, güvenilirlik ve sağduyu gibi erdemleri de bunlara ilave etmektedirler [23].

Görüldüğü gibi erdem etiği, diğer etik teorilerinden farklı olarak kişinin karakterine ve erdeme vurgu yapmakta, kişinin erdemli davranışlar sergilemesini önemsemektedir. Bu açıdan bakıldığında bir mühendisin yaptığı uygulamalarda ve verdiği kararlarda sahip olduğu erdemsel özelliklere göre hareket edebilmesi, onu meslek yaşantısında farklı bir noktaya taşıyabilecektir. Dolayısıyla erdemsel özelliklere göre hareket edebilmeyi

öğrenmiş bir mühendis, önüne çıkabilecek olası birçok etik dışı sorunu baştan elimine edebilme özelliğine sahip olabilmektedir.

4. Mühendislikte Etik Problemler ve Çözümü

Mühendisler, meslek yaşamları boyunca sorunlara çözüm ararken, çok sık olarak farklı seçeneklerle karşılaşmakta ve bu seçenekler arasından bir tercih yapmak durumunda kalmaktadırlar. Seçenekler arasında, koşullara göre hangisinin en uygun olduğuna karar verilemediği durumlarda ikilemler yaşanmaktadır. İkilem, Türk Dil Kurumu sözlüğünde, “İnsanı istenmeyen seçeneklerden birini, çoğunlukla iki seçenekten birini izlemeye zorlayan tartışma, sorun veya bilinen veya doğru olarak kabul edilen belirli önermelerden başka önermeler çıkarma durumu” olarak tanımlanmaktadır [25]. Literatürde bir başka tanımı ise “Her iki durumda da doğru hareket edemeyeceğim iki olanak karşısında bulunup, bunlardan birini yapmaya, istemediğim halde beni zorlayan durum” şeklinde ifade edilmektedir [26]. Görüldüğü gibi ikilem basit olarak ifade edilmek istenirse, tercihlerden birini seçmede zorlanma durumudur. İkilemin bir mühendis açısından önemi, görevini icra ederken özellikle etik değerlendirmelerinde, her biri farklı değer ve anlam taşıyan alternatif seçenekler arasından birini seçerken karşılaştığı zorlanmadır. Bu aslında mühendisin, karar verme sürecinde neyin etik veya etik dışı olduğu konusunda tereddüde düşmesi nedeniyle yüz yüze geldiği etik ikilem durumudur. Anlaşıldığı üzere etik ikilem, iki veya daha fazla birbiriyle yarışan değer çatışma durumuna gelmesidir. Bundan dolayı ister istemez çatışan değerlerden biri korunduğunda, diğeri korunamamakta veya bir ya da daha fazlasını koruyabilmek için, diğerlerini göz ardı etmek zorunluluğu oluşmaktadır [27, 28].

Mühendis doğal olarak, meslek hayatında üstesinden gelmek zorunda olduğu farklı etik ikilemlerle karşı karşıya kalabilmektedir. Mühendislerin etik iklimlerden sıkça karşılaşabileceklerinden biri, önündeki seçeneklerin hiçbiri kendini tam olarak tatmin etmediği halde, içlerinden en az kötü olanı veya diğerlerine göre biraz daha iyi olanı tercih etme durumudur [27].

Örneğin; yıkılan bir köprünün yenisinin yaptırılması amacıyla açılan ihalede, ihaleye katılmak için başvuran firmaların hiç birisi, tam anlamıyla istenen şartları sağlamamaktadır. Fakat, ikinci bir ihalenin açılması için yeterli zaman bulunmadığından kararın hızlı bir şekilde verilmesi istenmektedir. Bu durumda karar verme durumundaki mühendis, yeterli şartları taşımayan tüm firmalar içinde, diğerlerine göre en iyisini tercih etmek durumunda kalmaktadır [27]. Mühendis, tercih sebebini etik bakımdan haklı kılacak gerekçeler oluşturabilecek midir?

Bir diğer ikilem durumu, alternatiflerin birden fazlasının veya tamamının kendi başına iyi olduğu ve birisinin tercihi durumunda, diğerinden veya diğerlerinden vazgeçilmesinin gerektiği haldir. Burada ise mühendis en iyiler arasından bir tercih yapmak durumunda kalmaktadır [27].

Örneğin; bir tekstil işletmesinde terbiye dairesine alınacak yeni bir kurutma makinesinin istenen teknik özelliklerini sağlayan ve aynı fiyattan vermeyi teklif eden firmalardan hangisinin tercih edilmesi gerektiği mühendis için zor bir karar olacaktır. Tercihini etik açıdan haklı kılacak açıklamaları olabilecek midir?

Bir başka ikilem durumu ise, değişik kişi ve gruplar üzerinde farklı etki ve sonuçlar yaratması olasılığı olan bir kararın verilmesidir. Burada ise en fazla sayıda insanı memnun edecek bir kararın verilmesi beklenmektedir [27].

Örneğin; mühendis işletmesinin büyüme politikası kapsamında yeni bir fabrika yapımı için yer aramaktadır. Fabrika yeri için üretim imkanları ve sevkiyat açısından uygun olan iki farklı yörede arazi bulunmaktadır. Arazilerden birinin bulunduğu yerde yöre halkını rahatsız edecek hava ve su kirliliği sorunları yaşanabileceği, ancak fabrikanın yörenin ihtiyacı olan istihdam açığını kapatacağı, diğer arazinin olduğu bölgenin ise ekonomik açıdan gelişmesini hızlandıracağı, bununla birlikte nitelikli iş gücü sıkıntısı olduğu, fakat hava ve su kirliliğinin daha az hissedileceği bilinmektedir. Bu durumda yatırım yerine karar verme durumunda olan mühendis tercihinde neyi göz önüne almalıdır. Aldığı kararında etik açıdan haklılıkları olacak mıdır?

Mühendisin yukarıda bahsedilen etik sorunlarla karşılaşması durumunda kendisine rehber olarak alacağı evrensel etik ilke ve kuralların yanında mesleki etik ilkeler oldukça önemli olmaktadır. Mesleki etik ilkeler genellikle o mesleği icra edenlerin bağlı oldukları birlikler tarafından oluşturulmakta ve üyelerinin bu ilkelere uymaları beklenmektedir. Örneğin Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Jeoloji Mühendisleri Odası'nın 03.08.2019 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan “Meslek Etiği Yönetmeliği” ’nde yer alan Meslek Etiği Kuralları bölümünde, jeoloji mühendislerinin sorumlulukları tek tek belirtilmiştir. Yönetmelikte jeoloji mühendislerinin sorumlulukları; topluma ve doğaya karşı sorumlulukları, mesleğe ve meslektaşlarına karşı yükümlülükleri, hizmet verdikleri gerçek ya da tüzel kişilere karşı sorumlulukları, meslek odasına karşı yükümlülükler ve birey olarak kendilerine karşı sorumlulukları başlıkları altında detaylı bir şekilde sınıflandırılmıştır. Söz konusu yönetmelik jeoloji mühendisleri için düzenlenmiş olsa da sorumluluklarla ilgili bu kısım, genel olarak mühendislerin çok çeşitli sorumlulukları bulunduğunu göstermesi bakımından yararlı bir düzenlemedir [29].

Mühendis, karşılaştığı bu ve benzeri etik ikilem durumlarında etik açıdan gerekli değerlendirmeleri yapmadan karar vermesi halinde, etik dışı durumlara neden olabilmektir. Bu nedenle bazı durumlarda alınacak kararlar, üzerinde çalışmayı ve zaman harcamayı gerektirmektedir. Bu yüzden yanlış bir tercih yapmamak için etik karar verme süreçlerinin bilinmesi gerekmektedir. Etik karar verebilmek için yapılması gereken ilk iş sorunu her yönüyle düşünmek ve etkilerini iyi analiz edebilmektir. Bu nedenle karar sürecinde;

- Mühendis, öncelikle nasıl bir sorunla muhatap olduğunu bütün açıklığıyla ortaya koymalı ve sorunu tanımlayabilmelidir. Bu amaçla kendisine, sorunun kapsamının ne olduğunu sormalı ve yanıtını bulmaya çalışmalıdır.
- Mühendis, mutlaka gerçekleri öğrenmelidir. Seçenekleri değerlendirebilmesi için gerekli ve yeterli bilgilere erişebilmelidir. Bununla birlikte kararların ivedi olarak alınması da söz konusu olabilir. Bu durumda zaman darlığından dolayı söz konusu bilgileri elde edemeden karar almak zorunda kalabilir.
- Mühendis, alternatifleri geliştirmeli ve neye erişmek istediğini net bir şekilde ortaya koyup, konuyla ilgili seçenekleri çoğaltabilmelidir. Bu seçenekleri belirlerken etik değerleri de mutlaka dikkate alınmalıdır.
- Mühendis, eylemin sonuçlarını göz önünde tutarak, uygulanacak kararın ne tür etkiler oluşturacağını baştan araştırmalıdır. Bu doğrultuda; uygulamanın yasal olup, olmayacağını, sonuçtan etkileneceklerin tutumlarının ya da tepkilerinin ne olacağını ve bütün bunların kendisini nasıl hissettirmesine sebep olacağını vb. soruları, sonuca gidebilmesi açısından kendi kendine sorabilmelidir.
- Mühendis, tercih etmek ya da karar vermek durumunda, ister istemez seçenekler arasından birini seçmek zorunda kalmaktadır. Bununla birlikte tercihini yapmakta zorlanıyorsa; bu hususta önem verdiği kişilerin görüşlerini alabilir, benzer durumda erdemli bir insanın nasıl davranabileceğini hayal edebilir veya vereceği karara başka insanların nasıl yaklaşacağını düşünebilir. Böylece seçenekler arasından en uygun olanı belirlemeye çalışabilir.
- Mühendis, bir karar vermiş ve uygulamaya geçmiş olsa bile belirli aşamalarda konuyu yeniden gözden geçirerek, değerlendirmelerini yapabilmelidir. Çünkü bazı kararların, uygulamaya konulmadan sonuçlarını öngörmek mümkün olmayabilmektedir. Bu sebeple uygulama aşamasında öngörülen sonuçlara ulaşamıyorsa ve sonuçlar sorun olarak görülüyorsa yürütülen uygulama durdurulmalı ve verilen karar gözden geçirilerek yeniden düzenlenmeli ya da diğer seçeneklerden biri dikkate alınmalıdır.

Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir husus da, herkesin istediği veya beklediği kararların çoğu kez doğru karar olmadığıdır. Bu nedenle çoğunluğun istediği veya umduğu kararlarla, doğru kararların birbirinden farklı olabileceğine dikkat etmek gerekmektedir. Bununla birlikte doğru ve aynı zamanda çoğunluk tarafından da alınması uygun görülen kararlar çakıştığında, olası etik sorunların en az yaşanacağını da farkına varılmalıdır [30]. Etik ikilemleri ortadan kaldırmak için basit ve sade bir değerlendirme şekli olarak aşağıdaki yöntem de dikkate alınabilmektedir.

1. İlk olarak konuyla ilgili etik değerler tespit edilir,
2. Daha sonra, öncelikli kavramlar belirlenir (işverene karşı sorumluluk, topluma karşı sorumluluk, çevreye ve doğaya karşı sorumluluk, vb.),
3. Karşılaşılan ikilemle ilgili bütün bilgiler toplanır,
4. Alınması mümkün tüm kararlar belirlenir,
5. Eldeki bilgilerle etik açıdan en iyi çözüm bulunmaya çalışılır,
6. Karar verilen çözümün uygulaması yapılır,
7. Uygulanan çözümün işe yarayıp yaramadığı izlenir,
8. Çözümün işe yaramaması durumunda, 4. maddeye dönülerek tüm karar seçenekleri içerisinde yeni bir çözüm seçilerek işlem basamaklarının tekrarı yapılır.

Tercih edilen çözüm, alınan kararın uygulanması olduğundan kararın tüm sonuçlarının yasalara uygunluğu, etik değerlere uyumu, topluma, çevreye, mesleğe ve çalıştığı kuruma karşı sorumlulukları ile karardan etkilenecek mühendisin kendisi de dahil olmak üzere tüm taraflara etkisinin nasıl olacağı yönünde detaylı bir şekilde analiz edilerek değerlendirilmesi oldukça önemli görülmektedir.

5. Sonuç

Mühendislik faaliyetlerinin genel amacı insana hizmet etmek, mevcut sorunlara çözümler bulmak, toplumların refah seviyesini yükseltmek için çalışmalarda bulunmak ve hayatı kolaylaştırmak olarak kısaca özetlenebilmektedir. Bununla birlikte bu amaçla yapılan bir takım çalışmaların istenmeyen etkilerinin de günümüzde yaygın olarak görüldüğü bir gerçektir. Bu daha çok sonuçları düşünmeden gerçekleştirilen uygulamalar veya ne olursa olsun sadece kazanmak gayesiyle yapılan eylemler nedeniyle doğrudan insanı etkileyen çevre ve doğa üzerindeki telafisi güç ya da imkansız etkiler şeklinde kendini göstermektedir. Mühendislik faaliyetlerini yürüten ve dolayısıyla kararları ve eylemleri nedeniyle olumlu ve olumsuz etkilerin

sorumluluğu ise büyük oranda mühendislerin üzerinde olmaktadır. Bu nedenle mühendis mesleki yetkinliğinin yanında yeterli etik bilincine de sahip olmak durumundadır. Bu kapsamda mühendisin görevi; bilime ve teknolojiye dayalı olarak yürüttüğü faaliyetlerini, insanlığın ekonomik ve toplumsal ihtiyaçlarını karşılamak üzere bunları belli bir meslek etiği doğrultusunda uygulamak olmalıdır. Mühendis mesleğini icra ederken, sorunlara çözüm ararken doğal olarak ikilemlere karşılaşılabilecektir. Verdiği her kararın veya yaptığı her eylemin sonuçlarını olumlu ve olumsuz etkileriyle değerlendirebilme özelliğine sahip olmalıdır. Tercihlerinde yanlışa düşmemek için evrensel ve özellikle de mesleki etik ilke ve değerleri kendine rehber edebilmelidir. Sorunların çözümüne bu açıdan yaklaşmalı ve mühendislik mesleğinin kendine yüklediği sorumlulukları etik bilinciyle yerine getirebileceğinin farkına varmalıdır.

Kaynaklar

- [1] Alpaslan N. Mühendislik Tarihi ve Felsefesi Üzerine Bir Araştırma. Marmara Sosyal Araştırmalar Dergisi 2011; 1:1-10.
- [2] Criteria for Accrediting Engineering Programs - 2020-2021, <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2020-2021/>, (03.01.2021).
- [3] Bozkuş MB, Tunç G. İnşaat Mühendisliği ve Etik. 3. Genç Mühendisler Sempozyumu; 6-7 Mayıs 2016; İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [4] Code of Ethics, <https://www.asce.org/code-of-ethics/>, (03.01.2021).
- [5] Usmen M, Baradan S, Akboğa Ö. İnşaat Mühendisliğinde Etik: Amerika Birleşik Devletleri Örneği. 6. İnşaat Yönetimi Kongresi; 25-26-27 Kasım 2011; TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Bursa. s.36-47.
- [6] NSPE Code of Ethics for Engineers, <https://www.nspe.org/resources/ethics/code-ethics>, (10.01.2021).
- [7] Gençoğlu MT. Mühendislikte Etik. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Haber Bülteni 2008; 5: 26-31.
- [8] İpbüker C, Göksel Ç, Deniz R. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Mesleğinde Etik İsterler. HKM Jeodezi, Jeoinfarmasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi 2006; 2 (95): 45-50.
- [9] Ertem İ. TMMOB Mesleki Davranış İlkeleri, http://www.ee.bilkent.edu.tr/~ge301/tmmob_davranisbildiri.pdf, (10.01.2021).
- [10] TMMOB Mesleki Davranış İlkeleri, <http://www.tmmob.org.tr/etkinlik/muhendislik-mimarlik-kurultayi-2003/kurultay-kararlari-mesleki-davranis-ilkeleri>, (13.12.2020).
- [11] Mühendisin Yemini, https://www.maden.org.tr/genc/muhendisin_yemini.php, (03.04.2021).
- [12] Koçan G. Etik Değerler ve Mühendislik. GİDB Dergi 2015; 4: 33-42.
- [13] Cevizci A. Etiğe Giriş. Paradigma Yayınları, Birinci Baskı, 2002.
- [14] Uçma Uysal T, Türker M, Kurt G. Etik ve Etik Kurallar - Muhasebe Meslek Mensupları İçin. Ankara: T.C. Sayıştay Başkanlığı Yayınları No:116, 2019.
- [15] Erdoğan İ. Medya ve Etik: Eleştirel Bir Giriş. İletişim Kuram ve Araştırma Dergisi 2006; 23: 1-26.
- [16] Sarıççek R, Aytekin M. Etik Teorileri Çerçevesinde Bağımsız Denetim Meslek Etiği. II. International Conference on Empirical Economics and Social Science (ICEESS' 19); June 20-21-22 2019; Bandırma, Turkey. s.1179-1189.
- [17] Onbaşıoğlu SU. Mühendislik Etiği. 1. Basım. İstanbul, Türkiye: Doğa Yayınları, 2003.
- [18] Onbaşıoğlu SU. Teknoloji, Etik ve Mühendis Sorumluluğu. I. Ulusal Mühendislik Kongresi; 20-21 Mayıs 2004; Eski Foça, İzmir.
- [19] Aydın M. John Stuart Mill'in Erdem Teorisi ve Araçsallaştırılmış Erdemler. Sakarya Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi (SAUIFD) 2018; 37: 53-79.
- [20] Faydacılık Nedir?, <http://help.planports.com/Blog/Post/faydacilik-nedir>, (12.12.2020).
- [21] Oğulata RT. Mühendislik Etiği. Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, 2021.
- [22] Dünyada ve Türkiye'de İş Etiği ve Etik Yönetimi. Türk Sanayici ve İşadamları Derneği, Yayın No: TÜSİAD/T-2009-06-492, Haziran 2009.
- [23] Arslantaş H. Ruh Sağlığı ve Psikiyatri Hemşireliğinde Etik Konular, Kodlar ve Standartlar. Psikiyatri Hemşireliği Dergisi 2015; 6(1): 47-56.
- [24] Koçyiğit M, Karadağ E. Etik Teorilerine Dayalı Bir "Etik Eğilimler Ölçeği" Geliştirme Çalışması. Türkiye İktisadi Girişim ve İş Ahlakı Derneği 2016; 9(2): 283-307.
- [25] Türk Dil Kurumu Sözlükleri, <https://sozluk.gov.tr/>, (12.01.2021).
- [26] Akarsu B. Felsefe Terimleri Sözlüğü. Ankara, Türkiye: Türk Dil Kurumu Yayınları, Ankara Üniversitesi Basımevi, 1975.
- [27] Şen ML. Kamu Görevlileri Etik Rehberi. 3. Basım. Ankara, Türkiye: T.C. Başbakanlık Kamu Görevlileri Etik Kurulu, 2012.
- [28] Örselli E. Türkiye'de toplumsal ve yönetsel etik değerler ile ikilemler: Uygulamalı bir araştırma. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Konya, Türkiye, 2010.
- [29] Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Jeoloji Mühendisleri Odası Meslek Etiği Yönetmeliği, 3 Ağustos 2019 tarih ve 30851 sayılı Resmi Gazete.
- [30] Kırıl E. Yönetimde Karar ve Etik Karar Verme Sorunsalı. Adnan Menderes Üniversitesi Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi 2015; 6(2): 73-89.

Sıcak Karışım Asfalt Kaplamanın Su Hasarı Direnci Üzerinde RET Katkısının Etkisi

Tacettin GEÇKİL^{1*}, Maksut SELOĞLU², Ceren Beyza İNCE³

^{1*} İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

² İnşaat Bölümü, Elazığ OSB Meslek Yüksekokulu, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

³ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

*¹ tacettin.geckil@inonu.edu.tr, ² mseloglu@firat.edu.tr, ³ c.beyzaince@gmail.com

(Geliş/Received: 16/02/2021;

Kabul/Accepted: 22/04/2021)

Öz: Bu çalışmada, reaktif terpolimer (RET) katkılı sıcak karışım asfalt kaplamaların su etkilerine karşı direnci üzerinde reaktif terpolimer (RET) katkısının etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, penetrasyon sınıfı B 100/150 olan saf asfalta ağırlıkça %0,5; %0,75 ve %1 oranlarında RET (Elvaloy 4170) eklenerek modifiye asfaltlar hazırlanmıştır. Modifiye asfaltların fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası ve duktilite deneyleri ile, işlenebilirlik özellikleri ise dönel viskozimetre (RV) deneyi ile belirlenmiştir. Daha sonra, karışım tasarımı için agrega ve saf asfalt kullanılarak Marshall yöntemine göre karışımın optimum asfalt içeriği belirlenmiştir. Belirlenen bu oran sabit tutularak saf ve modifiye asfaltlar ile sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanmış olan saf ve RET katkılı modifiye karışım numuneleri Marshall stabilitesi, kalıcı Marshall stabilitesi (RMS) ve dolaylı çekme mukavemeti (ITS) deneylerine maruz bırakılmıştır. Asfalt test sonuçlarına göre, RET katkısı ile modifiye bağlayıcıların sertliğinin ve karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarının arttığı görülmüştür. Karışım sonuçlarına göre, özellikle %0,75 katkılı karışımların Marshall stabilitesi, RMS ve dolaylı çekme mukavemeti oranı (ITSR) değerlerinin önemli artışlar göstermesi sebebiyle yol kaplamalarının suya karşı hassasiyeti üzerinde RET katkısının iyileştirici bir etki gösterdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Asfalt, RET, modifiye karışım, dolaylı çekme mukavemeti, su hassasiyeti.

The Effect of RET Additive on the Water Damage Resistance of Hot Mix Asphalt

Abstract: In this study, the effects of reactive terpolymer (RET) additive on the resistance of reactive terpolymer (RET) additive hot mix asphalt pavements against water effects were investigated. For this purpose, modified asphalts were prepared by adding 0.5%, 0.75% and 1% RET (Elvaloy 4170) by weight to pure asphalt with penetration class B 100/150. The physical properties of modified asphalts were determined by penetration, softening point and ductility tests, the workability properties were determined by the rotational viscometer (RV) test. Then, the optimum asphalt content of the mixture was determined according to the Marshall method using aggregate and pure asphalt for the mixture design. By keeping this determined ratio constant, samples of pure and modified asphalts and hot mixes were prepared. The prepared pure and modified mixture samples with RET additives were subjected to Marshall stability, retained Marshall stability (RMS) and indirect tensile strength (ITS) tests. According to the asphalt test results, it was observed that the hardness and mixing-compression temperatures of the modified binders increased with RET additive. According to the results of the mixture, it was observed that the RET additive had an improving effect on the sensitivity of road pavements to water, especially since the Marshall stability, RMS and indirect tensile strength ratio (ITSR) values of the mixtures with 0.75% additive increased significantly.

Key words: Asphalt, RET, modified mixture, indirect tensile strength, water sensitivity.

1. Giriş

Sıcak karışım asfalt (HMA) kaplamalar inşa edildikten bir süre sonra farklı trafik yükleri, çevre ve iklim koşulları sebebiyle çeşitli deformasyonlara uğramaktadır. Oluşan deformasyonlar, HMA kaplamaların performansına ve sürüş konforuna doğrudan etki etmektedir. Özellikle iklim koşullarına bağlı olarak HMA kaplamaların bünyesinde oluşan suyun varlığı kaplamanın dış etkilere karşı koyma yeteneği olan durabilitesi üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır [1-3].

Fazla yağış alan bölgelerde yol platformu üzerinde oluşan suyun varlığı güvenlik bakımından sürücüler üzerinde endişe oluştururken, kaplama yapısına giren su ise agrega ile asfalt arasındaki bağın zayıflaması veya asfalt filminin soyulmasına (adezyon kaybı) ve kaplamanın ayrışmasına neden olarak (kohezyon kaybı) kaplamanın mekanik özelliklerinin bozulmasına sebep olmaktadır [4-8]. Su etkisiyle oluşan bu bozulmalar,

* Sorumlu yazar: tacettin.geckil@inonu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-8070-6836, ² 0000-0002-0200-8423, ³ 0000-0002-6385-0964

kaplamanın performansının azalmasına ve yol bakım-onarım maliyetlerinin ciddi oranda artmasına yol açmaktadır. Su hasarı sebebiyle HMA'nın içsel dayanımı azaldığında, trafik yükleri sebebiyle kaplamada meydana gelen gerilmeler büyük oranda artış gösterir ve kaplamada prematüre tekerlek izi, yorulma çatlakları ve sökümler meydana gelmektedir [5,9].

Kaplamada su sebebiyle meydana gelen deformasyonları azaltmak amacıyla araştırmacılar tarafından, agregaya ile asfalt arasındaki bağ kuvvetini güçlendirmek ve asfaltın daha az yüzey gerilmesiyle ıslanmasını arttırmak için hidrate ve sönmemiş kireç, geleneksel sıvı katkıları, metal iyonu yüzey ajan katkıları, silan katkıları ve silikon katkıları soyulma önleyici olarak sıklıkla kullanılmaktadır [6,10]. Özellikle hidrate ve sönmemiş kireç soyulma önleyici olarak en yaygın kullanılan katı tipteki katkılarıdır [10-12]. HMA'ya kireç eklenmesiyle, kirecin yapıdaki yüksek polar moleküllerle reaksiyona girerek suyu çekmeyen çözünmez tuzlar oluşturduğu kısaca yapı ile reaksiyona girdiği ve kirecin asfalt ile agregaya arasındaki bağ kuvvetlendirdiği görülmüştür [13]. Hidrate kireci HMA'ya eklemenin beş farklı yöntemi vardır. Bunlar sırasıyla kireç bulamacından kuru veya yaş agregaya, kuru kireçten yaş agregaya, kuru kireçten kuru agregaya, kuru kireçten direkt asfalta ve sönmemiş kireç bulamacından kuru veya yaş agregaya şeklindedir [10,12,14]. Su hasarını azaltmak için bir diğer yöntem de polimer modifiye asfaltların HMA'larda kullanılmasıdır [15]. Sudan kaynaklı hasarların azaltılmasında polimer modifiye asfaltların kullanımı sınırlı olsa da soyulma önleyici katkıları gibi işlev gördüğü çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir [16]. Yapılan çalışmalarda, polimer modifiye asfalt karışımların, modifiye olmayan asfalt karışımlara kıyasla suda kaynaklı bozulmalara karşı daha dirençli olduğu görülmüştür [17-19].

Bu çalışmada ise, bir polimer türü olan ve daha önce karışım modifikasyonunda kullanılmamış olan RET (Elvaloy 4170) katkısının yol kaplamalarının suya karşı hassasiyetine olan etkisi araştırılmıştır.

Reaktif terpolimerler asfalt içerisindeki asfaltlar ile kimyasal reaksiyona girerek karışımın homojen ve tek fazlı bir yapı olmasını sağlarlar. Ancak, bu polimerlerin asfalt modifikasyonunda kullanım oranı sınırlı olabilmektedir. Çünkü fazla kullanımda karışım içerisinde jelleşme meydana getirerek karışımın topaklaşmasına sebep olmakta ve işlenebilirliğini olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple modifikasyonda polimer cinsine bağlı olmakla birlikte bu oran genellikle %2-2,5 ile sınırlandırılmıştır. Modifikasyonda RET ile asfalt bağlayıcı arasındaki kimyasal reaksiyonun hızlandırmak amacıyla çoğunlukla karışıma katalizör olarak fosforik asit ilave edilmektedir. Fosforik asit kullanımı ile karışımında kullanılabilen RET miktarı azalmakta ve karışımın tekerlek izi, yaşlanma ve yorulma direnci ayrıca artış göstermektedir [20-22]. RET kullanılarak yapılan çalışmalarda modifiye asfaltların kıvamlarında sertleşme meydana geldiği, sıcaklık hassasiyetlerinin azaldığı, kalıcı deformasyon ve yorulma dirençlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca asfaltın yüksek sıcaklık ve oksidasyon direnci üzerinde RET'in iyileştirici etkisi gösterdiği görülmüştür. Bununla birlikte, oluşan kimyasal reaksiyon sebebiyle bağlayıcıların yüksek sıcaklıklardaki depolama stabilitesi üzerinde çok olumlu bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir [20-25]. RET katkısı literatürde asfalt modifikasyonunda çok sık kullanılmış olmasına rağmen, sıcak karışımların performansı ve karışımın su hasarı direnci üzerindeki etkilerine yönelik çalışmalar yok denecek kadar azdır.

Bu çalışmada, Elvaloy 4170 polimerinin HMA kaplamalarının su veya nem hasarlarına karşı direnci Marshall stabilitesi, RMS ve ITS deneyleri yardımı ile tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada, asfalt modifikasyonu için Batman TUPRAŞ rafinerisinden temin edilen penetrasyon sınıfı B100/150 saf asfalt ve Elvaloy 4170 katkısı kullanılmıştır. Asfalt bağlayıcının fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Asfalt bağlayıcının fiziksel özellikleri

Özellik	Standart	Limit	Sonuç
Penetrasyon (0.1mm)	ASTM D5	100-150	146,8
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	39-47	45,45
Düktilite (cm)	ASTM D113	min. 100	124
Parlama noktası (°C)	ASTM D92	min. 230	234
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	ASTM D70	1,0-1,1	1,032
Penetrasyon indeksi (PI)	-	-	0,714

Katkı malzemesi olarak, Dupont firması tarafından üretilen ve bir polimer çeşidi olan reaktif terpolimer (Elvaloy 4170) kullanılmıştır. Katkı malzemesinin genel özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Elvaloy 4170’in özellikleri

Özellik	Standart	Sonuç
Moleküler yapısı	-	Doğrusal
Özgül ağırlık	ASTM D 792	0,94
Fiziksel hali	-	Toz tanecikli
Erime noktası (°C)	ASTM D 3418	72
Hacim özgül ağırlık (gr/cm ³)	TS 1087	0,557
Akış katsayısı (g/10min)	ASTM D 1238	8

HMA tasarımı için kullanılan agrega Karayolları 8. Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. Kırmataş kalker agregasının gradasyonu Tablo 3’de, fiziksel özellikleri ise Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 3. Agrega gradasyonu

Açıklık (mm)	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
Geçen (%)	100	94	84	58	35	22	16	12	8	5

Tablo 4. Agreganın fiziksel özellikleri

Özellik	Standart	Limit	Sonuç
Kaba agrega zahiri özgül ağırlık (gr/cm ³)	ASTM C127	-	2,711
Kaba agrega hacim özgül ağırlık (gr/cm ³)		-	2,648
Kaba agrega su emme yüzdesi		maks.2	0,88
İnce agrega zahiri özgül ağırlık (gr/cm ³)	ASTM C128	-	2,750
İnce agrega hacim özgül ağırlık (gr/cm ³)		-	2,664
İnce agrega su emme yüzdesi		maks.2	1,17
Filler zahiri özgül ağırlık (gr/cm ³)	ASTM D 854	-	2,751
Aşınma kaybı, Los Angeles (%)	ASTM C131	maks.30	28
Donma kaybı (%)	ASTM C88	maks.10	4,5
Yassı ve uzun daneler (%)	ASTM D4791	maks.10	4

2.2. Metot

2.2.1. Modifiye Asfaltların Hazırlanması

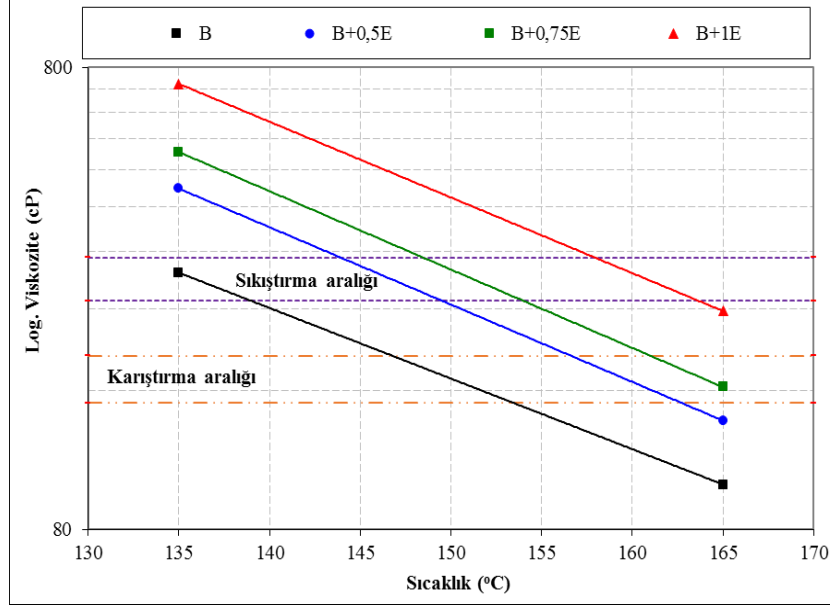
Çalışmada, ilk olarak saf B 100/150 asfaltı 150°C’de ısıtılmıştır. Daha sonra, ağırlıkça %0,5; %0,75 ve %1,0 oranlarında RET katkısı asfalta eklenerek modifiye asfaltlar hazırlanmıştır. Homojen bir asfalt- RET karışımı hazırlayabilmek amacıyla, RET katkılı asfalt bağlayıcılara katalizör olarak ağırlıkça %0,25 oranında süper fosforik asit eklenerek 500 devir/dakika hızında toplam 2 saat boyunca 185 °C sıcaklıkta karıştırma işlemi yapılmıştır.

RET katkı oranının belirlenmesinde daha önce yapılan çalışmalar dikkate alınarak %1,25 oranında da numune hazırlanmış ancak bu orandaki karışımda jelleşme ve topaklaşma meydana gelmesi sebebiyle bu oran ve üzeri için karışım yapılmamıştır. Çünkü jel oluşumunun sıcak karışımın performansı üzerinde olumsuz bir etki oluşturabileceği belirtilmiştir [20].

Çalışmada hazırlanan saf ve RET katkılı asfalt bağlayıcılar sırasıyla B, B+0,5E; B+0,75E ve B+1E olarak kodlanmıştır.

Saf ve RET katkılı asfaltların fiziksel özellikleri penetrasyon (ASTM D5), yumuşama noktası (ASTM D36) ve düktilite (ASTM D113) deneyleri ile belirlenerek elde edilen sonuçlar Tablo 5’de verilmiştir. Bağlayıcıların

ayrıca yüksek sıcaklıklardaki akıcılık özellikleri dönel viskozimetre (ASTM D 4402) deneyi ile belirlenmiştir. Dönel viskozimetre deney sonucunda elde edilen viskozite-sıcaklık grafiği (Şekil 1) kullanılarak, saf ve RET katkıli asfalt bağlayıcıların karıştırma-sıkıştırma sıcaklık aralıkları ve ortalama karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları tespit edilmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar yine Tablo 5’de verilmiştir.



Şekil 1. Bağlayıcıların viskozite-sıcaklık grafiği

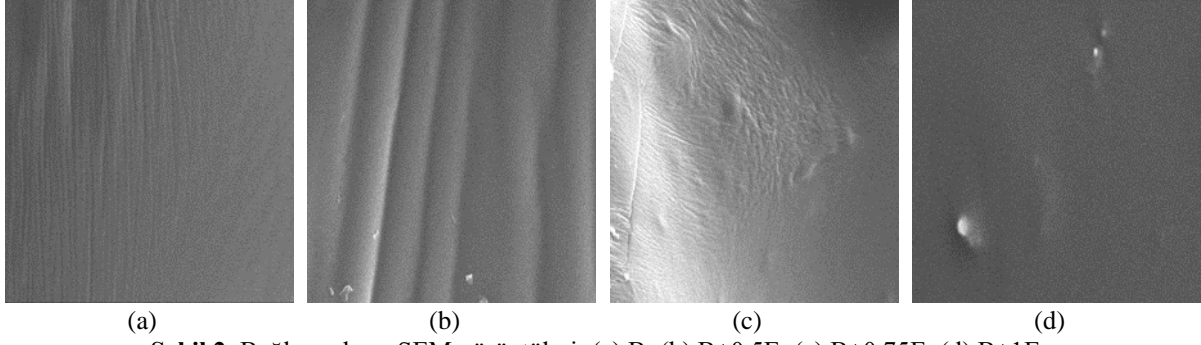
Tablo 5. Asfalt bağlayıcıların geleneksel test sonuçları

Özellik	Bağlayıcı türü			
	B	B +0,5E	B +0,75E	B +1E
Penetrasyon (0.1mm)	146,8	111,1	106,2	100,8
Yumuşama noktası (°C)	45,45	49,80	52,70	55,95
Düktilite (cm)	124	96	82	72
Karıştırma aralığı (°C)	149-155	153-158	158-163	167-172
Sıkıştırma aralığı (°C)	136-143	141-148	146-153	151-158
Karıştırma sıcaklığı (°C)	152	155,5	160,5	169,5
Sıkıştırma sıcaklığı (°C)	139,5	144,5	149,5	154,5

Tablo 5 incelendiğinde, RET katkı oranının artışı ile bağlayıcıların penetrasyon ve düktilite değerlerinde düzenli bir azalma, ancak yumuşama noktası değerlerinde düzenli bir artış görülmüştür. Bu durumda, RET katkısıyla bağlayıcıların sertleşmeye eğiliminin arttığını ve sıcaklık hassasiyetinin azaldığını söylemek mümkündür.

Bağlayıcıların viskozite değerleri incelendiğinde ise (Şekil 1), katkı oranının artışıyla viskozite değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu viskozite değerleri kullanılarak tespit edilen plentteki karıştırma ve yoldaki sıkıştırma sıcaklıkları da RET katkı oranının artışı ile beraber artış göstermiştir. Tüm bu sonuçlar, RET katkısıyla asfalt bağlayıcıların kıvamının sertleştiğini ve dolayısıyla bu bağlayıcıların plentte karıştırma ve yoldaki serme esnasında daha fazla enerji harcanabileceğini göstermektedir. Ancak RET’in asfalt ve dolayısıyla sıcak karışımın performansı üzerinde oluşturabileceği pozitif etki kaplamanın bakım ve onarım maliyetlerini düşüreceğinden fazla enerji sarfiyatı göz ardı edilebilecektir.

Çalışmada saf ve RET katkıli modifiye asfaltların mikromorfolojik yapısında meydana gelen değişimler taramalı elektron mikroskopu (SEM) kimyasal analizi ile belirlenmiştir. Asfalt bağlayıcıların SEM görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Bağlayıcıların SEM görüntüleri; (a) B; (b) B+0,5E; (c) B+0,75E; (d) B+1E

Şekil 2'de saf asfaltın SEM görüntüsü incelendiğinde, asfaltın homojen tek fazlı bir yapıda olduğu görülmektedir. RET katkı oranı arttıkça modifiye asfaltlarda RET-asfalt etkileşimi göz önüne alındığında, her üç oranda da homojen yapının korunduğu görülmektedir. RET'in kimyasal olarak asfaltla reaksiyona girdiği bilinmektedir. Bu sebeple, elde edilen asfalt-RET karışımının homojen ve tek fazlı bir yapıda olduğu ifade edilebilir. Sonuç olarak, modifiye asfaltların SEM görüntülerinde yüzey morfolojisi açısından yapıdaki homojenlik açıkça görülmüştür.

2.2.2. Modifiye Karışımların Hazırlanması

RET katkısının HMA'ların su hasarına olan etkisini belirlemek amacıyla saf ve modifiye asfaltlar kullanılarak Marshall tasarım yöntemi ile ASTM D 1559 standardına göre karışım numuneleri hazırlanmıştır. Bunun için öncelikle, agrega ve saf asfalt kullanılarak saf (katkısız) sıcak karışımlar için optimum asfalt içeriği belirlenmiştir. Bu içerik baz alınarak saf ve modifiye asfaltlar ile sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Her bir karışım numunesi için 1200 gr agrega alınmış ve asfaltlar kendi karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında işlenerek numuneler elde edilmiştir. Numuneler 457 mm yükseklikten serbest düşürülen sıkıştırma tokmağı ile her bir yüzeyine 75, toplamda 150 vuruş yapılarak hazırlanmıştır.

Çalışmada, saf ve RET katkılı karışım numuneleri yine sırasıyla B, B+0,5E; B+0,75E ve B+1E olarak kodlanmıştır.

3. Deneysel Yöntem

3.1. Marshall Stabilite ve Akma Deneyi

HMA'ların plastik akmaya karşı gösterdiği direnç ASTM D1559'a göre Marshall stabilite ve akma deneyi ile tespit edilmektedir. Deneyde, hazırlanmış olan karışım numunelerinin ağırlıkları ve yükseklikleri alınarak 60 ± 1 °C sıcaklığa sahip su banyosunda ortalama 35 dakika bekletildikten sonra çıkarılarak Marshall stabilite cihazına (Şekil 3a) yerleştirilir. Daha sonra numuneler 50 ± 2 mm/dakika yükleme hızına maruz bırakılarak kırıldıkları andaki stabilite ve akma değerleri tespit edilir. Stabilite değeri, kaplamaların deformasyonlara karşı koyabildiği en yüksek yük değerini ifade ederken; akma değeri ise bu yük değerine ulaşıldığında oluşan deformasyonu ifade etmektedir. Deneyde, standart kabul edilen 63,5 mm'den farklı yüksekliklere sahip olan numuneler için denklem (1) bağıntısı kullanılarak, numunelerin düzeltilmiş stabilite değerleri hesaplanır. Denklem 1'de yer alan c; düzeltme katsayısını, h ise numune yüksekliğini ifade etmektedir [3,5].

$$c = 5.24 \times e^{(-0.0258xh)} \quad (1)$$

Marshall stabilite ve akma deneyi sonucunda, stabilite ve akma değerleri kullanılarak sıcak karışımların sertliklerinin ve deformasyonlara karşı dirençlerinin bir ölçüsü olarak kabul gören Marshall oranı (MQ) değerleri de hesaplanarak karışımlar değerlendirilebilmektedir. MQ değeri, karışım stabilitesinin akma değerine bölünmesiyle belirlenmektedir. Bu değer yüksek olması kaplamaların deformasyonlara karşı dirençli olduğunu ifade etmektedir [5].

3.2. Kalıcı Marshall Stabilitesi (RMS)

Kaplamaların sudan kaynaklı nem hasarlarına karşı dayanımları RMS deneyi ile belirlenebilmektedir. Bu amaçla numuneler 60 ± 1 °C sıcaklığa sahip su banyosunda 24 saat bekletilerek Marshall stabilite cihazı ile yüklemeye maruz bırakılmaktadır. Elde edilen stabilite değeri numunenin normal stabilite değerine bölünmesiyle RMS değeri elde edilmektedir. Deney sonucunda, yüksek RMS değerine sahip olan sıcak karışım numunelerinin su veya nem hasarlarına karşı daha yüksek dirence sahip olduğu değerlendirilmektedir [5].

3.3. Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyi (ITS)

ITS deneyi, ısı ve yüklere maruz kalan sıcak karışım yol kaplamalarının bünyesinde meydana gelen çekme gerilmelerini karakterize etmektedir. Deney, AASHTO T245 standardına göre Marshall stabilite test cihazı kullanılarak yapılmaktadır. ITS deneyinde, silindirik numuneler dakikada 50mm'lik yükleme hızında çap düzlemi doğrultusunda düşey olarak yüklemeye maruz bırakılarak kırılması sağlanır. Deney sonucunda, sıcak karışım kaplamalarda meydana gelen bu kırılmalar ile kaplamanın yapısı arasında bir ilişki kurulabilmektedir. Ayrıca, kaplamanın sahip olduğu kohezyon kuvveti ve orta sıcaklıklardaki kalıcı deformasyon direncinin başlıca parametreleri olan sertlik ve durabilitesi de değerlendirilebilmektedir. Karışım numunelerinin ITS değeri denklem (2) yardımı ile hesaplanabilmektedir [3,5].

$$ITS = \frac{2P_{max}}{\pi t x d} \quad (2)$$

Denklem 2'de, P_{max} ; numuneye uygulanmış maksimum yükü, t ; numune kalınlığını, d ise numune çapını ifade etmektedir. Karışım numunelerinin ITS değerleri, sıcak karışımın kohezyon yeteneğine bağlı olarak değişmekte ve bu da büyük oranda asfaltın özelliklerinden kaynaklanmaktadır [5,26].

3.4. Su Hasarı Direnci Deneyi

Su hassasiyeti, HMA kaplamaların su ile temas etmesinden sonra bünyesinde oluşan nem sebebiyle oluşabilecek hasara karşı göstermiş olduğu direnci ifade edilmektedir. Kaplamadaki su veya nemin varlığı, asfalt ile agrega arasındaki bağı zayıflatır ve kaplamada bozulmalara sebep olur. HMA kaplamalarda suya karşı hassasiyet AASHTO T283 standardı ile belirlenmektedir. Standarda göre sıcak karışım numuneleri "koşullandırılmamış" ve "koşullandırılmış" olmak üzere iki gruba ayrılarak değerlendirilir. Koşullandırılmamış numuneler 2 saat boyunca 25°C sıcaklıktaki su banyosunda bekletilir. Koşullandırılmış numuneler ise numunelerin hava boşlukları %60-80 su ile dolacak şekilde vakum işlemine (Şekil 3b) maruz bırakılır. Bunun ardından numuneler streç film ile sarılarak 16 saat boyunca -18°C sıcaklıktaki dondurucuda bekletilir ve süre bitiminde bu numuneler 24 saat boyunca 60°C sıcaklıktaki su banyosunda bekletilir. Süre bitiminde banyodan alınan numuneler 2 saat boyunca 25°C sıcaklıktaki banyosunda bekletilir. Bu işlemlerden sonra koşullandırılmamış (ITS_{kuru}) ve koşullandırılmış ($ITS_{yaş}$) numuneler Marshall cihazı kullanılarak dolaylı çekme direnci (ITS) testine (Şekil 3c) tabi tutulur. Deney sonucunda karışım numunelerinin dolaylı çekme direnci oranı (ITSR) değerleri denklem (3) yardımı ile hesaplanır. HMA numunelerinin sudan kaynaklı bozulmalara karşı dirençleri bakımından ITSR değerlerinin %80'den daha fazla olması istenmektedir [5,10].

$$ITSR = (ITS_{yaş}/ITS_{kuru}) \times 100 \quad (3)$$

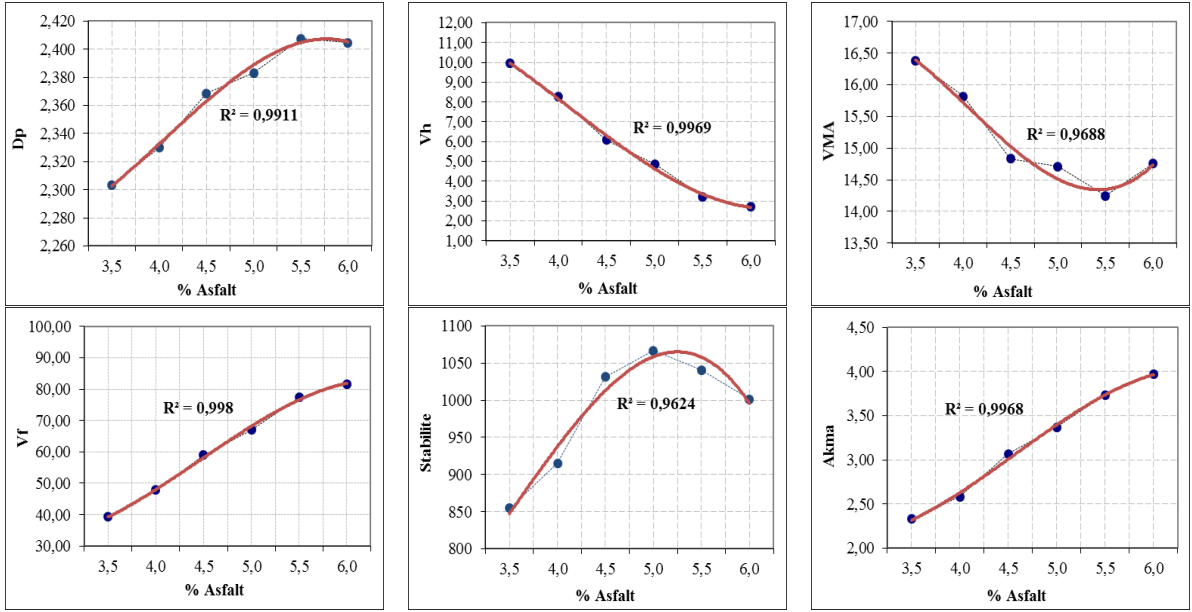


Şekil 3. Marshall stabilite deney cihazı (a), Numunelere vakum uygulanması (b), ITS deney cihazı (c)

4. Bulgular

4.1. Marshall Stabilite Deney Sonuçları

Karışım tasarımı için, B 100/150 saf asfalt ve 1200 gr agrega kullanılarak sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Bu amaçla, agrega miktarı sabit tutularak agreganın ağırlıkça %3,5 - %4 - %4,5 - %5 - %5,5 ve %6 oranlarında asfalt eklenerek her bir yüzde için üç karışım numunesi hazırlanmıştır. Her bir numunenin ağırlığı ve yüksekliği tespit edildikten sonra hacim özgül ağırlıkları (Dp), boşluk oranları (Vh), agregalar arası boşluk oranları (VMA) ve asfalt dolu boşluk oranları (Vf) gibi hacimsel özellikleri belirlenmiştir. Ardından tüm numunelerin Marshall stabilite ve akma değerleri tespit edilmiştir. Saf asfalt bağlayıcı ile hazırlanan karışım numunelerinin tespit edilmiş olan hacimsel ve mekanik özelliklerinin asfaltla değişim grafikleri Şekil 4’de verilmiştir.



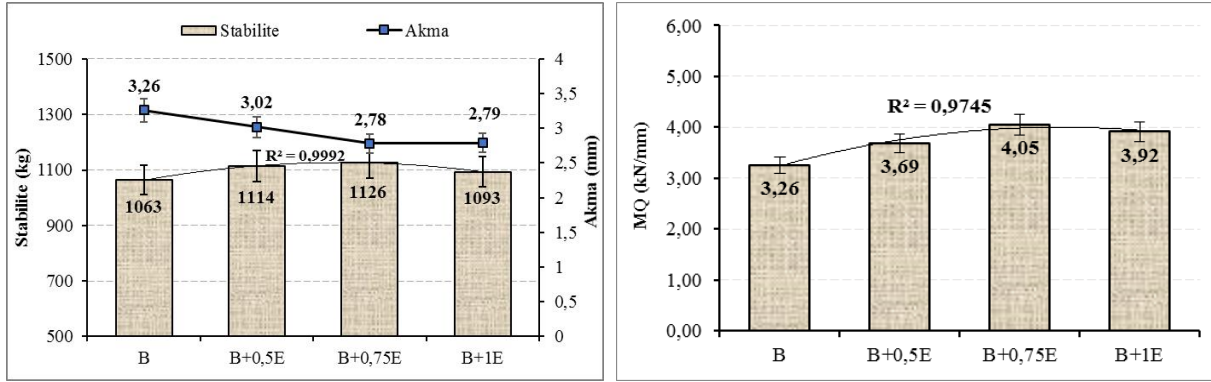
Şekil 4. Optimum asfalt içeriğinin belirlenmesinde kullanılan grafikler

Şekil 4’deki grafiklerden, Dp’nin maksimum (%5,5) ve stabilitenin maksimum (%5,0), Vh’in %4 (%5,2) ve Vf’nin %70 (%5,1) olduğu asfalt yüzdelерinin aritmetik ortalaması alınarak optimum asfalt içeriği %5,2 olarak belirlenmiştir. Bu oranda üç adet kontrol numunesi hazırlanarak elde edilen sonuçların uygunluğu Karayolları Teknik Şartnamesi (KTS) değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar ve şartname limitleri Tablo 6’da verilmiştir. Kontrol numune sonuçlarının KTS asfalt betonu aşınma tabakası için verilmiş olan sınır değerleri sağladığı görülmüştür. Çalışmada, tespit edilen optimum asfalt oranı %5,2 esas alınarak saf ve RET katkıli modifiye asfaltlarla sıcak karışım numuneleri hazırlanmış ve elde edilen değerler aynı tabloda gösterilmiştir. RET katkıli modifiye karışım numunelerinin saf karışım numuneleri ile kıyas yapılabilmesi amacıyla bu oran sabit tutulmuştur.

Tablo 6. Kontrol ve karışım numunelerine ait sonuçlar

Karışım türü	Dp (gr/cm ³)	Vh (%)	VMA (%)	Vf (%)	Stabilite (kg)	Akma (mm)
B (%5,2)	2,386	4,48	14,77	69,65	1063	3,26
B+0,5E	2,372	4,28	14,57	71,21	1114	3,02
B+0,75E	2,369	4,17	14,45	72,08	1126	2,78
B+1E	2,364	4,02	14,32	72,74	1093	2,79
KTS	-	3-5	14-16	65-75	>900	2-4

Hazırlanmış olan saf (B) ve RET modifiyeli sıcak karışım numunelerinden elde edilen Marshall stabilite ve akma değerleri Şekil 5’de, tüm karışım numunelerinin sertlik ve deformasyonlara karşı dirençlerinin tespiti için hesaplanan MQ değerleri de yine Şekil 5’de verilmiştir.



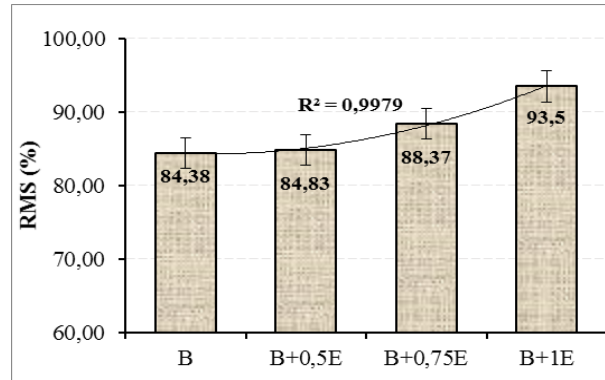
Şekil 5. Karışım numunelerinin Marshall stabilite-akma ve MQ değerleri

Şekil 5 dikkate alındığında, RET katkısıyla karışımların stabilite değerlerinde saf numuneye kıyasla değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler sırasıyla %4,8; %5,9 ve %2,8 artış şeklindedir. RET katkısıyla karışımların stabilite değerlerindeki bu artış, RET katkılı kaplamaların kalıcı deformasyonlara karşı direncinin arttığını göstermektedir. Elde edilen sonuç değerlendirildiğinde, en yüksek stabilite değerine B+0,75E katkılı karışım ulaşılmıştır, bu durumda kalıcı deformasyonlara karşı direnci en yüksek karışım numunesinin B+0,75E katkılı karışım olduğunu ifade etmek mümkündür. RET modifiyeli karışımların akma değerlerinde, saf (B) karışıma kıyasla değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler sırasıyla %7,4; %14,7 ve %14,4 azalma şeklindedir. Sıcak karışımların akma değeri, yol kaplamasının trafik yükleri altında plastik veya esnek davranışını simüle etmektedir. RET katkısıyla akma değerlerinin azalması, HMA kaplamanın kırılma esnasında daha plastik davranış sergileyeceğini göstermektedir.

Saf ve modifiye karışımların MQ değerleri incelendiğinde ise (Şekil 5), RET katkı oranı artışı ile değişiklik göstermiştir. Meydana gelen bu değişimler saf karışıma kıyasla %13,2; %24,2 ve %20,2 artış şeklindedir. Bu sonuçlara göre, en yüksek artışın B+0,75E karışım numunelerinde görüldüğü ve bu sebeple kayma gerilmelerine karşı en dirençli karışımların B+0,75E karışımlar olduğu ifade edilebilir.

4.2. RMS Deney Sonuçları

RET'in HMA kaplamaların suya karşı hassasiyeti üzerindeki etkilerini belirlemek için saf ve RET modifiyeli karışım numunelerinin RMS değerleri tespit edilerek Şekil 6'da verilmiştir.

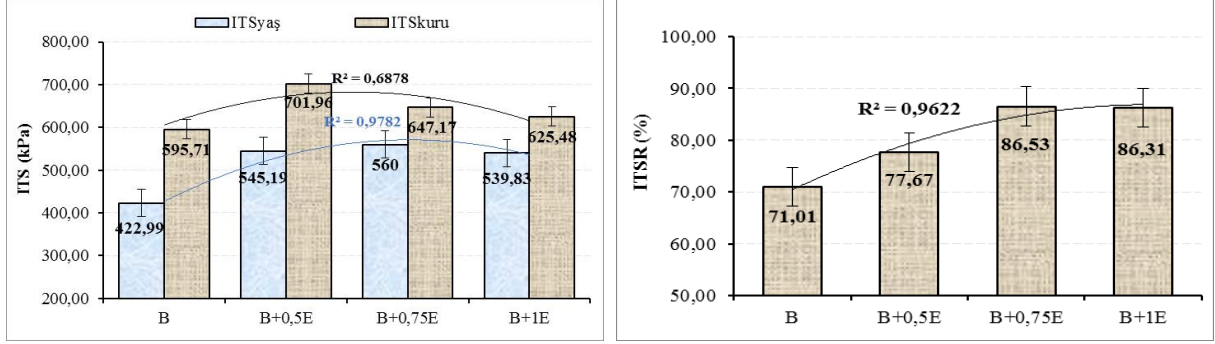


Şekil 6. Karışım numunelerinin RMS değerleri

Şekil 6 incelendiğinde, RET artışı ile modifiye karışımların saf karışıma kıyasla RMS değerlerinde önemli değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler sırasıyla %0,5; %4,7 ve %10,8 artış şeklindedir. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek RMS değerinin B+1E karışımlarda elde edildiği ve dolayısıyla en yüksek nem hasarı direncinin B+1E karışımlarda olduğu söylenebilir. RET ilavesiyle RMS değerlerinin artış göstermesi, RET'in agrega ile asfalt arasındaki bağlanma yeteneği üzerinde iyileştirici etkiye sahip olduğunu ve bu nedenle de kaplamanın sudan kaynaklı bozulmalara karşı direnci üzerinde artışa sebep olduğu ifade edilebilir.

4.3. ITS ve Su Hasarı Direnci Deneysel Sonuçları

RET'in HMA'nın sudan kaynaklı bozulmalara karşı dirençlerini belirlemek için, ayrıca koşullandırılmış ve koşullandırılmamış saf ve RET modifiyeli karışım numunelerine ITS deneyi uygulanmıştır. Belirlenen ITS ve ITSR değerleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Karışım numunelerinin ITS ve ITSR değerleri

Şekil 7 incelendiğinde, RET katkı oranının artışıyla koşullandırılmış (ITS_{yaş}) karışım numunelerinin saf karışıma kıyasla dolaylı çekme mukavemeti değerlerinde değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler sırasıyla %28,9; %32,4 ve %27,6 artış şeklindedir. Koşullandırılmamış (ITS_{kuru}) karışım numunelerinin dolaylı çekme mukavemet değerlerinde meydana gelen değişimler ise sırasıyla %17,8; %8,6 ve %5,0 artış şeklindedir. RET katkı oranının artışıyla karışım numunelerinin ITS_{yaş} ve ITS_{kuru} değerlerinin artış göstermesi, trafik yüklerine maruz kalan HMA kaplamaların yük altında oluşan çekme gerilmelerine karşı direncinin arttığını göstermektedir.

Yine Şekil 7'de, karışım numunelerinin ITSR oranları incelendiğinde, RET katkı oranının artışıyla ITSR değerlerinde değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler saf karışıma kıyasla sırasıyla %9,4; %21,9 ve %21,5 artış şeklindedir. Bu sonuçlara göre, en yüksek ITSR değeri B+0,75E karışımlarda görülmüştür. RET modifiyeli karışımların, ITSR değerlerinin özellikle %0,75 oranından sonra %80'in üzerinde olması, bu oranın kritik olduğunu ve bu orandan sonraki karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direncinin yüksek olduğunu göstermektedir.

RMS ve ITSR sonuçları birlikte ele alındığında, RET katkısının yol kaplamalarının suya karşı hassasiyeti üzerinde iyileştirici bir etkiye sahip olduğu, %0,75 - %1 RET katkı oranının kaplamaların adezyon ve kohezyon yeteneğini arttırmada etkili olduğu görülmüştür.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, RET'in sıcak karışım asfalt kaplamaların suya karşı hassasiyeti üzerindeki etkisi araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Saf ve RET modifiyeli bağlayıcıların fiziksel test sonuçları değerlendirildiğinde, RET katkısıyla bağlayıcıların sertliğinin arttığı ve dolayısıyla daha yüksek sıcaklığa sahip bölgelerde kullanılabileceği görülmüştür.
2. Bağlayıcıların mikromorfolojik analiz sonuçlarına göre, asfalt ile RET arasında iyi bir etkileşim olduğu ve bu etkileşim sebebiyle karışımın homojen tek fazlı bir yapı gibi davrandığı tespit edilmiştir.
3. Marshall stabilite deney sonuçlarına göre, RET katkısı ile karışımların stabilitesinin %5,9 kadar arttığı ve en yüksek stabilite değerinin B+0,75E katkılı karışımlardan elde edildiği görülmüştür.
4. MQ sonuçlarına göre, RET katkısı ile MQ değerinin %24,2 artış ile B+0,75E karışımlardan elde edildiği görülmüştür. Bu durumda, RET katkısının HMA kaplamaların kayma gerilmelerine karşı direncinde iyileşme sağladığı söylenebilir.
5. RMS sonuçlarına göre, RET ilavesiyle RMS değerinin %10,8 artış ile B+1E karışımlardan elde edildiği ve bu oranda sıcak karışımların su etkilerine karşı daha dirençli olduğu görülmüştür.
6. ITSR sonuçlarına göre, RET ilavesiyle karışımların ITSR değerlerinin %21,9 artış ile B+0,75E karışımlardan elde edildiği ve RET'in sıcak karışımların adezyon ve kohezyon yeteneğini arttırarak yol kaplamalarının nem direncini önemli ölçüde iyileştirdiği görülmüştür.

Sonuç olarak, bir polimer çeşidi olan RET katkısının asfalt ve dolayısıyla karışım modifikasyonunda kullanılmasıyla yol kaplamalarının nem direncini arttırmada iyileştirici bir etkiye sahip olduğunu ifade etmek mümkündür.

Kaynaklar

- [1] Hamedi GH, Nejad FM, Oveisi K. Investigating the effects of using nanomaterials on moisture damage of HMA. *Road Materials and Pavement Design* 2015;16(3): 536-552.
- [2] Grenfell J, Ahmad N, Liu Y, Apeagyei A, Large D, & Airey G. Assessing asphalt mixture moisture susceptibility through intrinsic adhesion, bitumen stripping and mechanical damage. *Road Materials and Pavement Design* 2014; 15(1): 131-152.
- [3] Geçkil T. Siyah Karbonun Bitümlü Sıcak Karışımların Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2008.
- [4] Ahmad J, Yusoff NIM, Hainin MR, Rahman MYA, & Hossain M. Investigation into hot-mix asphalt moisture-induced damage under tropical climatic conditions. *Construction and Building Materials* 2014; 50: 567–576.
- [5] Geçkil T, Önal Y, İnce CB. Atık PET ile Modifiye Edilmiş Bitümlü Sıcak Karışımların Nem Direnci. *Politeknik Dergisi* 2021; 24(2): 461-471.
- [6] Aksoy A, İskender E, Oruç Ş, Özen H. SBS Polimeri ve Su Hasarı Önleyici Katkıların Asfalt Kaplamalarda Performans Karşılaştırması. *İMO Teknik Dergi* 2012; 380: 5967-5986.
- [7] Kandhal PS. Field and laboratory investigation of stripping in asphalt pavements: State of the art report. *Transportation Research Record No. 1454, Asphalt Concrete Mixture Design and Performance* 1994; 36-47.
- [8] Kumar P, Anand P. Laboratory study on moisture susceptibility of dense graded mixes. *Journal of Transportation Engineering* 2012; 138(1): 105–113.
- [9] Kok BV, Yılmaz M. The effects of using lime and styrene–butadiene–styrene on moisture sensitivity resistance of hot mix asphalt. *Construction and Building Materials* 2009; 23: 1999–2006.
- [10] Gorkem Ç, Şengöz B. Predicting stripping and moisture induced damage of asphalt concrete prepared with polymer modified bitumen and hydrated lime. *Construction and Building Materials* 2009; 23(6): 2227–2236.
- [11] Petersen JC, Plancher HP, Harnsbergen M. Lime treatment of asphalt to reduce age hardening and improve flow properties. In: *Proceedings, AAPT 1987*, 56: 632-653.
- [12] Kennedy TW. Anagnos NJ. Lime treatment of asphalt mixtures, FHWA/TX-83/22+253-4. Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin 1983, p. 20–8
- [13] National Lime Association. Lime the versatile chemical hydrated lime: a solution for high performance hot mix asphalt, fact sheet, 2003.
- [14] Kennedy TW, Turnham N, Epps JA, Smoot CW, Young FM, Button JW. Evaluation of methods for field application of lime to asphalt concrete mixtures. In: *Proceeding, Association of Asphalt Paving Technologists*, vol. 52, 1983. p. 508-34.
- [15] Martin AE, Rand D, Weitzel D, Tedford D, Sebaaly P, Lane L. Moisture sensitivity of asphalt pavements: a national seminar, San Diego, California, 2003 on February 4-6.
- [16] Epps J, Berger E, Anagnos JN. Moisture sensitivity of asphalt pavements: a national seminar, California, 2003.
- [17] Kim YR, Lee HJ, Little DN, Fatigue characterization of asphalt concrete using viscoelasticity and continuum damage theory. *J AAPT* 1997; 66: 520–49.
- [18] Kumar P, Chandra S, Bose S, Strength characteristics of polymer modified mixes. *Int J Pav Eng.*, 2006 ;7(1): 63–71.
- [19] Stuart KD, Youtcheff JS, Mogawer WS. Understanding the performance of modified asphalt binders in mixtures: evaluation of moisture sensitivity. FHWA-RD02-029, Turner-Fairbank Highway Research Center, 2001.
- [20] Jasso M, Hampl R, Vacin O, Bakos D, Stastna J, Zanzotto L. Rheology of conventional asphalt modified with SBS, Elvaloy and polyphosphoric acid. *Fuel Processing Technology* 2015; 140: 172-179.
- [21] Ge D, Yan K, You L, Wang Z. Modification mechanism of asphalt modified with Sasobit and Polyphosphoric acid (PPA). *Construction and Building Materials* 2017; 143: 419–428.
- [22] Singh D, Habal A, Ashish PK, Kataware A. Evaluating suitability of energy efficient and anti-stripping additives for polymer and Polyphosphoric acid modified asphalt binder using surface free energy approach. *Construction and Building Materials* 2018; 158: 949–960.
- [23] Geçkil T, Seloğlu M. Performance properties of asphalt modified with reactive terpolymer. *Construction and Building Materials* 2018; 173: 262–271.
- [24] Keyf S. Investigation of penetration and penetration index in bitumen modified with SBS and reactive terpolymer. *Sigma* 2010; 28: 26–34.
- [25] Irfan M, Saeed M, Ahmed S, Ali Y. Performance evaluation of Elvaloy as a fuel-resistant polymer in asphaltic concrete airfield pavements. *Journal of Materials Civil Engineering* 2017; 29(10): ASCE, ISSN 0899-1561.
- [26] Ahmedzade P, Şengöz B. Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete. *Journal of Hazardous Materials* 2009; 165(1-3): 300-305.

Kanser Teşhisinde Protein Haritalama Tekniklerinin Başarımlarının Derin Öğrenme Kullanılarak Karşılaştırılması

Talha Burak ALAKUŞ^{1*}, İbrahim TÜRKOĞLU²

¹ Yazılım Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

² Yazılım Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ talhaburakalakis@klu.edu.tr, ² iturkoglu@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 16/02/2021;

Kabul/Accepted: 03/06/2021)

Öz: Kanser, dünya çapında çoğu insanın ölmesine neden olan ve birçok farklı alt tiplerden oluşan heterojen bir hastalıktır. Bir kanser türünün erken teşhisi ve prognozu, hastaların sonraki klinik takibini kolaylaştırabildiği için kanser araştırmalarında bir gereklilik haline gelmiştir. Bunun için en çok kullanılan yöntemlerden birisi histolojik incelemedir. Ancak bu yöntemde çok sayıda gözlemciler arası değişkenlik bulunmakta, bu ise inceleme sürecinin uzun olmasına ve zaman almasına neden olmaktadır. Bu dezavantajın önüne geçmek için araştırmacılar hesaplama-tabanlı yaklaşımlara yönelmişler ve kanserli proteinlerin belirlenmesi için protein-protein etkileşimleri, protein etkileşim ağları ve moleküler parmak izleri yöntemlerinden yararlanmaktadır. Bu yöntemler arasında, çeşitli çalışmalar genomik bilgilerden de kanserli hücrelerin tespit edilebildiğini göstermiştir. Kansere ait genlerin dizilimlerine göre belirli kanser türlerinin belirlenebildiği ve bu süreçte yapay öğrenme tabanlı yaklaşımların etkili olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, derin öğrenme algoritmalarından birisi olan tekrarlayıcı sinir ağı mimarisi kullanılmış ve insana ait mesane, kolon ve prostat kanserlerinin, protein dizilimlerine göre sınıflandırılması yapılmıştır. Çalışmanın ana amacı protein haritalama tekniklerinin, kanserli genleri sınıflandırmadaki performanslarının kıyaslanmasıdır. Çalışma, verilerin elde edilmesi, protein dizilimlerinin sayısallaştırılması, derin öğrenme model uygulamasının geliştirilmesi ve protein haritalama tekniklerinin başarımının karşılaştırılması olmak üzere dört aşamadan meydana gelmektedir. Protein dizilimlerini sayısallaştırmak için AESNN1, hidrofobiklik, tam sayı, Miyazawa enerjileri ve rastgele kodlama yöntemleri ele alınmıştır. Çalışmanın sonunda, mesane kanseri için en yüksek doğruluk değeri %87.15 ile AESNN1 haritalama yöntemiyle, kolon kanseri ve prostat kanseri için ise en yüksek doğruluk değeri sırasıyla %94.40 ve %75.45 olarak Miyazawa enerjileri ve rastgele kodlama protein haritalama yöntemi ile elde edilmiştir. Bu çalışma ile yapay öğrenme ve protein haritalama tekniklerinin, kanserli protein dizilimlerinin belirlenmesinde etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kanser, biyoenformatik, derin öğrenme, proteinler

Comparing the Performance of Protein Mapping Techniques in Cancer Diagnosis Using Deep Learning

Abstract: Cancer is a heterogeneous disease made up of many different subtypes that cause most people to die worldwide. Early diagnosis and prognosis of a cancer type has become a necessity in cancer research as it can facilitate subsequent clinical follow-up of patients. One of the most used methods for this is histological examination. However, there is a large number of inter-observer variability in this method, which causes the examination process to be long and time consuming. To avoid this disadvantage, researchers have turned to computation-based approaches and utilize protein-protein interactions, protein interaction networks, and molecular fingerprints to identify cancerous proteins. Among these methods, various studies have shown that cancerous cells can also be detected from genomic information. It has been observed that certain types of cancer can be determined according to the sequences of genes belonging to cancer, and artificial learning-based approaches are effective in this process. In this study, recurrent neural network architecture, one of the deep learning algorithms, was used and the classification of human bladder, colon and prostate cancers according to their protein sequences was made. The study consists of four stages: data acquisition, mapping of protein sequences, development of deep learning model application, and comparison of the performance of protein mapping techniques. AESNN1, hydrophobicity, integer, Miyazawa energies and random coding methods were discussed to map protein sequences. At the end of the study, the highest accuracy value for bladder cancer was obtained with AESNN1 mapping method with 87.15%, and the highest accuracy value for colon cancer and prostate cancer was obtained with Miyazawa energies and random coding protein mapping method as 94.40% and 75.45%, respectively. With this study, it has been observed that artificial learning and protein mapping techniques are effective in determining cancerous protein sequences.

Key words: Cancer, bioinformatics, deep learning, proteins

* Sorumlu yazar: talhaburakalakis@klu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-3136-3341, ² 0000-0003-4938-4167

1. Giriş

Kanser, dünya çapında insan sağlığını etkileyen ve tehdit eden en yaygın hastalıklardan birisidir. Göğüs, deri, akciğer, kolon, prostat olmak üzere 100.000'den fazla kanser türü bulunmaktadır [1]. Kanser genellikle tümör baskılayıcı genler, hücre döngüsü düzenleyiciler ve proto-onkojenler üzerinde ortaya çıkan zararlı mutasyonlardan meydana gelmektedir [2]. Kanser tedavilerinde en önemli unsur kanserin erken teşhis edilmesidir. Bu durumda beklenen hayat süresi ve hayat kalitesi artmaktadır. Kanserinin erken teşhisinde kan testleri, röntgen, manyetik rezonans görüntüleme, endoskopi, genetik görüntüleme, histolojik inceleme gibi çeşitli sayıda yöntemler bulunmaktadır. Ancak bu yöntemlerin insan gücü ve laboratuvar ekipmanı gerektirmesi, uzman yorumuna ihtiyaç duyması, hem teşhis işlemin zaman almasına hem de maliyetli olmasına neden olmaktadır [3,4]. Bu dezavantajlardan dolayı, araştırmacılar kanser teşhisinin erken tahmini için yeni stratejiler geliştirmektedirler. Tıp alanında yeni teknolojilerin ortaya çıkmasıyla, büyük miktarda kanser verisi toplanabilmekte ve tıbbi araştırmalarda etkili bir şekilde kullanılabilir [5].

Biyoenformatik çalışmalarında, hesaplama-tabanlı yaklaşımların ve yapay öğrenme yöntemlerinin başarılı olması, kansere neden olan proteinlerin bu yöntemlerle analiz edilmesinin önünü açmıştır. Makine öğrenmesi ve derin öğrenme mimarileri, kansere neden olan proteinlerin analizinde kullanılmakta ve erken teşhis çalışmalarında sıklıkla değerlendirilmektedir [6,8]. Protein dizilimlerinin yapay öğrenme teknikleri ile analiz edilebilmesi için dizilimlerin sayısallaştırılması gerekmektedir. Bilindiği üzere protein dizilimleri 20 adet amino asit kodlarından (harflerden) meydana gelmektedir. Ham protein verilerinin yapay öğrenme yöntemleri ile değerlendirilmesi mümkün değildir [9]. Protein dizilimlerinin sayısallaştırılmasıyla gerçekleştirilen çalışmalar hesaplama-tabanlı olarak ifade edilmektedir. Literatürde belirli sayıda protein haritalama yöntemleri mevcut olmakla beraber bu yöntemler belirli kategorilere ayrıştırılmıştır. Tablo 1'de çeşitli protein haritalama yöntemleri ve bunların kategorileri verilmiştir.

Tablo 1. Protein haritalama yöntemleri ve ait olduğu kategoriler

Kategori	Protein Haritalama Yöntemleri
Fizikokimyasal-tabanlı	Hidrofobiklik Atchley Faktörleri
Evrşim-tabanlı	PAM250 PSSM
Yapı-tabanlı	Miyazawa Enerjileri
Makine öğrenmesi-tabanlı	AESNN1 ProtVec

Protein haritalama yöntemleri proteinlerin arasındaki etkileşimleri belirlemek [10], ilaç-hedef etkileşimlerini belirlemek [11], protein ailelerini sınıflandırmak [12], protein fonksiyonlarını tahmin etmek [13], protein ikincil yapılarını analiz etmek [14] gibi çeşitli çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışmalardan anlaşıldığı üzere kullanılan protein haritalama yöntemleri ve yapay öğrenme tekniklerinin tahmin ve teşhis işlemlerinde belirleyici olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, belirli protein haritalama yöntemleri kullanılarak, çeşitli kanserlere ait proteinlerin sınıflandırılması yapılmıştır. Çalışmadaki ana amaç protein haritalama tekniklerinin kanser içeren genleri sınıflandırmadaki başarımlarının kıyaslanmasıdır. Çalışma dört aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada mesane, kolon ve prostat kanserine neden olan protein dizilimleri elde edilmiştir. İkinci aşamada elde edilen protein dizilimleri sayısal ifadelerle dönüştürülmüş ve bu işlem için AESNN1, hidrofobiklik, tam sayı, Miyazawa enerjileri ve rastgele kodlama olmak üzere beş farklı yöntem kullanılmıştır. Sayısal haritalama işleminin ardından tekrarlayıcı sinir ağı modeli tasarlanmış ve bu model ile sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın son kısmında ise kullanılan protein haritalama tekniklerinin başarımları kıyaslanmış ve değerlendirme ölçütleri olarak ise doğruluk, AUC (Area Under Curve – Eğri Altında Kalan Alan), F1-skor ve kesinlik skorları kullanılmıştır.

Çalışmanın öne çıkan kısımları şu şekilde ifade edilebilir:

- Bu çalışma ile kanser içeren proteinlerin derin öğrenme mimarisi ile analizi yapılarak, protein haritalama yöntemlerinin başarımları kıyaslanmıştır.
- Kullanılan protein haritalama tekniklerinin kanser içeren proteinleri belirlemede etkili bir role sahip olduğu gözlemlenmiştir.
- Derin öğrenme algoritmasının kullanılmasıyla hem bu alanda hem de diğer biyoenformatik alanındaki başarımları pekiştirilmiştir.

Çalışmanın diğer kısımları şu şekilde organize edilmiştir. İkinci kısımda bu alanda yapılmış olan diğer çalışmalar irdelenmiş ve kullanılan yöntem, veri seti ve başarımlar ölçütleri hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü kısımda bu çalışmada kullanılan veri setinden bahsedilerek, değerlendirilen protein haritalama yöntemleri ele alınmıştır. Dördüncü kısımda tasarlanan tekrarlayıcı sinir ağından bahsedilmiş ve parametreleri liste halinde verilmiştir. Ayrıca bu kısımda protein haritalama yöntemlerinin başarımlar ölçütleri hesaplanarak kıyaslama işlemi de gerçekleştirilmiştir. Bunlara ek olarak bu kısımda çalışmanın sonuçları irdelenmiş ve tartışma yapılarak avantaj ve dezavantajlardan bahsedilmiştir. Son kısımda ise çalışmanın etkisi, literatüre katkısı ve gelecek çalışmalar üzerinde durulmuştur.

2. İlgili Çalışmalar

Bu kısımda literatürde kanser içeren proteinlerin sınıflandırılmasına yönelik gerçekleştirilen yapay öğrenmeye dayalı çalışmalardan bahsedilmiştir. Belirli çalışmalar incelenmiş, kullanılan yapay öğrenme, protein haritalama ve veriler hakkında bilgiler verilmiş ve çalışmaların başarımlar ölçütleri ele alınmıştır. [1] numaralı çalışmada, araştırmacılar on iki farklı türdeki kanser tipini genom bilgisi ve derin öğrenme modeli kullanarak tanımlamışlardır. Çalışmada kanser türlerini belirleyebilmek için genom üzerindeki nokta mutasyonlardan yararlanılmışlardır. Araştırmacılar sağlıklı örnekleri IGSR (The International Genome Sample Resource) veri setinden elde ederken, tümör içeren örnekleri ise TCGA (The Cancer Genome Atlas) veri setinden toplamışlardır. Çalışmada mesane, göğüs, kolon, beyin tümörü, böbrek, gliyom, akciğer, yumurtalık, prostat, mide, pankreas ve rahim kanserleri üzerinde durulmuştur. Toplamda 1.991 adet sağlıklı veri kullanılırken, 6.083 adet kanser içeren proteinler değerlendirilmiştir. Derin öğrenme modeli olarak ise derin sinir ağı tasarlanmıştır. Protein dizilimleri bir-sıcak yöntemi ile sayısallaştırılmış ve sınıflandırılmaya hazır hale getirilmiştir. Çalışmanın sonunda ortalama %87.42 oranında doğruluk elde edilmiştir. Başka bir çalışmada araştırmacılar protein-protein etkileşimlerine dayanarak kanserle ilişkili genlerin karşılaştırmalı analizini yapmışlardır [15]. Çalışmada mesane, kolon, böbrek ve tiroit kanserlerine ait veriler kullanılmıştır. Mesane için 3.704 adet farklı gen ifadeleri kullanılırken, 2.081 adet protein etkileşimi ele alınmıştır. Kolon kanseri için 3.515 adet farklı gen ifadesi ve 1.944 adet protein etkileşim verisi kullanılmıştır. Bu oran böbrek kanseri ve tiroit kanseri için azalmış ve sırasıyla 1.257 ve 1.380 adet farklı gen ifadesi değerlendirilmiştir. Protein etkileşimi için ise sırasıyla 728 ve 715 adet veri kullanılmıştır. Farklı gen ifadeleri GEO (Gene Expression Omnibus) veri setinden elde edilmiştir. Proteinlere ait etkileşimler ise DIP (Database of Interaction Proteins), IntAct, BIND (Biomolecular Interaction Network Database), HPRD (Human Protein Reference Database) ve MINT (Molecular Interaction Database) veri setlerinden toplanmıştır. Çalışmanın sonunda önerilen yöntemin etkili olduğu belirlenmiştir. [16] numaralı çalışmada araştırmacılar kanser içeren proteinleri belirleyebilmek için protein etkileşimlerinden, alan frekansından ve alan etkileşim verilerinden yararlanılmışlardır. Çalışmanın ilk aşamasında kanser içeren proteinler çeşitli veri setlerinden elde edilmiştir. Bu amaç için kullanılan veri setleri TAG (Tumor Associated Gene), MSKCC (Memorial Sloan-Kettering Cancer Center), Tayvan Yang Ming Üniversitesi, OMIM (Online Mendelian Inheritance in Man) ve HLungDB (Human Lung Database)'dir. Bunun yanı sıra protein etkileşim verileri ise BioGrid ve Swiss-Prot veri setlerinden elde edilmiştir. Sınıflandırma işlemi için çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmış ve başarımları doğruluk, belirlilik, hassasiyet, F1-skor, AUC gibi başarımlar ölçütleri ile belirlenmiştir. En iyi başarımlar akciğer kanseri ile elde edilmiş ve %89.4 oranında doğruluk hesaplanmıştır. [17] numaralı çalışmada evrimsel sinir ağı kullanılarak akciğer kanserine neden olan proteinlerin sınıflandırılması yapılmış ve bu amaç için protein etkileşim ağından ve gen ifadesi bilgilerinden yararlanılmıştır. Çalışmada protein etkileşim verileri HINT (The Homologous Interactions) veri setinden elde edilmiş ve toplamda 47.358 adet protein etkileşim verileri kullanılmıştır. Gen ifadesi bilgisi ise GEO veri seti aracılığı ile toplanmış ve sadece akciğer kanserine neden olan proteinler değerlendirilmiştir. Bu veri seti ile 152 adet kanser içermeyen ve 487 adet kanser içeren örnekler kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemi için evrimsel sinir ağı tasarlanmış ve sınıflandırıcının başarımlar doğruluk, kesinlik, özgüllük ve duyarlılık ölçütleri ile belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda %83.15 oranında doğruluk değeri elde edilmiştir.

[18] numaralı çalışmada makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak, protein özelliklerine dayalı akciğer tümörü türlerinin tahmini yapılmıştır. Akciğer tümörüne neden olan üç farklı tümör türü üzerinde durulmuş ve bu tümör türlerine ait proteinler kullanılmıştır. Çalışmada sınıflandırıcı olarak DVM (Destek Vektör Makineleri) kullanılmış ve farklı parametreler üzerinden sınıflandırıcının performansı kıyaslanmıştır. Performanslar Kappa değeri ve doğruluk ile belirlenmiş ve en iyi sonuçlar doğrusal DVM ile elde edilmiştir. Bu sınıflandırıcı ile en yüksek %67.42 oranında doğruluk ve %40.85 oranında Kappa değeri elde edilmiştir. [35] numaralı çalışmada araştırmacılar derin öğrenme kullanarak gen ifadelerine dayalı kanser sınıflandırması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada otuz iki farklı kanser türüne ait gen ifadeleri elde edilmiş ve toplamda çalışma için 10.267 adet gen dizilimi kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemi için araştırmacılar iki-boyutlu evrimsel sinir ağı geliştirmişlerdir.

Önerilen derin öğrenme modelinin başarımlarını kesinlik, hassaslık, doğruluk ve F1-skor ile belirlenmiştir. Bunlara ek olarak ise RO (Rastgele Orman), DVM, kNN (k En Yakın Komşu) sınıflandırıcıları ile de karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda en yüksek doğruluk skoru önerilen yöntem ile elde edilmiş ve %95.65 oranında bir değer hesaplanmıştır. Başka bir çalışmada ise derin öğrenme modeli ile kanser moleküllerinin alt tipleri sınıflandırılmıştır [36]. Çalışmada sadece kolorektal kanserine ait veriler kullanılmış ve bu kansere ait mikro dizi ve RNA dizilimleri sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Ardından dizilimler GSEA (Gene Set Enrichment Analysis – Gen Kümesi Zenginleştirme Analizi) uygulaması ile analiz edilerek, bu dizilimlerin fonksiyonel spektrum özellikleri elde edilmiştir. Daha sonra bu özellikler YSA (Yapay Sinir Ağları) modeli geliştirilerek sınıflandırılmış ve kolorektal kanserine ait moleküllerin alt tipleri belirlenmiştir. Çalışmanın son kısmında ise geliştirilmiş olan YSA modeli RO, DVM ve doğrusal regresyon sınıflandırıcıları ile de kıyaslanmıştır. Önerilen YSA sınıflandırıcısının performansı doğruluk, ortalama hassaslık ve ortalama özgüllük değerleri ile belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda yaklaşık %92 oranında bir doğruluk sonucu elde edilmiştir.

[37] numaralı çalışmada araştırmacılar meme tümörü morfolojisini ve gen ifadelerini kullanarak sınıflandırma yapmışlar ve bunun için derin öğrenme modeli kullanmışlardır. Çalışmada toplamda yirmi üç kanser hastasından 30.612 adet gen ifadesi elde edilmiş ve bu genlerin ayrımı yapılmıştır. Gen ifadeleri görüntüleme dönüştürülmüş ve 224x224 boyutunda görüntüler elde edilmiştir. Ardından evrimsel sinir ağları modeli tasarlanmış ve gen ifadelerinin sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntemin performansı korelasyon ölçütü ile belirlenmiş ve %48 oranında bir başarımlar elde edilmiştir. Başka bir çalışmada ise araştırmacılar yüksek-boyutlu genomik verileri kullanarak alt kanser türlerinin teşhisini derin öğrenme yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir [38]. Çalışmada meme kanserine yönelik bir uygulama gerçekleştirilmiştir. 1989 adet kanserli ve 144 adet normal dokular kullanılarak toplamda 25.160 adet gen elde edilmiştir. Gen ifadeleri PAM250 matrisi kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Sınıflandırma işlemi için YSA modeli tasarlanmış ve önerilen modelin performansı doğruluk skoru ile ölçülmüştür. Çalışmanın sonunda önerilen yöntem ile ortalama %96.5 oranında bir başarımlar elde edilmiştir.

3. Materyal ve Yöntemler

3.1. Protein verileri

Bu kısımda kullanılan protein verileri ve protein haritalama teknikleri ele alınmıştır. Çalışmada mesane, kolon ve prostat kanserine neden olan proteinler kullanılmıştır. Bu proteinlere ait genel bilgiler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı kanser türleri için belirlenmiş olan normal ve hastalıklı dokuların gen serileri

Kanser Türü	Gen Serisi	Normal Gen Bilgileri	Hastalıklı Gen Bilgileri
Mesane	GSE746	GSM180991, GSM180992, GSM180993	GSM180994, GSM180995, GSM180996, GSM180997, GSM180998, GSM180999, GSM181000, GSM181001, GSM181002
Kolon	GSE4107	GSM93938, GSM93939, GSM93941, GSM93943, GSM93944, GSM93946, GSM93948, GSM93950, GSM93952, GSM93954	GSM93789, GSM93920, GSM93921, GSM93922, GSM93923, GSM93924, GSM93925, GSM93926, GSM93927, GSM93928, GSM93929, GSM93932
Prostat	GSE3325	GSM74875, GSM74876, GSM74877, GSM74878, GSM74879, GSM74880	GSM74881, GSM74882, GSM74883, GSM74884, GSM74885, GSM74886, GSM74887, GSM74888, GSM74889, GSM74890, GSM74891, GSM74892, GSM74893

Tablo 2’de her bir kanser türü için verilen gen serileri mikroçipler üzerinde bulunan serilerdir. Bu serilerin ham bir şekilde kullanılması mümkün değildir. Bunun en büyük nedeni mikroçip üzerinde bulunan bu seriler protein dizilimleri içermemektedir. Her bir seri çeşitli gen ifadelerinden oluşmaktadır. Örnek verilecek olursa kolon kanserinin gen serisi GSE4107’dir. Bu seriye ait toplamda 10 adet normal gen bilgisi bulunurken, 12 adet hastalıklı gen bilgisi bulunmaktadır. Gen bilgileri de tıpkı gen serileri gibi mikroçipler üzerinde saklanır ve erişilebilir bir protein dizilimleri bulunmamaktadır. Bu gen bilgilerinde protein dizilimlerini ifade edebilmek için, gen bilgilerinin farklı gen ifadeleri ile analiz edilmesi gerekmektedir. Her bir gen serisinin farklı gen ifadelerini elde edebilmek için çalışmada GEO2R (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/geo/geo2r/>) programı kullanılmıştır. Tablo 3’te her bir kansere ait gen serisinin farklı gen ifadeleri sayısı verilmiştir.

Tablo 3. Mesane, kolon ve prostat kanserine ait farklı gen ifadeleri

Kanser Türü	Farklı Gen İfadeleri (Normal)	Farklı Gen İfadeleri (Hastalık)	Toplam Farklı Gen İfadeleri
Mesane	41.960	944	42.904
Kolon	16.257	26.114	42.641
Prostat	18.283	24.621	42.904

Tablo 3'ten de anlaşıldığı üzere, mesane kanseri için toplamda 42.904 adet, kolon kanseri için 42.641 adet ve prostat kanseri için ise 42.904 adet farklı gen ifadesi belirlenmiştir. Farklı gen ifadelerinin sayısı her bir kanser türü için aynı olmadığından, veri seti dengesiz bir durumdur. Veri setinin dengeli olabilmesi için tüm kanser türleri için farklı gen ifadesi sayısı 944'e kadar indirilmiştir. İfadelerin bu değere indirilmesinin nedeni en düşük gen ifadesi değerinin 944 olmasıdır. Bu sayede her bir kanser türü için eşit sayıda farklı gen ifadeleri kullanılmıştır. Ardından bu farklı gen ifadelerinin protein dizilimleri elde edilmiş ve çalışmada kullanılmıştır. Protein dizilimleri UniProt (<https://www.uniprot.org/>) veri setinden elde edilmiştir.

3.2. Protein haritalama yöntemleri

Protein dizilimlerinin yapay öğrenme teknikleri ile analiz edilebilmesi için dizilimlerin haritalanması gerekmektedir. Bu amaç için literatürde çeşitli sayıda yöntemler bulunmaktadır [34]. Bu çalışmada da belirli protein haritalama teknikleri kullanılmış ve proteinler sayısal ifadelerle dönüştürülmüştür. Bu kısımda kullanılan protein haritalama teknikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

3.2.1. AESNN1 protein haritalama yöntemi

Bu protein haritalama yönteminde, proteinlere ait sayısal ifadeler, proteinlerin yapı bilgilerinden elde edilmiştir [20]. Her bir amino asit tipi 1 boyutlu vektör ile ifade edilmektedir. AESNN1 haritalama yöntemi makine öğrenmesi tabanlı bir yöntemdir. Tablo 4'te AESNN1 protein haritalama yönteminin sayısal değerleri verilmiştir.

Tablo 4. Amino asitlerin AESNN1 değerleri

Amino Asit Kodu	Sayısal İfade	Amino Asit Kodu	Sayısal İfade
A	-0.99	L	-0.92
R	0.28	K	-0.63
N	0.77	M	-0.80
D	0.74	F	0.87
C	0.34	P	-0.99
Q	0.12	S	0.99
E	0.59	T	0.42
G	-0.79	W	-0.13
H	0.08	Y	0.59
I	-0.77	V	-0.99

Tablo 4'teki değerlere göre $S(n) = [ALKRNM]$ şeklinde bir protein dizisi $S(n) = [-0.99 - 0.92 - 0.63 0.28 0.77 - 0.80]$ biçiminde ifade edilir.

3.2.2. Hidrofobiklik protein haritalama yöntemi

Hidrofobiklik protein haritalama yönteminde, amino asit dizilimleri proteinlerin kimyasal bilgilerine dayanarak sayısallaştırılmaktadır [21]. Protein dizilimlerinin polipeptit zincirlerindeki hidrofobik ve hidrofobik özelliklerinden yararlanılmaktadır. Bundan dolayı fizikokimyasal-tabanlı bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Tablo 5'te hidrofobiklik protein haritalama yönteminin sayısal değerleri verilmiştir.

Tablo 5. Amino asitlerin hidrofobiklik değerleri

Amino Asit Kodu	Sayısal İfade	Amino Asit Kodu	Sayısal İfade
A	1.8	L	3.8
R	-4.5	K	-3.9
N	-3.5	M	1.9
D	-3.5	F	2.8
C	2.5	P	-1.6
Q	-3.5	S	-0.8
E	-3.5	T	-0.7
G	-0.4	W	-0.9
H	-3.2	Y	-1.3
I	4.5	V	4.2

Tablo 5'teki değerlere göre $S(n) = [ALKRNM]$ şeklinde bir protein dizisi $S(n) = [1.8 \ 3.8 - 3.9 - 4.5 - 3.5 \ 1.9]$ biçiminde ifade edilir.

3.2.3. Tam sayı protein haritalama yöntemi

Karakter tabanlı bir protein haritalama yöntemidir. Belirli bir protein bilgisine ihtiyaç duyulmamaktadır. Amino asit kodları alfabetik sıraya göre yerleştirilir ve ilk sırada bulunan amino asit değerine 1 verilir ve bu değer amino asit kodlarının sırasına göre bir bir arttırılarak devam edilir. Tablo 6'da tam sayı protein haritalama yönteminin sayısal değerleri verilmiştir.

Tablo 6. Amino asitlerin tam sayı değerleri

Amino Asit Kodu	Sayısal İfade	Amino Asit Kodu	Sayısal İfade
A	1	L	11
R	2	K	12
N	3	M	13
D	4	F	14
C	5	P	15
Q	6	S	16
E	7	T	17
G	8	W	18
H	9	Y	19
I	10	V	20

Tablo 6'daki değerlere göre $S(n) = [ALKRNM]$ şeklinde bir protein dizisi $S(n) = [1 \ 11 \ 12 \ 2 \ 3 \ 13]$ biçiminde ifade edilir.

3.2.4. Miyazawa enerjileri protein haritalama yöntemi

Miyazawa enerjileri yapı-tabanlı bir protein haritalama yöntemi olup, protein dizilimlerindeki kalıntılar arasındaki enerjileri belirlemek için önerilmiştir [22]. Bu yöntemde protein dizilimlerindeki temas enerjileri regresyon katsayıları ile elde edilmiştir. Temas enerjilerinin hesaplanmasından sonra protein dizilimlerinin doğrulama enerji değerleri dikkate alınmıştır. Tablo 7'de amino asit kodlarının Miyazawa enerji değerleri verilmiştir.

Tablo 7. Amino asitlerin Miyazawa enerji değerleri

Amino Asit Kodu	Sayısal İfade	Amino Asit Kodu	Sayısal İfade
A	-2.51	L	-5.79
R	-1.39	K	0.13
N	-1.59	M	-6.06
D	-0.96	F	-6.85
C	-5.44	P	-0.18
Q	-0.89	S	-1.48
E	-1.18	T	-1.72
G	-2.17	W	-5.42
H	-2.78	Y	-3.55
I	-6.22	V	-4.94

Tablo 7'deki değerlere göre $S(n) = [ALKRNM]$ şeklinde bir protein dizisi $S(n) = [-2.51 - 5.79 0.13 - 1.39 - 1.59 - 6.06]$ biçiminde ifade edilir.

3.2.5. Rastgele kodlama protein haritalama yöntemi

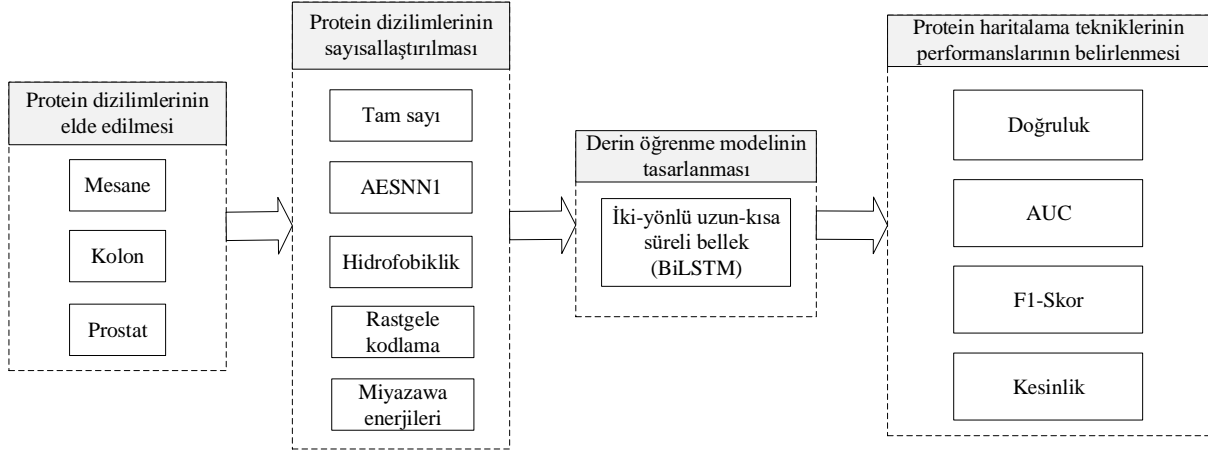
Rastgele kodlama protein haritalama yönteminde, amino asit dizilimlerine rastgele sayılar verilmektedir. Tıpkı tam sayı protein haritalama tekniğinde olduğu gibi belirli bir bilgiye ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu çalışmada 1'den 20'ye kadar olan sayılar belirlenmiş ve bu sayılar amino asit kodlarına rastgele bir şekilde atanmıştır. Tablo 8'de amino asit kodlarına atanmış rastgele sayılar verilmiştir.

Tablo 8. Amino asitlerin rastgele kodlama değerleri

Amino Asit Kodu	Sayısal İfade	Amino Asit Kodu	Sayısal İfade
A	9	L	11
R	7	K	4
N	15	M	12
D	6	F	17
C	19	P	14
Q	5	S	3
E	18	T	8
G	3	W	20
H	1	Y	13
I	10	V	2

Tablo 8'deki değerlere göre $S(n) = [ALKRNM]$ şeklinde bir protein dizisi $S(n) = [9 11 4 7 15 12]$ biçiminde ifade edilir.

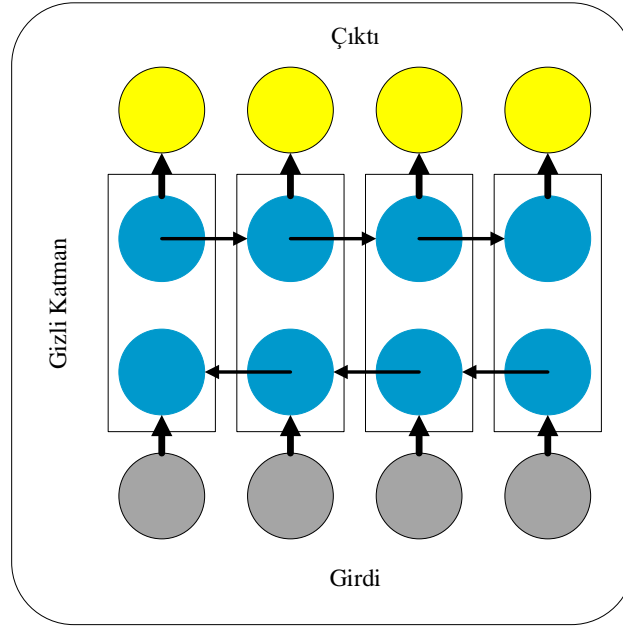
Protein dizilimleri sayısallaştırıldıktan sonra tekrarlayıcı sinir ağı modeli ile sınıflandırılmış ve kanserli genler tahmin edilmiştir. Tahmin işleminin ardından protein haritalama tekniklerinin başarımları doğruluk, F1-skor, kesinlik ve AUC değerlendirme ölçütleri ile belirlenmiştir. Şekil 1'de çalışmanın akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın akış diyagramı

4. Uygulama Sonuçları ve Tartışma

Bu kısımda çalışmada kullanılan çift-yönlü uzun-kısa süreli bellek ve parametreleri hakkında bilgiler verilmiştir. Bunlara ek olarak uygulama sonuçları irdelenmiş ve protein haritalama tekniklerinin kıyaslaması yapılarak tartışılmıştır. Derin öğrenme bir makine öğrenmesi türü olup, günümüzde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Günümüzde popüler olmasının en büyük nedenlerinden birisi verilerin artık daha hızlı ve kolay bir şekilde elde edilebilmesi ve bu verileri analiz edebilecek donanım ihtiyaçlarının karşılanabilmesidir [23]. Bunlara ek olarak karmaşık ve büyük veri setlerinde başarılı olması da bu anlamda bir etken olmaktadır. Derin öğrenmenin makine öğrenmesine göre en büyük avantajı özellik çıkarım aşamasındaki işlemlerdir. Makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımlarda anahtar özellikler el ile çıkarılırken, derin öğrenmede adaptif bir yaklaşım bulunmaktadır [24]. Veri sayısının çok olması ya da veri setinin karmaşık olması özelliklerin el ile çıkarılmasını zorlaştırmakta ve hatta zaman almaktadır [25]. Bu gibi avantajlar derin öğrenmenin hemen hemen her alanda kullanılmasını sağlamıştır. Derin öğrenme ile biyomedikal [26,27], biyoenformatik [28], nesne tanıma [29], robotik [30], enerji [31] alanlarda çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada da derin öğrenme modellerinden birisi olan tekrarlayıcı sinir ağları kullanılmış ve çift-yönlü uzun-kısa süreli bellek (BiLSTM) ağı tasarlanmıştır. Uzun-kısa süreli bellek daha çok zaman ve metin serisi gibi seriler olmak üzere sıralı yapılarda etkili olmaktadır [32]. Uzun-kısa süreli bellek yapısında geçmişten gelen bilgiler kullanılmaktadır. Çift-yönlü uzun-kısa süreli bellek ise aynı anda iki uzun-kısa süreli belleğin eğitilmesi mantığına dayanmaktadır. Bu yapı sayesinde derin öğrenme ağı sadece geçmişteki bilgileri değil gelecek hakkında bilgileri de bünyesinde tutmaktadır. BiLSTM mimarisinde ileri ve geri yöndeki hesaplamalar aynı anda çalıştırılır ve iki yönde de yapılan hesaplamalar sonucu ulaşılan bilgiler birleştirilerek çıktı elde edilir. Bu nedenden dolayı iki yöndeki bilgilerin kullanılması sıralı verilerin ve zaman serilerinin işlenmesinde avantaj sağlamaktadır. İki adet LSTM ünitesinden oluşmaktadır. Bunlardan bir tanesi girdiyi alıp ileriye doğru işlerken, diğeri ise geriye doğru bilgiyi işlemektedir. Şekil 2'de BiLSTM mimarisinin genel bir yapısı verilmiştir.

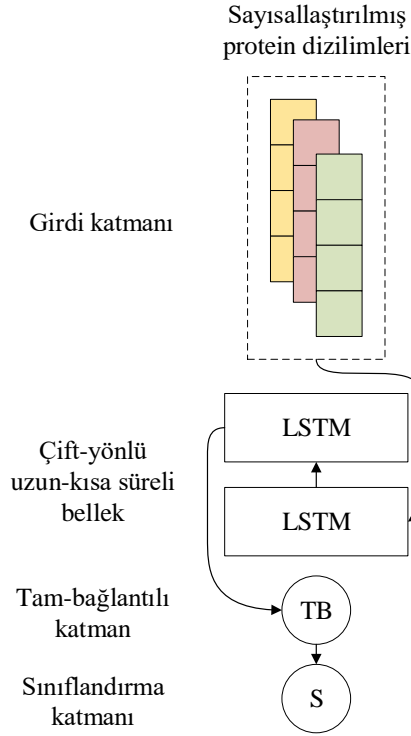


Şekil 2. BiLSTM yapısı

Bu çalışmada tasarlanmış olan BiLSTM ağının parametreleri şu şekilde özetlenebilir;

- Girdi katmanında her bir protein haritalama tekniği ile sayısallaştırılmış olan protein dizilimleri kullanılmıştır.
- İkinci katmanda BiLSTM kullanılmış ve bu amaç için 32 adet ünite değerlendirilmiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak SELU kullanılmıştır.
- Ardından çıktılar düzleştirme işlemine tabi tutulmuş ve veriler 1-boyutlu hale getirilmiştir.
- Daha sonra tüm verilerin aynı aralıkta olmasını sağlayabilmek için normalleştirme işlemi yapılmış ve yığın normalleştirilmesi kullanılmıştır.
- Son olarak bir adet tam-bağlantılı katman kullanılmış ve bu kısım için 128 adet nöron ele alınmıştır.
- Son katmanda ise sınıflandırma yapılmış ve toplamda her bir kanser türü için 2 adet durum (hastalıklı ve normal) olduğu için bu katmanda 2 adet nöron kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak ise Softmax hesaplamasından yararlanılmıştır.
- Modelin kaybını belirleyebilmek için kategorik çapraz-entropi kullanılmıştır.
- En iyileme işlemi için SGD (Stokastik Gradyan İnişi) kullanılmıştır.
- Eğitim işlemi 250 iterasyon ile yapılmıştır.
- Modeli test etmek için ise eğitim ve test verileri ayrılmıştır. Eğitmek için tüm verilerin %80'i kullanılmış ve geri kalan %20'si ile de test işlemi yapılmıştır.
- Çalışmada belirlenmiş olan bütün parametreler deneme-yanılma yaklaşımı ile belirlenmiş ve en iyi sonuçları veren parametreler değerlendirilmiştir.

Şekil 3'te tasarlanmış olan BiLSTM ağ yapısı verilmiştir.



Şekil 3. Tasarlanan BiLSTM ağı

Sınıflandırma işleminin ardından protein haritalama fonksiyonlarının başarımları doğruluk, F1-skor, kesinlik ve AUC skorları ile belirlenmiştir. Tablo 9-11 arasında mesane, kolon ve prostat kanserine ait sınıflandırma işleminin her bir protein haritalama tekniğine göre sonuçları verilmiştir.

Tablo 9. Mesane kanserine göre protein haritalama tekniklerinin başarımlar ölçütleri

Protein Haritalama Yöntemleri	Mesane			
	Doğruluk (%)	AUC (%)	F1-Skor (%)	Kesinlik (%)
AESNN1	87.15	86	87.08	87.25
Hidrofobiklik	82.31	84	81.89	82.15
Tam sayı	83.84	84	83.95	84.02
Miyazawa Enerjileri	78.57	79	78.46	78.72
Rastgele kodlama	75.93	76	76.15	76.18

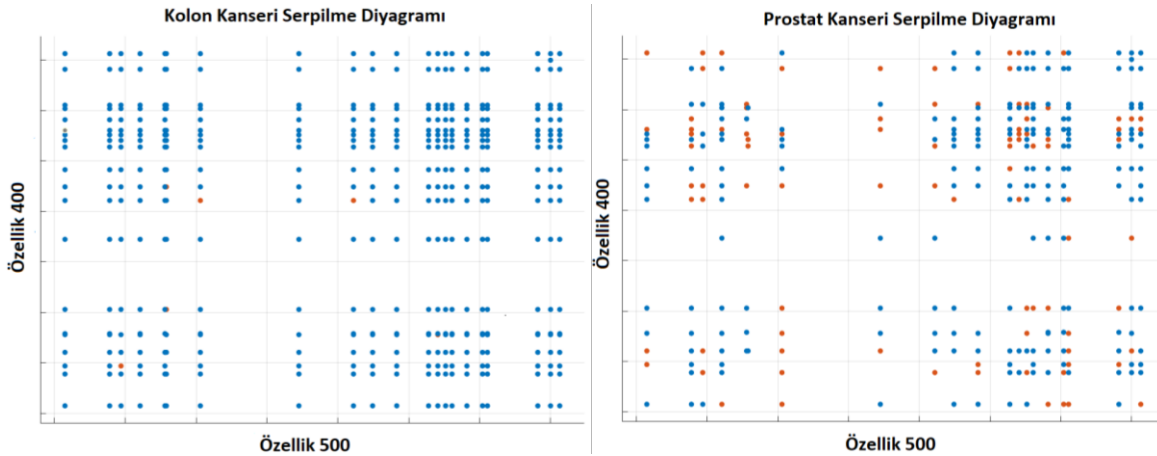
Tablo 10. Kolon kanserine göre protein haritalama tekniklerinin başarımlar ölçütleri

Protein Haritalama Yöntemleri	Kolon			
	Doğruluk(%)	AUC(%)	F1-Skor(%)	Kesinlik(%)
AESNN1	92.45	95	92.46	92.43
Hidrofobiklik	94.35	97	94.39	94.35
Tam sayı	93.13	99	93.06	93.12
Miyazawa Enerjileri	94.40	95	94.39	94.41
Rastgele kodlama	91.87	93	91.90	91.87

Tablo 11. Prostat kanserine göre protein haritalama tekniklerinin başarımlar ölçütleri

Protein Haritalama Yöntemleri	Prostat			
	Doğruluk(%)	AUC(%)	F1-Skor(%)	Kesinlik(%)
AESNN1	75.17	0.72	75.00	75.10
Hidrofobiklik	75.26	0.81	75.12	75.23
Tam sayı	75.45	0.70	75.46	75.28
Miyazawa Enerjileri	75.15	0.74	75.17	75.21
Rastgele kodlama	75.45	0.78	75.70	75.48

Tablo 9-11'deki sonuçlar incelendiğinde en iyi sonuçların kolon kanserinin sınıflandırılmasından elde edildiği görülmektedir. Tüm protein haritalama yöntemleri %90'ın üzerinde bir doğruluk, AUC, F1-skor ve kesinlik performansı göstermiştir. En iyi doğruluk skoru kolon kanseri için Miyazawa enerjileri ile elde edilmiş ve %94.40 oranında doğruluğa ulaşılmıştır. Ancak, en iyi AUC skoru ise tam sayı protein haritalama yöntemi ile elde edilmiş ve %99 oranında bir değer elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, en başarısız olan protein haritalama yöntemi rastgele kodlamadır. Bu yöntem ile en düşük doğruluk ve AUC skorları elde edilmiştir. Sonuçlar genel olarak incelendiğinde ikinci en iyi sonuçlar mesane kanseri için elde edilmiştir. Kolon kanserindeki sonuçların aksine, mesane kanserinin sınıflandırılmasında en başarılı yöntemin AESNN1 olduğu görülmektedir. Bu yöntem ile %87.15 oranında doğruluk ve %86 oranında AUC skoru elde edilmiştir. Tıpkı kolon kanserinde olduğu gibi, en etkisiz sınıflandırma işlemi rastgele kodlama yöntemi yapmış ve sırasıyla %75.93 ve %76 oranında doğruluk ve AUC skoruna ulaşmıştır. Kolon ve mesane kanserinin aksine, en kötü başarımlar prostat kanserinde elde edilmiştir. Bu kanser türünde tüm protein haritalama teknikleri etkisiz olmuştur. Prostat kanserinin sınıflandırılmasında en başarılı olan yöntemler tam sayı ve rastgele yöntemleridir. Bu yöntemlerin doğruluk skoru %75.45 olarak hesaplanmıştır. En iyi AUC skoru ise hidrofobiklik yöntemi ile elde edilmiştir. Mesane kanserinin ayırımında en iyi sonucun AESNN1 yöntemi ile elde edilmesinin nedeni bu yöntemin hem makine öğrenmesi hem de yapısal tabanlı olmasından kaynaklanıyor olabilir. Çünkü mesane kanserinin, proteinlerin yapısı ile bağlantılı olduğu bilinmektedir [33]. Miyazawa enerjileri de yapısal-tabanlı bir yöntem olup AESNN1 kadar başarılı olmamıştır. Bu durumun nedeni, bu yöntemin yapısal bilgiden ziyade protein dizilimindeki temas enerjilerinden bilgi elde ediyor olması olabilir. Kolon kanseri için bütün proteinler başarılı sonuçlar üretmiş ve tüm yöntemler %90'ın üzerinde doğruluk ve AUC skorlarına ulaşmıştır. Bunun tam tersi bir çıkarım prostat için yapılabilir. Prostat kanserinin ayırımında tüm yöntemlerin etkisiz ve doğruluk skorlarının %80'in altında olduğu görülmektedir. En başarılı sonuçların kolon kanserinden ve en başarısız sonuçların prostat kanserinden elde edilmesinin nedeni verilerin dağılımdan kaynaklanıyor olabilir. Şekil 4'te kolon ve prostat kanserinin veri dağılımını gösteren serpilme diyagramı verilmiştir.

**Şekil 4.** Kolon ve prostat kanserinin serpilme diyagramları (mavi noktalar kontrol sınıfını ifade ederken, turuncu noktalar hastalıklı sınıfı ifade etmektedir)

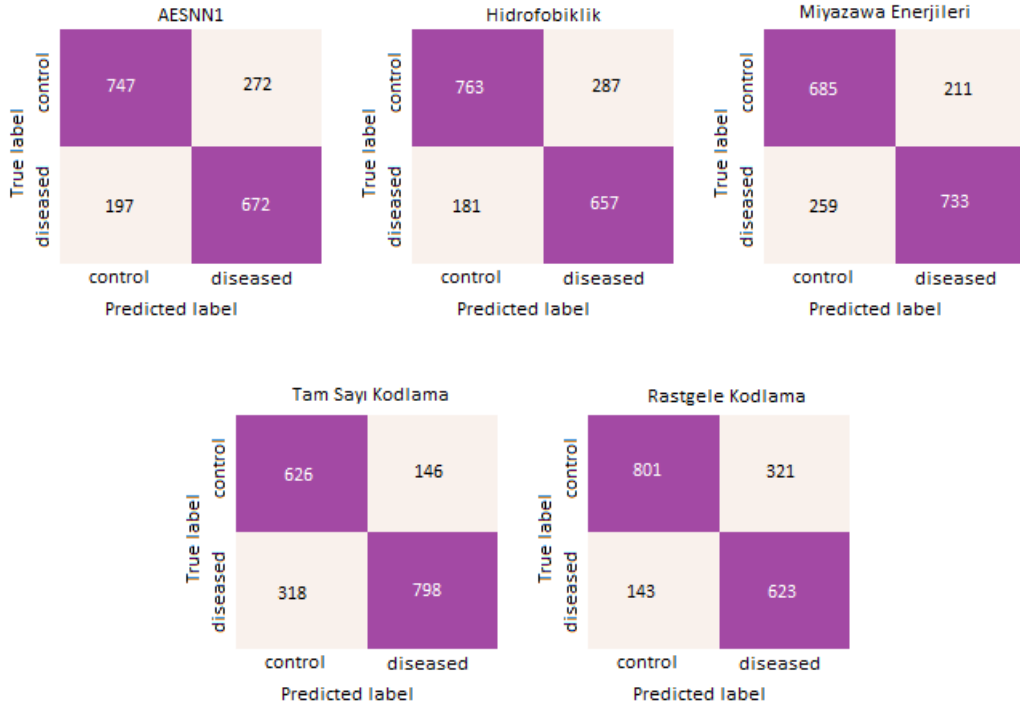
Şekil 4'ten de anlaşılacağı üzere kolon kanserinin dağılımı prostat kanserinin veri dağılımına göre daha ayrıktır. Bu da sınıflandırma işleminin daha yüksek olmasına ve sınıflar arasındaki ayrımın daha net yapılabilmesini sağlamaktadır. Tablo 9'da verilen genel sonuçlar bu durumu onaylamaktadır. Şekil 5-7'de protein haritalama tekniklerinin her bir kanser türü için göstermiş olduğu karmaşıklık matris değerleri verilmiştir.



Şekil 5: Mesane kanserine göre protein haritalama tekniklerinin karmaşıklık matrisleri

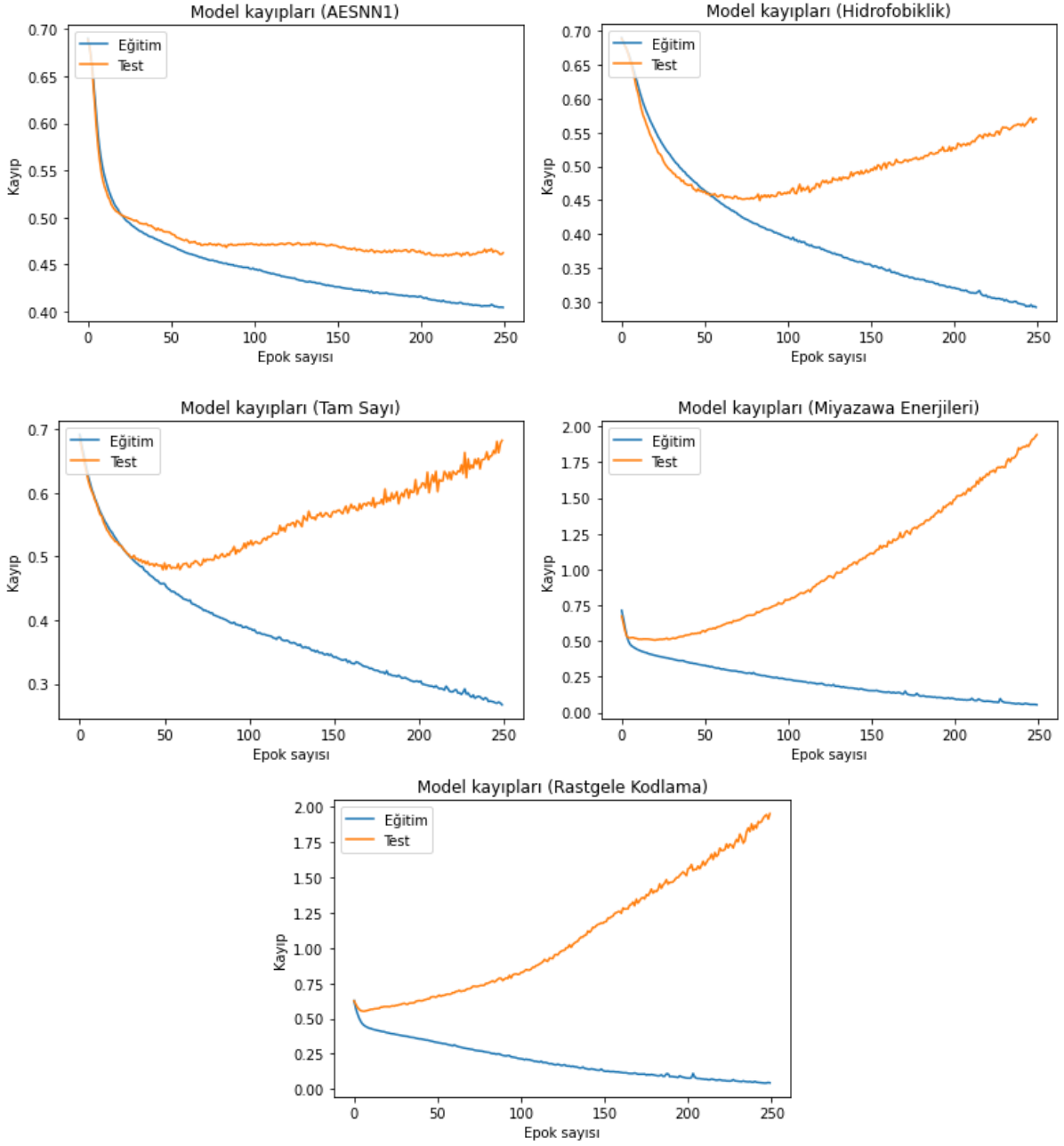


Şekil 6: Kolon kanserine göre protein haritalama tekniklerinin karmaşıklık matrisleri

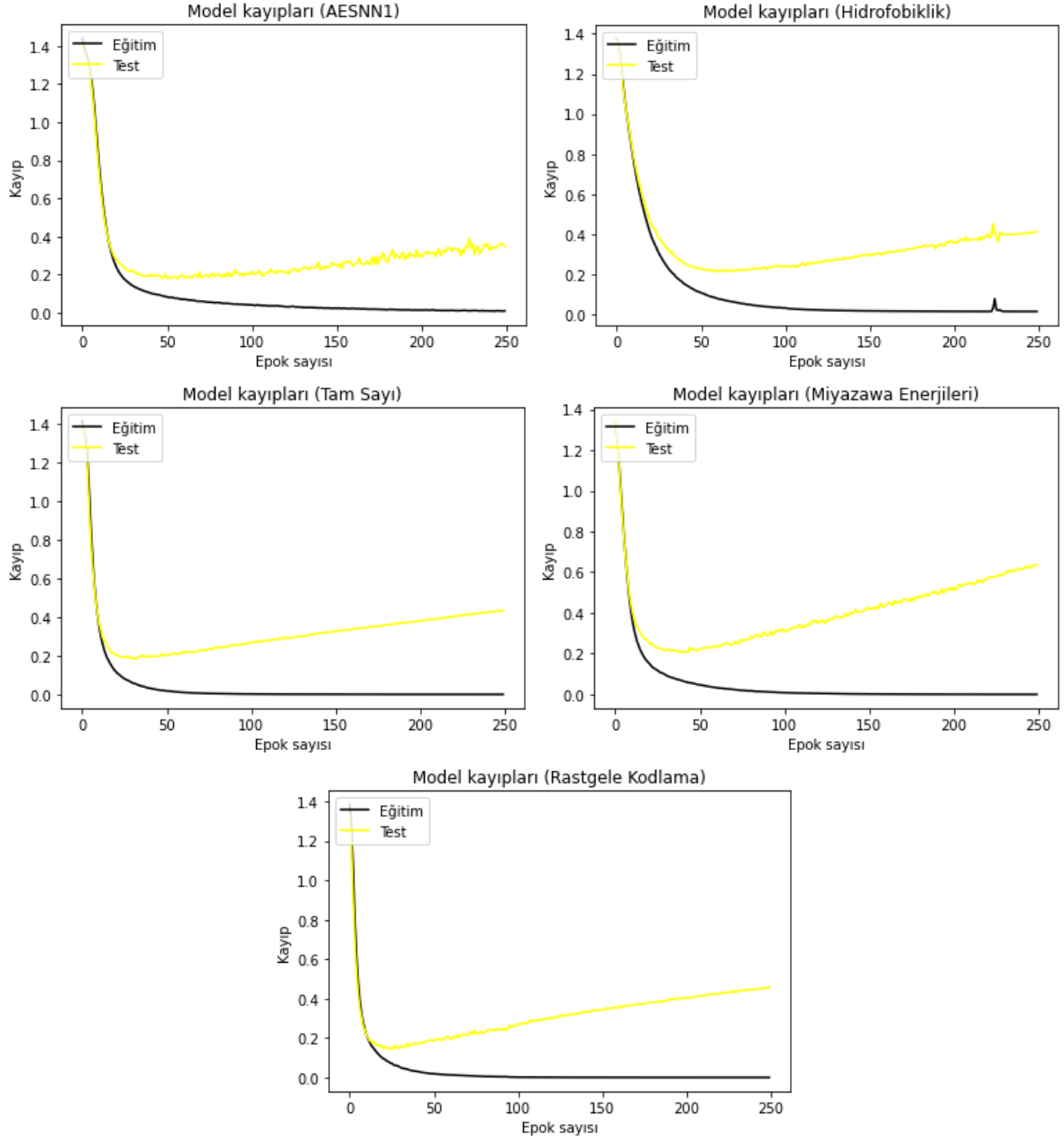


Şekil 7: Prostat kanserine göre protein haritalama tekniklerinin karmaşıklık matrisleri

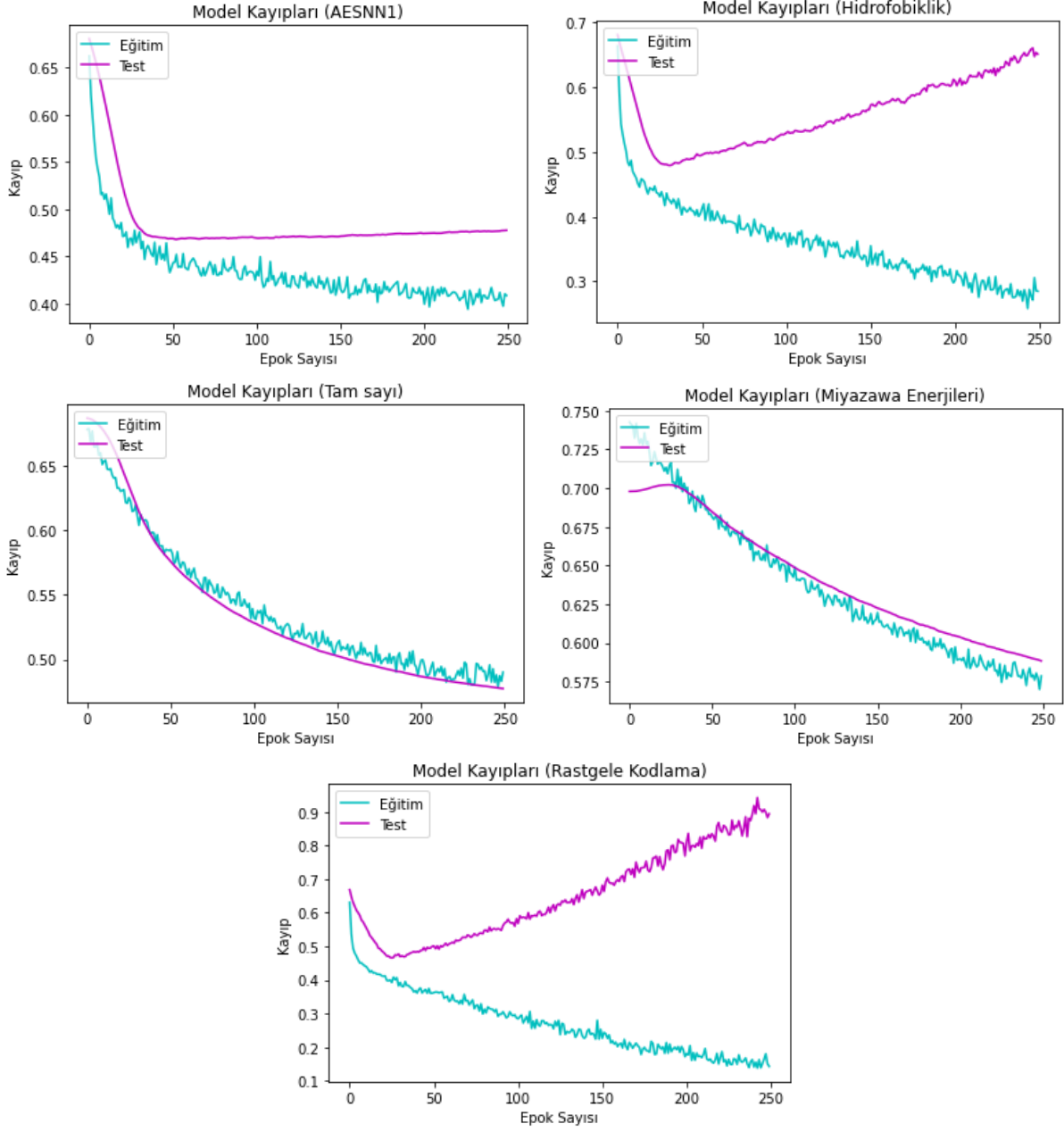
Şekil 8-10'da protein haritalama tekniklerinin kanser türleri için göstermiş olduğu eğitim ve test kayıpları verilmiştir.



Şekil 8: Mesane kanserine göre protein haritalama tekniklerinin kayıp grafikleri



Şekil 9: Kolon kanserine göre protein haritalama tekniklerinin kayıp grafikleri



Şekil 10: Prostat kanserine göre protein haritalama tekniklerinin kayıp grafikleri

Çalışmanın avantajları şu şekilde ifade edilebilir;

- Bu çalışma ile protein haritalama tekniklerinin kanser içeren proteinleri belirlemede başarılı olduğu gözlemlenmiştir.
- Uygulama sonuçlarına göre hesaplama tabanlı yaklaşımların bu alanda kullanılabileceği belirlenmiştir. Literatürde bulunan mevcut çalışmalar bu sonucu desteklemektedir.
- Protein haritalama tekniklerine ek olarak, derin öğrenme algoritmalarının çoğu biyoenformatik çalışmalarında da olduğu gibi, bu alanda da etkili ve başarılı olmuştur.

Çalışmanın dezavantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslandığında, bu çalışmada kullanılan veriler daha azdır. Bu durumun nedeni donanım ihtiyacımızın yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Veri sayısının artırılmasıyla bu sonuçlarda iyileşme olabilir ya da daha kötü performans sonuçları elde edilebilir. Bu durumun ileriki çalışmalarda değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Farklı bir derin öğrenme algoritması ile sonuçlar farklı bir şekilde değerlendirilebilir. Çalışmanın çeşitliliğini ve başarımını koruması için, diğer derin öğrenme algoritmaları ile de değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Bu çalışmada kullanılan protein haritalama teknikleri dışında farklı protein haritalama tekniklerinin kullanılması çalışmanın doğruluğu ve güvenilirliği açısından önem arz etmektedir. Diğer protein haritalama teknikleri ile de çalışmanın değerlendirilmesi bu bakımdan önem arz etmektedir.

Önerilen çalışmanın literatüre katkıları aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Bilgisayar tabanlı bir yaklaşımın kullanılmasıyla, gen ifadelerine dayalı işlemler hizalama programlarına göre daha hızlı gerçekleştiği için, kanserli genlerin belirlenmesi ve tahmin edilmesi daha hızlı olmaktadır. Bu da kanser gibi önemli hastalıkların teşhisinde ve doğru bir tedavinin uygulanmasında büyük önem arz etmektedir.
- Çalışmada kullanılan protein haritalama tekniklerinin etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu sayede protein haritalama tekniklerinin bu alanda uygulanabilmesinin önü açılmıştır. Farklı türde protein haritalama teknikleri de kullanılarak bu başarı pekiştirilebilir.
- Yeni nesil hizalama haritalarındaki dizilim sorunları protein haritalama teknikleri ile çözülebilmektedir. Bu durum protein haritalama tekniklerinin daha sık kullanılabilmesine yol açabilecektir.

5. Sonuç

Bu çalışmada kanser içeren proteinlerin derin öğrenme ile analizi yapılarak, protein haritalama tekniklerinin performansları karşılaştırılmıştır. Mesane, kolon ve prostat kanserine ait veriler değerlendirilmiştir. Her bir kanser türü için farklı gen ifadeleri elde edilmiş ve her biri hem kontrol hem de hastalıklı olmak üzere iki ayrı şekilde etiketlenmiştir. Çalışmada AESNN1, hidrofobiklik, tam sayı, rastgele kodlama ve Miyazawa enerjileri olmak üzere beş farklı protein haritalama teknikleri ele alınmıştır. Derin öğrenme modeli olarak tekrarlayıcı sinir ağı modeli olan çift-yönlü uzun-kısa süreli bellek tasarlanmış ve protein haritalama tekniklerinin başarımları, doğruluk ve AUC değerlendirme ölçütleri belirlenmiştir. Mesane kanseri için en iyi doğruluk ve AUC skoru AESNN1 yöntemi ile elde edilmiş ve sırasıyla %87.15 ve %86 gibi değerlere ulaşılmıştır. Kolon kanseri, üç kanser türü içerisinde en etkili sınıflandırılan kanser olmuştur. Bu kanser türünde bütün protein haritalama teknikleri %90'ın üzerinde doğruluk ve AUC skorlarına erişmiştir. Kolon kanserinde en iyi doğruluk skor Miyazawa enerjileri yöntemi ile hesaplanmış ve sonuç %94.40 olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra en iyi AUC skoru ise tam sayı yöntemi ile elde edilmiştir. Protein haritalama yöntemlerinin en etkisiz olduğu kanser türü prostat olmuştur. Prostat kanserinin ayırımında bütün protein haritalama teknikleri %80'in altında bir başarımla sergilemişlerdir. Prostat kanseri için tam sayı ve rastgele kodlama en iyi doğruluk skoruna erişmiştir. Bunlara ek olarak en yüksek AUC skoru ise hidrofobiklik ile hesaplanmıştır. Genel sonuçlardan da anlaşılacağı üzere, protein haritalama teknikleri ve yapay öğrenme içeren hibrit bir modelin kanser içeren proteinleri belirlemede etkili bir yöntem olduğu ve haritalama tekniklerine göre değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Bu durumda doğru protein haritalama tekniğini seçmek önem arz etmektedir. İleride gerçekleştirilecek çalışmalarda, kanser içeren proteinler, protein-protein etkileşimlerinden ve etkileşim ağından yararlanılarak analiz edilebilir ve bu çalışmadaki sonuçlar ile karşılaştırılabilir.

Kaynaklar

- [1] Sun Y, Sitao Z, Ma K, Liu W, Yue Y, Hu G, Lu H, Chen W. Identification of 12 cancer types through genome deep learning. Scientific Reports 2019; 9: 1-9.
- [2] Baykara O. Kanser tedavisinde güncel yaklaşımlar. Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi 2016; 5(3): 155-165.
- [3] Cruz JA, Wishart DS. Applications of machine learning in cancer prediction and prognosis. Cancer Informatics 2006; 3: 59-78.

- [4] Dhahri H, Maghayreh EA, Mahmood A, Elkilani W, Nagi MF. Automated breast cancer diagnosis based on machine learning algorithms. *Journal of Healthcare Engineering* 2019; 1-12.
- [5] Kourou K, Exarchos TP, Exarchos KP, Karamouzis MV, Fotiadis, DI. Machine learning applications in cancer prognosis and prediction. *Computational and Structural Biotechnology Journal* 2015; 13: 8-17.
- [6] Ravi D, Wong C, Deligianni F, Berthelot M, Andreu-Perez J, Lo B, Yang GZ. Deep learning for health informatics. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* 2017; 21(1): 4-21.
- [7] Libbrecht MW, Noble WS. Machine learning applications in genetics and genomics. *Nature Reviews Genetics* 2015; 16: 321-322.
- [8] Gevaert O, Smet FD, Timmerman D, Moreau Y, Moor BD. Predicting the prognosis of breast cancer by integrating clinical and microarray data with Bayesian networks. *Bioinformatics* 2006; 22(14): 184-190.
- [9] Jurtz VI, Johansen AR, Nielsen M, Armenteros JJA, Nielsen H, Sonderby CK, Winther O, Sonderby SK. An introduction to deep learning on biological sequence data: examples and solutions. *Bioinformatics* 2015; 33(22): 3685-3690.
- [10] Chen KH, Wang TF, Hu YJ. Protein-protein interaction prediction using a hybrid feature representation and a stacked generalization scheme. *BMC Bioinformatics* 2019; 20: 1-17.
- [11] Wen M, Zhang Z, Niu S, Sha H, Yang R, Yun Y, Lu H. Deep-learning-based drug-target interaction prediction. *Journal of Proteome Research* 2017; 16(4): 1401-1409.
- [12] Seo S, Oh M, Pak Y, Kim S. DeepFam: deep learning based alignment-free method for protein family modeling and prediction. *Bioinformatics* 2018; 34(13): 254-262.
- [13] Lv Z, Ao C, Zou Q. Protein function prediction: from tradition classifier to deep learning. *Proteomics* 2019; 19(14): 1-3.
- [14] Wang S, Peng J, Ma J, Xu J. Protein secondary structure prediction using deep convolutional neural fields. *Scientific Reports* 2016; 6: 1-11.
- [15] Guda P, Chittur SV, Guda C. Comparative analysis of protein-protein interactions in cancer-associated genes. *Genomics, Proteomics & Bioinformatics* 2009; 7(1-2): 25-36.
- [16] Huang CH, Peng HS, Ng KL. Prediction of cancer proteins by integrating protein interaction, domain frequency, and domain interaction data using machine learning algorithms. *BioMed Research Journal* 2015; 2015: 1-15.
- [17] Matsubara T, Ochiai T, Hayashida M, Akutsu T, Nacher JC. Convolutional neural network approach to lung cancer classification integrating protein interaction network and gene expression profiles. *Journal of Bioinformatics and Computational Biology* 2019; 17(3): 1-11.
- [18] Hosseinzadeh F, Kayvanjoo AH, Ebrahimi M, Goliaei B. Prediction of lung tumor types based on protein attributes by machine learning algorithms. *Springer Plus* 2013; 2(238): 1-14.
- [19] Chang JW, Ding Y, Qamar MT, Shen Y, Gao J, Chen LL. A deep learning model based on sparse auto-encoder for prioritizing cancer-related genes and drug-target combinations. *Carcinogenesis* 2019; 40(5): 624-632.
- [20] Lin K, May ACW, Taylor WR. Amino acid encoding schemes from protein structure alignments: multi-dimensional vectors to describe residue types. *Journal of Theoretical Biology* 2002; 216(3): 361-365.
- [21] Kyte J, Doolittle RF. A simple method for displaying the hydropathic character of a protein. *Journal of Molecular Biology* 1982; 157(1): 105-132.
- [22] Miyazawa S, Jernigan RL. Estimation of effective interresidue contact energies from protein crystal structures: quasi-chemical approximation. *Macromolecules* 1985; 18(3): 534-552.
- [23] Goodfellow I, Bengio Y, Courville A. *Derin Öğrenme*, 1. Basım, Eryaman, Ankara: Buzdağı Yayınevi, 2018.
- [24] Santur Y. Derin öğrenme ve aşağı örnekleme yaklaşımları kullanılarak duyu sınıflandırma performansının iyileştirilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2020; 32(2): 561-570.
- [25] Alakus TB, Turkoglu I. Prediction of protein-protein interaction with LSTM deep learning model. In: 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies; 11-13 October 2019; Ankara Turkey: IEEE. Pp. 1-5.
- [26] Budak Ü. SegNet mimarisi ile bilgisayarlı tomografi görüntülerinden karaciğer bölgesinin bölütlenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2019; 31(1): 215-222.
- [27] Toraman S, Türkoğlu İ. Derin öğrenme ile FTIR sinyallerinden kolon kanseri riskinin belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2018; 30(2): 115-120.
- [28] Das B, Turkoglu I. A novel numerical mapping method based on Entropy for digitizing DNA sequences. *Neural Computing and Applications* 2018; 29: 207-215.
- [29] Daş R, Polat B, Tuna G. Derin öğrenme ile resim ve videolarda nesnelerin tanınması ve takibi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2019; 31(2): 571-581.
- [30] Bingöl MS, Kaymak Ç, Uçar A. Derin öğrenme kullanarak otonom araçların insan sürüşünden öğrenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2019; 31(1): 177-185.
- [31] Çayır A, Yenidoğan I, Dağ H. Konutların günlük elektrik güç tüketimi tahmini için uygun model seçimi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2018; 30(3): 15-21.
- [32] Alpay Ö. LSTM mimarisi kullanarak USD/TRY fiyat tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2020; Özel sayı: 452-456.
- [33] Brunner A, Tzankov A. The role of structural extracellular matrix proteins in urothelial bladder cancer (review). *Biomark Insights* 2007; 2: 418-427.
- [34] Jing X, Dong Q, Hong D, Lu R. Amino acid encoding methods for protein sequences: a comprehensive review and assessment. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics* 2020; 17: 1918-1931.

- [35] Guia JM, Devaraj M, Leung CK. DeepGx: deep learning using gene expression for cancer classification. In: IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, 27-30 August 2019; Vancouver, Canada. pp. 914-920.
- [36] Gao F, Wang W, Tan M, Zhu L, Zhang Y, Fessler E, Vermeulen L, Wang X. DeepCC: a novel deep learning-based framework for cancer molecular subtype classification. *Oncogenesis* 2019;8: 1-12.
- [37] He B, Bergenstrahle L, Stenbeck L, Abid A, Andersson A, Bork A, Maaskola J, Lundeberg J, Zou J. Integrating spatial gene expression and breast tumour morphology via deep learning. *Nature Biomedical Engineering* 2020; 4: 827-834.
- [38] Chen R, Yang L, Goodison S, Sun Y. Deep-learning approach to identifying cancer subtypes using high-dimensional genomic data. *Bioinformatics* 2020; 36: 1476-1483.

Tekrar Doldurmalı Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynaklı 6061-T6 Alüminyum Alaşımli Bağlantıların Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Mustafa AY^{1*}, Kürşat DEMİR², Furkan SARSILMAZ¹

¹ Mekanik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Jandarma Genel Komutanlığı

¹ Mekanik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ mustafaay@firat.edu.tr, ² kursatdemir62@gmail.com, ¹ f.sarsilmaz@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 28/02/2021;

Kabul/Accepted: 03/06/2021)

Öz: Bu çalışmada, 6061 T6 alüminyum alaşımlarının katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan tekrar doldurmalı sürtünme karıştırma nokta kaynağı (TSKNK) ile birleştirilebilmesi araştırılmıştır. AA6061 kaynak bağlantıları, takım dönme hızı (2000-2500 dev/dk), kaynak süresi (1-1.5sn), dalma derinliği (1.7-2.0-2.5mm) olmak üzere üç farklı kaynak parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan mikroyapısal inceleme sonucunda kaynak bölgesinde karıştırma bölgesi (KB), ısıdan etkilenen bölge (IEB), termo-mekanik etkili bölge (TMEB) ve temel malzeme (TM) olmak üzere 4 farklı bölge tespit edilmiştir. Varyans analizi (ANOVA) sonucunda dalma derinliği parametresinin % 96,76 katkı oranı ile çekme dayanımı üzerinde en etkili parametre olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Tekrar doldurmalı sürtünme karıştırma nokta kaynağı, AA6061, Varyans analizi (ANOVA).

Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of Refill Friction Stir Spot Welded 6061-T6 Aluminum Alloy Joints

Abstract: In this study, the ability of joining 6061 T6 aluminum alloys with refill friction stir spot welding (RFSSW) which is one of the solid state welding methods is investigated. AA6061 welded joints are produced by using three different welding parameters which are tool rotational speed (2000-2500 rpm), welding time (1-1,5 s), plunge depth (1,7-2,0-2,5 mm). Four different zone which are stir zone (SZ), heat affected zone (HAZ), thermo-mechanically affected zone (TMAZ) and base material was determined as a result of microstructural investigation. As a result of the analysis of variance (ANOVA), it has been determined that the depth of immersion parameter is the most effective parameter on the tensile strength with 96.76% contribution rate.

Key words: Refill friction stir spot welding, AA6061, Analysis of variance (ANOVA).

1. Giriş

Alüminyum alaşımları, yüksek mukavemet, düşük ağırlık oranı, yüksek korozyon direnci, kolay şekillendirebilme, çok iyi termal ve elektrik iletkenliği gibi üstün özellikleri sebebiyle havacılık, otomotiv gibi sektörlerde yoğun olarak kullanılmaktadır [1]. Son yıllarda otomotiv üreticileri, uzay çerçeve yapılarındaki ekstrüde alüminyum borular ve uçak gövde iç ve dış paneller için alüminyum levhalar gibi çok çeşitli alüminyum ürünlerden iyi bir şekilde yararlanmaktadırlar [2]. Ayrıca bu sektörlerin imalat kısmında alaşımli çeliklerin yerine alüminyum alaşımli malzemelerin kullanılması, sistemin ağırlığını azaltılması nedeniyle uçak, otomotiv gibi araçlarda enerji (yakıt) tasarrufu sağlama hususunda önemli fayda sağlamaktadır [3].

Geçmişten günümüze uçak ana gövdesini birleştirmek için civata, vida, perçin gibi bağlantı elemanları kullanılmaktadır. Fakat bu tarz birleştirme metotları kullanılan ek malzemelerden dolayı ana gövdenin ağırlığını artırmaktadır [4]. Alüminyum alaşımlarının kullanımında avantajlarının olması ile beraber montajında, kaynak yapılabilmesinde karşılaşılan bir takım sorunlar, yapılan bilimsel araştırmalarla aşılımaya çalışılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi işleminde doğan problemler, araştırmacıları yeni birleştirme yöntemleri geliştirmeye yönlendirmiştir. Belirtilen bu olumsuz sebeplerden dolayı, bu malzemelerin birleştirilmesinde katı hal kaynak yöntemleri büyük avantajlar sağlamaktadır.

Özellikle son 10 yılda katı hal nokta kaynağı olan Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (SKNK) alüminyum alaşımları gibi kaynak edilmesi zor malzemelerin birleştirilmesinde direnç nokta kaynağı ve perçinleme

* Sorumlu yazar: mustafaay@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-9056-9975, ² 0000-0003-3408-3505, ¹ 0000-0001-5351-8645

metodunun yerini almaktadır. SKNK yönteminde, çalışan malzemeler arasında oluşan sürtünme ısı birleşecek malzemeleri yumuşatır ve dönerek hareket eden mil, malzeme akışına sebep olmaktadır. Dövme basıncı ve plastize edilmiş malzeme katı bir bağlantı bölgesi oluşturmaktadır [5]. SKNK' nin maliyeti direnç nokta kaynağından % 25 daha düşüktür. Ayrıca, SKNK süreci değişen malzeme cinsine ve malzemelerin yüzey koşullarına duyarlı değildir. Ek olarak, SKNK yöntemi su, basınçlı hava veya elektrik dönüştürme gibi ek ekipmanlara ihtiyaç duymaz [6-9]. Fakat SKNK yönteminin sağlamış olduğu bu yenilik ve avantajların yanı sıra bazı dezavantajlarının da olduğu tespit edilmiştir. Bunlardan en önemlisi kaynak sürecinden sonra oluşan anahtar deliğidir. Anahtar deliği kaynak bölgesinde artık gerilme yoğunluğuna, çentik etkisine ve bağlantı alanının azalmasına neden olmaktadır. Bu gibi olumsuzluklar, bağlantıların mekanik özelliklerini olumsuz etkileyen kusurlardır. Ayrıca, dış ortamda kullanılan plakalarda korozif etkileri giderebilmek için uygulanan gövde boyasının anahtar deliğine tam olarak nüfuz edemeyeceği için potansiyel korozyon başlama noktası oluşur. Bu ve benzeri dezavantajları ortadan kaldırmak için SKNK yerine daha yüksek kaynak mukavemeti sağlayan Tekrar Doldurmalı Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (TSKNK) geliştirilmiştir. Helmholtz-Zentrum Geesthacht tarafından geliştirilen bu yöntemde, bir baskı bileziği, bir kovan ve bir pimden oluşan Şekil 1'de görüldüğü gibi üç parçalı bir takım kullanılmıştır. Bu takım sayesinde kovan daldırma, pim ise yeniden doldurma işlemini gerçekleştirerek kaynak sonrası anahtarsız bir bağlantının oluşması sağlanmıştır [11].



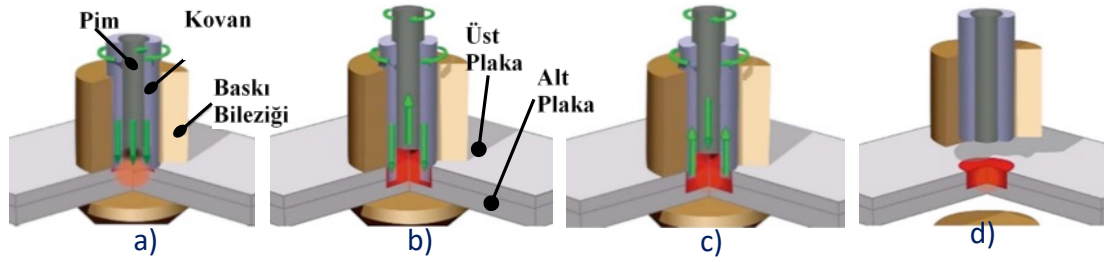
Şekil 1. Tekrar doldurmalı sürtünme karıştırma nokta kaynağı takımı

Alüminyum alaşımlarının TSKNK bağlantılarının mikroyapısı ve mekanik özellikleri araştırılmaya devam etmektedir. Li vd. [12], 2024-T4 alüminyum alaşımli levhaları birleştirme işleminde TSKNK yöntemini kullanmış ve orijinal bindirme ara yüzü ve termal-mekanik olarak etkilenen bölge ara yüzünün, bağlantının zayıf bölgesi olduğunu rapor etmiştir. Xu vd. [13] 5053-O alüminyum alaşımli levhaların birleştirilmesinde hem pim hem de kovan dalma derinliğinin kaynak kusurlarının ortadan kaldırılmasında önemli rol oynadığını belirtmişler. Tier vd. [14] tarafından 5042-O alüminyum alaşımlarının TSKNK yöntemi ile birleştirilmesinden sonra işlem parametrelerine bağlı çekme dayanımı, mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Uygulanan parametre değerleri ve takım özellikleriyle yapılan deneyler dikkate alındığında, en etkili parametrenin dalma derinliği ve sonrasında dönme hızı olduğu tespit edilmiştir. Nasiri vd. [15] 2099-T83 alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde TSKNK takımının hasar mekanizması üzerine çalışma yapmışlar. Çalışma sonucunda, 4 ve 6 nolu kaynak işleminden sonra takıma ait hareket eden parçalarda ve takımda ciddi hasar tespit etmişlerdir. Kubit vd. [16] 7075-T6 alüminyum alaşımli levhalar arasına iki farklı sızdırmazlık maddesi (fenol-formaldehit reçine bazlı yapıştırıcı ve epoksi reçine bazlı bant) yerleştirilerek elde edilen plakaları TSKNK yöntemi ile birleştirerek kaynak bölgesinin korozyon direncini ve kaynak mukavemetini araştırmışlardır. İncelemeler neticesinde, polimer ara tabakayla desteklenmiş levhaların kaynağında, yük taşıma kapasitesinin yaklaşık % 9'dan % 28'e düşürdüğü. Bununla birlikte, polimer ara tabakasının kaynak bölgesi korozyon direncini önemli ölçüde artırdığını bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda, TSKNK yönteminde güçlü bir birleştirmenin elde edilebilmesi için uygun kaynak parametrelerinin belirlenmesinin gerekliliği vurgulanmıştır. Bu çalışmada, havacılık ve otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılan 6061-T6 alüminyum alaşımı TSKNK yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynak işleminde kullanılan parametrelerin (kaynak süresi, dalma derinliği, takım dönme hızı) kaynak bölgesi mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmış, ayrıca kaynak parametrelerinin etkinlik dereceleri varyans analizi (ANOVA) kullanılarak saptanmıştır.

2. Deneysel Çalışma

2.1. TSKNK sürecinin temel prensibi

TSKNK yönteminin işlem aşamaları Şekil 2'de gösterilmiştir [17]. Uygulama üç parçadan oluşan (Baskı bileziği, kovan ve pim) takım tertibatı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Takımın üç bileşeni, eş eksenli olarak monte edilmiş ve birbirinden bağımsız olarak döndürülebilirken, birbirinden bağımsız yukarı ve aşağı hareket ettirilebilmelerini sağlayan bir mekanizma tarafından kontrol edilmektedir. İşlem temelde iki aşamadan oluşur. İlk olarak, birleştirilecek parçalar üst üste konumlandırılarak alt ve üst baskı plakalar ile sıkıştırılıp sabitlenir. Sonra dönen takım ile iş parçası arasında sürtünme ısısı oluşturularak malzemenin viskoz hale gelmesi sağlanıp basıncın etkisiyle birleştirilme işlemi gerçekleştirilir [18].



Şekil 2. TSKNK işleminin şematik gösterimi [17].

Şekil 2'de gösterildiği gibi, TSKNK süreci dört farklı aşamayla açıklanabilir:

- Baskı bileziği, plaka çiftlerini sıkıştırarak sabitler, hem kovan hem de pim dönmeye başlar ve dalma işleminde viskoz malzeme oluşturabilmek ve malzemeyi plastize edebilmek için belli bir süre parça üzerinde sürtünme ısısı oluşturur
- Kovan ve pim sırasıyla aşağı-yukarı yönde hareket eder, bu nedenle kovan tarafından karıştırılan plastize olmuş malzeme pimin yukarı doğru hareketi ile oluşan silindirik boşlukta sıkıştırılır.
- Önceden belirlenmiş dalma derinliğine ulaşıldıktan sonra, Kovan ve pim ters yönde hareket etmeye başlar ve silindirik boşluktaki plastize edilmiş malzeme kovan tarafından geriye doğru sıkıştırılır.
- Takım iş parçasından uzaklaştırılır.

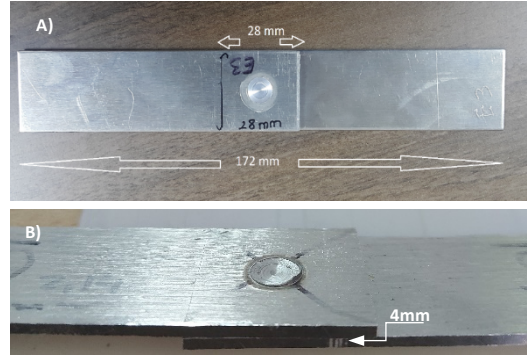
2.2. Numune hazırlama ve deneysel tasarım

Tablo 1' de çalışmada kullanılan AA6061-T6 plakaların kimyasal içerikleri verilmiştir. Plakalar, kaynak işlemi için 2x28x100mm boyutlarında kesilip, yüzeyleri asetonla temizlenerek kaynak deneylerine hazırlanmışlardır.

Tablo 1. 6061 T6 alüminyum alaşımı kimyasal bileşenleri

Fe	Si	Cr	Mn	Mg	Zn	Cu	Ti	Diğer	Al
0,5	0,6-1,0	0,1	0,2-0,8	0,8-1,2	0,25	0,6-1,1	0,1	0,15	Kalan

Bütün numunelerin birleştirme işlemleri, bu işlem için özel olarak tasarlanmış RPS100 TSKNK makinasında gerçekleştirilmiştir. Ana makinenin çalışma değerleri sırasıyla; dönme hızı 3000 dev/dk, güç çıkışı 2,2 kW, dalma hızı 3,6 mm/sn, maksimum basma kuvveti 11 kN'dur. Kaynak işlemlerinde kullanılan takımın baskı bileziği 15 mm, kovan 9 mm ve pim 5 mm çapındadır. Plakaların bindirme mesafesi ise 28 mm olarak belirlenmiştir. Kaynak sonrası Şekil 3'de gösterilen 4x28x172mm boyutlarında kaynaklı numuneler elde edilmiştir.



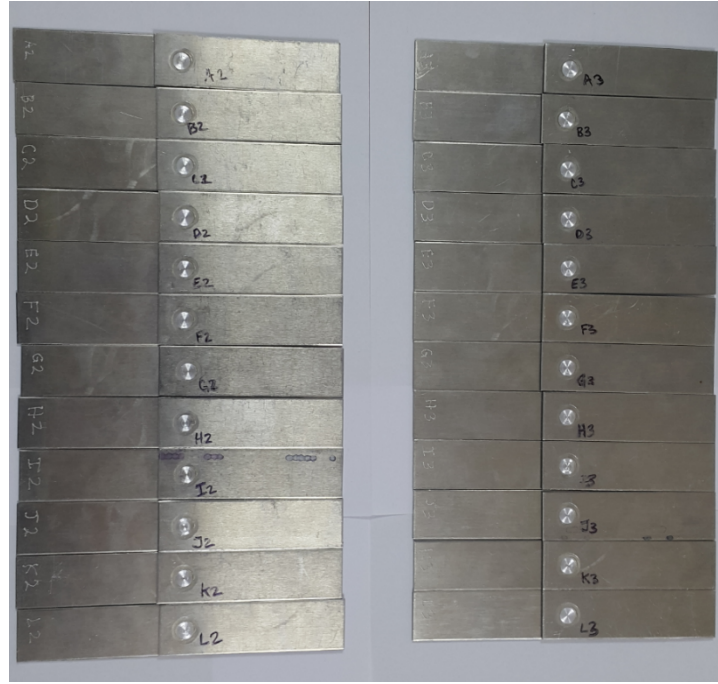
Şekil 3. Kaynak işlemi sonucunda elde edilen numunenin üst (a)ve kesit (b) görünüşü.

Tam Faktörlü Tasarım, bir ürünün, sürecin, tasarımın veya sistemin performansının zaman ve maliyet açısından optimize edilmesini sağlayan güçlü bir istatistiksel yöntemdir. Varyans analizi (ANOVA) kullanımıyla birleştirildiğinde, Tam Faktörlü Tasarım, kaynak işlemi parametrelerinin mekanik özellikler üzerindeki göreceli önemini belirlemek ve optimum işlem çıktılarını tespit edilebilmektedir. Tam Faktörlü Tasarım, daha az sayıda faktör ve seviyenin seçildiği durumlarda en uygundur. TSKNK'da, ana işlem parametrelerinin ve bunların değer aralıklarının doğru şekilde seçilmesiyle elde edilebilir.

Kaynağın mukavemetinin değerlendirilmesi için üç faktörlü (takım dönme hızı, dalma derinliği ve süre) ve 3;3;2 seviyeli bir deney düzeni seçilmiştir. Tablo 2 de bu çalışmada kullanılan işlem parametreleri ve bu parametrelerin seviyeleri verilmiştir.

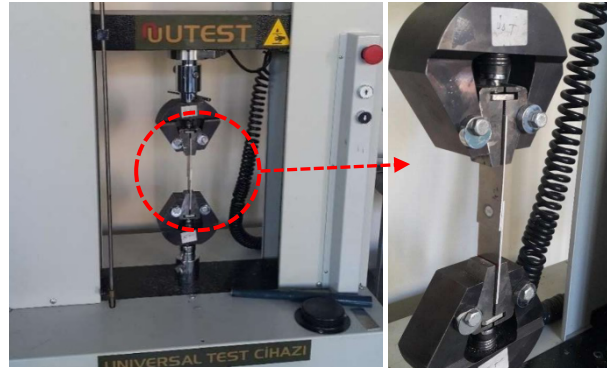
Tablo 2. Deney parametreleri ve değerleri

Numuneler	Kaynak Süresi "t" (saniye)	Dalma Derinliği "h" (mm)	Takım Dönme Hızı "v" (dev/dk)
A	1,0	1,7	2000
B	1,0	1,7	2500
C	1,0	2,0	2000
D	1,0	2,0	2500
E	1,0	2,5	2000
F	1,0	2,5	2500
G	1,5	1,7	2000
H	1,5	1,7	2500
I	1,5	2,0	2000
J	1,5	2,0	2500
K	1,5	2,5	2000
L	1,5	2,5	2500



Şekil 4. Kaynak işleminden sonra bütün numunelerin görüntüsü

Farklı parametrelerde 12 adet olmak üzere hem çekme testi için hem de mikroyapı incelemeleri için Şekil 4'de verildiği gibi toplam 24 adet numune birleştirilmiştir. Kaynak işleminden sonra, metalografik incelemeler için kaynak bölgesi merkezine dik kesit alınarak yüzey zımpara ve çuha yardımıyla parlatılmıştır. Ayrıca 85 ml H₂O, 2ml HF, 10ml H₂SO₄ asit çözeltisi kullanılarak kesit yüzeyler dağlanmıştır. Kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla Şekil 5'de görülen test cihazında 12 adet numune çekilmiştir. Numunelerin mikro sertlik ölçümleri Tronic DHV-1000 Micro Vickers sertlik ölçüm cihazında 300 gr yük altında 15 saniye bekletilerek yapılmıştır. Ölçümlerde kaynak merkezinden ana malzemeye doğru 2 mm aralıklarda ölçüm alınmıştır.



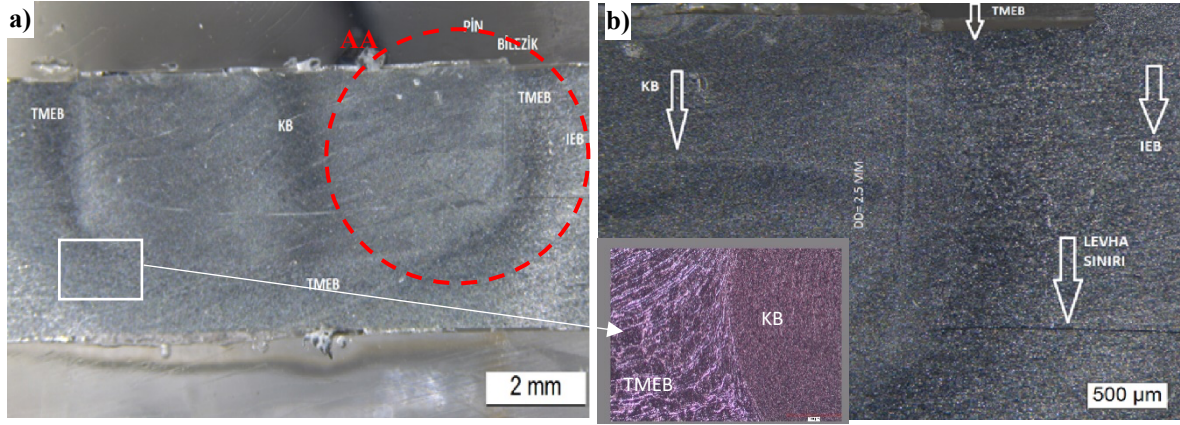
Şekil 5. Numunelere uygulanan çekme testi

3. Bulgular

3.1. Mikroyapı analizi

Şekil 6a ve b' de L numunesine ait kaynak kesitinin makro ve mikro görüntüsü verilmiştir. Şekil 6a'da TSKNK sonrası ara kesitte 4 farklı bölgenin varlığı görülmüştür. Bunlar sırasıyla kaynağın merkezindeki Karıştırma

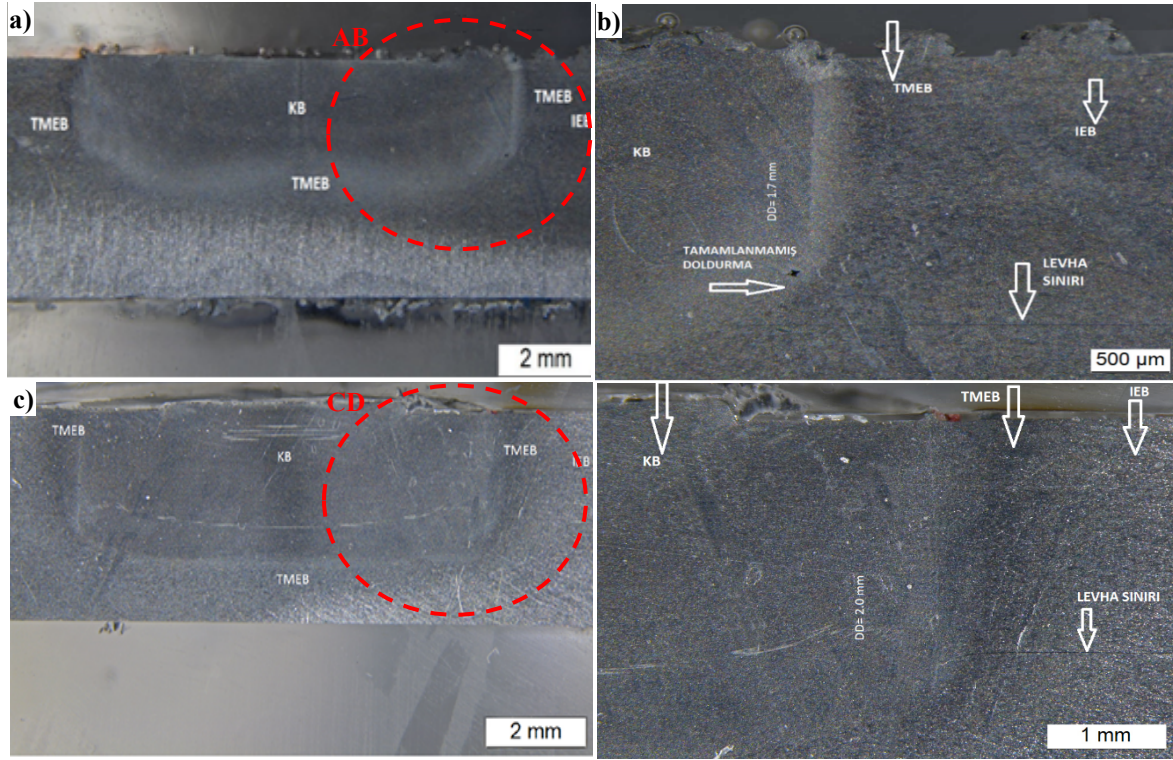
Bölgesi (KB), onun bitişiğinde ısı ve basıncın etkisiyle tanelerin yönlendiği Termo-Mekanik Olarak Etkilenen Bölge (TMEB), ve bu bölgenin yanında dinamik taşınımına dahil olmayan fakat ısı tesiri altında bulunan Isıdan Etkilenen Bölge (IEB) ve son olarak Temel Malzeme (TM) şeklinde literatüre uyumlu olarak belirlenmiştir [16,19,20]. Kaynak işlemi sonrası kaynak merkezinde herhangi bir boşluk ve bağlantısız bölgenin varlığı görülmezken, anahtar deliğinin başarılı bir şekilde yeniden doldurulduğu görülmektedir.



Şekil 6. $t= 1.5sn$, $h= 2.5mm$, $v= 2500$ dev/dk parametreleri ile yapılan L numunesine ait kaynaklı birleştirmenin: (a) kaynak bölgesinin kesiti, (b) AA kesitin büyütülmüş görüntüsü.

Kovanın dönme hızı, dalma basıncı ve bekleme sürelerine bağlı olarak oluşan KB bölgesinde, aşırı dövülmüş tanelerden oluşan bir yapının varlığı görülmüştür. Bu durum kaynak merkezinde takımın ana malzemeyi dövmesi sonucu tanelerin incelmeye yol açmıştır. Kaynak merkezinde aşırı plastik deformasyona maruz kalan iç yapının homojen dağılımlı yeniden kristalleşen ince taneli bölgeden oluştuğu mikroyapı fotoğraflarından net olarak görülmektedir. Ayrıca TMEB olarak adlandırılan bölgede, KB bölgesinde aşırı dövülen ve viskoz hale gelmiş malzemenin kovan ve karıştırıcı pim dönme yönüne bağlı olarak malzeme taşınımıyla taneleri yönlendirip daha uzun ve yönlenmiş tanelerin oluşmasına neden olduğu ve termomekanik etkilenen bölgeyi oluşturduğu ilgili literatür ışığında Mishra vd. [21] düşünülmektedir. Ayrıca hem ısı hem de dövme etkisinde kalan kaynak ara bölgesine kıyasla herhangi bir plastik deformasyona uğramamış fakat takımın malzeme üzerinde hareketinin oluşturduğu ısıdan etkilenen, iri tanecik yapısına sahip olan bölge IEB olarak adlandırılmaktadır. Bununla birlikte üst üste bindirme kaynağı yapılan levhaların birleşme çizgileri de Şekil 6b'de görülmektedir.

Şekil 7a-d sırasıyla incelendiğinde $t= 1sn$, $h= 1.7mm$, $v= 2000$ dev/dk kaynak parametreleri kullanılarak yapılan birleştirmelerde, tamamlanmamış yeniden doldurma (boşluk) kusurları gözlemlenmiştir. Bu durum, yetersiz dönme hızı, dalma derinliği ve yetersiz sürtünme süresinden kaynaklandığı ve bu nedenle malzemenin plastize olamadan temas bölgelerinde boşluk ve bağlantısız bölgelere yol açtığı düşünülmektedir. Birleştirmelerde boşluk hatası, ciddi bir hacimsel kusurdur. Çentik etkisini tetikleyebilecek artık gerilim yoğunlaşmasına neden olabilir ve kötü korozyon direncine yol açabilir. Şekil 7c,d'de $t= 1.5sn$, $h= 2mm$, $v= 2500$ da birleştirilen numunelerin bir önceki numunelere kıyasla daha başarılı ve boşluksuz bağlantılar oluşturduğu görülmüştür. Böylece ideal dönme hızı dalma derinliği ve kaynak süresi seçilerek bu kusurlar ortadan kaldırılabilir. Kaynak süresinin artması ile karıştırma bölgesinde ısı artışı meydana gelir. Bu artan ısı girdisi, daha iyi bir malzeme akışına yol açarak tamamlanmamış yeniden doldurma kusurunu ortadan kaldıracaktır [23].



Şekil 7. a – d Farklı parametrelerde gerçekleştirilen TSKNK kaynak bölgelerinin metalografik kesitleri:
 (a) A numunesi, $t=1\text{sn}$, $h=1.7\text{mm}$, $v=2000\text{ dev/dk}$, (b) AB kesitin büyütülmüş görüntüsü,
 (c) J numunesi, $t=1.5\text{sn}$, $h=2\text{mm}$, $v=2500\text{ dev/dk}$, (d) CD kesitin büyütülmüş görüntüsü.

3.2. Mekanik özellikler

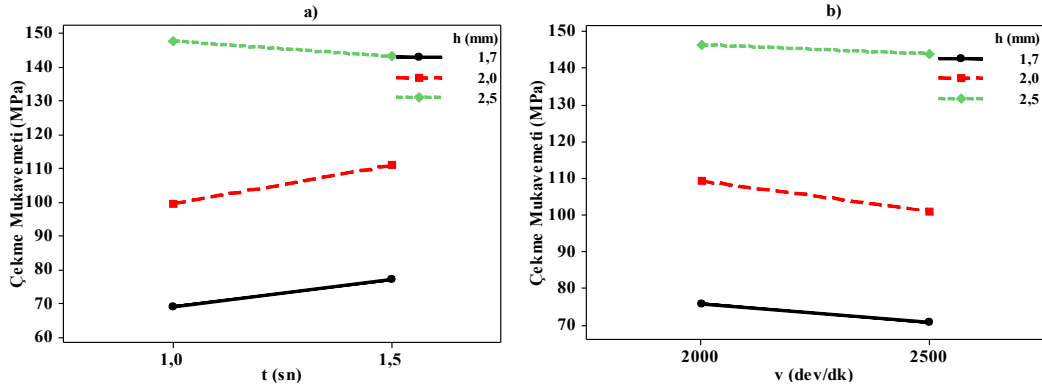
Tablo 3 ve Tablo 4’de 6061-T6 alüminyum alaşımına ait mekanik özellikler ve kaynaklı bağlantılara ait maksimum çekme mukavemeti değerleri sırasıyla verilmiştir. Şekil 8’de bu değerlere ait grafik verileri sırasıyla verilmiştir. Çekme testi sonuçları incelendiğinde, en yüksek çekme mukavemetinin 2.5 mm lik dalma derinliğine sahip numunelerde elde edildiği görülmektedir. Bu sonuca paralel olarak sırasıyla 2 ve 1.7 mm derinlik altında yapılan kaynakların çekme test verilerinde de kademeli ve tutarlı düşüşler gözlemlenmiştir. Bu durum, kaynak merkezinde yüksek ısı girdisinin neden olduğu aşırı deforme olan tane yapısında pekleşmenin meydana gelmesi ve aynı şekilde ısı tesiri etkisiyle daha viskoz ve akıcı plastize malzemenin, takımın temas ettiği her noktayı doldurmasıyla çekme testinde çentik etkisini azalttığı düşünülmektedir. Aynı zamanda kısa kaynak süresine sahip numunelerde elde edilen düşük mukavemet değerlerinin de mikroyapıda gözlemlenen doldurulmamış bölgelerin kaynak mukavemetini düşüren temel neden olduğu açıktır.

Tablo 3. 6061 T6 alüminyum alaşımının mekanik özellikler

Akma Mukavemeti (MPa) min-max	Çekme Mukavemeti (MPa) min-max	Uzama (%50)	Sertlik (brinel)
240-270	260-310	20	95

Tablo 4. Deney parametrelerine bağlı çekme dayanımı değerleri

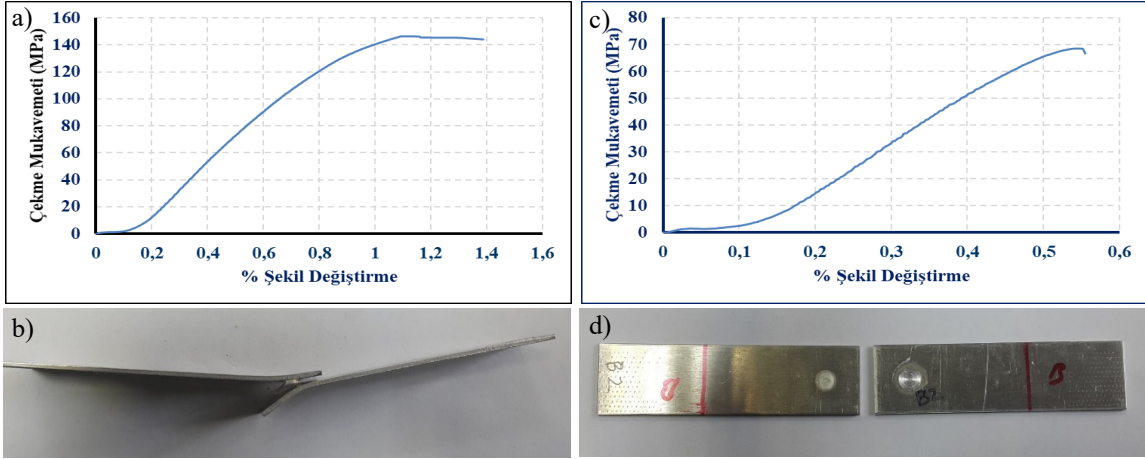
Numune	Kaynak Süresi “t” (sn)	Dalma Derinliği “h” (mm)	Takım Dönme Hızı “v” (dev/dk)	Maksimum Çekme Mukavemeti (MPa)
A	1,0	1,7	2000	69,403
B	1,0	1,7	2500	68,632
C	1,0	2,0	2000	105,575
D	1,0	2,0	2500	93,402
E	1,0	2,5	2000	148,698
F	1,0	2,5	2500	146,543
G	1,5	1,7	2000	81,937
H	1,5	1,7	2500	72,469
I	1,5	2,0	2000	113,029
J	1,5	2,0	2500	108,641
K	1,5	2,5	2000	144,515
L	1,5	2,5	2500	141,715



Şekil 8. Kaynak süresi (a) ve takım dönme hızının (b) çekme mukavemetine etkisi.

Şekil 8a’ da görüldüğü gibi takım dalma derinliği arttıkça kaynaklı birleştirmenin çekme mukavemeti artmıştır. Benzer şekilde kaynak süresinin artmasına bağlı olarak da çekme mukavemetinin arttığı görülmektedir. Ancak takım dalma derinliğinin 2,5mm ve kaynak süresinin 1,5sn olduğu durumda kaynak bölgesinin birleşme mukavemeti nispeten düşük çıkmıştır. Şekil 8b, takım dönme hızı ve dalma derinliğinin kaynak mukavemeti arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Görüldüğü üzere takım dalma derinliği arttıkça kaynak mukavemeti artmakta. Ancak, takım dönme hızı 2000 dev/ dak’dan 2500 dev/dak’ya çıktığında kaynak mukavemetinin azaldığı görülmektedir. Kwee vd.[20], yapmış oldukları çalışmada takım dönme hızının artması ile kaynak mukavemetinin düştüğünü belirtmişlerdir. Bu durum yüksek ısı girdisine yol açan artan devir sayısının malzemenin iç yapısında tane irileşmesine ve IEB nin genişlemesine neden olacağı sonucunu doğurmaktadır. Temelde mukavemeti düşüren nedenlerin başında bağlantısız bölgelerin varlığı olsa da literatür incelendiğinde aşırı ısı girdisinin özellikle çökeltme sertleşmeli Al alaşımlarında tane yapısını irileştirerek mekanik özellikleri kötüleştirceği bildirilmiştir [24,25].

Şekil 9’da E ve B numunelerine ait Çekme Mukavemeti -% Şekil değiştirme eğrileri ve deney sonrası numune fotoğrafları verilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi, en yüksek çekme mukavemeti, $t= 1\text{sn}$, $h= 2.5\text{ mm}$, $v= 2000\text{ dev/dk}$ parametreleri ile birleştirilen E numunesinde 148,698 MPa olarak elde edilmiştir. En düşük kaynak mukavemeti ise $t= 1\text{sn}$, $h= 1.7\text{ mm}$, $v= 2500\text{ dev/dk}$ parametreleri ile birleştirilen B numunesinde (68,632 MPa) elde edilmiştir. Bütün numuneler, sınırlı kaynak genişliğine sahip olması nedeniyle boyun vermeden kırılmışlardır.

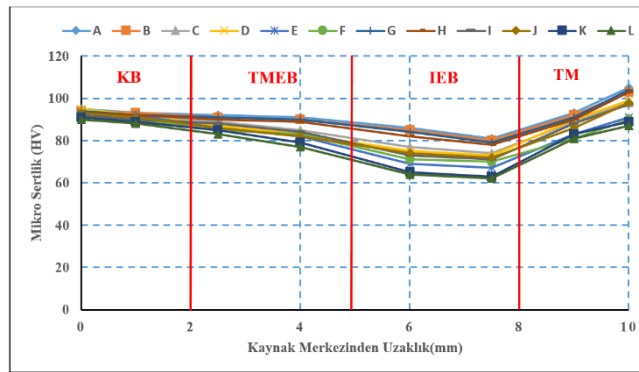


Şekil 9. Çekme test sonuçları (a) E numunesi için Çekme Mukavemeti -% Şekil Değiştirme grafiği (b) numune görüntüsü (c) B numunesi için Çekme Mukavemeti -% Şekil Değiştirme grafiği (d) numune görüntüsü

Tablo 5' de bütün numunelerin kaynak merkezinden ana malzemeye kadar olan bölge boyunca 2mm aralıklarda alınan mikro sertlik ölçüm sonuçları ve bu değerlere ait mikrosertlik grafik Şekil 10'da sırasıyla verilmiştir.

Tablo 5. Numuneler için belirlenen noktalardan alınan mikrosertlik değerleri (HV)

Numune	1	2	3	4	5	6
A	95	93	86	81	93	105
B	94	93	85	80	92	103
C	94	91	77	74	89	98
D	95	92	75	73	88	99
E	93	92	71	70	83	91
F	92	90	70	67	81	90
G	94	92	84	79	91	104
H	93	92	82	78	90	103
I	92	90	74	71	88	97
J	93	91	73	70	86	98
K	91	89	65	63	83	89
L	90	88	64	62	81	87



Şekil 10. Numunelere ait mikrosertlik dağılımı

Tablo 5 ve Şekil 10'daki veriler incelendiğinde, farklı parametrelerde yapılan kaynak numunelerinden ölçülen sertlik değerleri benzer dağılımlar gösterdiği görülmektedir. Kaynak bölgesinin mikro sertliğinin temel

malzemenin nispeten daha düşük olduğu saptanmıştır. TMEB / IEB ara yüzünde minimum sertlik değerinin düştüğü, TMEB / KB geçiş bölgesinde ise sertliğin tekrar yükseldiği tespit edilmiştir. Bilindiği üzere 6061-T6 alüminyum alaşımları çökeltme sertleştirilmesi ile mekanik özellikleri iyileştirilmiş alaşımlardır. Bu nedenle yüksek ısı girdisi çökeltme sertleşmeli alaşımlarda sınırlı oranda mukavemet kaybına yol açmaktadır. Kaynak esnasında ısı girdisini artıracak parametrelerde yapılan kaynaklar, kaynak bölgesinde farklı tane boyutlarına sahip bölgelerin oluşmasına sebep olmuştur. Bu durum bölgesel olarak mikrosertlik farklılıklarını ortaya çıkarmaktadır.

TMEB/KB nin şiddetli yoğun plastik deformasyona uğraması bu bölgelerde dövülen tanelerin incelenerek plastik deformasyon sertliğini ve pekleşme meydana getirmesi, IEB'den daha yüksektir, Bu durum KB bölgesinde IEB ye nazaran daha yüksek mikrosertlik değerleriyle sonuçlanır. Sadece ısı baskısı altında kalan IEB deki mekanik zayıflığın nedeni ise literatürde de desteklenen [26] çökeltinin çözülerek bölgenin çökeltme sertleştirme kabiliyetini yitirmesine bağlanabilir. Ayrıca TM'nin en yüksek sertlik değerleri sergilemesindeki asıl nedenin, ısının bu bölgeyi kısmi etkilemesi olarak açıklanabilir.

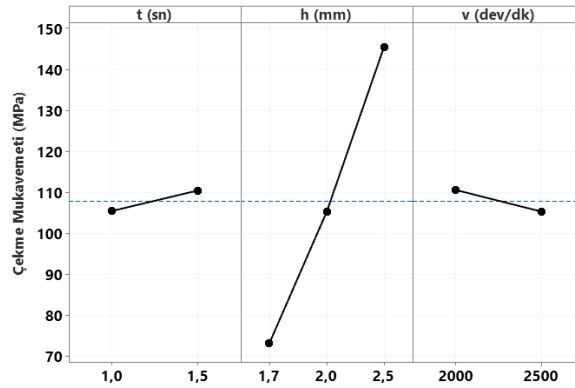
3.3. Varyans analizi (ANOVA)

Parametre seviyelerinin optimum kombinasyonlarını doğru bir şekilde değerlendirmek için kaynak parametrelerinin kaynak performansı üzerindeki etkisinin anlaşılması gerekir. Bu, Varyans analizi yapılarak elde edilebilir. % 95 güven düzeyinde ($\alpha=5\%$ hata seviyesinde) yapılan ANOVA testi sonucunda elde edilen veriler Tablo 6'da verilmiştir. Burada, her bir parametrenin kaynak mukavemeti üzerindeki anlamlılık düzeyini gösteren P değerleri ile serbestlik derecesi, kareler toplamı, kareler ortalaması, F değerleri ve yüzde etki oranları görülmektedir. ANOVA tablosunda, $P < 0,05$ ise parametrelerin kaynak mukavemeti üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu kabul edilir [27]. Varyans analiz sonuçlarına göre kaynak mukavemeti üzerinde en etkin parametre % 96,76 katkı oranı ile dalma derinliği olmuştur.

Tablo 6. Kaynak mukavemeti için varyans analiz sonuçları

Deney Parametreleri	Serbestlik Derece	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Etki Oranı %
t (sn)	1	304327	304327	2,75	0,141	0,69
h (mm)	2	42398089	21199044	191,32	0,000	96,76
v (dev/dk)	1	339697	339697	3,07	0,123	0,78
Hata	7	775629	110804			1,77
Toplam	11	43817741				

Ayrıca, parametrelerin kaynak mukavemeti üzerindeki etki grafikleri Şekil 11'de verilmiştir. Grafiklerde, Kesikli çizgi kaynak mukavemetinin belirlenmesinde uygulanan kuvvetin toplam ortalama değerini göstermektedir. Kaynak süresi (t) ve takım dönme hızının (v) kuvvet üzerindeki küçük katkısı, nispeten daha düşük eğimli bir eğri ile temsil edilirken. Takım dalma derinliğinin kaynak mukavemeti üzerindeki etkisi (% 96,76) varyasyon analizi ile bir kez daha doğrulanmıştır.



Şekil 10. Kaynak parametrelerinin kuvvet üzerindeki etkileri

4. Sonuçlar

AA6061-T6 alaşımı tekrar doldurmalı sürtünme karıştırma nokta kaynağı (TSKNK) yöntemi ile başarılı bir şekilde birleştirilerek aşağıda sıralanan sonuçlar elde edilmiştir.

1. Kaynaklı bağlantıların ara yüzey mikroyapısal özellikleri incelendiğinde dört farklı bölgenin varlığı belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla, kaynak merkezindeki takım bileziğinin levhayı karıştırdığı karıştırma bölgesi (KB), termo-mekanik etkilenen bölge (TMEB), ısı etkili bölge (IEB) ve son olarak temel malzemedir (TM).
2. Kaynak bölgelerinde mikrosertlik değişimleri incelendiğinde en yüksek değerler TM ve KB'de tespit edilirken TMEB ve IEB'de kademeli düşüşler görülmüş. Bu sonuca göre, IEB'deki düşüşlerin temel nedeni; kaynak bölgesinde meydana gelen ısı artışının sebep olduğu iri taneli yapı nispeten daha düşük mikrosertlik değerlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.
3. Yapılan çekme testi sonucunda işlem parametrelerinin (takım dönme hızı, kaynak süresi ve dalma derinliği) kaynak bölgesi mukavemetine etkisi incelenmiştir. Bunun sonucunda en yüksek dayanım $t=1\text{sn}$, $h=2.5\text{ mm}$, $v=2000\text{ dev/dk}$ parametreleri altında birleştirilen E numunesinde $148,698\text{ MPa}$ olarak kaydedilmiştir.
4. Kaynak parametrelerinin kaynak bölgesinin mukavemeti üzerindeki etkisi karşılaştırıldığında, bütün numunelerde dalma derinliğinin 2.5mm seçildiği gruplarda en yüksek çekme verileri elde edilmiştir.
5. Kaynak parametrelerinin kaynak bölgesinin mukavemeti üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacı ile yapılan ANOVA test sonuçlarına göre en etkin parametre % 96,76 katkı oranı ile dalma derinliği (h) olduğu sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma, Kürşat DEMİR tarafından tamamlanan, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Programı'nda "6061 T6 Alüminyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı Yöntemi İle Birleştirilmesi, Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi" adı ile kayıtlı yüksek lisans tezindeki verilerden üretilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Huda Z, Taib NI, Zaharinie T. Characterization of 2024-T3 an aerospace aluminum alloy. *Materials Chemistry and Physics* 2009;113(2-3): 515-517.
- [2] Miller WS, Zhuang L, Bottema J, Wittebrood AJ, De Smet P, Haszler A, Vieregge A. Recent development in aluminum alloys for the automotive industry. *Materials Science and Engineering* 2000; A, 280: 37-49.
- [3] Dursun T, Soutis C. Recent developments in advanced aircraft aluminum alloys. *Materials and Design* 2014; 56: 862-871.
- [4] Mert Ş, Mert S. Sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin incelenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi* 2013; 2(1): 26-35.
- [5] Suryanarayanan R, Sridhar VG. Experimental investigation on the influence of process parameters in Friction stir spot welded dissimilar aluminum alloys. *Materials Today: Proceedings* 2020; 27: 529-533.
- [6] Shen Z, Yang X, Zhang Z, Cui L, Li T. Microstructure and failure mechanisms of refill friction stir spot welded 7075-T6 aluminum alloy joints. *Materials and design* 2013; 44: 476-486.
- [7] Li WY, Chu Q, Yang XW, Shen JJ, Vairis A, Wang WB. Microstructure and morphology evolution of probe less friction stir spot welded joints of aluminum alloy. *Journal of Materials Processing Technology* 2018; 252: 69-80.
- [8] Kahraman B. Otomotiv endüstrisinde kullanılan 5754 alüminyum alaşımı sacların direnç nokta kaynağı (RSW) ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yöntemleri ile birleştirilmesi. Yüksek Lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [9] Hong SH, Sripichai K, Yu CS, Avery K, Pan J, Pan TY, Santella M. Failure modes of friction stir spot welds in lap-shear specimens of dissimilar advanced high strength steels under quasi-static and cyclic loading conditions. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing* 2012; 5(2): 375-381.
- [10] Ji S, Li Z, Wang Y, Ma L, Zhang L. Material flow behavior of refill friction stir spot welded LY12 aluminum alloy. *High Temperature Materials and Processes* 2017; 36(5): 495-504.
- [11] Buffa G, Fratini L, Piacentini M. On the influence of tool path in friction stir spot welding of aluminum alloys. *Journal of Materials Processing Technology* 2008; 208: 309-317.
- [12] Li Z, Ji S, Ma Y, Chai P, Yue Y, Gao S. Fracture mechanism of refill friction stir spot-welded 2024-T4 aluminum alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2016; 86(5): 1925-1932.
- [13] Xu Z, Li Z, Ji S, Zhang L. Refill friction stir spot welding of 5083-O aluminum alloy. *Journal of Materials Science and Technology* 2018; 34(5): 878-885.

- [14] Tier MD, Rosendo TS, Santos JF, Huber N, Mazzaferro JA, Mazzaferro CP, Strohaecker TR. The influence of refill FSSW parameters on the microstructure and shear strength of 5042 aluminum welds. *Journal of Materials Processing Technology* 2013; 213(6):, 997-1005.
- [15] Nasiri AM, Shen Z, Hou JSC, Gerlich AP. Failure analysis of tool used in refill friction stir spot welding of Al 2099 alloy. *Engineering Failure Analysis* 2018; 84: 25–33.
- [16] Kubit A, Wydrzynski D, Trzepiecinski T. Refill friction stir spot welding of 7075-T6 aluminum alloy single-lap joints with polymer sealant interlayer. *Composite Structures* 2018; 201: 389-397.
- [17] Yang XW, Fu T, Li WY. Friction Stir Spot Welding: A review on joint macro and micro structure, property, and process modelling. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2014; 1–11.
- [18] Shena Z, Ding Y, Gopkalo O, Diak B, Gerlich AP. Effects of tool design on the microstructure and mechanical properties of refill friction stir spot welding of dissimilar Al alloys, *Journal of Materials Processing Tech* 2018; 252: 751–759.
- [19] Shi Y, Yue Y, Zhang L, Ji S, Wang Y. Refill Friction Stir Spot Welding of 2198-T8 Aluminum Alloy. *Trans Indian Inst Met* 2018; 71(1): 139-145.
- [20] Kwee I, Waele WD, Faes K. Weldability of high-strength aluminum alloy EN AW-7475-T761 sheets for aerospace applications, using refill friction stir spot welding. *Welding in the World*. 2019; 63: 1001-1011.
- [21] Mishra RS, Ma ZY. Friction stir welding and processing. *Materials Science and Engineering* 2005; 50:1–78.
- [22] Santos TG, Miranda RM, Vilaca P, Teixeira JP, Santos J. Microstructural mapping of friction stir welded AA 7075-T6 and AlMgSc alloys using electrical conductivity. *Science and Technology of Welding and Joining* 2011;16: 630–5.
- [23] Kwee I, Faes K. Refill friction stir spot welding of EN AW- 7075 T6 to EN AW-7075 T6 sheets. Part 1: effect of the welding parameters on the microstructure, surface temperature and hardness of refill friction stir spot welds of EN AW-075-T6. *Welding and Cutting* 2018; 17(5): 384–390.
- [24] Jata K, Semiatin SL. Continuous dynamic recrystallization during friction stir welding of high strength aluminum alloys. *Scripta Mater* 2000; 43: 743-749.
- [25] Sato YS, Kokawa H, Ikeda K, Enomoto M, Jogan S, Hashimoto T. Precipitation sequence in friction stir weld of 6063 aluminum during aging. *Metall. and Mater. Trans. A* 2001; 32: 3125-3130.
- [26] Okamura H, Aota K, Ezumi M. Friction stir welding of aluminum alloy and application to structure. *J. Japan Ins. L. Metals*. 2000; 50: 166-172.
- [27] Günay M, Yücel E. Application of Taguchi method for determining optimum surface roughness in turning of high-alloy white cast iron. *Measurement*. 2013; 46 (2): 913–919.

Genleştirilmiş Cam Agregalı Harçlarda Alkali Silika Reaksiyonu'nun (ASR) İncelenmesi

Yusuf Tahir ALTUNCI^{1*}, Cenk ÖCAL², Kemal SAPLIOĞLU³, Hüseyin Hakan İNCE⁴, Murat ÇEVİKBAŞ⁵

¹ İnşaat Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye

^{2,5} İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye

³ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye

⁴ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, Türkiye

*¹ yusufaltunci@isparta.edu.tr, ² cenkocal@isparta.edu.tr, ³ kemalsaplioglu@sdu.edu.tr, ⁴ hakanince@mehmetakif.edu.tr, ⁵ muratcevikbas@hotmail.com

(Geliş/Received: 05/03/2021;

Kabul/Accepted: 17/06/2021)

Öz: Bu çalışmada, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan 2 tip çimento (CEM I 42,5 R ve CEM IV/B F(P) 32,5 N) ile CEN standart kum granül boyutları aralığındaki Genleştirilmiş Cam Agregası (GCA), CEN standart kumu yerine %0, %10, %20 ve %30 oranlarında kullanılarak GCA'lı harç numuneleri üretilmiştir. Numuneler üzerinde Alkali Silika Reaksiyonu'nu (ASR) belirlemek için ASTM C 1260-14 standardına göre hızlandırılmış harç çubuk deneyleri yapılmış ve çimento tipine göre kullanma oranlarının ASR'ye etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, en riskli çimento olan CEM I serisi numunelerinde bile GCA'ların kullanma oranı arttıkça ASR açısından genleşmenin baskılandığı gözlemlenmiş ve GCA'ların ASR'yi önlemede etkili olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Genleştirilmiş cam agregası (GCA), harç, Alkali-silika reaksiyonu (ASR).

Investigation of Alkali Silica Reaction (ASR) of Mortar with Expanded Glass Aggregate

Abstract: In this study, mortar samples were produced by using 2 types of cement (CEM I 42.5 R and CEM IV / B (P) 32.5 N) commonly used in the construction industry and Expanded Glass Aggregate (EGA) used in place of the CEN standard sand with the rates of 0%, 10%, 20% and 30%. Accelerated mortar bar experiments according to ASTM C 1260-14 standard were performed to determine ASR on the samples, and the effect of substitution rates on Alkali Silica Reaction (ASR) was determined as per cement type. As a result of the study, CEM I series samples, which are the most risky cement types, it was observed that the expansion was suppressed in terms of ASR as the substitution rate of EGAs increased, and it is detected that EGA is effective in preventing ASR.

Key words: Expanded glass aggregate (EGA), mortar, Alkali silica reaction (ASR).

1. Giriş

Ekonomik büyümenin temel taşı olarak gösterilen inşaat endüstrisi çok hızlı bir şekilde büyüme ve buna bağlı olarak yapı malzemesi ve beton teknolojisindeki gelişmeler hızla devam etmektedir [1]. Günümüzde, sürdürülebilir kaynakların kullanılması ve malzemelerin geri dönüşüm (recycling), ileri dönüşüm (upcycling) ve geriye yönelik dönüşüm (downcycling) olarak değerlendirilmesi inşaat sektörünün sürdürülebilir yapısının korunması açısından kaçınılmaz olmuştur [2,3]. Bu nedenle harç ve beton üretiminde agregası malzemesi yerine atık malzemelerin kullanılması son derece önem arz etmektedir. Katı atık malzemeler içerisinde, atık camlar yaklaşık %4 oranıyla önemli bir hacimsel oranı oluşturmakta ve bu camların sadece %27'si geri dönüşüme sokulmaktadır [4]. Camların inşaat sektörü içerisinde kullanılarak geri dönüşüm oranının artırılması, hem ekonomik gelişimi hem de doğal çevre sürdürülebilirliğinin korunması hususlarında önemli bir rol oynamaktadır. Fakat atık camların harç ve beton içerisinde kullanılması ile oluşacak Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR) ile betonun durabilitesinde ve dolayısı ile mukavemetinde zaman içerisinde önemli azalmalar meydana gelmektedir [5]. Konu ile ilgili olarak; Serpa vd. [6], çalışmalarında, Portekiz'deki geri dönüştürülmüş cam malzemesinin betonda kullanılabilirliğini tespit etmek için, geri dönüştürülmüş camı, çimento esaslı harçlarda puzolan olarak kullanarak

* Sorumlu yazar: yusufaltunci@isparta.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-5418-7742, ² 0000-0002-1407-7637, ³ 0000-0003-0016-8690, ⁴ 0000-0003-1503-1742, ⁵ 0000-0002-8421-6591

ASR deneyleri yapmışlardır. Yapmış oldukları deneyler sonucunda, geri dönüştürülmüş atık camın çimento yerine uygun oranlarda ve agrega olarak da %20 oranına kadar kullanılmasının, gerçekleşmesi muhtemel olan ASR etkilerini azaltabileceğini belirlemişlerdir. İdir vd. [7], özellikle çapı 1 mm'nin altında olan cam agregaların ASR ye neden olduğunu ve 1 mm'den büyük çaplı cam agregaların ASR'den kaynaklı genleşmeleri azalttığı sonucuna varmıştır. Saccani vd. [8], çalışmalarında farklı kimyasal kompozisyonlara sahip olan, soda şişesi camlarını, floresan lambalardan elde edilen camları, monitör camlarını ve ev ürünü camlardan elde edilen cam tozlarını; çimento esaslı numune üretimlerinde, doğal kum yerine ince agrega olarak kullanmışlar ve farklı kimyasal bileşime sahip cam tozlarının çimentolu kompozitlerde agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmışlar ve çalışmalarının sonucunda, farklı oranlarda kimyasal bileşimlere sahip atık camların potansiyel reaktivitelerinden dolayı çimento esaslı bileşimlerde kullanılmadan önce kimyasal özelliklerinin analiz edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Topçu vd. [9] çalışmalarında beyaz, yeşil ve kahverengi cam olmak üzere üç farklı renkte ve değişik oranlardaki atık camı, harç üretiminde ince agrega olarak kullanmış ve ASR etkilerini ASTM C 1260'a [10] göre araştırmışlar ve ASR açısından en iyi performansı %25 kullanma oranı ile yeşil cam atıkların verdiğini ve %25 kullanma oranından sonra atık camların ASR'ye neden olduğunu belirlemişlerdir. Bu sebeple camların, harç ve beton içerisinde agrega olarak kullanılmasında önemli kısıtlamalar söz konusudur.

Atık camların öğütme işlemlerinden sonra genleştirici malzemelerle biraraya getirilerek modern ısı fırınlarında 750°C-950°C sıcaklıklarda ergitilmesi sonucunda, granüler şeklinde üretilen genleştirilmiş cam [11] için böyle bir araştırma yapılmamıştır. GCA'nın hacmi, atık camın hacminden ortalama 17 kat daha fazladır ve bu özelliğinden dolayı suda batmayan beton kano yapımında da kullanılmıştır [12,13]. İri agrega olarak kullanımı betonun mukavemetini çok düşürmekte [14,15,16] ve bu sebepten dolayı prefabrikte duvar panellerinde, yangına karşı direnç göstermesi istenen yapı elemanlarında, sıvalarda vb. uygulamalarda 4 mm'ye kadar olan genleştirilmiş camlar kullanılabilir [17,18,19].

Literatürde, genleştirilmemiş cam agregalı harç ve betonlar hakkında sayısız çalışma bulunmaktadır [6,7,9]. Fakat harç ve beton üretiminde genleştirilmiş camların agrega olarak kullanılması ile ilgili olarak yapılmış çalışmalar yok denecek kadar azdır. Harç ve beton üretiminde GCA kullanımı ile meydana gelebilecek ASR etkileşimi, oluşturulacak harcın durabilitesini etkileyeceğinden, mevcut çalışmada GCA'ların harç içerisinde hangi oranda kullanılabileceğinin araştırılması amacıyla, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan 2 tip çimento (CEM I 42,5 R ve CEM IV/B (P) 32,5 N) ile CEN standart kum granül boyutları aralığındaki GCA'lar, CEN standart kumu yerine %0, %10, %20 ve %30 oranlarında kullanılarak harç numuneleri üretilmiştir. GCA'ların farklı kullanım oranları ile farklı çimento tiplerine göre üretilen harç numuneleri üzerinde ASTM C 1260-14 [10] standardına göre hızlandırılmış harç çubuk deneyleri yapılmış ve hem GCA'ların hem de çimento tipinin ASR üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca, ASR deneylerine tabi tutulan %0 ve %30 GCA kullanarak üretilen numunelerin, SEM yüzey görüntüleri alınarak içyapıları tartışılmıştır. Yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen araştırma bulgularına göre, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan 2 tip çimento ile CEN standart kum granül boyutları aralığındaki GCA kullanarak üretilen harç numunelerinin ASR açısından inşaat sektöründe kullanılabilirliği savunulmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında materyal olarak; CEM I 42,5 R Portland çimento ve CEM IV/B (P) 32,5 N Puzolanik çimento türleri ile CEN standart kumu, CEN standart kum granül boyutları aralığındaki GCA'lar ve karışım suyu kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan çimento türlerinin kimyasal özellikleri Tablo 1'de, fiziksel ve mekanik özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan çimentoların kimyasal özellikleri

Çimento türü / Kimyasal içerik	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	SO ₃ (%)
CEM I 42,5 R	19,7	4,52	3,07	63,1	2,01	0,55	0,29	3,01
CEM IV 32,5 N	38,1	9,85	2,79	31,25	1,67	1,15	1,01	2,56

Tablo 2. Deneysel çalışmalarda kullanılan çimentoların fiziksel ve mekanik özellikleri [20,21]

Çimento türü	Priz başlama (dakika)	Genleşme (mm)	Basınç dayanımı (MPa)		
			2 günlük	7 günlük	28 günlük
CEM I 42,5 R	156	0,46	24,3	----	50,1
CEM IV 32,5 N	143	0,35	----	25	36,6

Deneysel çalışmalarda kum olarak, TS EN 196-1 [22] standardına uygun 2,56 g/cm³ yoğunluğundaki CEN standart kumu kullanılmıştır. CEN standart kumunun granülometrisi Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. CEN standart kumun granülometrisi TS EN 196-1 [22]

Kare göz açıklığı (mm)	2,00	1,60	1,00	0,50	0,16	0,08
Kümülatif elekte kalan (%)	0	7 ± 5	33 ± 5	67 ± 5	87 ± 5	99 ± 1

Çalışmalarda CEN standart kum granül boyutları aralığındaki ve 0,38 g/cm³ yoğunluğundaki GCA’lar, CEN standart kumu ile değişik oranlarda kullanılmıştır. GCA’lara ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. GCA’lara ait fiziksel ve kimyasal özellikler [23]

Yoğunluk (g/cm ³)	Su emme (%)	Yumuşama noktası (°C)	pH değeri (pH)
0,37 ± 0,04	17	700	8 – 11

2.2. Metot

GCA’lı harç numunelerinin ASR performanslarını belirlemek için, ASTM C 1260-14 [10] deney yöntemine göre, CEM I 42,5 R Portland çimento (ASR açısından riskli) ve CEM IV/B (P) 32,5 N Puzolanik çimento (ASR açısından en etkin) ile CEN standart kumu yerine %0, %10, %20 ve %30 oranlarında GCA kullanılarak 25×25×285 mm boyutlarında prizmatik numuneler hazırlanmıştır. CEM I ve CEM IV grubu sertleşmiş prizmatik numunelere ait görseller Şekil 1’de verilmiştir.

**Şekil 1.** Sertleşmiş prizmatik numuneler

Prizmatik numuneler üzerinde yapılan hızlandırılmış ASR deneyleri; ASTM C 1260-14 [10] standardına göre su/çimento oranı 0,47 ve çimento/kum oranı 2,25 olacak şekilde yapılmıştır. Ayrıca her oran için 2 adet, her çimento grubu için de 8 adet olmak üzere toplam 16 adet numune üzerinden ölçümler alınmıştır.

Deney sonuçlarının değerlendirilebilmesi için 14 günde elde edilen genleşme değerlerine yönelik olarak, ASTM C 1260-14 [10] standardı için önerilen:

- %0,10'un altında zararsız,
- %0,10-0,20 arası reaktivite potansiyeli riski var,
- %0,20'nin üstünde ise tehlikeli genleşme olarak sınıflandırılması yapılan sınır değerler referans alınmıştır.

Bununla birlikte, %0 ve %30 GCA kullanılarak üretilen numunelerin, SEM yüzey görüntüleri alınmış ve görüntüler ASR deney sonuçları ile birlikte yorumlanmıştır.

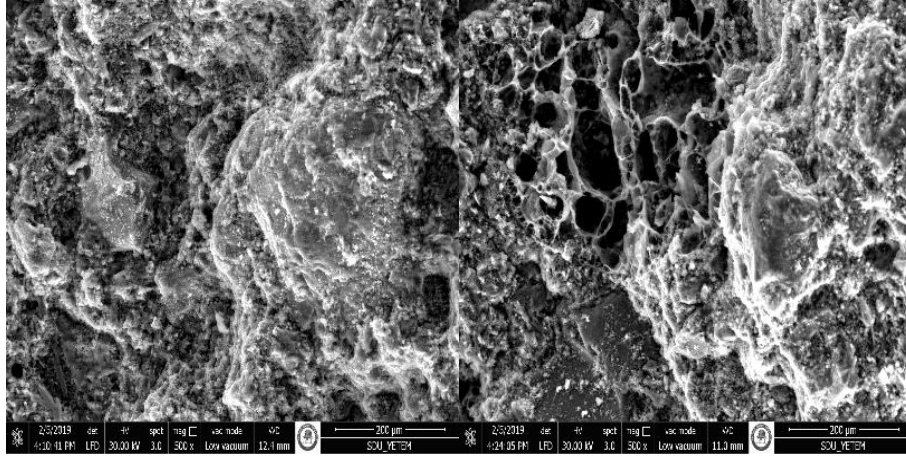
3. Deneysel Çalışma

Sertleşmiş harç ASR özelliklerini belirlemek için; ASTM C 1260-14 [10] deney yöntemine göre yapılan, GCA'lı harçlara ait 2,7, 14, 21 ve 28 günlük genleşme yüzdeleri (ASR deney sonuçları) Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. GCA'lı harçlara ait ASR deney sonuçları

Numune	Genleşme (%)				
	2 Günlük	7 Günlük	14 günlük	21 Günlük	28 Günlük
CEM I	-0,006	0,066	0,106	0,172	0,205
CEM I %10 GCA	-0,003	0,051	0,075	0,110	0,118
CEM I %20 GCA	-0,006	0,041	0,065	0,099	0,107
CEM I %30 GCA	0,003	0,038	0,053	0,073	0,074
CEM IV	0,004	0,001	-0,006	0,002	-0,001
CEM IV %10 GCA	0,001	-0,002	-0,003	-0,001	0,001
CEM IV %20 GCA	0,004	0,002	0,002	0,000	-0,003
CEM IV %30 GCA	0,002	0,004	0,002	0,000	-0,001

Tablo 5 üzerinde yapılan değerlendirmelerde; deneysel numuneler prizini aldıktan sonraki günlerde 80 °C'lik kür ortamında bekletilmesinden dolayı 20 °C ile 80 °C sıcaklık farkından doğan termik genleşmesi düşülmüştür. CEM I referans ve CEM I %30 GCA kullanılarak üretilen numunelerin SEM yüzey görüntüleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



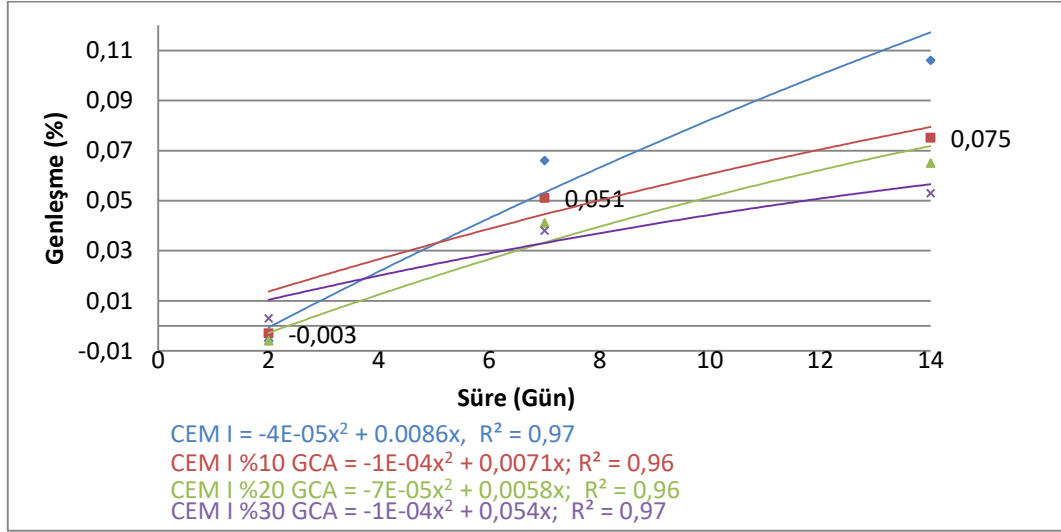
Şekil 2. CEM I – CEM I %30 GCA kullanılarak üretilen numunelerin SEM yüzey görüntüleri

Şekil 2'deki SEM yüzey görüntüsüne göre, yoğun kalsiyum silikat hidrat (CSH) yapısına sahip olan numune CEM I referans numunesidir. CSH oluşumunun boşlukları doldurduğu ve az da olsa boşlukların olduğu gözlemlenmiştir. CEM I %30 GCA kullanılarak üretilen numunelerin boşluk yapısı GCA'dan dolayı daha fazladır. Ayrıca reaktif agrega civarında oluşan jelin, GCA civarındaki boşluklara sızarak genleşmeyi engellediği söylenebilir. CEM I referans ve CEM I %30 GCA kullanılarak üretilen numunelerin EDS analiz sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. CEM I – CEM I %30 GCA kullanılarak üretilen numunelerin EDS analizleri

Element	CEM I Ağırlıkça (%)	CEM I %30 GCA Ağırlıkça (%)
O	58,78	54,65
Na	-	0,97
Mg	0,07	0,11
Al	0,49	0,72
Si	16,11	13,06
S	0,51	0,58
K	-	0,10
Ca	23,69	29,32
Fe	0,35	0,49

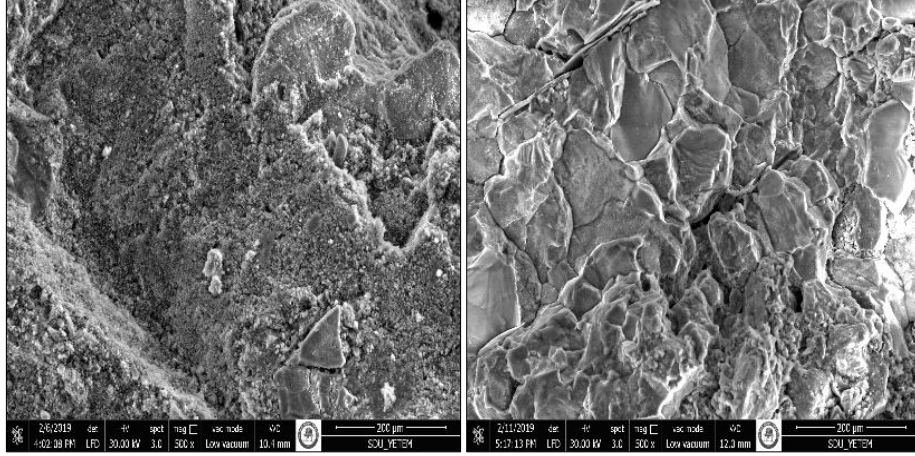
Tablo 6'daki EDS analizinde ağırlıkça yüzdeler dikkate alındığında ise en az Ca elementinin CEM I referans numunede olduğu tespit edilmiştir. CEM I grubu sertleşmiş harç serisi numunelerinin zamana bağlı genişleme değerleri ise Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. CEM I grubu sertleşmiş harç serisinin zamana bağlı genişleme değerleri

Bununla birlikte Şekil 3'de görüldüğü üzere, ASTM C 1260-14 [10] Test Metodu için 14 günde elde edilen genişleme değerlerine göre genişmesi %0,10-0,20 arasında olan ve ASR açısından reaktivite potansiyeli riski taşıyan numune CEM I referans numunesidir Aynı şekilde bu test metodu için 14 günde elde edilen genişleme değerlerine göre genişmesi %0,10'un altında olan ASR açısından zararsız numuneler; CEM I %10 GCA, CEM I %20 GCA ve CEM I %30 GCA numuneleridir. Buradan GCA kullanım oranı arttıkça standart kumda meydana gelecek genişmelerin azaldığı ve ASR açısından genişlemenin baskılandığı gözlemlenmiştir.

CEM IV referans ve CEM IV %30 GCA kullanılarak üretilen numunelerin SEM yüzey görüntüleri Şekil 4'de gösterilmiştir.



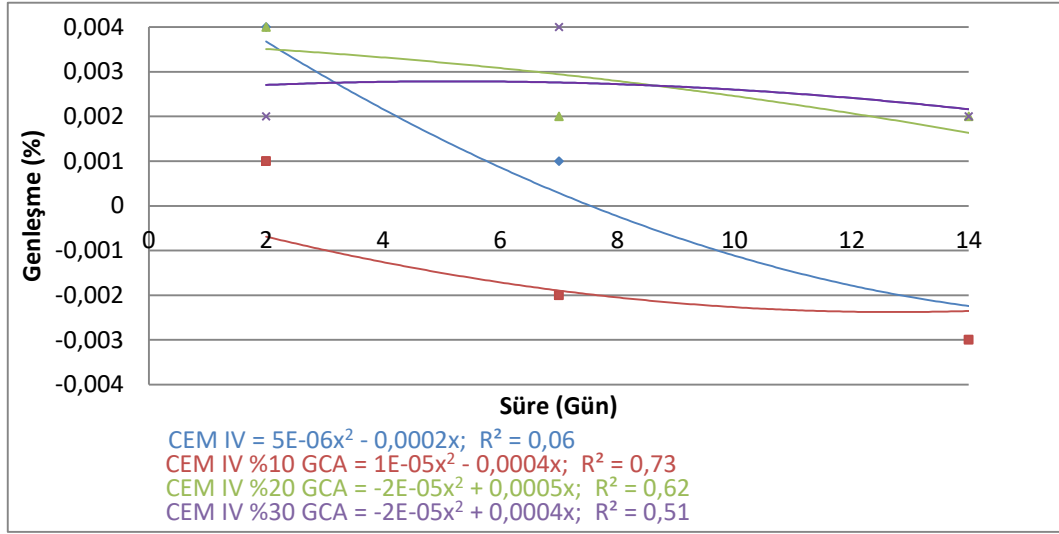
Şekil 4. CEM IV – CEM IV %30 GCA kullanılarak üretilen numunelerin SEM yüzey görüntüleri

28 günlük CEM IV referans numunesinin SEM yüzey görüntüsünde görüldüğü üzere bağ dayanımındaki artışın birim şekil değiştirme ve rijitlik davranışını olumlu bir şekilde etkilediği açıkça görülmektedir. CEM IV %30 GCA kullanılarak üretilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen SEM yüzey görüntüsü incelemelerinde ise, GCA'larının hidratasyona uğramamasından dolayı, matristeki boşlukların arttığı, matris yapısının yoğunlaşmadığı ve dolayısıyla da birim şekil değiştirme ve rijitlik davranışının zayıfladığı görülmektedir. CEM IV referans ve CEM IV %30 GCA kullanılarak üretilen numunelerin EDS analizleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. CEM IV – CEM IV %30 GCA kullanılarak üretilen numunelerin EDS analizleri

Element	CEM IV Ağırlıkça (%)	CEM IV %30 GCA Ağırlıkça (%)
O	46,89	42,94
Na	10,24	-
Mg	-	-
Al	10,88	6,85
Si	30,30	46,90
S	-	-
K	-	-
Ca	1,69	3,31
Fe	-	-

Tablo 7'deki EDS analizinde ağırlıkça yüzdeler dikkate alındığında ise en az Si elementinin CEM IV referans numunede olduğu tespit edilmiştir. CEM IV grubu sertleşmiş harç serisi numunelerin zamana bağlı genleşme değerleri ise Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. CEM IV grubu sertleşmiş harç serisinin zamana bağlı genleşme değerleri

Şekil 5’de görüldüğü üzere, CEM IV/B (P) 32,5 N grubu harç serisindeki tüm numunelerin ASTM C 1260-14 [10] test metodu için 14 günde elde edilen genleşme değerlerine göre genleşmesi %0,10’un altındadır ve ASR açısından zararsız olduğu tespit edilmiştir. CEM IV/B (P) 32,5 N grubu harç serisindeki ölçümler mikron mertebesinde olduğu için küçük dalgalanmalar elde edilmiştir. Mineral katkıların reaktiviteyi baskılaması yukarı doğru bir trend oluşmasını engellemekte olup, aksine eğilimi yataylaştırmakta ve bu durum küçük farklar açısından bir anlam ifade etmemektedir.

4.Sonuçlar ve Tartışmalar

Harç ve beton üretiminde geliştirilmemiş cam agrega kullanımının ASR’ye neden olduğu bilinmektedir. Buna karşılık, GCA’nın harç ve beton içerisinde kullanımı ile meydana gelebilecek olası ASR oluşumu ile ilgili olarak literatürde yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Çalışmada cam agrega olarak sadece GCA’ların CEM I 42,5 R (en saf çimento) ve CEM IV/B (P) 32,5 N (en çok katkı içeren çimento) tipi çimentolarla kullanımı sonucu meydana gelebilecek olası ASR performanslarını belirlemek için ASTM C 1260-14 [10] test metoduna göre ASR deneyleri yapılmıştır.

CEM I 42,5 R referans numunesinin ASR açısından reaktivite potansiyeli riski taşıyan numune olduğu söylenebilir. Bununla birlikte CEM I 42,5 R tipi çimentolarla üretilen numunelerde GCA kullanım oranı arttıkça ASR açısından genleşmenin baskılandığı dolayısıyla GCA kullanılmasıyla birlikte ASR etkisinin azaltılması mümkündür.

CEM IV/B (P) 32,5 N tipi çimento kullanılarak üretilen tüm numunelerde genleşmenin hemen hemen sıfırlandığı, burada Puzolanik çimentodaki mineral katkıların geçirimsizlik sağlayarak reaksiyonu baskıladığı söylenebilir. Bu sebeple CEM IV/B (P) 32,5 N tipi çimento ile daha yüksek oranlarda GCA kullanımı mümkün olmaktadır.

Sonuç olarak her iki tip çimento ile GCA’nın ASR oluşturma riski görülmemiştir. Ayrıca, her çimentonun alkali üretim koşullarına göre değişmektedir, ancak katkısız çimentolar (CEM I serisi), dayanım sınıfı ne olursa olsun katkılı çimentolara (CEM II, CEM III, CEM IV ve CEM V) göre mineral katkısız olduğu için ASR açısından daha risklidir. Bu nedenle, ASR bakımından bütün çimento tipleri ile %30 oranına kadar GCA’nın sorunsuzca kullanılacağı tespit edilmiştir. Bunun yanında çimentolardaki A, B ve C kodları, çimento içerisindeki mineral katkı ile ilgili bilgi verdiğinden C tipi bir çimentoda mineral katkı kullanım oranı daha yüksek olduğu gerekçesiyle aynı sınıf çimentonun B ve A tipine göre ASR açısından daha etkin olduğu anlaşılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde çalışmanın geliştirilmiş camın inşaat sektöründe kullanılmasına ilişkin yapılacak çalışmalara ışık tutacağına inanılmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 118M111 numaralı 1002 Hızlı Destek Projesi tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Altuncu YT. Genleştirilmiş Cam Agregalı ve Genleştirilmiş Perlit Agregalı Şap Harçlarının Performans Özellikleri, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2019.
- [2] Oyenuga AA, Bhamidimarri R. Upcycling ideas for sustainable construction and demolition waste management: challenges, opportunities and boundaries. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2017; 6(3): 4066–4079.
- [3] Karagözoğlu MB, Özyonar F, Yılmaz A, Atmaca E. Katık atıkların yeniden kazanımı ve önemi. Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu; 15-17 Haziran 2009; İstanbul-Türkiye, 1-8.
- [4] Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı. Geri Dönüşümlü Atık Malzemeler ile ilgili Bilgiler. <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials>. Erişim tarihi Mayıs 3, 2020.
- [5] Liu S, Wang S, Tang W, Hu N, Wei J. Inhibitory effect of waste glass powder on asr expansion induced by waste glass aggregate. *Materials (Basel)*, 2015; 8(10): 6849–6862.
- [6] Serpa D, Silva AS, Brito JD, Pontes J, Soares D. ASR of mortars containing glass. *Constr. Build. Mater.*, 2013; 47: 489–495.
- [7] Idir R, Cyr M, Tagnit-Hamou A. Use of fine glass as asr inhibitor in glass aggregate mortars. *Constr. Build. Mater.*, 2010; 24: 1309–1312.
- [8] Saccani A, Bignozzi MC, Barbieri L, Lancellotti I, Bursi E. Effect of the chemical composition of different types of recycled glass used as aggregates on the asr performance of cement mortars. *Constr. Build. Mater.*, 2017; 154: 804–809.
- [9] Topçu İB, Boğa AR, Bilir T. Alkali-silica reactions of mortars produced by using waste glass as fine aggregate and admixtures such as fly ash and Li₂CO₃. *Waste Manage.*, 2008; 28(5): 878–884.
- [10] ASTM C 1260-14, Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- [11] Şapçı, N. Doğal Kayaç Bileşenli Genleşmiş Cam Agregası Üretimi Ve Endüstriyel Olarak Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2013.
- [12] Amerika Altyapı Raporu. Suda yüzen beton. <https://www.infrastructurereportcard.org/>. Erişim tarihi Ocak 7, 2020.
- [13] İTÜ Mühendisliğe Hazırlık Kulübü. Suda yüzen beton. <http://www.itumhk.com/>. Erişim tarihi Ocak 7, 2020.
- [14] Nemes R, Józsa Z. Strength of lightweight glass aggregate concrete. *J. Mater. Civ. Eng.*, 2006; 18(5): 710-714.
- [15] Kralj D. Experimental study of recycling lightweight concrete with aggregates containing expanded glass. *Process Safety and Environmental Protection*, 2009; 87(4): 267-273.
- [16] Yu R, Onna DV, Spiesz P, Yu QL, Brouwers HJH. Development of ultra-lightweight fibre reinforced concrete applying waste glass. *Jornal of Cleaner Production*, 2016; 112: 690-701.
- [17] Ismail ZZ, Al-Hashmi EA. Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete. *Waste Manage.*, 2009; 29(2): 655-659.
- [18] Rashad AM. Recycled waste glass as fine aggregate replacement in cementitious materials based on portland cement. *Constr. Build. Mater.*, 2014; 72: 340–357.
- [19] Liaver Reapor Akustik Platten. http://www.liaver.com/fileadmin/user_upload/pdf/Liaver_reapor_en.pdf.pdf. Erişim tarihi Mart 3, 2020.
- [20] Göltaş Çimento A.Ş. CEM I 42,5 R Bilgi Föyü. <http://www.Goltas.com.tr/files/urunlerimiz/dgjrapsb6jsoc0c0kg.pdf>. Erişim tarihi Ocak 7, 2020.
- [21] Göltaş Çimento A.Ş. CEM IV 32,5N Bilgi Föyü. <http://www.Goltas.com.tr/files/urunlerimiz/b9cpybnmq74g0og8sk.pdf>. Erişim tarihi Ocak 7, 2020.
- [22] TS EN 196-1. Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları, Ankara, Türkiye, 2016.
- [23] Perhabbe. Genleşmiş Cam Teknik Bilgi Föyü. <http://www.perhabbe.com/resimler/files/PerHAbbe-Genlesmis-Cam-Teknik-Bilgi-Foyu.pdf>. Erişim tarihi Ocak 7, 2020.

Demiryolu Bağlantı Elemanları için Anahtar Noktalar ve Görsel Kelime Çantası Tabanlı Kusur Tespit Yöntemi

İlhan AYDIN^{1*}, Emre GÜÇLÜ², Erhan AKIN³

^{1,2,3} Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
^{*1} iaydin@firat.edu.tr, ² emreguclu1367@gmail.com, ³ eakin@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 10/03/2021;

Kabul/Accepted: 05/04/2021)

Öz: Demiryolu hattı; raylar, ray traversleri ve bağlantı elemanlarından oluşan stabil bir yapıdır. Bu yapı tekerlekler için güvenilir bir yüzey sağlayarak trenlerin taşınmasını sağlar. Eğer bu yapı bozulursa güvenlik sorunları ortaya çıkar. Bu nedenle hat üzerinde oluşabilecek kusurların incelenmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmada, ray bağlantı elemanlarında oluşan kusurların tespiti için bilgisayarlı görme tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşımda ilk olarak ray görüntüsünden bağlantı elemanının konumunu belirlenmektedir. Daha sonra bağlantı elemanı ile ilgili tanımlayıcı özellikler Oriented Fast and Rotated Brief (ORB) yöntemi ile elde edilmektedir. Son aşamada ise elde edilen özellikler kullanılarak bağlantı elemanı için kusurlu veya sağlam olarak sınıflandırma işlemi yapılmaktadır. Önerilen yöntemin başarımı deneysel olarak doğrulanmış ve %96.48'lik bir başarımla elde edilmiştir. Aynı veri kümesi üzerinde Speeded-Up Robust Features (SURF) anahtar nokta çıkarım tekniği ve Histogram of Oriented Gradients (HOG) tekniği de uygulanmıştır. Üç tekniğin sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuç, literatürde bulunan farklı çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılıp tablo halinde sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Demiryolu bağlantı elemanı, bilgisayarlı görme, ORB yöntemi, görsel kelime çantası, kusur tespiti.

Key points and Bag of Visual Words Based Defect Detection Method for Railway Fasteners

Abstract: Railway track is a stable structure consisting of rails, rail sleepers and fasteners. This structure enables trains to be transported by providing a reliable surface for the wheels. If this structure is broken, security problems arise. For this reason, it has become an important issue to examine the defects that may occur on the line. In this study, a computer vision-based approach is proposed for the detection of defects in rail fasteners. The proposed approach first determines the position of the fastener from the rail image. Then, the descriptive properties of the fastener are obtained by the Oriented Fast Rotated Brief Oriented Fast and Rotated Brief (ORB) method. In the last stage, using the obtained features, the fastener classification process is made as defected or robust. The success of the proposed method has been experimentally verified and a success of 96.88% has been achieved. Speeded-Up Robust Features (SURF) key point extraction technique and Histogram of Oriented Gradients (HOG) technique were also applied on the same dataset. The results of the three techniques are compared. In addition, the result obtained was compared with the results of different studies in the literature and presented in a table.

Key words: Railway fastener, computer vision, ORB method, visual word bag, defect detection.

1. Giriş

Demiryolları raylar üzerinde ilerleyen araçlarla yolcu ve yük taşımacılığının yapılmasını sağlayan yapılardır. Demiryolu taşımacılığı günümüzde en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Bu nedenle, kazalara yol açabilecek kusurların tespiti için demiryolu denetimi önemli bir konudur. Raylar üzerinde kullanıma bağlı olarak çeşitli arızalar meydana gelmektedir. Bu arızalar; ray yüzeyindeki bozulmalar, eksik bağlantı elemanları, traverslerin yanlış konumlanması gibi durumlardır [1]. Travers rayların altına dik olarak belirli aralıklarla yerleştirilen ve ray üzerindeki kuvveti balast tabakasına yayan beton veya ahşap olarak imal edilen bloklardır. Demiryollarında yapılan kusur incelemelerinde genel olarak rayların ve ray bağlantı elemanlarının durumu incelenir.

Demiryolu endüstrisi, şu anda güvenli bir demiryolu ulaşımı sağlamak için bir dizi kusur inceleme uygulaması kullanmaktadır. Bu uygulamalardan biri görsel incelemedir. Görsel inceleme ile kusur tespiti için deneyimli çalışanlar ve uygun eğitim gerekir. Ayrıca, görsel incelemeler yoğun uğraş gerektirir ve kusuru yorumlayan kişinin yorumlarına göre değişken ve özeldir. Görsel incelemelere ek olarak ultrasonik ray kusur tespiti [2] ve demiryolu geometri ölçüm sistemleri [3] gibi inceleme yöntemleri de bulunmaktadır. Ancak bu yöntemler oldukça pahalıdır ve denetleme yılda sadece birkaç kez gerçekleşir. Bu nedenle, hatayı tespit etmek için

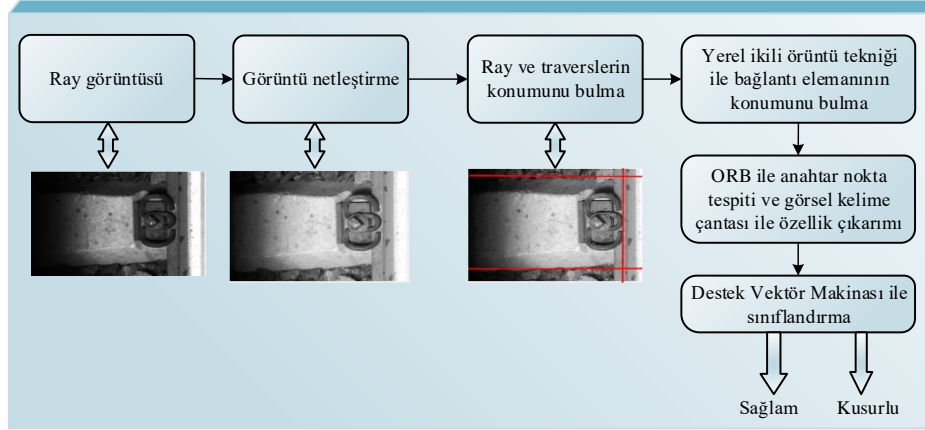
* Sorumlu yazar: iaydin@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numaraları: ¹ 0000-0001-6880-4935, ² 0000-0002-4566-7517, ³ 0000-0001-6476-9255

tespit süresini kısaltabilecek yeni bir yöntemin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Temassız, düşük maliyetli, yüksek hız avantajlarına sahip görüntü işleme teknolojisi bu iş için uygun bir yöntemdir. Son yıllarda, bilgisayarın hesaplama gücünün daha iyi olması ile birlikte görme tabanlı inceleme çalışmaları artmıştır. Ray yüzeyinde oluşan kusurların belirlenmesi için görüntü işleme ve derin öğrenme tabanlı teknikler önerilmiştir [4-6]. Ray kusurlarının tespiti için önerilen yöntem, hattın belirli uzamsal özelliklerini alarak az sayıda yakın değer içeren bir arka plan istatistiksel dağılımını kullanır. Vidalarda oluşan kusurların tespiti için benzerliğe dayalı bir derin ağ modeli önerilmiştir [7]. Derin öğrenme tabanlı teknikler gerçek zamanlı uygulandığında pahalı ekran kartlarına ihtiyaç duyarlar ve gerçek zamanlı uygulamalar için görüntü alma hızı ile ilgili problemler oluşur. Önerilen yöntem ile hem bağlantı elemanının lokalizasyonu belirlenmekte hem de bağlantı elemanlarını sınıflandırması sağlanmaktadır. Kısmen aşınmış veya tamamen eksik bağlantı elemanlarını olasılık temelli konu modeli kullanarak tespiti için görsel algılama tabanlı bir yöntem önerilmiştir [8]. Bağlantı elemanlarını modellemek için olasılıksal yapı modeli önerilmiş ve sınıflandırma için Haar benzeri bir özellik çıkarımı kullanılmıştır. Lazer kameralar ile alınan ray görüntülerinden bağlantı elemanın tespiti için histogram tabanlı bir yöntem önerilmiştir [9]. Önerilen yöntem histogram tepe kontrol yöntemi ile temel bileşen analizini birleştiren hibrit bir yaklaşıma dayanmaktadır. Bağlantı elemanlarında oluşan kusurların belirlenmesi için karşılaştırmalı görme tabanlı bir yöntem önerilmiştir [10]. Kusurlu eleman tespiti için Dense-SIFT ve evrimsel sinir ağı tabanlı iki teknik karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Dense-SIFT'in daha iyi olduğunu göstermiştir. Farklı aydınlanma koşulları altında bağlantı elemanının tespiti ve kusurlarına göre sınıflandırılması için yönlendirilmiş gradyan histogramı ve bulanık kümeleme tabanlı bir teknik önerilmiştir [11]. Önerilen yöntem ile farklı noktalarda kusurlu olan bağlantı elemanın tespiti ve sınıflandırılması sağlanmıştır. Bağlantı elemanlarında kusur tespiti için evrimsel sinir ağı tabanlı bir yöntem önerilmiştir [12]. Önerilen yöntemin temel katkısı bir bölütleme algoritması ile bağlantı elemanının ray bağlantı civatası ve bağlantı klipsi olarak iki parçaya bölünmesi ve klipsleri tespit etmek için lokal evrimsel bir sinir ağının kullanılmasıdır.

Literatürde bağlantı elemanı kusur tespiti için birçok yöntem önerilmesine rağmen halen bütün şartlarda çalışan tamamen otomatik bir yöntem bulunmamaktadır. Birçok çalışmada ise bağlantı elemanının nasıl tespit edildiği ile ilgili oldukça az bilgi verilmektedir. Bu çalışmada ray bağlantı elemanı kusurlarının tespiti için yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem ilk olarak ışıklandırma ile ilgili gürültüleri yok etmek için yüksek kontrastlı bir görüntü elde etmektedir. Bu görüntüde ray ve travers bağlantıları bulunmaktadır. Travers bağlantısı üzerindeki vida Çizgi Yerel İkili Örüntü (ÇYİÖ) algoritması ile tespit edildikten sonra ORB yöntemi ile anahtar noktalar çıkarılmaktadır. Elde edilen anahtar noktalardan görsel kelime çantaları oluşturularak özellikler çıkarılmakta ve destek vektör makineler ile kusur sınıflandırması yapılmaktadır.

2. Ray Bağlantı Elemanı Kusur Tespiti İçin Önerilen Yaklaşım

Ray bağlantı elemanında oluşan kusur tespiti için görüntü işleme tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Ray ile ilgili görüntüler genellikle trenin altından alındığı için ışıklandırmaları iyi değildir. Bu nedenle, ray görüntüleri gürültü içerir. Önerilen yaklaşımın ilk adımında, yüksek kontrastlı ray görüntüsünü elde etmek için görüntü netleştirme yöntemi uygulanmaktadır. Elde edilen görüntüde gürültü ve ışıklandırma etkileri giderilmektedir. Daha sonra elde edilen görüntüde ray ve travers bileşenlerinin konumu tespit edilmektedir. Elde edilen travers bileşeni üzerindeki bağlantı elemanının konumunu belirlemek için çizgi yerel ikili örüntü tekniği kullanılmıştır. Daha sonra tespit edilen bağlantı elemanı görüntüsü üzerinden ORB algoritması ile öz nitelikler çıkarılmakta ve destek vektör makinası ile sınıflandırılmaktadır. Önerilen yöntemin blok şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Önerilen sistemin blok şeması.

Şekil 1’de ilk olarak alınan ray görüntüsü üzerinde görüntü netleştirme işlemi yapılarak görüntüdeki gürültüler giderilmektedir. Ray ve travers konumları belirlendikten sonra ay bileşeni ÇYİÖ ile tespit edilip ORB algoritması ile özellikler çıkarılmaktadır. Elde edilen özellikler destek vektör makinalar ile sınıflandırılarak kusur tespiti yapılmaktadır.

2.1. Görüntü Ön İşleme Adımı ve İyileştirme

Trenin altından elde edilen görüntülerin kontrast değeri düşük olduğundan ilk aşamada görüntü iyileştirme işlemi uygulanacaktır. Bir renkli görüntü R, G ve B olmak üzere üç bileşenden oluşur. Renkli görüntü gri görüntüye dönüştürülürken genelde 3 katsayı kullanılır. Bu katsayılar k_r , k_b ve k_g olmak üzere değerleri genellikle $k_r=0.2989$, $k_g=0.5870$ ve $k_b=0.1140$ olarak seçilir. Gri görüntüye dönüşüm için genellikle aşağıdaki dönüşüm kullanılır.

$$I(x, y) = k_r R(x, y) + k_b B(x, y) + k_g G(x, y) \quad (1)$$

Yüksek kontrastlı ve düşük homojenliğe sahip bir görüntüyü elde etmek için uygun katsayıların belirlenmesi gerekir [13]. Denklemde k_b değeri bu genellemeyi kaybetmeden 1 olarak seçilebilir. Düşük homojenliğe sahip bir görüntü elde etmek için varyansı yüksek olan bir monokrom görüntü oluşturulmalıdır. Önerilen sistemin algoritması Şekil 2’de verilmiştir.

function J=yuksekkontrasthesap(R,G,B)
1. Gri görüntüyü hesapla (Denklem 1) $I(x, y) = k_r R(x, y) + B(x, y) + k_g G(x, y)$
2. Varyansı hesapla $\sigma_f^2 = \text{variance}((I - I_{min}) / (I_{max} - I_{min}))$
3. En iyi parametreleri bul $(\hat{k}_r, \hat{k}_g) = \arg \max k_r, k_g (\sigma_f^2)$
4. Elde edilen parametrelerle yeni görüntüyü hesapla $\hat{I}(x, y) = \hat{k}_r R(x, y) + B(x, y) + \hat{k}_g G(x, y)$
5. Yüksek kontrastlı görüntüyü hesapla $J = (\hat{I} - \hat{I}_{min}) / (\hat{I}_{max} - \hat{I}_{min})$

Şekil 2. Yüksek kontrastlı görüntüyü hesaplama.

Şekil 2’de renkli görüntü gri görüntüye dönüştürülürken yüksek kontrastlı bir görüntü elde etmek için uygun katsayılarla hesaplanmaktadır. Bu katsayılar, standart sapmayı maksimum yapacak şekilde seçilmektedir. Bu amaçla Matlab’taki fminsearch metodu kullanılmıştır.

2.2. Ray ve Travers Lokalizasyonu

Ray ve travers konumunun bulunması için ilk olarak elde edilen yüksek kontrastlı görüntü ikili görüntüye dönüştürülür. Bu amaçla, Otsu yönteminden faydalanılmaktadır [14]. Daha sonra elde edilen görüntüden rayın ve

traverslerin konumu belirlenmektedir. İkili görüntüye dikey projeksiyonu elde etmek için aşağıdaki gibi bir ön işleme uygulanır.

$$P(j) = \sum_{i=1}^w S(i, j) \quad i=1, \dots, w, j=1 \dots h \quad (2)$$

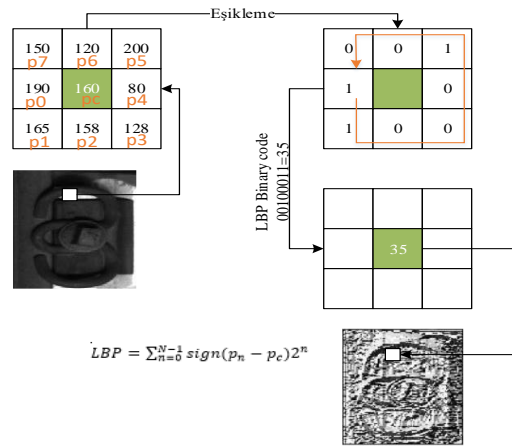
Denklem 2’de $S(i, j)$, bölütlenen görüntünün piksel değerini göstermektedir. Bölütlenen görüntü 0 veya 1’lerden oluşan ikili bir görüntüdür. Daha sonra elde edilen sinyal $P(j)$ ’nin ardışık farkları Denklem 3’teki gibi alınmaktadır.

$$DP(j) = P(i + 1) - P(i), i = 1, 2, \dots, w \quad (3)$$

Denklem 3’te elde edilen ardışık farklar sinyalinde en büyük iki değer rayın kenarlarını göstermektedir. Bu işlem travers tespiti için de yatay olarak uygulanmakta ve travers de tespit edilmektedir.

2.3. Çizgi Yerel İkili Örüntü(ÇYİÖ) Dayalı Bağlantı Elemanı Konum Tespiti

Orijinal yerel ikili örüntü yöntemi merkez piksel ile komşu pikselleri karşılaştırarak bir değer üretir. Eğer merkez piksel değeri p_c ve komşu bir piksel p_n olarak alınırsa $p_n > p_c$ ise ilgili piksel 1, değilse 0 değerini alır [15]. Daha sonra merkez piksel etrafında her bitin ağırlıklı toplamı merkez pikselin değerini verir. Lokal ikili örüntü yöntemi Şekil 3’te verilmiştir.

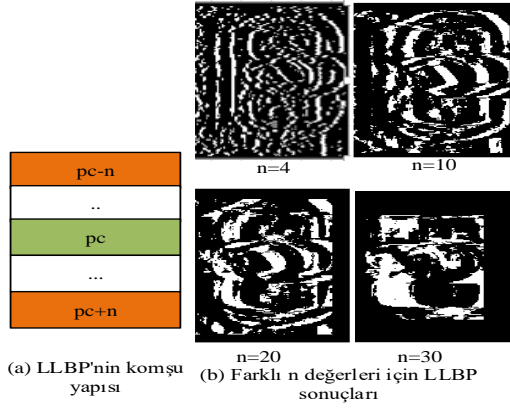


Şekil 3. Bir görüntüdeki yerel ikili desen.

Şekil 3’te yerel ikili örüntü ile elde edilen görüntüde vidanın tespit edilmesi oldukça zordur. Bu yüzden bu çalışmada çizgi yerel ikili örüntü yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin farkı çizgi yönünde bir karşılaştırma yapmasıdır [16]. Bu yöntem, Denklem 4’te verilmiştir.

$$LLBP = \text{sign}(p_{c-n} - p_c) \times \text{sign}(p_{c+n} - p_c) 2^0 \quad (4)$$

Denklem 4’te p_c ve $P_{c \pm n}$ merkez piksel ve iki komşusunu göstermektedir. ÇYİÖ sadece n parametresine sahip olup bu parametre ne kadar büyük seçilirse vida o kadar geniş görünür. Küçük n değerleri çok fazla gürültü içerdiğinden vidanın belirlenmesi zordur. Şekil 4’te ÇYİÖ yöntemi ve farklı n parametreleri için uygulanması gösterilmiştir.



Şekil 4. ÇYİÖ yapısı ve farklı n değerleri için uygulaması.

Şekil 4'te gösterildiği gibi n değeri küçük seçildiğinde tamamen gürültülü bir görüntü elde edilmekte ve gürültülü piksel değerleri vidanın tespitini zorlaştırır. Buna karşın, n değeri büyük seçildiğinde gürültü azalmakta ve vida tespiti kolaylaşmaktadır. Travers üzerindeki vida belirlendikten sonra kenar noktaları görüntü kontörü çizilerek bulunur.

2.4. ORB Tabanlı Özellik Çıkarımı ve Sınıflandırma

ORB algoritması, 2011 yılında Ethan Rublee ve ark. tarafından SIFT ve SURF algoritmalarına alternatif olarak geliştirilmiştir [17]. ORB, bir görüntüde özel bölgeler bularak başlar. Bu noktalara kilit noktalar denir. Kilit noktalar, bir görüntüde bulunan oldukça belirgin konumlardır. Piksel değerlerinin keskin bir şekilde değiştiği noktalar kilit nokta olabilir. ORB, performansı iyileştirmek için bazı ek özellikler içeren FAST ve BRIEF algoritmasının bir birleşimidir. Bu iki teknik iyi performansa ve uygun maliyete sahiptir. Bu nedenle ORB, özellik bulmada SIFT kadar iyiyken, hız olarak ise daha hızlıdır [15]. Bu nedenle, gerçek zamanlı uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. ORB algoritmasında, FAST algoritması yardımıyla anahtar noktalar tespit edilir. Ardından anahtar noktaların yönelimleri bulunur. Son olarak yönlendirilmiş BRIEF tanımlayıcıları oluşturulur.

FAST algoritmasında ilk olarak yoğunluğu I olan bir p pikseli belirlenir. Bu pikseller aday bir pikselin köşe olup olmadığını belirler.

$$N = \sum_{x \in \text{circle}(p)} f(I(p), I(x)) \quad (5)$$

Denklem 5'teki f fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$f = \begin{cases} 1, & |I(x) - I(p)| > \epsilon_d \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (6)$$

I(p) çemberdeki merkez pikseli gösterir. I(x) ise çemberdeki herhangi bir noktayı ifade eder. Eğer iki noktanın mutlak farkı ϵ_d değerinden büyük ise 1, değilse 0 değerini alır. Yukarıdaki denklem ile verilen bir eşik değerinden daha büyük olan piksel sayısı olan N değeri hesaplanır. FAST, oryantasyonu hesaplamadığı için ORB, oryantasyon telafisi için Denklem 4'teki değişikliği yapmıştır. Verilen görüntünün I(x,y) parçası için, moment değerleri Denklem 7'deki gibi bulunur.

$$m_{pq} = \sum_{x,y} x^p x^q I(x, y) \quad (7)$$

Denklem 7'deki momentten parçanın C merkezi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C = \left(\frac{m_{10}}{m_{00}}, \frac{m_{01}}{m_{00}} \right) \quad (8)$$

Parçanın yönü θ , Denklem 9'daki gibi bulunur.

$$\theta = \arctan(m_{01}, m_{10}) \quad (9)$$

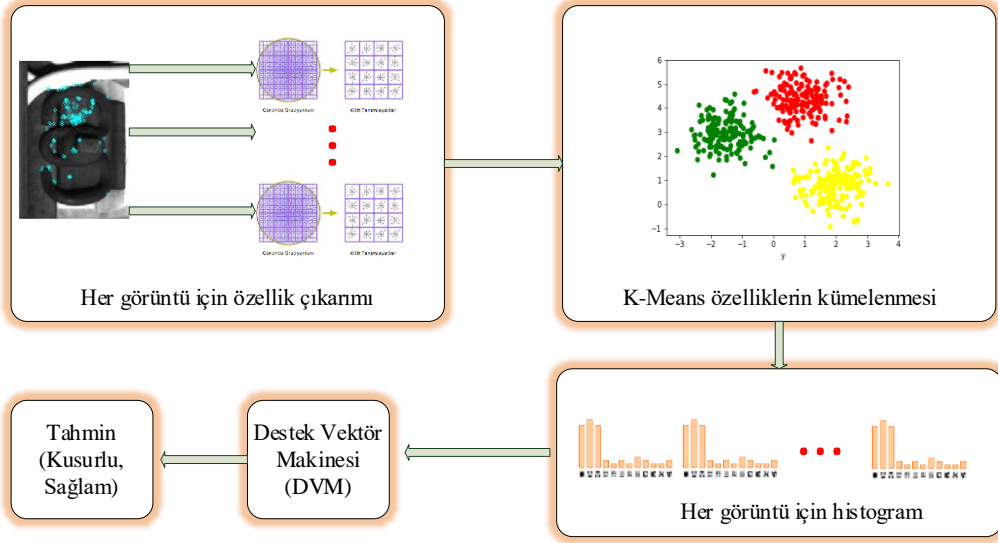
ORB algoritmasının ikinci kısmında ise FAST algoritması tarafından bulunan kilit noktaları alınır ve bunlar birlikte bir nesneyi temsil edebilen özellik vektörlerine dönüştürülür. ORB, öznelik vektörleri oluşturmak için BRIEF algoritmasını kullanır. BRIEF algoritması, bir ikili özellik tanımlayıcısıdır ve ikili dizeleri doğrudan bulmak için bir kısa yol sağlar. İkili bir tanımlayıcı oluştururken, yalnızca algılanan noktaların çevresinde bulunan iki piksel konumu arasındaki yoğunluğu karşılaştırmak gerekir. Bu işlem de düşük maliyetli olmasını sağlar. BRIEF, ön işlem olarak yumuşatılmış bir görüntü parçası alır ve benzersiz bir şekilde bir dizi (x, y) konum çifti seçer. Daha sonra bu konum çiftlerinde bazı piksel yoğunluğu karşılaştırmaları yapılır. P(x), x noktasındaki P'nin yoğunluğu ve P (y), y noktasındaki P'nin yoğunluğu olmak üzere Denklem 10'da gösterilmiştir.

$$\tau(p; x, y) = \begin{cases} 1, & p(x) < p(y) \\ 0, & p(x) \geq p(y) \end{cases} \quad (10)$$

Özellik vektörü $fn(p)$ Denklem 11'deki gibi n adet ikili test yapılarak oluşturulur.

$$f_n(p) = \sum_{1 \leq i \leq n} 2^{i-1} \tau(p; x, y) \quad (11)$$

ORB'de anahtar noktaların yön bilgisi ile BRIEF sonuçları ilişkilendirilir ve yönlendirilmiş BRIEF tanımlayıcıları oluşturulur. ORB algoritması ile çıkarılan özellikler, Bag of visual words (BOVW) için kullanılmıştır. Bag of words (BOW) kavramı ilk olarak metin belge analizi için metin erişim alanı probleminde önerilmiş ve daha sonra bilgisayarla görme uygulamaları için Bag of visual Words (BOVW) adıyla uyarlanmıştır [17]. Yani, metin belgeleri yerine görüntüleri sınıflandırmak için BOW modeli genişletilmiştir. Görüntü analizi için, renk, doku gibi yerel bölgelerin veya noktaların düşük seviyeli görsel özelliklerini kümeleyerek vektör niceleme sürecine dayanan BOVW modelinde bir kelimenin görsel bir analogu kullanılır. Görüntülerden kelime çantası elde etmek için ilk olarak görüntüden özellik çıkarımı yapılmalıdır. Özellik çıkarımı SIFT, SURF, ORB gibi algoritmalar ile yapılabilir. Bu çalışmada, yukarıda belirtildiği gibi ORB algoritması kullanılmıştır. ORB algoritması uygulanan görüntü, Görsel kelime çantası modeli ile özellik çıkarımı ve destek vektör makinası ile sınıflandırma aşamaları ile Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Kelime çantası modeli akış diyagramı.

Şekil 5'te elde edilen bu görsel kelimelerin farklı özellikleri vardır. Bu nedenle, aynı şeyi temsil eden görselleri bir araya toplamak için bazı kümeleme yöntemlerine ihtiyacımız vardır. Bu işlem için tanımlayıcılardan kümeler oluşturulur. Son olarak, her bir görüntü için frekans histogramı oluşturulur. Bu histogramlar görsel kelime çantasını oluşturmaktadır. Son aşamada Destek Vektör Makinesi (DVM) ile histogramlar kullanılarak tahmin işlemi yapılacaktır. Performans ölçümü için karmaşıklık matrisi kullanılmaktadır. Karmaşıklık matrisi, çıktının iki veya daha fazla sınıf olabileceği makine öğrenimi sınıflandırma problemleri için bir performans ölçümüdür. Tahmini değerler ve gerçek değerlerin 4 farklı kombinasyonunu içeren bir matris olup iki sınıf için Şekil 6'da karmaşıklık matrisinin yapısı verilmiştir.

		Gerçek sınıf	
		Pozitif	Negatif
Tahmin edilen sınıf	Pozitif	DP	YP
	Negatif	YN	DN

Şekil 6. Karmaşıklık matrisi yapısı.

Karmaşıklık matrisinin içeriği şu şekildedir: DP (Doğru Pozitif) ve DN (Doğru Negatif) modelin doğru olarak tahmin edildiği alanlardır. YP (Yanlış Pozitif) ve YN (Yanlış Negatif) ise modelin yanlış olarak tahmin edildiği alanlardır. Karmaşıklık matrisi; Duyarlılık, Kesinlik ve F1 değerlerini ölçmek için son derece kullanışlıdır. Duyarlılık, pozitif olarak tahmin etmemiz gereken işlemlerin ne kadarını pozitif olarak tahmin edildiğini gösteren bir metriktir. Kesinlik, pozitif olarak tahmin edilen değerlerin gerçekten kaç adetinin pozitif olduğunu gösteren bir orandır. F1 değeri bize Kesinlik ve Duyarlılık değerlerinin harmonik ortalamasını göstermektedir. Basit bir ortalama yerine harmonik ortalama olmasının sebebi ise uç durumların da göz önüne alınması gerektiği içindir. Bu değerleri hesaplamak için gerekli denklemler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

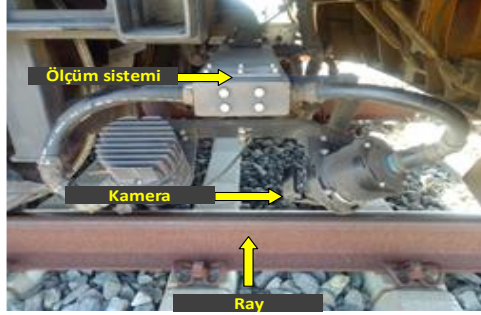
$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (12)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP+YP} \quad (13)$$

$$F1 = \frac{2 * \text{Geri}_\text{çağırma} * \text{Kesinlik}}{\text{Geri}_\text{çağırma} + \text{Kesinlik}} \quad (14)$$

3. Deneysel Sonuçlar

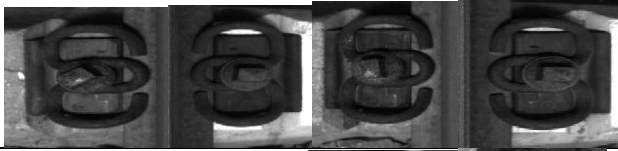
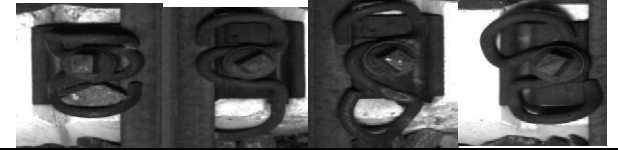
Çalışmada kullanılan verileri elde etmek için Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Araştırma Merkezi (DATEM) tarafından bir ölçüm treni üzerinden veriler elde edilmiştir. Şekil 7’de verilerin elde edildiği ölçüm sistemi gösterilmiştir.



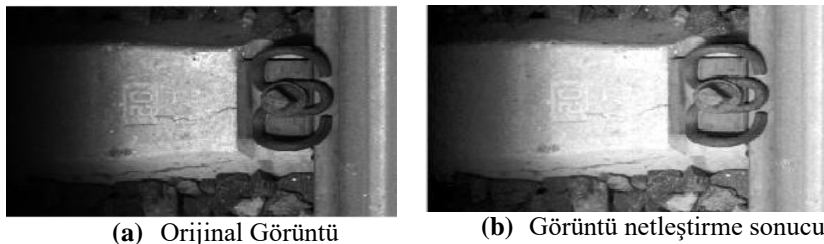
Şekil 7. Ölçüm Sistemi.

Eğitim deneyinde veri seti olarak sağlam ve kusurlu olmak üzere 2 farklı durumu gösteren görüntü kümesi kullanılmıştır. Kullanılan veri seti 144 sağlam, 55 deforme bağlantı elemanı içermektedir. Bu çalışmada kullanılan bazı sağlam ve deforme bağlantı elemanı örnekleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan veri setinden sağlam ve deforme vida örnekleri.

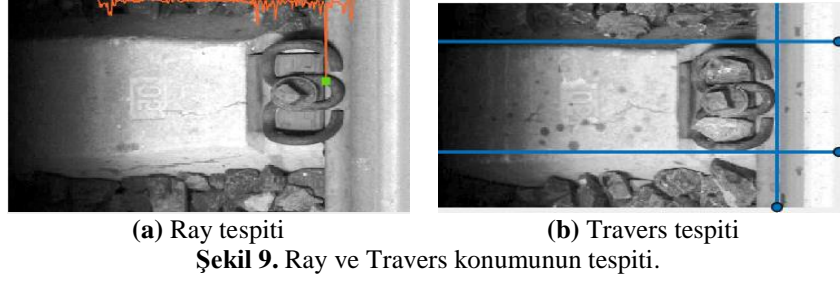
Sınıf	Örnek görüntüler	Örnek sayısı
Sağlam		144
Kusurlu		55

Tablo 1’de gösterildiği gibi deforme olan vidalarda dönme, eğilme veya kopma gibi kusurlar oluşmaktadır. Bu veri kümesi oluşturulurken görüntüler trenin altından alındığı için rayın diğer kısımları da görülmektedir. Bu yüzden vidanın konumunu bulmak için alınan görüntülere ilk olarak görüntü iyileştirme işlemi uygulanmaktadır. Şekil 8’de bu ön işleme adımı gösterilmiştir.



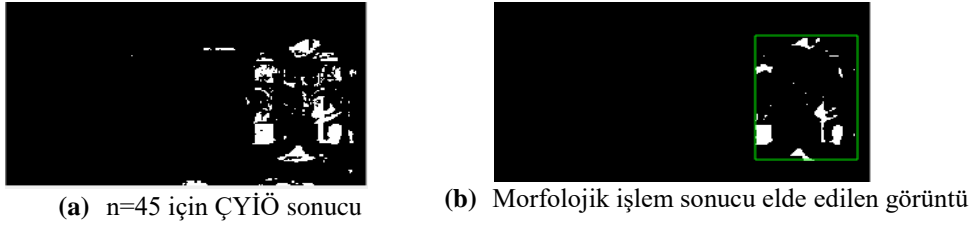
Şekil 8. Orijinal görüntü ve yüksek kontrastlı görüntü sonucu.

Şekil 8’de gösterildiği gibi görüntü netleştirme uygulandıktan sonra ray ve travers bileşenlerinin daha net ortaya çıktığı görülmektedir. Görüntü netleştirme işleminden sonra elde edilen görüntüden ray ve travers konumu belirlenir. Ray konumu için Denklem 3’te verilen hesaplama yapılır ve en büyük değer rayın konumunu verir. Şekil 9(a)’da yatay projeksiyon algoritmasının sonucu verilmiştir. Şekil 9(a)’da ray konumu için çalıştırılan yatay projeksiyon algoritması dikeyde de çalıştırılarak travers sınırları Şekil 9(b)’deki gibi tespit edilmektedir.



Şekil 9. Ray ve Travers konumunun tespiti.

Şekil 10'da travers ve ray tespit edildikten sonra ilgili alan kırılarak ÇYİÖ algoritması uygulanmaktadır. Burada bölütleme tabanlı bir yöntem seçilmemiştir. Çünkü bölütleme yapıldığında karanlık olan bölgelerde yanlış bölütleme yapılabilmektedir. Vidanın tam konumunu belirlemek zorlaşmaktadır. ÇYİÖ algoritması uygulandıktan sonra kontur çizgileri ile vidanın tam konumu belirlenmektedir. ÇYİÖ algoritması ve kontur sonucu Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. ÇYİÖ uygulaması ve vida tespiti.

Şekil 10 (a)'da ilk olarak ÇYİÖ algoritması uygulanarak vidanın olduğu görüntü elde edilmektedir. Fakat burada bazı gürültülü pikseller oluşmaktadır. Bu pikselleri yok etmek için erozyon, açma ve kapama gibi morfolojik işlemler uygulanmaktadır. Vidanın konumu tespit edildikten sonra vidalarda olan kusurların belirlenmesi gerekir. Verilere ilk olarak ORB anahtar nokta çıkarma algoritması uygulanmıştır. Ardından eğitim görüntülerinin tanımlayıcıları listeye eklenmiştir. Tanımlayıcılarda K-means kullanılarak kümeleme yapılmıştır. Kümeleme işlemi için k değeri 200 seçilmiştir. Bu işlemden sonra eğitim görüntülerinin histogramları oluşturulup standardizasyon işlemi uygulanmıştır. Son olarak destek vektör makinesi (DVM) ile sınıflandırma modeli oluşturulmuştur. ORB tabanlı görsel kelime çantası modeline dayalı bağlantı elemanı kontrol uygulamasının karmaşıklık matrisi sonucu Şekil 11(a)'da verilmiştir. Önerilen yöntem aynı veri kümesi üzerinde SURF ve HOG anahtar nokta çıkarım tekniği kullanılarak da test edilmiştir. Karmaşıklık matrisleri Şekil 11(b) ve (c)'de verilmiştir.

		Tahmin edilen sınıf	
		Sağlam	Kusurlu
Doğru sınıf	Sağlam	140	3
	Kusurlu	4	52

(a) ORB tabanlı özellik çıkarımı

		Tahmin edilen sınıf	
		Sağlam	Kusurlu
Doğru sınıf	Sağlam	139	12
	Kusurlu	4	43

(b) SURF tabanlı özellik çıkarımı

		Tahmin edilen sınıf	
		Sağlam	Kusurlu
Doğru sınıf	Sağlam	125	18
	Kusurlu	9	46

(c) HOG tabanlı özellik çıkarımı

Şekil 11. Farklı özellik çıkarım yöntemlerine göre başarımlar.

Bu çalışmada, yüksek doğruluk oranı ile bağlantı elemanı kusur tespiti üzerinde çalışılmıştır. Karmaşıklık matrisini elde etmek için 5 noktalı çapraz doğrulama kullanılmıştır. ORB yönteminde hatalı tespit edilen örnek sayısı oldukça düşüktür. Sonuç olarak önerilen yöntemin yüksek doğruluk oranında sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Şekil 11(b)'de sınıflandırma yöntemi, K-Means küme sayısı ve eğitim örneği sayısı aynı seçilerek SURF tabanlı algoritma çalıştırılarak bu sonuçlar elde edilmiştir. Ardından HOG tabanlı yöntem için de deneme yapılmıştır. Üç yöntemin performans ölçütlerine göre karşılaştırma sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Beş ayrı ölçüt için ORB, SURF ve HOG performans değerleri.

Ölçüt (%)	ORB	SURF	HOG
Doğruluk	96.48	91.92	86.36
Geri çağırma	97.22	97.20	93.28
Kesinlik	97.90	92.05	87.41
F-1	97.56	94.56	90.25
Özellik sayısı	1000	129792	71604

Tablo 2’de görüldüğü üzere ORB tabanlı yöntem diğer yöntemlere göre bütün ölçütlerde daha iyi performans göstermektedir. Ayrıca ORB yöntemi ile elde edilen özellik sayısı oldukça düşüktür. Sınıflandırma için destek vektör makineler kullanılmıştır. Destek vektör makinasının çekirdek fonksiyonu olarak radyal tabanlı model önerilmiştir. Literatürde farklı özellik çıkarım yöntemleri ve sınıflandırma metotları kullanılarak çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada önerilen yöntemin performansı, literatürde önerilen farkı yaklaşımlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Literatürde bulunan diğer yaklaşımlar ile karşılaştırma.

Referans	Özellik Çıkarımı	Sınıf Sayısı	Veri Boyutu	Sınıflandırma Metodu	Doğruluk (%)
[9]	Histogram tepe noktası kontrolü	2	745	Temel bileşen analizi ve derinlik tepe yöntemi	92.91
[11]	Yönlendirilmiş gradyanların histogramı (HOG)	3	6445	Bulanık kümeleme ve eşikleme	95.50
[12]	Histogram Eşitleme	2	584	Evrişimsel sinir ağı	95.20
[16]	Local ikili örüntü (LBP)	3	6000	Destek vektör makinası	93.38
[18]	Normalize edilmiş çapraz korelasyon	2	195	Geometrik Düzenleme indeksi	89.23
Önerilen Yöntem	Yüksek kontrastlı görüntü, ORB ve ÇYİÖ	2	199	Destek vektör makinası	96.48

Tablo 3’te literatürde yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında verilen veri seti için önerilen yöntemin yüksek bir doğruluk elde ettiği görülmektedir. Diğer çalışmalarda kullanılan veri kümeleri yazarlar tarafından paylaşılmadığı için bu veri kümeleri ile testler yapılmamıştır. Fakat bütün veri kümelerinde kullanılan veri kümeleri aynı tür vidalara aittir. [9] nolu çalışmada histogram tepe noktası benzerlik algoritması kullanılmıştır. Fakat çalışmanın doğruluk ve diğer değerleri düşük çıkmıştır. Yönlendirilmiş gradyan histogramı ve bulanık küme kullanan yöntem farklı ışıklandırma durumlarında kusurları belirlemesine rağmen bağlantı elemanının bu ışıklandırma koşullarında nasıl tespit edildiği belirsizdir [11]. Histogram eşitleme kullanan yöntemin temel amacı bölütleme tabanlı bir yöntem ile kusurları belirlemektir [12]. Elde edilen alt graflar evrişimsel sinir ağı ile eğitilerek kusurlar belirlenmiştir. Bağlantı elemanı tespiti için lokal ikili örüntü kullanan çalışmada filtre boyutlarının hassas ayarlanması gerekmektedir [16]. Normaliz edilmiş çapraz korelasyon ile bağlantı elemanı tespit edilmiş ve kusurlar geometrik düzenleme indeksi ile tespit edilmiştir [18]. Çalışmada kullanılan tespit yöntemi bağlantı elemanını doğru bir şekilde tespit etmesine rağmen kusur belirleme yönteminin başarımı düşük kalmıştır. Önerilen yöntem ise hem bağlantı elemanı tespiti hem de kusur tespitinde önemli bir katkı sunmaktadır. Işıklandırma ile ilgili problemler yüksek kontrastlı görüntü ile elde edildiğinden bağlantı elemanının konumu daha kolay belirlenmektedir. Ayrıca ORB yöntemi diğer özellik çıkarım tekniklerine göre hem daha hızlı hem de daha iyi sonuçlar vermektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, demiryollarında vidaların tespiti ve bu vidalarda oluşan kusurların tespiti için ORB tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem ilk olarak görüntü işleme ve ön işleme yöntemleri ile ray ve travers konumunu belirlemektedir. Daha sonra vidanın konumu ÇYİÖ algoritması ile tespit edilmektedir. Tespit edilen vida görüntülerine ORB yöntemi uygulanarak anahtar noktalar ve özellikler belirlenmekte daha sonra bu özellikler BOVW yöntemi için kullanılmıştır. Bu özellikler, destek vektör makinalara verilerek kusurlu veya sağlam olarak

sınıflandırılmaktadır. Deneylede kullanılan veri kümesi gerçek bir ölçüm treninden alınmıştır. Bu amaçla 144 sağlam ve 55 kusurlu vida olmak üzere 199 görüntüden oluşan bir veri kümesi üzerinde testler yapılmıştır. Uygulama sonucunda kusur tespit doğruluğu %96.88 olarak elde edilmiştir. Önerilen yöntemin sunduğu temel katkılar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Görüntü ön işleme adımındaki iyileştirme ile ray ve travers tespitinin daha kolay yapılabilmesi,
- ÇYİÖ algoritmasının travers üzerinde uygulanması ile vida tespitinin daha doğru bir şekilde yapılması,
- ORB algoritması anahtar nokta belirlemede daha hızlı olduğundan gerçek zamanlı uygulaması kolaydır.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBITAK) tarafından 120E097 no'lu proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Peng, Z., Wang, C., Ma, Z., & Liu, H. (2019). A Multifeature Hierarchical Locating Algorithm for Hexagon Nut of Railway Fasteners. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69(3), 693-699.
- [2] Utrata, D., & Clark, R. (2003, March). Groundwork for rail flaw detection using ultrasonic phased array inspection. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 657, No. 1, pp. 799-805). American Institute of Physics.
- [3] Chen, Q., Niu, X., Zuo, L., Zhang, T., Xiao, F., Liu, Y., & Liu, J. (2018). A railway track geometry measuring trolley system based on aided INS. *Sensors*, 18(2), 538.
- [4] Gan, J., Wang, J., Yu, H., Li, Q., & Shi, Z. (2018). Online rail surface inspection utilizing spatial consistency and continuity. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*.
- [5] Zhang, H., Jin, X., Wu, Q. J., Wang, Y., He, Z., & Yang, Y. (2018). Automatic visual detection system of railway surface defects with curvature filter and improved Gaussian mixture model. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 67(7), 1593-1608.
- [6] Gibert, X., Patel, V. M., & Chellappa, R. (2016). Deep multitask learning for railway track inspection. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 18(1), 153-164.
- [7] Liu, J., Huang, Y., Zou, Q., Tian, M., Wang, S., Zhao, X., ... & Ren, S. (2019). Learning visual similarity for inspecting defective railway fasteners. *IEEE Sensors Journal*, 19(16), 6844-6857.
- [8] Feng, H., Jiang, Z., Xie, F., Yang, P., Shi, J., & Chen, L. (2013). Automatic fastener classification and defect detection in vision-based railway inspection systems. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 63(4), 877-888.
- [9] Aytakin, Ç., Rezaeitabar, Y., Dogru, S., & Ulusoy, I. (2015). Railway fastener inspection by real-time machine vision. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 45(7), 1101-1107.
- [10] Wei, X., Yang, Z., Liu, Y., Wei, D., Jia, L., & Li, Y. (2019). Railway track fastener defect detection based on image processing and deep learning techniques: A comparative study. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 80, 66-81.
- [11] He, B., Luo, J., Ou, Y., Xiong, Y., & Li, B. (2020). Railway Fastener Defects Detection under Various Illumination Conditions using Fuzzy C-Means Part Model. *Transportation Research Record*, 0361198120977182.
- [12] Ma, A., Lv, Z., Chen, X., Li, L., Qiu, Y., Zheng, S., & Chai, X. (2020). Pandrol track fastener defect detection based on local convolutional neural networks. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 0959651820953679.
- [13] Mery, D., & Pedreschi, F. (2005). Segmentation of colour food images using a robust algorithm. *Journal of Food engineering*, 66(3), 353-360.
- [14] Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 9(1), 62-66.
- [15] Ojala, T., Pietikainen, M., & Maenpaa, T. (2002). Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 24(7), 971-987.
- [16] Fan, H., Cosman, P. C., Hou, Y., & Li, B. (2018). High-speed railway fastener detection based on a line local binary pattern. *IEEE Signal Processing Letters*, 25(6), 788-792.
- [17] Csurka, G., Dance, C., Fan, L., Willamowski, J., & Bray, C. (2004, May). Visual categorization with bags of keypoints. In *Workshop on statistical learning in computer vision, ECCV* (Vol. 1, No. 1-22, pp. 1-2).
- [18] Taheri, N., Nejad, F. M., & Zakeri, H. (2019). A Brief Overview and New Knowledge Based System for Rail Direct Fastening Evaluation Using Digital Image Processing. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 1-19.

Türkçe Metinlerde Otomatik Konu Tespiti

Galip AYDIN^{1*}, İbrahim R. HALLAÇ²

^{1,2} Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
^{*1} gaydin@firat.edu.tr, ² irhallac@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 19/03/2021;

Kabul/Accepted: 09/04/2021)

Öz: Bu çalışmada çevrimiçi kullanılabilir bir konu tespit sistemi önerilmiştir. Gizli Dirichlet Ayırımı ile 4 farklı kategoriye ait toplam 400.000 haber dokümandan oluşan bir Türkçe derlem eğitilmiştir. Model, eğitim verisinde yer almayan, yeni gelen dokümanların konu tespitini yüksek başarı ile gerçekleştirebilmektedir. Konu modellerinin başarı değerlendirmesinde tutarlılık (coherence) değerine ek olarak sınıflandırma yöntemleri için geçerli olan kesinlik (precision), hassasiyet (recall), F-ölçümü gibi skorların elde edilmesine yönelik 2 farklı yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlarda, konular ile dokümanların ait olduğu sınıfların eşleştirilmesinden yararlanılmıştır. İlk yaklaşımda, dokümanın ait olduğu sınıfa karşılık gelen konunun mevcut olup olmadığı üzerinden genel bir başarı ölçütü sunulmuştur. İkinci yaklaşımda ise modelin yüksek güven (confidence) ile gerçekleştirmede tahminleri eleyen, “dokümanın en belirgin konusu, ait olduğu sınıftır” kabulüne göre bir eşik (threshold) değeri üzerinden değerlendirme yapılan bir ölçüt sunulmuştur. Önerilen başarı değerlendirme yöntemlerine göre sırasıyla %94.2 ve %90.9 doğrulukta konu tespiti başarısı elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Konu modelleme, gizli dirichlet ayırımı, doğal dil işleme, etiketli metinlerde konu tespiti, LDA için başarı değerlendirmesi.

Automatic Topic Detection on Turkish Text

Abstract: In this study, we propose a topic modelling system that can be used online. A Turkish corpus consisting of a total of 400,000 news documents belonging to 4 different categories was trained with Latent Dirichlet Allocation algorithm. The model can successfully identify the topic of new documents that are not seen in the training data. In addition to the coherence value, in the assessment of topic models, 2 different approaches have been developed to obtain evaluation scores such as precision, recall, and F-measure, which are valid for classification methods. In these approaches, we benefit from the topic and document label matches. In the first approach, a general accuracy measure is presented based on whether the topic corresponding to the class of the document is predicted or not. Our second approach eliminates the predictions that the model does not make with high confidence. The model is evaluated over a threshold value according to the assumption that “the most significant topic of the document is the class it belongs to”. Topic detection success was achieved with an accuracy of 94.2% and 90.9% according to the proposed evaluation methods respectively.

Key words: Topic modeling, latent dirichlet allocation, natural language processing, topic detection on labelled text, performance evaluation for lda.

1. Giriş

Kısaca, bir dokümanda hangi konuların geçtiğini otomatik olarak tespit eden yöntemlere doğal dil işleme (DDİ) alanında konu modelleme denir. Tespit edilen konular dokümanların özetlenmesinde kullanılabilir gibi diğer metin analizi çalışmaları için özellik çıkartımı amacıyla da kullanılabilir [1]. Örneğin; A dokümanı hangi konuları içermekte? A ve B dokümanları ne kadar benzerdir? T konusunu araştıran bir kişi A ve B dokümanlarından önce hangisini okumalıdır? Sorularına cevap ararken ilk basamak olarak özellik çıkarımı amacıyla konu tespitinden yararlanılabilir. Daha sonra, konu tespiti yapılan dokümanlar, sadece içerdiği konular üzerinden (feature extraction model) kümelenebilir veya sınıflandırılabilir.

Gözetimsiz makine öğrenmesi yöntemlerinden yararlanılarak metin benzerliği [2], kümeleme [3], sosyal medya kullanıcılarının benzerliği [4] çözümleri geliştirilmektedir. Önceden tanımlı konu etiketleri mevcut olmadığı için, konu tespiti yöntemleri de genellikle denetimsiz makine öğrenmesi grubundaki algoritmalarından yararlanır.

Konu modelleme analizi sonunda, bir arada gruplandırılmış doküman koleksiyonları elde edilir. Gruplanmış dokümanların yanı sıra bu ilişkileri ortaya çıkarmak için tespit edilen kelime kümeleri de oluşturulur. Konu modelleme, metin kümeleme gibi önceden belirli olmayan konuların gözetimsiz olarak belirlenmesidir.

* Sorumlu yazar: gaydin@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-9564-3329, ² 0000-0003-0568-3114

Deterministik olmayan konu modelleme yöntemlerinde, algoritma her yürütüldüğünde farklı sonuç alınması mümkündür. Metin sınıflandırmada ise sınıflar önceden bilinir ve sabittir. Yani, belirli sayıda, daha önceden belirlenmiş sabit sınıflar söz konusudur. Çok sınıflı sınıflandırma yöntemleri dışındaki yöntemlerde, birbirinden ayrık etiketler belirlenir. Bir sınıfa ait olan doküman aynı anda başka bir sınıfa dahil edilmez. Konu modellemeye ise böyle bir durum söz konusu değildir. Sınıflar birbirini dışlamaz, dokümanın hangi oranlarda hangi konuları içerdiği bulunur.

2. Konu Tespiti Yöntemleri

Literatürdeki konu modelleme yöntemleri incelendiğinde çoğunlukla kelimelerin dokümanlarda bulunma durumları üzerinden geliştirilmiş istatistiksel modeller olduğu görülmektedir [5]. Gizli Dirichlet Ayırımı (GDA), Gizli Anlamsal Analiz (GAA), çok değişkenli analiz ve lineer cebir tabanlı Negatif Olmayan Matris Faktörizasyonu (NMF) en bilinen konu modelleme yöntemlerindedir. Şekil 1’de restoran hakkında yapılan yorumlar üzerinden gerçekleştirilen otomatik konu tespiti sonucunda elde edilen dört farklı konu grubu ve bu konuları temsil eden kelimeler verilmiştir.

Konu 32	Konu 67	Konu 78	Konu 98
Kahvaltı	Salata	İçki	Pazar kahvaltısı
Kahve	Pancar	Kokteyl	Yumurta
Patates	Keçi peyniri	Akşam yemeği	Beklemek
Yumurta	Salata sosu	Liste	Mimoza
Meyve	Taraf	Martini	Omlet
Sosis	Salatalık	Alkol	Yumurtalı ekmek
Fransız tost	Marul	Tur	Krep
Gözleme	Göğüs biftek	New York	Çilbir
İrmik	Kızarmış ekmek	Karışım	Öğleyin
Fransız ekmeği	Öneri	Likör	Somon fûme

Şekil 1. Örnek konu tespiti sonucu [5].

Şekilde 1’de görüldüğü üzere bir insan tarafından yorumlandığında aynı konu ile ilişkilendirilecek kelimelerin konu modelleme yöntemleriyle semantik olarak büyük oranda doğru bir şekilde tespit edilmesi mümkündür. Fakat bu konulara bir insanmış gibi başlık üretmek için diğer DDİ yöntemleriyle birlikte ilave çalışmaların yapılması gerekir.

2.1. Gizli Dirichlet Ayırımı Yöntemi

Latent Dirichlet Allocation (LDA) algoritması Türkçe’siyle Gizli Dirichlet Ayırımı (GDA) çoğu konu tespiti modeli gibi denetimsiz (unsupervised) bir yöntemdir. Bu yöntemde dokümanlarda bulunan kelimeler modellenir. Amaç, dokümanlar içerisinde en çok olabirliği (likelihood) veya sonsal olasılığı (posterior probability) en iyi sağlayacak şekilde konuları çıkarmaktır [6].

Olasılıksal bir teknik olan GDA’da $P(kelime | konu)$ and $P(konu | doküman)$ olasılıkları üzerinden bir en iyileme gerçekleştirmeyi amaçlar. GDA yönteminde doküman kümelemeye benzer olarak, önceden belirlenen K sayısı kadar konu dokümanlarla rasgele eşleştirilerek konu modellemesi yapılır. Her bir dokümanı en iyi temsil eden konu belirlenirken bir yandan da her konuyu temsil eden en iyi kelimelerin tespiti yapılarak bir öğrenme gerçekleştirilir.

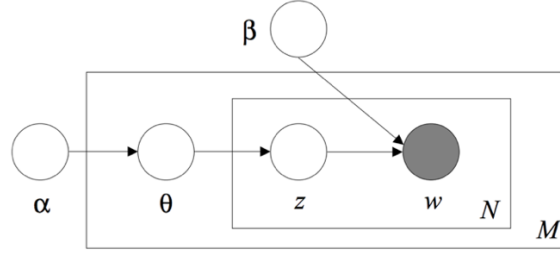
Tablo 1. GDA amaç fonksiyonu parametreleri.

Terim	Açıklama
K	Konu sayısı
n_{ik}	i. dokümanda bulunan k. konuya atanmış kelime sayısı
N_i	Dokümanda bulunan toplam kelime sayısı
a	Hangi konunun hangi dokümana atandığını gösteren parametre

İlk adımda konular ve dokümanlar rasgele eşleştirildikten sonra bu atamaların ne kadar anlamlı olduğunun hesaplanabilmesi için çeşitli istatistiklere bakılır. Bu aşamada her dokümanda her bir konu için hangi kelimelerin

ilişkilendirildiği yerel (local) istatistik ve tüm dokümanlarda her bir kelimenin konularla ilişkilendirilmesi oranı genel (global) istatistiklere bakılır [5]. Daha sonra bu bilgiler Denklem 1'e göre güncellenir. Denklemde yer alan terimlerin açıklamaları Tablo 1'de verilmiştir.

$$\frac{n_{ik}+a}{N_i-1+Ka} \quad (1)$$



Şekil 2. GDA algoritmasının levha gösterimi [1].

Levha gösterimi (plate notation) birçok değişken arasındaki bağımlılıkların ifade edilmesinde kullanılan bir yöntemdir. GDA algoritmasının grafiksel olarak gösterimi Şekil 2'de verilmiştir. Kutular, kopyaları temsil eden "plakalar" dır. Dış plaka belgeleri temsil ederken, iç plaka belge içindeki konuların ve kelimelerin tekrarlanan seçimini temsil eder. M , doküman sayısını, N bir dokümandaki kelime sayısını belirtir. Gösterimde kullanılan sembollerin açıklamaları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Levha gösterimi açıklamaları [7].

Terim	Açıklama
β	Her bir konu için kelime atamalarını gösteren Dirichlet parametresi
a	Her bir doküman için konu atamalarını gösteren Dirichlet parametresi
θ	θ dokümanı için konu dağılımı
z	Her bir kelime için atanan konular
w	Anlık incelenen kelime

3. Literatür Taraması

Konu modelleme genellikle yarı-denetimli (semi-supervised) veya denetimsiz (unsupervised) bir makine öğrenmesi yöntemi olarak ele alındığından dolayı önceden etiketli veriler üzerinde test edildiği çalışmalar pek görülmemektedir. Çoğunlukla bir konu için en olası kelimelerin anlamsal olarak ne kadar alakalı olduğuna bağlı olarak kümelerin doğruluğu ölçülür.

Güven ve arkadaşları, 5 farklı duygu türü içeren (kızgın, korkmuş, mutlu, üzgün, şaşkın) 4000 adet tweetin GDA algoritmasıyla duygu sınıflandırılmasını gerçekleştirmiştir [8]. Bir başka çalışmalarında yine GDA ile 7 sınıfa ait 4200 adet Türkçe haber başlıklarından oluşan veri seti üzerinde ekonomi, spor ve yaşam gibi konular için konu modellemesi algoritmalarının başarı karşılaştırmasını yapmıştır [9]. Sınıf sayısının farklı tutulduğu farklı deneylerde NMF yöntemi 3 sınıf için iyi başarıyı gösterirken, 7 sınıf için en iyi başarıyı Gizli Anlamsal Analiz (GAA) yöntemi göstermiştir.

W2E veri setinde ABD seçimleri, İngiltere Avrupa Birliği Referandumu, Yaz Olimpiyatları gibi birçok olayın meydana geldiği 2016 yılına ait Wikipedia güncel olaylar portalında yer alan dokümanlar ile oluşturulmuştur. (Wikipedia's Current Event portal -WCEP). Toplamda 5,160 olaydan oluşan veri seti 10 kategoriye ve 3083 farklı konuya bölünmüştür [10].

Jin ve arkadaşları derin öğrenme yöntemlerinin konu modelleme teknikleriyle birleştirilmesi amacıyla gerçekleştirdiği çalışmada NMF (Topic matrix factorization) algoritmasıyla LSTM modelini bir araya getirerek Amazon web sitesindeki kullanıcı yorumlarının hangi konuları içerdiğinin tespitini gerçekleştirmiştir [11].

4. Veri Seti, Yöntem ve Hesaplama Ortamı

GDA yöntemi denetimsiz bir öğrenme tekniği olduğu için normal şartlar altında doğruluk değeri, hassaslık gibi metriklerle model performansının değerlendirilme olanağı yoktur ve hangi konuların tespit edilmesi gerektiği üzerinde bir kontrol sağlamak mümkün değildir. Bu çalışmada, etiketli veriler üzerinde denetimsiz bir öğrenme gerçekleştirildikten sonra gerçekleştirilen konu modelleme başarısının dokümanların ait olduğu sınıf bilgisinden yararlanmasını sağlayan iki farklı başarı ölçütü önerilmiştir.

Veri seti olarak 4 farklı kategori için otomatik olarak toplanmış haber dokümanları kullanılmıştır. Her kategoriden 100.000 adet olmak üzere Ekonomi, Spor, Siyaset ve Kültür haberlerinden oluşan toplam 400.000 doküman bulunmaktadır. Bu veri seti *Bigailab-5news-500K*'nın bir alt kümesidir [12].

Konu modeli performans değerlendirmesi için önerilen yöntemin açıklanması amacıyla güncel haberlerden manuel olarak elde edilen 400 adet haber dokümanı test verisi olarak kullanılmıştır. Çalışmanın uygulama kodları ve veri setlerine [GitHub:irhallac/Gensim-LDA-news-Turkish](https://github.com/irhallac/Gensim-LDA-news-Turkish) proje dizini üzerinden erişilebilmektedir. Konu modelleme yöntemlerinin implementasyonu için yararlanılabilecek en popüler kütüphane Python Gensim paketidir [13]. Bu paketin `gensim.models.ldamodel.LdaModel` (*parametreler*) metoduna ait parametreler Tablo 3'te belirtilmiştir.

Gensim paketinin *ldamodel* kütüphanesinin kullanılması öncesinde dokümanlardan oluşan veriseti için bir takım ön işleme adımlarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Uyguladığımız temel ön işleme adımları şu şekildedir:

1. Bütün harfleri küçük harflere dönüştür.
2. Noktalama işaretleri ve alfanümerik olmayan birimleri temizle.
3. Gereksiz kelime (stopwords) listesinde yer alan kelimeleri temizle.
4. Dokümanların %50'sinden daha fazlasında yer alan aşırı yüksek frekanslı kelimeleri temizle.
5. Frekans 20'den fazla olan kelime ikilileri (bigram) ve kelime üçlülerini (trigram) buldukları dokümanlara ilave et.
6. Doküman temsillerini oluştur.

Tablo 3. Gensim parametreleri ve açıklamaları.

Parametre	Açıklama
<code>corpus</code>	Vektörleştirilmiş dokümanların listesi
<code>id2word</code>	Kelime id'lerinden kelimeleri gösteren değişken (Mapping)
<code>num_topics</code>	Dokümanlardan çıkarılması istenen konu sayısı
<code>random_state</code>	Aynı sonuçların yeniden üretilebilmesini sağlayan random seed belirleyici
<code>update_every</code>	Model parametrelerinin hangi sıklıkta güncelleneceğini belirler
<code>chunksize</code>	Her bir eğitim iterasyonunda kullanılacak doküman sayısı Örn. 100
<code>passes</code>	Toplam eğitim iterasyon sayısı
<code>alpha</code>	Konular arasındaki seyrekliği etkileyen katsayı. Varsayılan değeri $1/\text{konu_sayısı}$
<code>per_word_topics</code>	Modelin aynı zamanda her kelime için en olası konuların azalan sırasına göre sıralanmış bir konu listesi şeklinde bulunması isteniyorsa true değeri verilir.

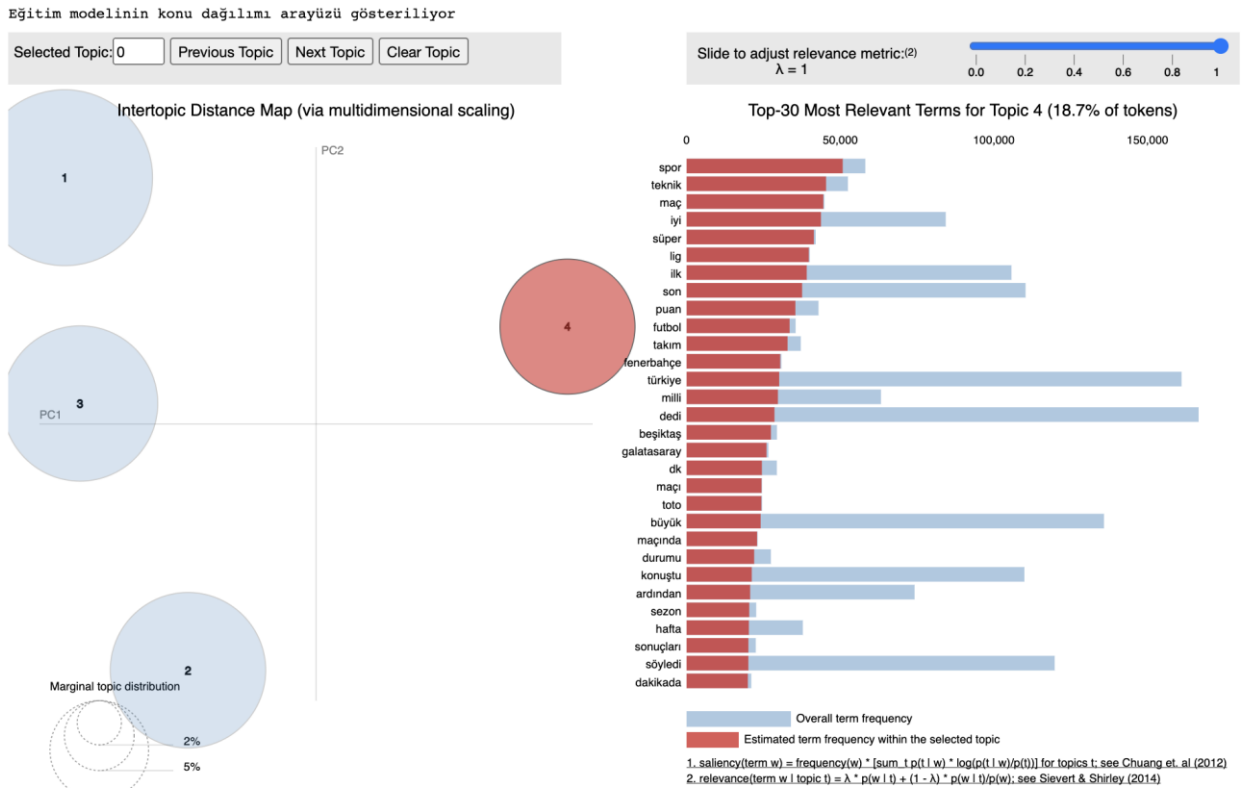
Model, dokümanları vektörleştirilmiş formatta kabul etmektedir. GDA algoritması, kelimelerin dokümanlarda ve derlem içerisinde bulunma frekansına göre hesaplanan olasılıklar üzerinden çalıştığı için en doğru yöntemin kelime frekanslarıyla metin temsili olduğu anlaşılmaktadır. Bundan dolayı kelime çantası (bag-of-words) temsilleri kullanılmıştır. Derleme ait sözlükteki belirlenen bütün kelimeleri ağırlıklandıran TF-IDF yöntemi tercih edilmemiştir.

Gesim’de, `Lda_model.show_topics(num_topics=5,num_words=10)` metoduyla modelin eğitimi tamamlandığında çıkarılan 5 adet konu, o konuları en iyi temsil eden 10’ar kelimeyle gösterilir. Konuların ne olduğu bu kelimeler üzerinden muhakeme yaparak tespit edilebilir. GDA, NMF algoritmasına kıyasla daha büyük veri setlerindeki konular için ürettiği anahtar kelimeler bakımından daha insan gözüyle ayırt edilebilir konular üretmektedir [14]. NMF algoritması için ise `sklearn.decomposition.NMF` paketi kullanılabilir [15]. Bu çalışmada sadece GDA algoritması kullanıldığı için bu paket detaylı olarak incelenmemiştir.

Uygulamalar için **48-core Intel(R) Xeon(R) CPU E5, 256GB RAM ve E5-2650** işlemcisi olan bir makine kullanılmıştır. Tablo 3’te Gensim kütüphanesinin standart konu tespit modeli sınıfı gösterilmiştir. Çalışmada, bu sınıfın paralel yürütme özelliğini taşıyan versiyonu olan `LdaMulticore` sınıfı kullanılmıştır. İş parçacıkları (thread) yardımıyla eğitimin kısmen paralelleştirilmesi mümkündür. Bu özellik kullanılırken, `workers` parametresine kullanılacak işlemci sayısı atanır. Kullanılan makine 48 çekirdeğe sahip olduğu için en fazla 48 iş parçacığı yürütebilmektedir. Model eğitiminde bu parametre 36 olarak belirlenmiştir.

5. Sonuç, Değerlendirme ve Gelecekteki Çalışmalar

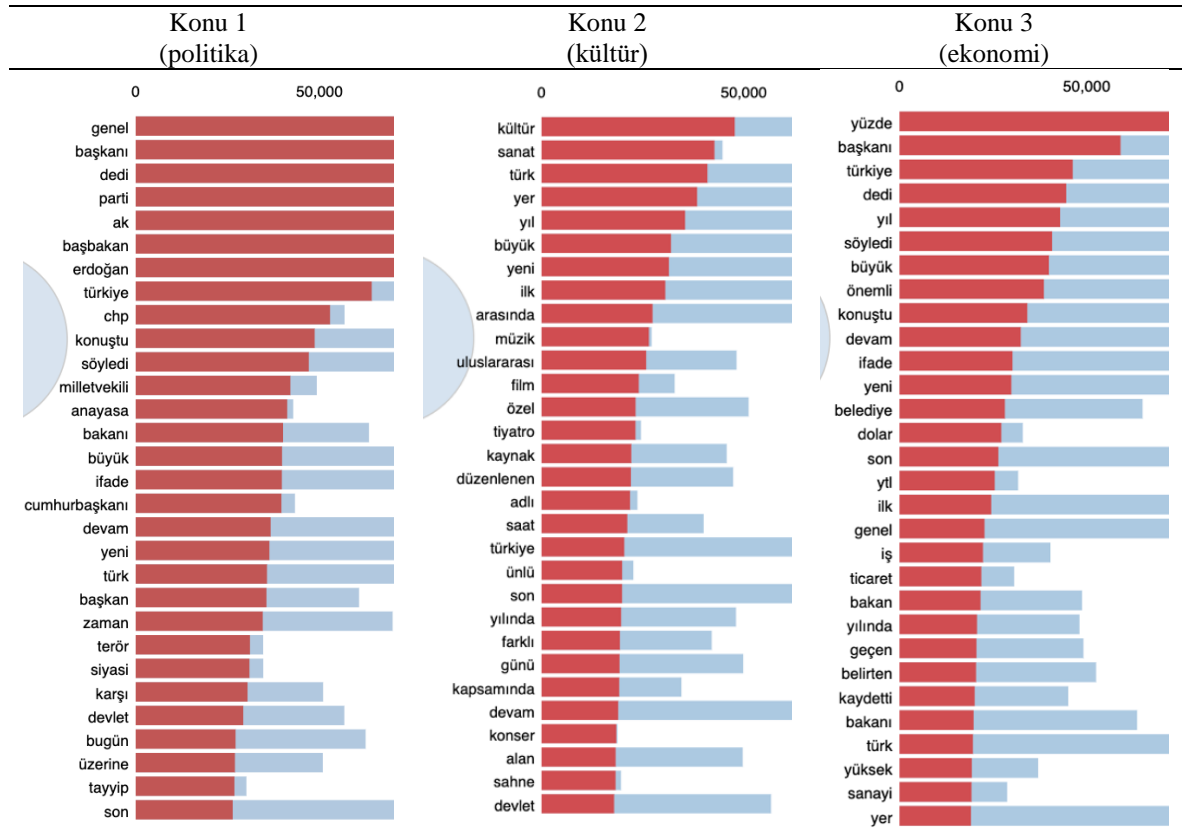
Model 400 bin haber dokümanı ile, 100 iterasyon eğitildikten sonra farklı sayılarda konu ve bu konuları iyi temsil eden kelimelerin olasılıksal sıralamaları elde edilmiştir. Şekil-3’te 4 konunun dağılımı PyDavis (<https://pypi.org/project/pydavis>) aracı ile görsel olarak sunulmuştur. Modelin ortalama-konu-uyumluluğu değeri (average-topic-coherence) -1.7443 olarak elde edilmiştir. Uyumluluk değerinin yüksek olması tercih edilir [16]. Konu id’si 4 olan grubun en alakalı 3 kelimesi “spor”, “teknik” ve “maç” kelimeleridir. Bu konunun etiketli veri setinin spor haberleriyle ilgili dokümanlarına karşılık geldiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Model konu dağılımı ara yüzü.

1, 2 ve 3 numaralı konular, ilişkilendirildikleri sınıflar ve en alakalı kelimelerin yer aldığı bilgiler Şekil 4'te yer almaktadır. Şekilde, Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis — PCA) ilk iki değeri PC1 ve PC2 olarak gösterilmiştir. Konuların gösteriminde [0, 50000, 100000 ...] üzerinden çizdirilen çubuk grafiklerin mavi renkli alanı ilgili kelimenin bütün derlem üzerinden frekansını, kırmızı renkli alanı ise seçilen konunun tespit edildiği dokümanlar üzerinden frekansını belirtmektedir.

Bu çalışmada çevrimiçi kullanılabilir bir konu tespit sistemi önerilmiştir. GDA ile büyük miktarda dokümandan oluşan bir derlem eğitilmiştir. Model, eğitim verisinde yer almayan yeni gelen dokümanların konu tespitini yüksek başarı ile gerçekleştirebilmektedir. Sistemin ne kadar başarılı olduğunun ölçülebilmesine olanak sağlayan 2 farklı değerlendirme hesaplaması önerilmiştir. Bu hesaplamalarla, haber verileri içerisinde konu tespiti gerçekleştirilirken etiketli verilerden yararlanılarak TP (True positive — Doğru Pozitif), FP (False positive — Yanlış Pozitif), TN (True negative — Doğru Negatif), FN (False negative — Yanlış Negatif) değerleri elde edilerek kapsamlı bir başarı ölçütü ortaya konulmuştur. Kesinlik (Precision), hassasiyet (recall), F-ölçümü (F1 skoru) değerleri hesaplanmıştır. Bunun için konu sayısının değeri sınıf sayısı olarak seçilmiştir. Konu sayısının artırılması durumunda bir sınıf için ilişkili konu sayısı birden fazla olmakta ve uygulanan yöntemde bir probleme neden olmamaktadır.



Şekil 4. Konu ve sınıf eşleştirmeleri.

Birinci başarı testine göre, model, bir doküman içerisinde geçen konuları tahmin ettiğinde, %94.2 ortalama ile o dokümanın ait olduğu sınıfa karşılık gelen konunun mevcut olduğunu doğru bilmiştir. Bu ölçüte göre detaylı sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

İkinci başarı testinde, “dokümanın en belirgin konusu, ait olduğu sınıftır” kabulüne göre bir eşik (threshold) değeri üzerinden gerçekleştiren tahminde %90.9 başarı elde edilmiştir. Bu değer 4 sınıf için elde edilen ağırlıklı kesinlik skoru ortalamasıdır. Testte kullanılan eşik değeri ile en belirgin konunun tahmininde, sadece bu değer üzerindeki olasılıkla tahmin edilen tahminler kullanılmıştır. Yani, modelin yüksek güven (confidence) ile gerçekleştirmedikleri tahminler dikkate alınmamıştır. Test sonucundaki destek örnek sayısının 400'den 225'e düştüğüne dikkat edilmelidir. Eşik değeri küçüldükçe değerlendirme alınan örnek sayısı artacaktır. Bu ölçüte göre detaylı sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. Başarı ölçütü-1'e göre test sonucu.

	Kesinlik	Hassasiyet	F1-Skoru	Destek
Konu-1	1.000	0.850	0.919	100
Konu-2	1.000	0.850	0.919	100
Konu-3	0.769	1.000	0.870	100
Konu-4	1.000	1.000	1.000	100
Mikro ortalama	0.925	0.925	0.925	400
Makro ortalama	0.942	0.925	0.927	400
Ağırlıklı ortalama	0.942	0.925	0.927	400

Tablo 5. Başarı ölçütü-2'ye göre test sonucu.

	Kesinlik	Hassasiyet	F1-Skoru	Destek
Konu-1	1.000	0.533	0.696	30
Konu-2	1.000	0.708	0.829	48
Konu-3	0.733	1.000	0.846	77
Konu-4	1.000	1.000	1.000	70
Mikro ortalama	0.876	0.876	0.876	225
Makro ortalama	0.933	0.810	0.843	225
Ağırlıklı ortalama	0.909	0.876	0.870	225

Önerilen iki başarı değerlendirme sisteminde de bir dokümanda birden fazla konunun tespit edilmesi olasılığı göz önünde bulundurulmuştur. Birinci yöntemde, birden fazla konu mevcut olsa da doküman etiketine karşılık gelen konunun tespit edilip edilmediği üzerinden bir doğruluk testi yapılmaktadır. İkinci yöntemde ise, tespit edilen konular arasında yüksek olasılığa sahip konunun doküman etiketine karşılık gelen konu olması dikkate alınmıştır.

Bu çalışmanın devamında, çevrimiçi haber sitelerine ek olarak farklı kaynaklardan, farklı sınıflara ait veri setleri kullanılarak önerdiğimiz başarı değerlendirme yöntemlerinin tutarlılık değeriyle ilişkisini araştırmayı planlamaktayız. Ayrıca, konu sayısının sınıf sayısından bağımsız seçilmesi durumunda semantik eşleştirmelerin otomatik olarak yapılmasına yönelik yöntemlerin bulunması önemlidir.

Teşekkür

Bu çalışma Savunma Sanayii Müsteşarlığı, Savunma Geniş Alan (SAGA) kapsamında desteklenen Derin Öğrenme Büyük Veri Analiz Platformu (Değirmen) Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- [1] D. M. Blei, A. Y. Ng, and M. I. Jordan, "Latent dirichlet allocation," *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 3, no. Jan, pp. 993–1022, 2003.
- [2] Y. Ko and J. Seo, "Automatic text categorization by unsupervised learning," 2000.
- [3] A. Budiarto, R. Rahutomo, H. N. Putra, T. W. Cenggoro, M. F. Kacamarga, and B. Pardamean, "Unsupervised News Topic Modelling with Doc2Vec and Spherical Clustering," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 179, pp. 40–46, 2021.
- [4] I. R. Hallac, S. Makinist, B. Ay, and G. Aydın, "user2Vec: Social Media User Representation Based on Distributed Document Embeddings," in *2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*, 2019, pp. 1–5.
- [5] E. Ekinci, "Dokümanların Anlamsal Benzerliklerine Dayalı Özgün Bir Konu Modelleme Yöntemi," 2019.

- [6] J. D. Mcauliffe and D. M. Blei, “Supervised topic models,” in *Advances in neural information processing systems*, 2008, pp. 121–128.
- [7] D. Ramamonjisoa, “Topic modeling on users’s comments,” in *2014 Third ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC)*, 2014, pp. 177–180.
- [8] Z. A. Guven, B. Diri, and T. Cakaloglu, “Classification of Turkish Tweet emotions by n- stage Latent Dirichlet Allocation,” in *2018 Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings’ Meeting, EBBT 2018*, 2018, pp. 1–4, doi: 10.1109/EBBT.2018.8391454.
- [9] Z. A. Guven, B. Diri, and T. Cakaloglu, “Comparison of Topic Modeling Methods for Type Detection of Turkish News,” in *UBMK 2019 - Proceedings, 4th International Conference on Computer Science and Engineering*, 2019, pp. 150–154, doi: 10.1109/UBMK.2019.8907050.
- [10] T.-A. Hoang, K. D. Vo, and W. Nejdl, “W2E: A Worldwide-Event Benchmark Dataset for Topic Detection and Tracking,” in *Proceedings of the 27th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*, 2018, pp. 1847–1850.
- [11] M. Jin, X. Luo, H. Zhu, and H. H. Zhuo, “Combining deep learning and topic modeling for review understanding in context-aware recommendation,” in *Proceedings of the 2018 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long Papers)*, 2018, pp. 1605–1614.
- [12] I. R. Hallac, B. Ay, and G. Aydin, “Experiments on Fine Tuning Deep Learning Models With News Data For Tweet Classification,” in *2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)*, 2018, pp. 1–5.
- [13] R. Rehurek and P. Sojka, “Gensim--python framework for vector space modelling,” *NLP Centre, Fac. Informatics, Masaryk Univ. Brno, Czech Repub.*, vol. 3, no. 2, 2011.
- [14] D. Mahapatra, M. Maddukuri, and G. Jayadev, “Topic Modelling,” 2016.
- [15] Sklearn, <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.decomposition.NMF.html>
- [16] D. Mimno, H. Wallach, E. Talley, M. Leenders, and A. McCallum, “Optimizing semantic coherence in topic models,” in *Proceedings of the 2011 conference on empirical methods in natural language processing*, 2011, pp. 262–272.

Derin Öğrenme ile Optik Koherens Tomografi Görüntülerinin Sınıflandırılması

Numan Halit GÜLDEMİR^{1*}, Ahmet ALKAN²

¹ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye

*¹ nhguldemir@gmail.com, ² aalkan@ksu.edu.tr

(Geliş/Received: 19/03/2021;

Kabul/Accepted: 18/04/2021)

Öz: Bu makalede, dünyada görme bozukluklarının %8.7'sinin sebebi olan yaşa bağlı makula dejenerasyonu hastalığının tespit edilmesi için otomatik bir sistem sunulmuştur. Hastalığın teşhisi için, son zamanlarda görüntüden özellik tanıma çıkarma işlemlerinde sıklıkla kullanılan Evrişimsel Sinir Ağı mimarisinden faydalanılmıştır. Çalışmada, yaşa bağlı makula dejenerasyonu hastalığının sınıflandırılması için Evrişimsel Sinir Ağı, etiketli 28031 adet Optik Koherens Tomografi (OKT) görüntüsü ile eğitilmiştir. Eğitilen Evrişimsel Sinir Ağı 6900 adet OKT görüntüsü ile test edilmiştir. Eğitim ve test için Xception, VGG16, InceptionV3 ve Resnet50 derin öğrenme ağları kullanılmıştır. Eğitilen ağlar karşılaştırılıp OKT veri seti için ağların performansları değerlendirilmiştir. Derin öğrenme ağlarının test edilmesi sonucunda Resnet50 ağı 0.95, VGG16 ağı 0.95, InceptionV3 ağı 0.97 ve Xception ağı 0.98 doğruluk oranı OKT veri setini sınıflandırmıştır. 0.96 değerindeki F1 skoruyla Xception ağı kullanılan OKT veri seti üzerindeki en başarılı sınıflandırmayı elde etmiştir.

Anahtar kelimeler: Yaşa bağlı makula dejenerasyonu, derin öğrenme, Evrişimsel Sinir Ağları.

Classification of Optical Coherence Tomography Images via Deep Learning

Abstract: In this article, an automatic system is presented to detect age-related macular degeneration, which is the cause of 8.7% of visual impairment in the world. For the diagnosis of the disease convolutional neural network, which has recently been used in feature extraction from the image, has been utilized. In the study, the convolutional neural network was trained with 28031 labeled Optical Coherence Tomography (OCT) images to classify age-related macular degeneration. The trained convolutional neural network was tested with 6900 OCT images. Xception, VGG16, Inception V3 and Resnet50 deep learning networks were used for training and testing. The trained networks were compared and the performance of the networks was evaluated for the OCT dataset. Classification of OCT images using Resnet50 network achieved 0.95, VGG16 network achieved 0.95, InceptionV3 network achieved 0.97 and Xception network achieved accuracy of 0.98. Xception network achieved F1 score of 0.96 which is highest rate of classification on the OCT dataset.

Key words: Age-related macular degeneration, deep learning, convolutional neural network.

1. Giriş

Retina ışığı yakalama özelliğine sahip bir dokudur ve 5 nöral hücre sınıfı ve 50'den fazla farklı hücre tipinden oluşur. Bu hücrelerin her biri, görüntü oluşturmak ve görsel algıyı elde etmek için beyin görme merkezlerinde gerekli olan bilgileri sağlayan benzersiz işlevlere sahiptir [1]. Makula, retinada bulunan 6 mm çapında, görüntü odağını ve renkli görmeyi sağlayan özel bir yapıdır [2]. Yaşa bağlı makula dejenerasyonu (YBMD) hastalığı, makulanın aşınmasıyla ilgili gelişen bir hastalıktır.

Dünyada 2020 yılında yaklaşık 196 milyon olarak tahmin edilen YBMD hastalığının 2050'li yıllarda 288 milyona kadar yükseleceği öngörülmektedir. Tedavi edilmediğinde genellikle okuma, araba kullanma ve nesnelere tanıma gibi günlük aktiviteleri etkileyen merkezi görme keskinliğinin kaybı oluşmaktadır ve hastalık ilerlediğinde ise körlüğe neden olmaktadır. Dünya çapındaki tüm körlüklerin %8.7'sini oluşturan YBMD hastalığı gelişmiş ülkelerde, 60 yaşın üzerindeki hastalarda yaşanan körlüklerin en büyük nedenlerinden biridir [3]. Hastalığın oluşumuna birçok risk faktörü etki eder. Literatürde ana risk faktörleri yaş, aile geçmişi ve sigara içme olarak belirtilmektedir. Vücut kitle indeksi, cinsiyet, kardiyovasküler hastalıklar, hipertansiyon, yeme alışkanlıkları ve etnik köken de risk faktörleri arasındadır [4].

Retinanın altında retina pigment epiteli (RPE) adı verilen bir membran bulunur. Bu yapı retinada bulunan ışığa duyarlı hücrelere gelen fazla ışığı emer ve o hücrelere besin ve oksijen taşınmasını sağlar [5]. Eğer bu zar görevini

* Sorumlu yazar: nhguldemir@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-1202-6841, ² 0000-0003-0857-0764

yerine getiremezse besin aktarımı tam olarak gerçekleşemez ve artık besinler retina pigment epiteli altında birikir. Bu artıklar drusen olarak adlandırılır [6]. YBMD hastalığı bu drusenlerin varlığıyla ilişkilidir. Drusen yok ise veya çapı 63 mikrondan küçük ise YBMD hastalığı yoktur. YBMD'nin başlangıç aşamasında ise drusen çapı 63 ile 124 mikron arasında değişmektedir ve bu aşamada genellikle görme kaybı söz konusu değildir. Orta ve ileri evrelerde drusen çapı 125 mikron veya daha fazla olarak ölçülmektedir [7]. Drusen tespiti için farklı yöntemler bulunmaktadır. Başlıca yöntemler arasında fundus görüntülerinin, Optik Koherens Tomografi (OKT) görüntülerinin ve Optik Koherens Tomografi Anjiyografi (OKTA) görüntülerinin incelenmesi bulunmaktadır. Bu görüntüler aracılığı ile drusen tespiti yapıp hastalık hakkında bilgi edinilmektedir.

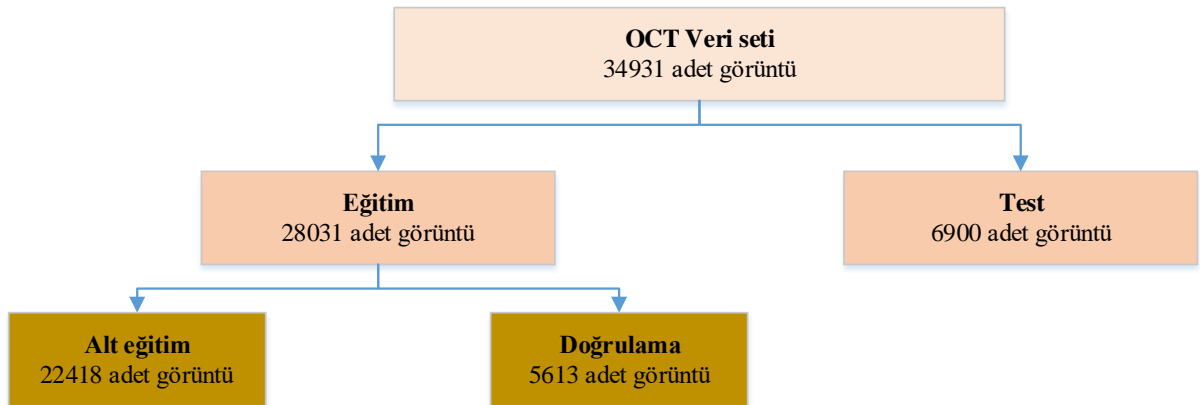
Drusen tespitinin manuel olarak yapılması öznel ve hataya açıktır, aynı zamanda vakit alıcıdır. Bu nedenle otomatize olarak drusen tespitinin yapılması uzman hekimlerin yüklerini azaltacak ve kararlarına destek olacaktır. Bu çalışmada drusen tespiti için makine öğrenmesi yaklaşımını kullanan derin öğrenmeden faydalanılmıştır. Çalışmada kullanılan mimari ise Evrişimsel Sinir Ağları (ESA) olarak isimlendirilmektedir.

Evrişimsel Sinir Ağları, görüntülerden özellik çıkartma işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde birçok farklı ESA mimarisi bulunmaktadır. Bu ağların başarıları ise genellikle ImageNet adı verilen ve içerisinde 14 milyona yakın görsel ve 1000 adet sınıf bulunan bir veri seti üzerinden test edilmektedir [8]. Bu çalışmada kullanılan model olan Xception ise ImageNet veri seti üzerinde %94.5 başarı oranı elde etmiştir [9].

Tsuji ve arkadaşları 2020 yılında yapmış oldukları bir çalışmada Kaggle OKT veri seti üzerinde "capsule network" ismi verilen ağ yapısını kullanmış ve veri setinde bulunan dört farklı sınıfla sistemi eğitmişlerdir. Eğitilen sistemin testi için kullanılan veri setinde 250'şer adet Yaşa Bağlı Makula Dejenerasyonu, Diyabetik Maküler Ödem, Koroidal Neovaskülarizasyon ve kontrol sınıfı görüntüsü bulunmaktadır. Test sonucunda %99,6'lık bir başarı yüzdesi elde etmişlerdir [10]. Tsuji ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmanın aksine, tarafımızdan sunulan çalışmada eğitim setinden feragat edilerek test veri seti artırılmış ve böylelikle daha gerçekçi bir başarı oranı ortaya koymak amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

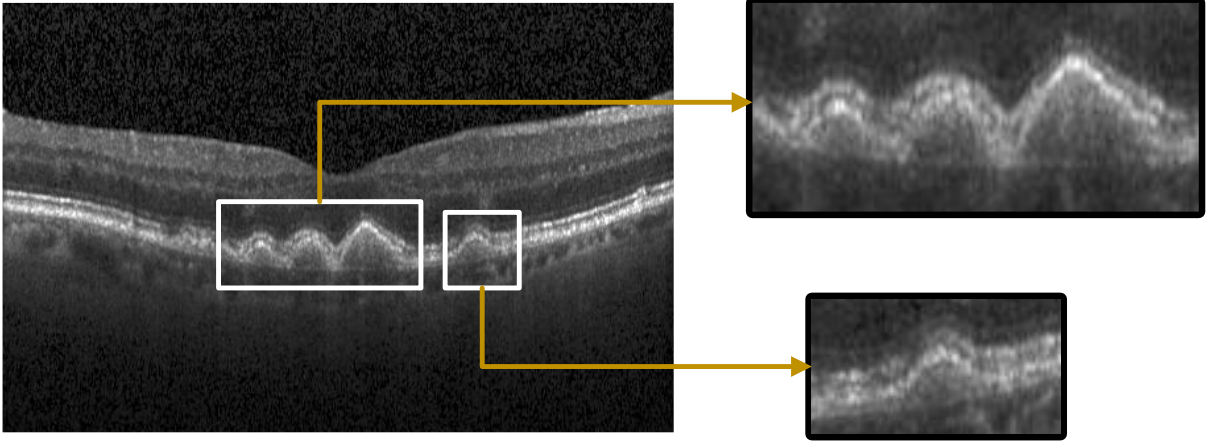
Çalışmada, drusenin tespiti için gerekli OKT veri seti, erişime açık Kaggle web sayfasından edinildi [11]. Bu veri setinde toplamda 34931 adet etiketli OKT görüntüsü bulunmaktadır. OKT görüntüleri California San Diego Üniversitesi, California Retinal Araştırma Vakfı, Shanghai First People's Hastanesi ve Beijing Tongren Göz Merkezi'nde 1 Haziran 2013 ve 1 Mart 2017 tarihleri arasında bulunan yetişkin hastalara aittir. Bu veri setinde bulunan OKT görüntülerinden eğitim için 22418 adet, doğrulama için 5613 adet ve modelin başarımını ölçmek için ise 6900 adet kullanılmıştır (Şekil 1.).



Şekil 1. Veri setinin kullanımı

2.1. OKT görüntülerinin sınıflandırılması

OKT görüntülerinde incelenerek retinada drusenlerin varlığı hakkında bilgi edinilebilmektedir. YBMD hastası olmayan bir insanda retina pigment epiteli düz bir yapıda iken YBMD hastalarında retina pigment epitelinde drusenlerin varlığından dolayı tepecikler oluşmaya başlar. YBMD hastalığı olan bir insanın OKT görüntüsü Şekil 2'deki gibidir.

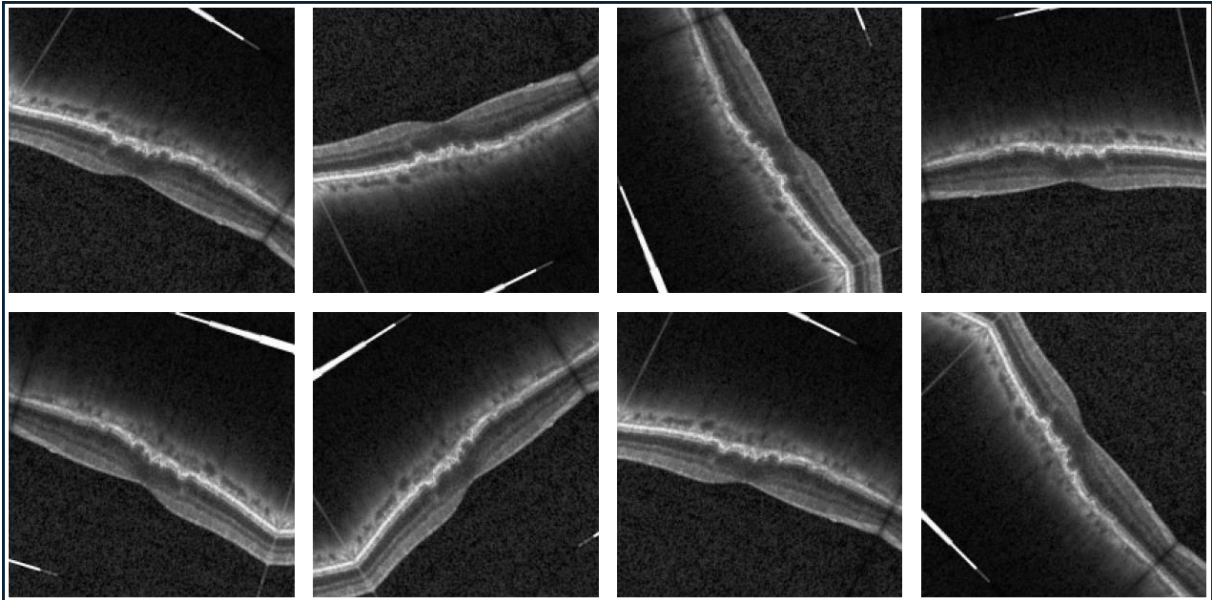


Şekil 2. Drusen görüntüsü

Drusenlerin tespiti için Evrişimsel Sinir Ağı mimarisinden faydalanılmıştır. Veri setinde bulunan “normal” ve “drusen” olarak etiketli OKT görüntüleri Evrişimsel Sinir Ağları'nın eğitilmesinde kullanılmıştır. Kullanılan ESA Xception derin öğrenme ağı olarak seçilmiştir. Xception derin öğrenme ağı dışında veri seti, en popüler ağlardan Resnet50, VGG16 ve InceptionV3 ağları ile de eğitilerek Xception ağının OKT veri seti üzerindeki sınıflandırma başarısı diğer ağlarla kıyaslanmıştır.

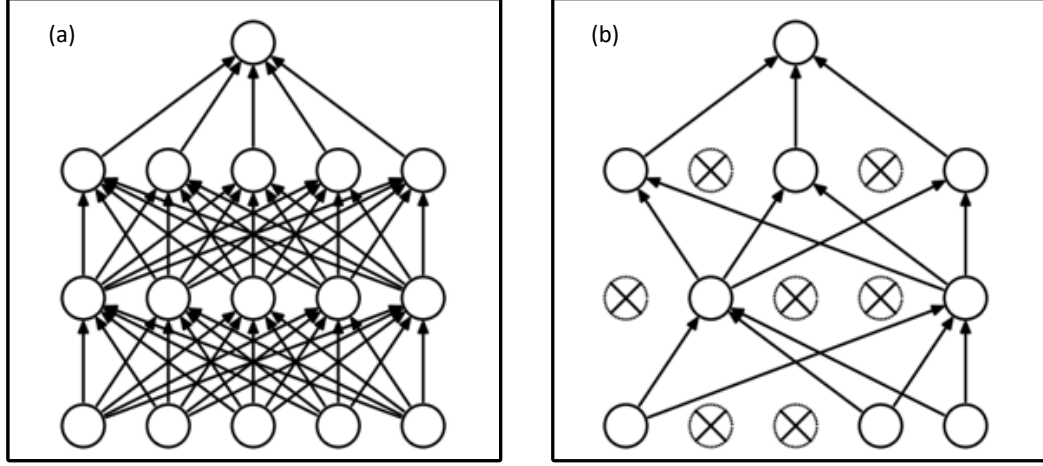
2.1.1. Deneysel çalışma

Kullanılan Evrişimsel Sinir Ağları'nda, veri setine uygun olması amacı ile veri setine göre giriş ağı giriş boyutunun ayarlanması, görüntü artırma işlemleri gibi değişiklikler yapılmıştır. Şekil 5'te gösterildiği gibi giriş görüntü boyutu 200x200x3 olarak ayarlanmıştır. Daha sonra görüntüler eğitim veri kümesinin artırılması ve OKT görüntü çekimlerindeki olası hata paylarının tolere edilebilmesi amacı ile rastgele açılarda sağa ve sola döndürülme, ayna görüntüsünü alma gibi yöntemler kullanılmıştır (Şekil 3.). Sonrasında görüntüdeki tüm pikseller 255'e bölünerek 0-1 aralığına indirgenerek normalizasyon yapılmıştır.

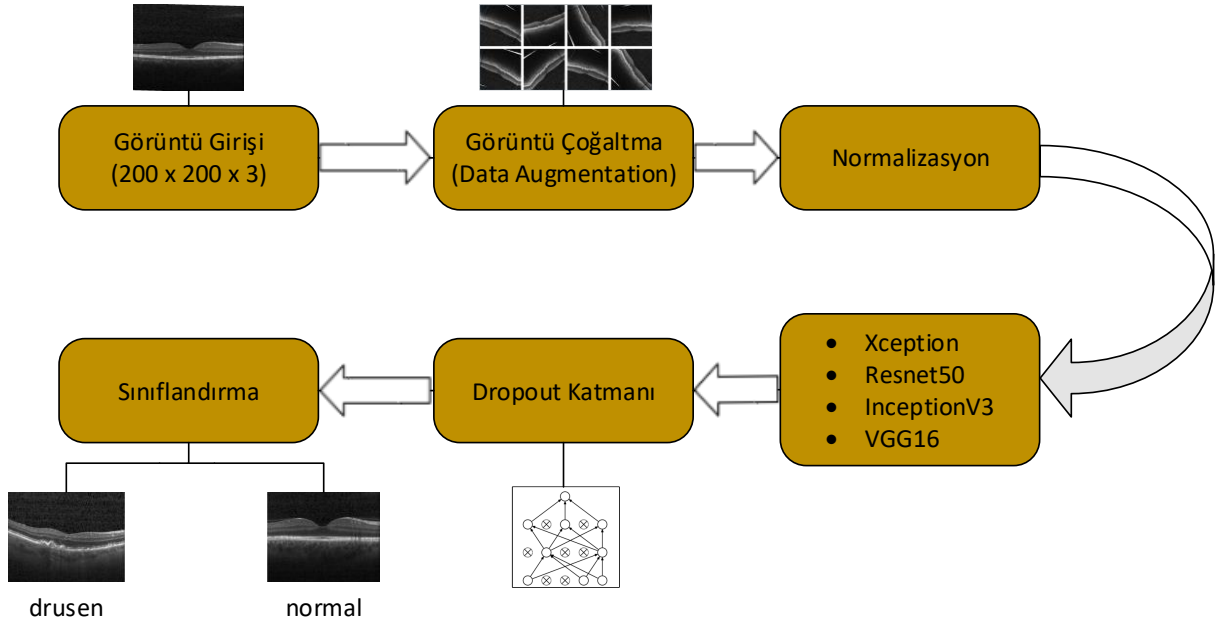


Şekil 3. Veri çoğaltma işlemi

Eğitimi uzun süren karmaşık ağlarda aşırı öğrenme (overfitting) olasıdır. Bunun önüne geçmek için ağıdaki sınıflandırma katmanından önce dropout katmanı kullanılmıştır. Bu katman ağıdaki bazı nöronların arasındaki ilişkiyi keserek o nöronları göz ardı eder. Bu sayede aşırı öğrenme önlenmiş olur. Şekil 4'te dropout katmanı uygulandıktan sonra ağıdaki nöron ilişkisi verilmiştir. Dropout katmanından sonra ağı çıkışında ikili sınıflandırma yapmak amacıyla sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır ve birey hasta veya hasta değil olarak sınıflandırılmıştır.



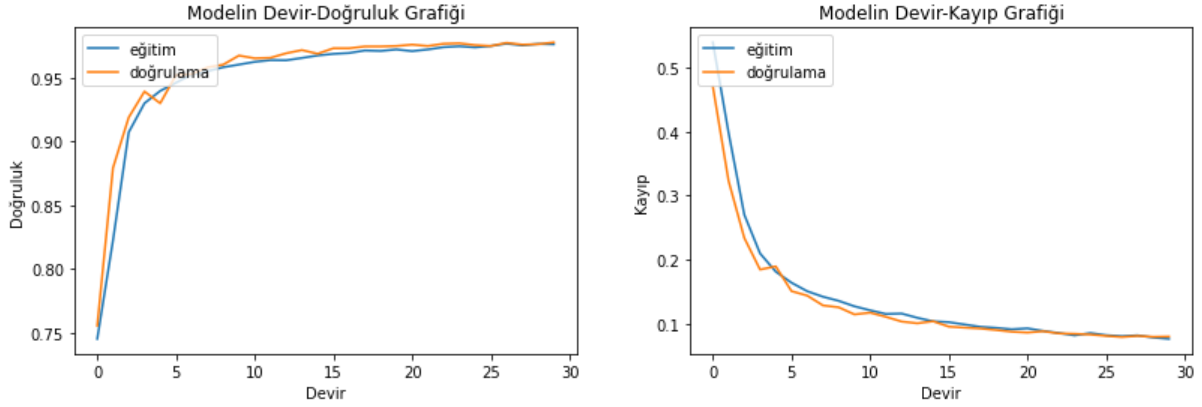
Şekil 4. a) Normal sinir ağı, b) Dropout katmanı uygulanmış sinir ağı



Şekil 5. Derin öğrenme akış şeması

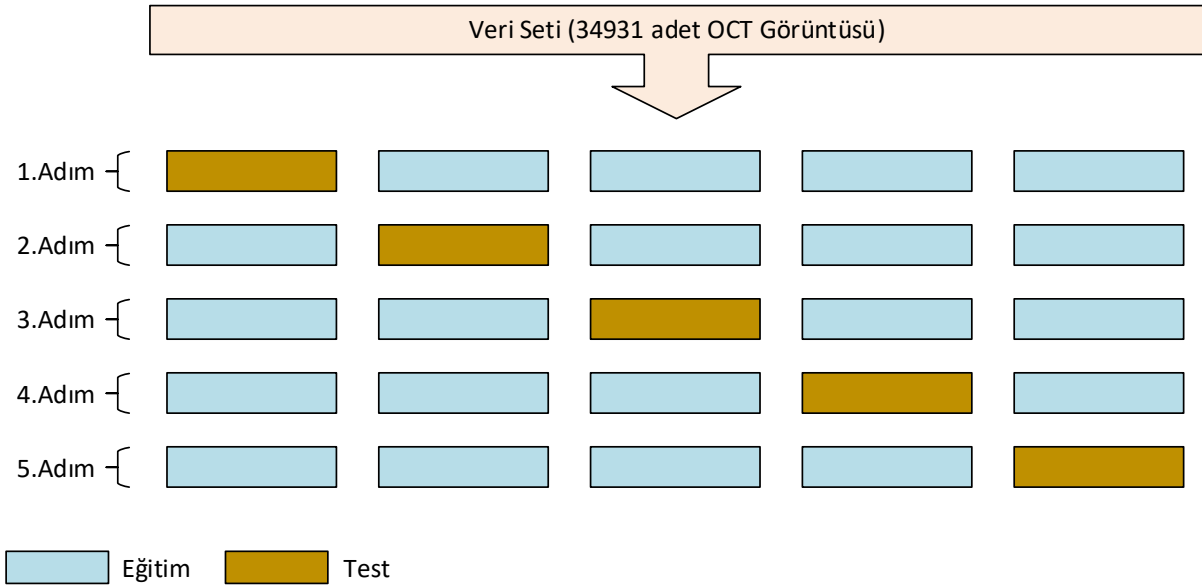
Ağın eğitilmesinde kullanılan bilgisayarda NVidia RTX 4000 Quadro GPU kartı ve 64 GB RAM donanımları bulunmaktadır. Ağ eğitilirken doğrulama veri setindeki kayıp fonksiyonları her adımda hesaplandı ve kayıp fonksiyonunun değerinin azalışı gözlemlendi. Doğrulama veri setindeki kayıp fonksiyonu değeri artışa geçtiğinde aşırı öğrenmeden kaçınmak amacıyla eğitim durduruldu.

Eğitimin bir adımının devir-doğruluk ve devir-kayıp grafikleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Ağın eğitilmesi 29 devir boyunca devam etmiştir. Beklenildiği üzere doğruluk oranı her devir sonunda artmış ve hesaplanan kayıp her devir sonrası azalmıştır.



Şekil 6. Ağın eğitim grafikleri

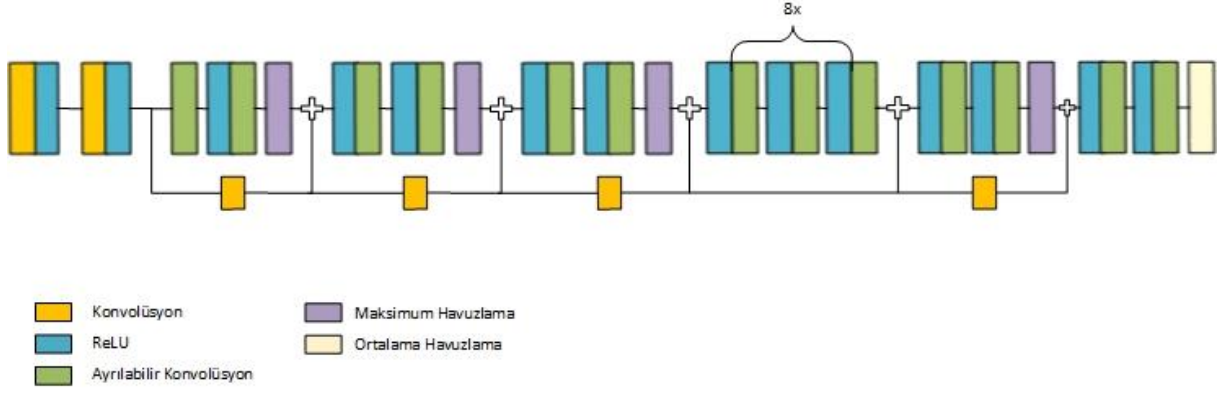
Ağların test parametrelerinin daha iyi bir şekilde değerlendirebilmesi için 5 katlamalı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Elde bulunan görüntülerden, her adımda farklı eğitim ve test grupları seçilerek ağ eğitilmiştir (Şekil 7). Her eğitim sonrası test veri seti kullanılarak parametreler hesaplanmıştır. Beş adımda da parametreler hesaplandıktan sonra ortalamaları alınarak 5 kat katlamalı çapraz doğrulama uygulanmıştır.



Şekil 7. 5 kat çapraz doğrulama gösterimi

2.1.2 Xception derin öğrenme ağı

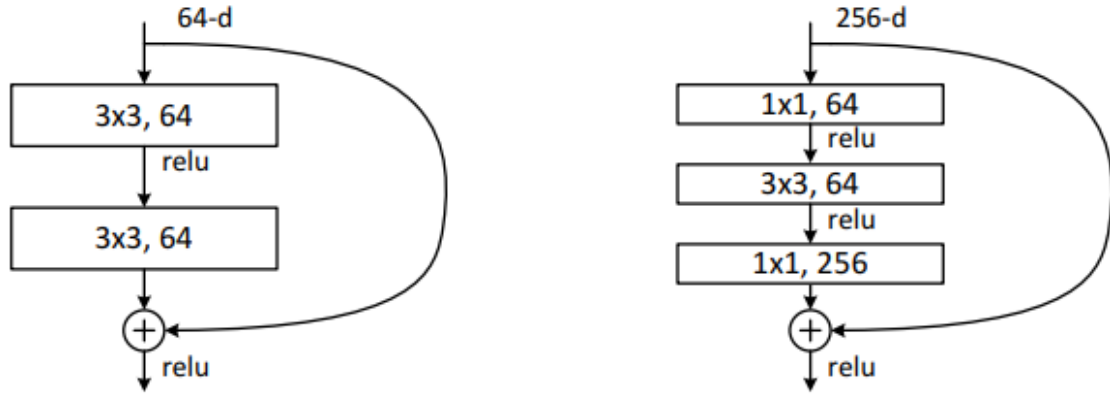
Çalışmada kullanılan Xception ağı François Chollet ve arkadaşları tarafından 2017 yılında ortaya atılmıştır [12]. Toplamda 170 adet katmandan oluşmaktadır. Toplamda 23 milyon civarında parametre bulunan Xception derin öğrenme ağı ImageNet veri seti üzerinde %94,5 doğruluk oranı elde etmiştir. Görüntü girişi 299x299x3 boyutundadır. Her konvolüsyon işlemi relu aktivasyonu takip etmektedir ve bu derin öğrenme ağında kullanılan havuzlama işlemi maksimum havuzlamadır. Ağın çıkışında ise ortalama havuzlama katmanı bulunmakta ve sonrasında sınıflandırma için softmax aktivasyonu bulunmaktadır. Ağın çıkışında ek olarak aşırı öğrenmeyi (ezberleme) engellemek adına dropout katmanı bulunmaktadır. Xception ağının akış şeması Şekil 8'de gösterildiği gibidir.



Şekil 8. Xception derin öğrenme ağı modeli

2.1.3. Resnet50 derin öğrenme ağı

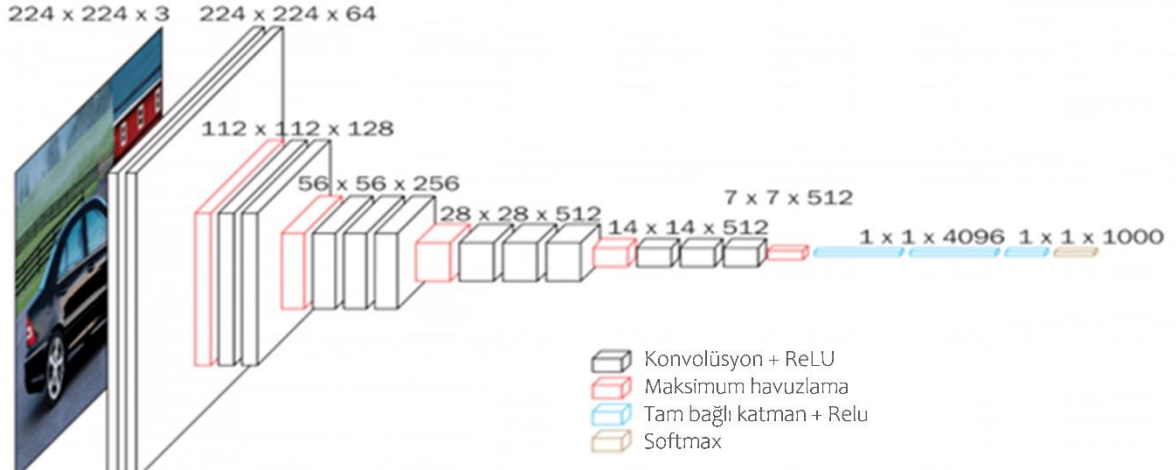
Kaiming He ve arkadaşları tarafından 2015 yılında ortaya atılan Resnet50 ağı 177 adet katmandan oluşmaktadır [13]. Görüntü girişi boyutu $224 \times 224 \times 3$ 'tür. Resnet50 ağı Şekil 9'da gösterildiği gibi daha hızlı eğitim yapabilmek için bazı katmanlarda atlama blokları kullanır. Ağda toplamda 25 milyon civarında parametre bulunmaktadır. ImageNet veri seti üzerinde %93,29 doğruluk elde etmiştir.



Şekil 9. Resnet50 derin öğrenme ağı bağlantı örneği

2.1.4. VGG16 derin öğrenme ağı

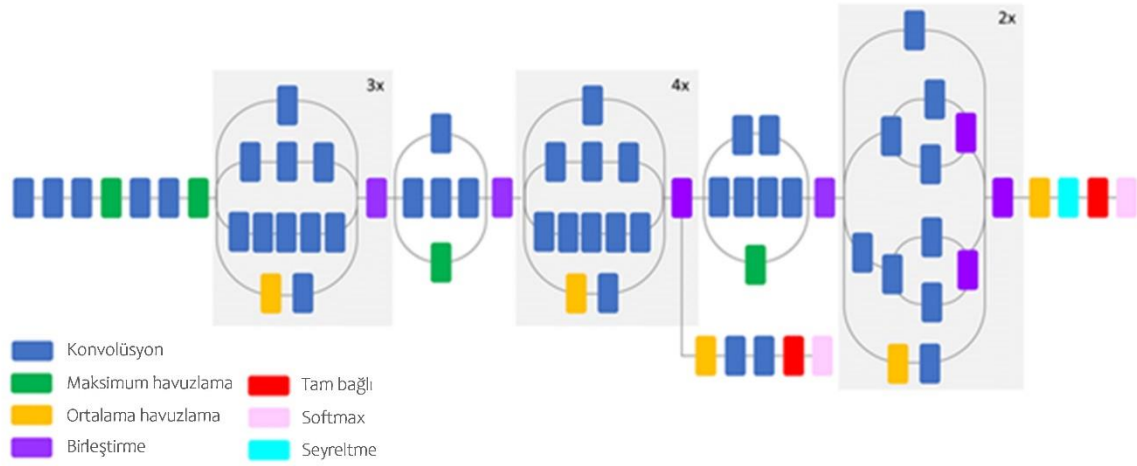
Karen Simonyan ve Andrew Zisserman tarafından 2014 yılında ortaya atılmıştır [14]. 41 katmandan oluşan bu ağın görüntü girişi $224 \times 224 \times 3$ boyutlarındadır. Toplamda 13 adet konvolüsyon katmanı, 15 adet relu aktivasyon katmanı, 5 adet maksimum havuzlama katmanı, 3 adet tam bağlantılı katmanı, 2 adet dropout katmanı bulunmaktadır. Ağın çıkışında ise softmax sınıflandırma katmanı bulunmaktadır. Ağdaki parametre sayısı 138 milyon civarındadır ve ImageNet veri seti üzerinde %91,6 doğruluk oranı elde etmiştir. Şekil 10'da VGG16 ağının katmanları gösterilmiştir.



Şekil 10. VGG16 derin öğrenme ağı modeli

2.1.5. Inception-V3 derin öğrenme ağı

Szegedy ve arkadaşları tarafından 2015 yılında sunulan bu ağ 315 katmandan oluşmaktadır [15]. Ağdaki görüntü girişi 299x299x3 boyutundadır. Ağdaki parametre sayısı 24 milyon civarında olup ImageNet veri seti üzerinde %93,7 doğruluk elde etmiştir. InceptionV3 ağının şeması Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. InceptionV3 derin öğrenme ağı modeli

Eğitilen modeller, 5200 adet sağlıklı ve 1700 adet YBMD hastası olan bireylerin OKT görüntüleri kullanılarak test edilmiştir. Eğitim sonucunda yorumlanması gereken hiper parametreler doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1 skoru değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

$$Doğruluk = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

$$Kesinlik = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$Duyarluluk = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

$$F1 Skoru = \left(\frac{Duyarluluk^{-1} + Kesinlik^{-1}}{2} \right)^{-1} \quad (4)$$

TP (true positive) pozitif tahmin edilen verilerin kaç tanesinin pozitif olduğu, TN (true negative) negatif tahmin edilen verilerin kaç tanesinin negatif olduğu, FP (false positive) pozitif tahmin edilen verilerin kaç tanesinin negatif olduğu ve FN (false negative) negatif tahmin edilen verilerin kaç tanesinin pozitif olduğu bilgisini verir.

Doğruluk oranı değeri özellikle derin öğrenme ile hastalık sınıflandırma işlemlerinde tek başında yeterli değildir. Çünkü pozitif sınıflandırılması gereken bir verinin negatif sınıflandırılması ile negatif sınıflandırılması gereken bir verinin pozitif sınıflandırılmasının tıp alanındaki etkisi farklıdır. Hasta olan bir verinin hasta değil şeklinde sınıflandırılması büyük hatalara yol açabilir. Bu nedenle kesinlik, duyarlılık ve F1 skoru parametrelerinin de işleme alınması gerekir. Kesinlik değeri, pozitif veya hasta olarak tahmin edilen verilerin kaç tanesinin gerçek sınıfının pozitif veya hasta olduğu bilgisini verir. Duyarlılık değeri, pozitif veya hasta olarak tahmin edilmesi gereken verilerin kaç adedinin pozitif veya hasta olarak tahmin edildiği bilgisini verir. F1 skoru ise kesinlik ve duyarlılık değerlerinin harmonik ortalamasını verir. F1 skorunun hesaplanması genellikle FN ve FP değerlerinin önemli olduğu durumlarda gereklidir.

Resnet50 ve VGG16 ağlarının doğruluk oranına bakıldığında diğer ağlarla yakın sonuçlar aldığı görülmektedir. Ancak Resnet50 ve VGG16'ya ait duyarlılık değeri, bu ağların OKT veri seti üzerinde diğer ağlara kıyasla iyi bir sınıflama yapamadığını göstermektedir. Eğitilen tüm ağlarda hasta olarak sınıflandırılan görüntülerin tamamına yakınının gerçek etiketinin de hasta olduğu görülmektedir. F1 skoruna bakıldığında ise bu veri seti üzerindeki en başarılı sınıflandırma yapan ağın Xception derin öğrenme ağı olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Diğer popüler ağların ve Xception ağının hesaplanan parametreleri.

Ağlar	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1 Skoru
Resnet50	0.95	1.00	0.78	0.87
VGG16	0.95	1.00	0.81	0.89
InceptionV3	0.97	0.98	0.89	0.94
Xception	0.98	0.99	0.92	0.96

3. Sonuç

Bu çalışma Evrişimsel Sinir Ağları kullanılarak OKT görüntülerinden drusen tespiti yapılmasının mümkün ve yüksek doğrulukta olduğunu göstermektedir. Doğruluk oranı olarak ağlar birbirine yakın olmasına karşın kesinlik, duyarlılık ve F1 skoru parametreleri ağlar arasındaki performans farkının daha net görülmesini sağlamaktadır. Duyarlılık değeri, incelendiğinde Resnet50 ve VGG16 ağlarının OKT veri setini sınıflandırma performansının nispeten düşük olduğu görülmektedir. F1 skoru dikkate alındığında ise InceptionV3 ve Xception ağlarının kullanılan OKT veri seti üzerindeki sınıflandırma başarısının yüksek olduğu görülmektedir. Xception ağı 0.96'lık F1 skoru ile en başarılı sınıflandırmayı yapmıştır. Farklı sağlık kurumlarından çeşitli insanlara ait OKT görüntüleri kullanılarak veri setinin artırılması ile bu başarının daha da artacağı öngörülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Rodríguez, IR, Larrayoz IM. Cholesterol oxidation in the retina: implications of 7kch formation in chronic inflammation and age-related macular degeneration. Journal of Lipid Research 2010; 51(10): 2847-2862.
- [2] Fine SL, Berger JW, Maguire MG, Ho AC. Age-related macular degeneration. New England Journal of Medicine 2000; 342(7): 483-492.
- [3] Wong WL, Su X, Li X, Cheung CMG, Klein R, Cheng CY, Wong TY. Global prevalence of age-related macular degeneration and disease burden projection for 2020 and 2040: a systematic review and meta-analysis. The Lancet Global Health 2014; 2(2): 106-116.
- [4] Gwairi OA, Thach L, Zheng W, Osman N, Little PJ. Cellular and molecular pathology of age-related macular degeneration: potential role for proteoglycans. Journal of Ophthalmology 2016.
- [5] İnan S. Retina anatomisi. Kocatepe Tıp Dergisi 2014; 15(3): 355-359
- [6] Nowak JZ. Age-related macular degeneration (AMD): pathogenesis and therapy. Pharmacological Reports 2006; 58(3): 353.

- [7] Age-Related Eye Disease Study Research Group. The age-related eye disease study system for classifying age-related macular degeneration from stereoscopic color fundus photographs: the age-related eye disease study report number 6. *American Journal of Ophthalmology* 2001; 132(5): 668-681.
- [8] ImageNet. <https://image-net.org>, (17.03.2021).
- [9] Image Classification on ImageNet. <https://paperswithcode.com/sota/image-classification-on-imagenet>, (17.03.2021).
- [10] Tsuji T, Hirose Y, Fujimori K, Hirose T, Oyama A, Saikawa Y, Shiraishi K, Kobayashi T ve diğerleri. Classification of optical coherence tomography images using a capsule network. *BMC Ophthalmology* 2020; 20(1): 1-9.
- [11] Retinal OCT Images. <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/kermany2018>, (12.02.2021).
- [12] Chollet F. Xception: deep learning with depthwise separable convolutions. 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition; 22-25 July 2017; Honolulu, Hawaii, USA. pp. 1251-1258.
- [13] He K, Zhang X, Ren S, Sun J. Deep residual learning for image recognition. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR); 27-30 June 2016; Las Vegas, Nevada, USA. pp. 770-778.
- [14] Simonyan K, Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. <https://arxiv.org/abs/1409.1556>, (18.01.2021).
- [15] Szegedy C, Vanhoucke V, Ioffe V, Shlens J, Wojna Z. Rethinking the inception architecture for computer vision. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR); 27-30 June 2016; Las Vegas, Nevada, USA. pp. 2818-2826.

Derin Öğrenme Tabanlı Yaklaşımla Kötü Huylu Deri Kanserinin Dermatoskopik Görüntülerden Saptanması

Fatih DEMİR^{1*}

¹ Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Teknik Bilimler MYO, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
*¹ fatihdemir@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 20/03/2021;

Kabul/Accepted: 22/04/2021)

Öz: Deri kanseri erken teşhis edilmezse ölümlü sonuçlanan vakalara yol açabilir. Dermatoskopik görüntüler, deri kanserini erken teşhis etmek için en önemli veridir. Yapay zeka modellerini içeren bilgisayar destekli uygulamalar, dermatoskopik görüntülerden deri kanserini teşhis etmek için uzmanlara yardım etmede faydalı bir araç olabilir. Özellikle, derin öğrenme tabanlı uygulamalar medikal görüntülerden hastalık tespit etmede popüler hale gelmiştir. Bu çalışmada, MobileNetV2 modelini içeren bir derin öğrenme tabanlı yaklaşım, dermatoskopik görüntülerden kötü huylu deri kanserini teşhis etmek için kullanılmıştır. Önceden eğitilmiş MobileNetV2 modelinin tam bağlı katmanındaki değerler kullanılarak öznelikler çıkarılmıştır. Bir sonraki aşamada sınıflandırma performansını artırmak için rasgele değişken (RD) ve L1-Norm DVM algoritmalarıyla özneliklerden yüksek seviyeli olanlar seçilmiştir. En son olarak diğer sınıflandırıcılara göre daha iyi performans sağladığı için Destek Vektör Makineleri (DVM) algoritması ile sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Önerilen yöntemle %88.35 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Ayrıca aynı veri setini kullanan bir diğer çalışmaya göre daha iyi bir başarımla sağlanmıştır. Bu çalışmada, eğitim sürecinde düşük hesaplama maliyeti elde edilmiştir. Gelecek çalışmalarda birden çok derin öğrenme modelinden elde edilen özneliklerle sınıflandırma performansı daha da artırılmaya çalışılacaktır.

Anahtar kelimeler: Kötü huylu deri kanseri, MobileNetV2 modeli, öznelik seçme, sınıflandırma.

Detection of Malignant Skin Cancer from Dermatoscopic Images with Deep Learning Based Approach

Abstract: Skin cancer can lead to fatal cases if not diagnosed early. Dermatoscopic images are the most important data for early diagnosis of skin cancer. Computer-aided applications involving artificial intelligence models can be a useful tool in helping professionals to diagnose skin cancer from microscopic images. In particular, a deep learning-based applications have become popular for disease detection from medical images. In this study, a deep learning-based approach, including the MobileNetV2 model, was used to diagnose malignant skin cancer from dermatoscopic images. The features are extracted using values from the fully connected layer of the pre-trained MobileNetV2 model. In the next step, high-level features were selected by Random Forest (RF) and L1-Norm SVM algorithms to increase the classification performance. Finally, since it provides better performance compared to other classifiers, the classification process has been made with Support Vector Machines (SVM) algorithm. The classification accuracy of 88.35% was achieved with the proposed method. In addition, a better performance was achieved compared to another study using the same data set. In this study, low computational costs were obtained in the training process. In future studies, the classification performance will be tried to be further increased with features obtained from multiple deep learning models.

Key words: Malignant skin cancer, MobileNetV2 model, feature selection, classification.

1. Giriş

Deri kanseri, beyaz tenli insanlarda en sık görülen kötücül hastalıktır. Bununla birlikte cilt kanserine yakalanma oranları küresel ölçekte artmaktadır [1]. Kötü huylu cilt kanseri (melanom), en ölümcül cilt kanseri türlerinden biridir ve dünya çapında yılda 55.000 kişi melanomdan ölmektedir; bu, tüm kanser ölümlerinin % 0.7'sine tekabül etmektedir. Ancak ölüm oranları ülkeden ülkeye büyük farklılıklar göstermektedir. 2008'den 2018'e kadar olan süreçte, melanom vakalarının yıllık sayısı, kısmen artan ultraviyole ışınlarına maruz kalmaya bağlı olarak %53 artmıştır [2]. Melanom, en ölümcül cilt kanseri türlerinden biri olmasına rağmen, erken teşhis, hayatta kalma şansını büyük bir oranda artırmaktadır.

Bir dermatolog tarafından kötü huylu bir lezyonun teşhisinin ilk adımı, şüpheli cilt bölgesinin görsel olarak incelenmesidir. Bazı lezyon tiplerinin benzerliğinden dolayı doğru tanı önemlidir; dahası, tanısal doğruluk, hekimin mesleki deneyimi ile ilişkilidir [3]. Ek teknik destek olmadan, dermatologlar melanom tanısında %65-

* Sorumlu yazar: fatihdemir@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-3210-3664

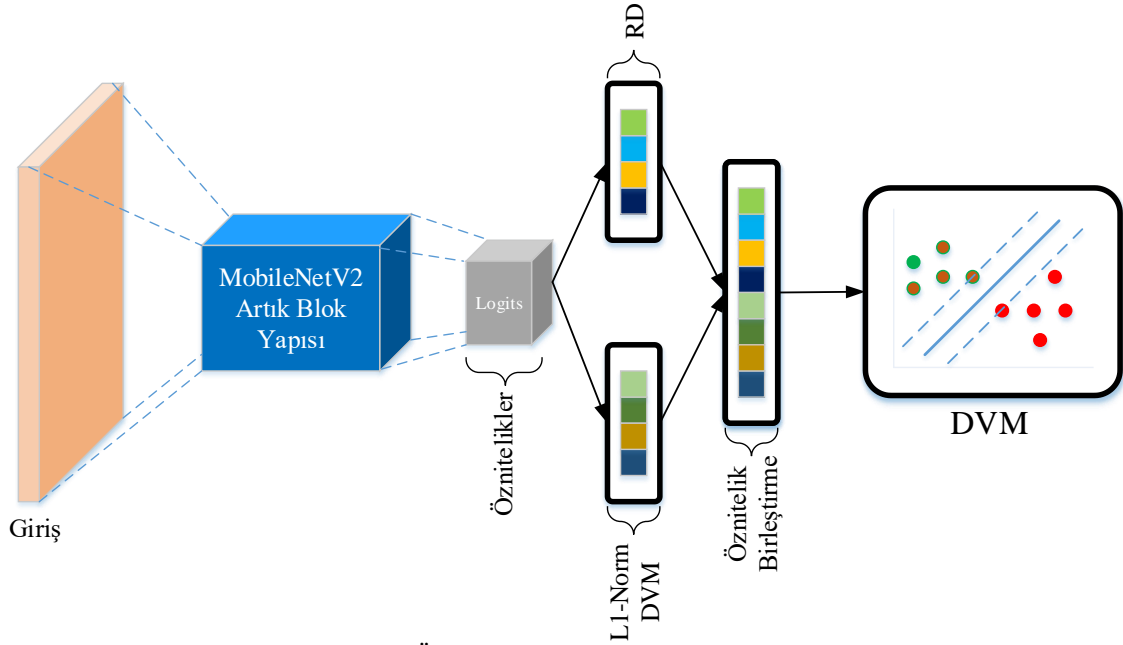
%80'lik bir doğruluk oranına sahiptir [4]. Şüpheli durumlarda, görsel inceleme, özel bir yüksek çözünürlüklü ve büyüteçli kamera ile alınan dermatoskopik görüntülerle desteklenir. Kayıt sırasında aydınlatma kontrol edilir ve cilt üzerindeki yansımaları azaltmak için bir filtre kullanılır, böylece daha derin cilt katmanları görünür hale gelir. Bu teknik destek ile cilt lezyonu tanısının doğruluğu %49 daha artırılabilir [5]. Görsel inceleme ve dermatoskopik görüntülerin kombinasyonu sonucunda dermatologlar tarafından %75-%84 oranında mutlak melanom saptama doğruluğu elde edilebilir [6]. Bununla birlikte teşhis doğruluğu, farklı deneyimleri olan uzmanlar arasında büyük ölçüde değişebilir. Sonuç olarak, tarama programlarına ve ikinci bağımsız bir görüş olarak kullanılabilen yarı veya tam otomatik bilgisayar destekli tanı sistemlerinin geliştirilmesine büyük ilgi vardır [7]. Bu tür bilgisayar destekli tanı sistemlerinde en çok kullanılan yaklaşımlar yapay zeka modelleridir. Özellikle 2012 yılında Krizhevsky ve diğerlerinin [8] AlexNet isimli modelinin ImageNet 2012 yarışmasındaki başarısından sonra medikal görüntü sınıflandırma üzerine derin öğrenme yaklaşımlarının kullanımı artmıştır.

Cilt kanseri görüntülerinin sınıflandırılmasında derin öğrenme modelleri sıkça kullanılmıştır. Brinker ve diğerleri [9] cilt kanseri görüntülerini Nevus ve Melanoma olarak iki sınıfa ayırmıştır. Sınıflandırma için ResNet-50 modeli seçilmiştir. ResNet-50 modelinde, sabit bir öğrenme oranı yerine modelin her katmanı için farklı bir öğrenme oranı kullanılmıştır. Ayrıca, öğrenme hızlarını düşürmek için kosinüs işlevine dayalı yeni yöntemler kullanılmıştır. Bu metot ile % 82.3'lük bir duyarlılık oranı yakalanmıştır. Hosny ve diğerleri [10], veri setindeki her bir görüntüyü veri artırma tekniğini kullanarak veri setini büyüttüler ve transfer öğrenmesi yaklaşımı ile sınıflandırma problemi ele aldılar. Bu yaklaşım ile %95.91'lik sınıflandırma doğruluğuna ulaşılmıştır. Estava ve diğerleri [11], çalışmalarında kullandıkları veri setini iyi huylu ve kötü huylu olmak üzere iki sınıfa ayırmıştır. Ön işleme adımında, veri setindeki görüntüler Gauss filtreleme yöntemiyle işlenmiştir. AdNet isimli derin öğrenme modeli ile %87.81 doğruluğa ulaşılmıştır. Nugroho ve diğerleri [12] HAM10000 isimli cilt kanseri veri setini yedi sınıfa ayırmıştır. Sıfırdan tasarlanan ve eğitilen Evrişimsel Sinir Ağları (ESA) modeli %78 sınıflandırma doğruluğuna ulaşmıştır. Alquadah ve diğerleri [13], üç sınıf cilt kanseri görüntülerini tanımak için önceden eğitilmiş AlexNet ve GoogLeNet modellerini kullanmıştır. Kullanılan veri seti, bölütlemesiz veri seti ve bölütlemeli veri seti olmak üzere iki formata ayrılmıştır. Sınıflandırma doğruluğu bölütlemeli veri seti için % 92.2 ve bölütlemesiz veri seti için % 89.8 olmuştur.

Bu çalışmada önceden eğitilmiş MobileNetV2 modeline ve Destek Vektör Makinelerine (DVM) dayanan bir yaklaşım, dermatoskopik görüntülerden iyi huylu ve kötü huylu deri kanserini tespit etmek için önerilmiştir. MobileNetV2 modeli öznetelik çıkarma işlemi için kullanılmıştır. L1-Norm DVM ve Rasgele Değişken (RD) algoritmaları ile öznetelik seçimi yapılmıştır. Sınıflandırma aşamasında polinomal (kübik) çekirdek fonksiyonunu kullanan DVM algoritması yüksek bir performans sağladığı için seçilmiştir.

2. Materyal ve Metodoloji

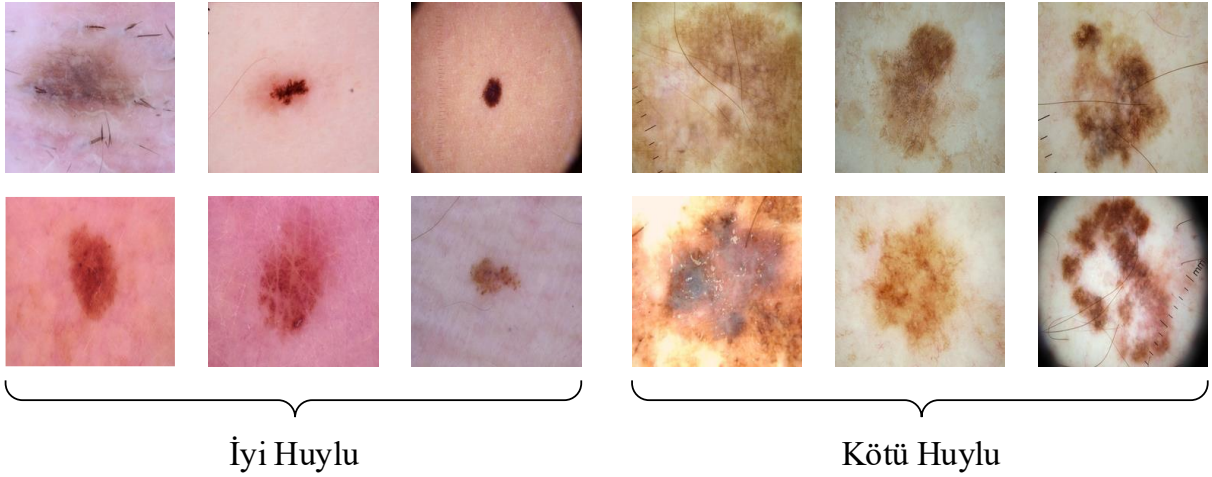
Bu çalışmada iki sınıflı (iyi huylu ve kötü huylu) deri kanseri sınıflandırma problemi için derin öğrenme tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yöntem öznetelik çıkarma, öznetelik seçme ve sınıflandırma olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Öznetelik çıkarma aşamasında önceden eğitilmiş MobileNetV2 modelinin "Logits" isimli tam bağlı katmanı kullanılmıştır. Bu katmandan 1000 adet öznetelik elde edilmiştir. Öznetelik seçme aşamasında L1-Norm DVM algoritması ile 217 adet RD algoritması ile 223 adet öznetelik seçilmiştir. Sınıflandırma performansını artırmak için bu iki öznetelik seti birleştirilmiştir. Sınıflandırma aşamasında daha iyi sınıflandırma doğruluğu verdiği için DVM algoritması kullanılmıştır. Önerilen yöntemin temsili gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Önerilen yöntemin temsili gösterimi.

2.1. Veri seti

Bu çalışmada kullanılan veri seti toplam 3297 adet görüntüden oluşmaktadır. Bu görüntülerin her biri 224×224 yükseklik ve genişlikle JPG formatında kaydedilmiştir. Bu görüntülerin 1800 adedi iyi huylu tümör ve 1497 adedi kötü huylu tümör olarak etiketlenmiştir. Bu veri seti oluşturulurken uzman doktorlar hastalardan biyopsi örnekleri almıştır ve kanser hücrelerinin daha net görünmesi için dermatoskop cihazları kullanılmıştır. Veri setindeki her iki sınıf için birkaç örneğin gösterimi Şekil 2’de verilmiştir.

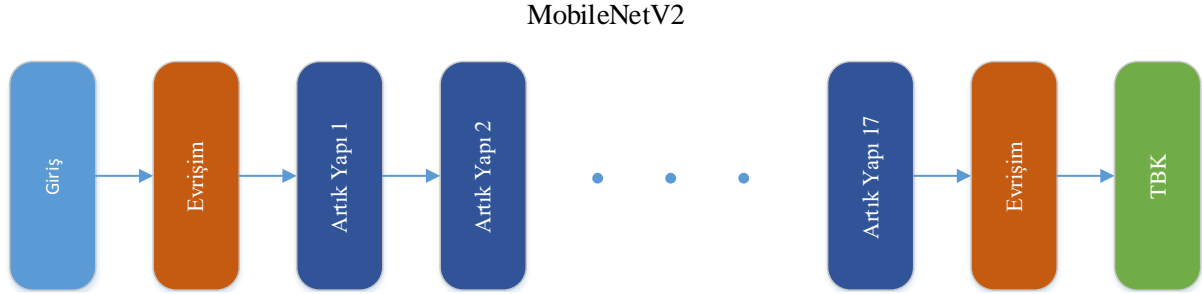


Şekil 2. Her iki sınıf için veri setinden örnekler.

2.2. MobileNetV2 Mimarisi

MobileNetV1 [14], Google ekibi tarafından 2017 yılında önerilen, mobil veya gömülü cihazlara odaklanan hafif bir ESA modelidir. MobileNetV1, standart evrişimin iki aşamasını, yani derinlemesine evrişim ile noktasal evrişimi derinlemesine ayrılabilen evrişimi kullanmaktadır. MobileNetV1 yapısında bit çarpımının hesaplanması kanallara göre yapılır ve kanal sayısı değişmez. Daha sonra, 1×1 evrişim çekirdeğinin kanal sayısı değiştirilebilir. MobileNetV1’in hiperparametreleri ayarlanarak verimlilik ve doğruluk arasındaki denge sağlanabilir.

MobileNetV2 [15], MobileNetV1 modeline tersine çevrilmiş artık yapılar ve doğrusal darboğazlar getirerek geliştirilmiştir. Derinlemesine evrişim, kanal sayısını değiştiremez ve bu da öznetellik çıkarımının giriş kanallarının sayısı ile sınırlı olmasına neden olur. Tersine çevrilmiş artık yapılar bu sorunu çözer. Artık yapı, 1×1 boyutunda azalan evrişim filtresi, 3×3 boyutunda evrişim filtresi ve 1×1 boyutunda artan evrişim filtresi düzeninde olan yapı tersine çevrilmiş artık yapıda 1×1 boyutunda artan evrişim filtresi, 3×3 boyutunda derinlemesine evrişim filtresi ve 1×1 boyutunda azalan evrişim filtresi düzenindedir. Tersine çevrilmiş artık yapıdaki aktivasyon fonksiyonu, öğrenmeyi hızlandırır, gradyan dağılımını bastırır ve modelin kararlılığını artırır. MobileNetV2 modelinin blok yapısı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. MobileNetV2 modelinin blok şeması.

2.2. Rastgele Değişken (RD) Algoritması

RD, birbiriyle ilgisiz birden çok karar ağacı oluşturmak için rastgele yeniden örnekleme önyükleme tekniği ile düğüm stokastik sınıflandırma tekniğini kullanan ve oylama yoluyla nihai sınıflandırma sonuçlarını üreten entegre bir makine öğrenmesi yöntemidir [16]. RD, karmaşık etkileşimli özellikleri analiz edebilir (Şekil 2). RD yöntemi, gürültü ile eksik verilere karşı daha sağlamdır ve daha hızlı bir öğrenme hızına sahiptir. RD algoritması değişkenlerin önem ölçümünü yapabildiğinden, yüksek boyutlu veriler için bir öznetelik seçim aracı olarak kullanılabilir.

Eğitim verilerinin (X, Y) n adet örnek içerdiği varsayılırsa, bir regresyon ağacı oluşturmak için b alt kümelerini rasgele çıkarılır. i (icb) alt kümesi çıkarıldığında, diğer örnekler torba dışı veriler olarak kabul edilir. Ek olarak, sabit boyutlu m ($m < M$) vektörü, girdi değişkeni olarak M boyutlu vektörden seçilir ve regresyon ağacının öznetelik uzayı oluşturulur. Bölme değişkeni, bölme büyüme süreci sırasında minimum varyans kriteri tarafından seçilir (Denklem 1).

$$I = \min_s \frac{\sum_{s=1}^n (X_s - X'_s)^2}{n} \quad (1)$$

burada I , optimal bölme değişkeni ve s , gömülü örnek boyutudur. X_s ve X'_s sırasıyla değişkenlerin değerini ve ortalama değerini temsil eder. Ağaç büyümesi tamamlandıktan sonra rastgele bir değişken oluşur ve daha sonra torba dışındaki verilerin model üzerindeki etkisi ortalama kare hata (OKH) ile hesaplanır.

$$OKH = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2}{n} \quad (2)$$

n , çantanın dışındaki verilerin örnek boyutunu belirtir; y_i , y'_i sırasıyla örnek setinin gerçek ve tahmin edilen değerlerini temsil eder. RD modeli, ortalama kare artıkları aracılığıyla gösterge girdi değişkenlerinin önemini azaltır, $[OKH_1, OKH_2, \dots, OKH_k]$ 'deki ortalama kare kalıntıların sırasını elde etmek için cep dışı verilerle K regresyon ağaçları oluşturur ve torbadan çıkarılan veri artık matrisini oluşturmak için çoklu örneklemeden sonra yeni regresyon ağacı K 'yi oluşturur. M girdi değişkeni için değişken önemi (D_{δ}) Denklem 3'teki gibi ölçülür.

$$D_{\delta} = \frac{\sum_{j=1}^k (OKH_j - OKH_{kj})}{k.S_H} \quad (3)$$

D_{δ} değişkenin önem puanı, k ($j \in k$) karar ağaçlarının sayısı, S_H , K karar ağaçlarının standart hatasıdır.

2.3. L1-Norm DVM

L1-Norm DVM algoritmasında öznitelik sayısı maliyet parametresi (M) ile belirlenir. N örneğe sahip bir veri seti (X) Denklem 4'teki gibi ifade edilmiştir.

$$X = \{(x_i, y_i) | x_i \in R^n, y_i \in \{-1, 1\}\}_{i=1}^k \quad (4)$$

Burada x_i , örneklerini (y_i) sınıf etiketlerini temsil etmektedir. Binari sınıflandırma probleminde (Denklem 5) DVM algoritması ile, kenar payını maksimize edecek hiper düzlem öğrenilir.

$$y_i(wx_i - b) \geq 1, i = 1, \dots, k \quad (5)$$

Burada, w ağırlık vektörü ve b ise bias vektörüdür. Denklem 5'teki problemi baz alarak Denklem 6'da belirlenen optimizasyon probleminin çözümlenmesi gerekir.

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (6)$$

Kenar payının yakınındaki mesafe hatalarından kaynaklanan çözümleri düzeltmek için Denklem 4, Denklem 6'daki gibi yeniden düzenlenir.

$$y_i(wx_i - b) \geq 1 - \delta, \delta_i \geq 0, i = 1, \dots, k \quad (7)$$

Ortaya çıkan seyrek çözümlerin bir sonucu olarak L1-Norm DVM tabanlı öznitelik seçimi için Denklem 5 kısıtlaması ile Denklem 6 kullanılır [17].

$$\min \|w\|^1 + M \sum_{i=1}^k \max(0, 1 - y_i(\alpha^T x_i + b))^2 \quad (8)$$

" α ", Lagrange çarpanları ile elde edilen katsayılardan oluşan vektörü temsil eder. M maliyet parametresi ile seçilen özniteliklerin sayısı belirlenir.

2.3. DVM sınıflandırıcısı

DVM sınıflandırıcısı iki sınıfı birbirinden ayırmak için bir hiper düzlem ($w^T x_i + b = 0$) kullanır. Lagrange algoritması ile optimize edilen w ağırlıklarının Denklem 9'daki eşitliği sağlamaktadır.

$$w = \sum_i^n \alpha_i y_i x_i \quad (9)$$

n destek vektörleri, y_i sınıfları, x_i girişleri ve α_i Lagrange katsayılarını simgelemektedir. Lineer ayrılan ve lineer ayrılamayan örnekler için DVM algoritmasında kullanılan karar verme işlevleri sırasıyla Denklem 10 ve Denklem 11'de verilmiştir.

$$f(x) = \text{sgn}(\sum_i^n \alpha_i y_i x_i^T x + b) \quad (10)$$

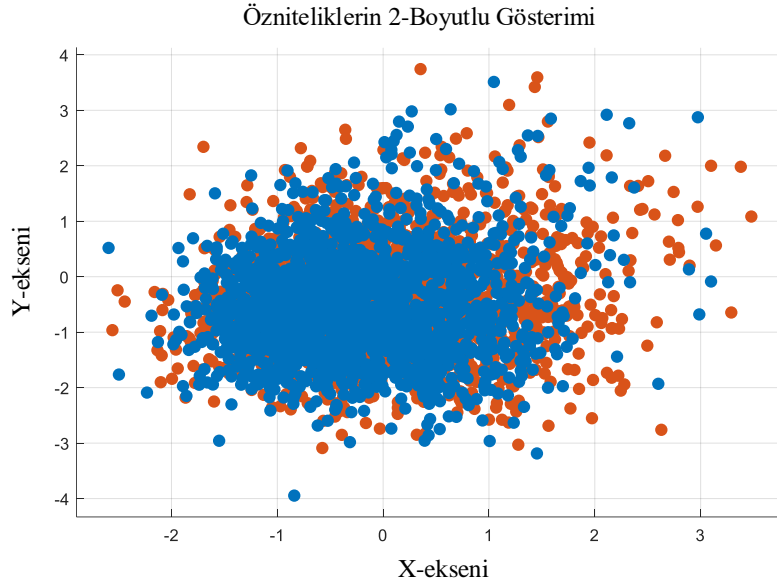
$$f(x) = \text{sgn}(\sum_i^n \alpha_i y_i K(x_i, x) + b) \quad (11)$$

Denklem 11'deki K , çekirdek işlevidir. Lineer olmayan örnekler K ile farklı bir uzaya taşındıktan sonra örnekler lineer olarak ayrılabilir.

3. Deneysel Çalışma ve Sonuçlar

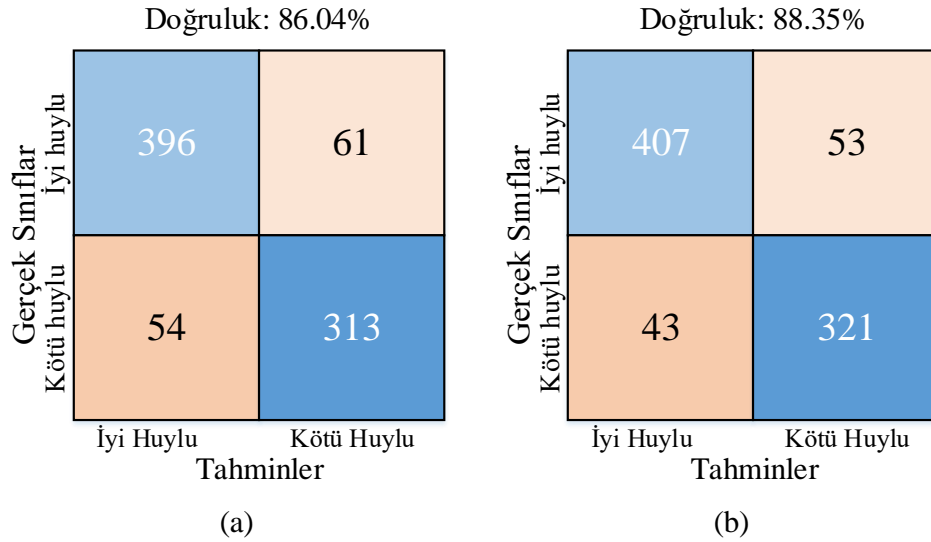
Bu çalışmadaki tüm kodlamalar Windows 10 işletim sistemi üzerine kurulu Matlab isimli simülasyon programıyla gerçekleştirilmiştir. Önerilen metodun performansını değerlendirmek için kullanılan veri setinin %75'i eğitim için, %25'i test için rasgele ayrılmıştır. Öznitelikleri çıkarmak için MobileNetV2 modelinin "Logits" isimli tam bağlı katmanı kullanılmıştır. Bu katmandan 1000 adet öznitelik çıkarılmıştır. Hem hesaplama maliyetini

azaltmak hem de sınıflandırma performansını artırmak için RD ve L1-Norm DVM öznelik seçme algoritmaları kullanılmıştır. RD algoritmasında ağaç sayısı 50 olarak ayarlanarak 223 adet öznelik seçilmiştir. L1-Norm DVM algoritmasında cezalandırma parametresi (M) 0.02 seçilerek 217 öznelik çıkarılmıştır. Bu iki öznelik seti birleştirilerek (440 öznelik) DVM sınıflandırıcısına iletilmiştir. Birleştirilen öznelik setinin saçılım düzeni Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 4’te görüldüğü gibi iki sınıfa ait veriler doğrusal olarak ayırlanamamaktadır. Bu nedenle DVM algoritmasında 3. dereceden polinomal (kübik) çekirdek işlevi kullanılmıştır. Ayrıca DVM sınıflandırıcısının çekirdek boyutu “19” olarak seçilerek kutu sınırlaması “1” olarak seçilmiştir.



Şekil 4. Birleştirilmiş özneliklerin saçılım düzeni.

Öznelik seçme algoritmalarının kullanılmadığı ve kullanıldığı her iki durum için karmaşıklık matrisi sonuçları Şekil 5’te verilmiştir. Öznelik seçme algoritmalarının kullanılmadığı durum için %86.04 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir (Şekil 5(a)). Öznelik seçme algoritmalarının kullanıldığı durum için %88.35 sınıflandırma doğruluğuna ulaşılmıştır (Şekil 5(b)). Ayrıca her iki durum için duyarlılık, özgüllük, kesinlik ve F-skor sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 5. Karmaşıklık matrisi sonuçları.

Tablo 1. Diğer performans metriklerinin sonuçları

Öznitelik sayısı	Sınıflar	Duyarlılık	Özgüllük	Kesinlik	F-skor
1000	İyi Huylu	0.87	0.85	0.88	0.87
	Kötü Huylu	0.85	0.86	0.84	0.84
440	İyi Huylu	0.88	0.88	0.90	0.89
	Kötü Huylu	0.88	0.88	0.86	0.87

Tablo 2’de RD ve L1-Norm DVM algoritması ile çıkartılan özniteliklerin diğer sınıflandırıcı algoritmalarındaki sınıflandırma doğrulukları verilmiştir.

Tablo 2. Sınıflandırıcılara göre doğruluk sonuçları

Sınıflandırıcılar	Doğruluk (%)
Lineer Ayırtaç	83.75
Karar Ağacı	76.50
K-en Yakın Komşu	80.55
Saf Bayes	72.30
DVM	88.35

Tablo 3’te aynı veri setini kullanan Farooq ve diğerleri [18] Inception-V3 modelini ve MobileNetV1 modelini sınıflandırma için kullanmıştır. Inception-V3 modeli MobileNetV1 modelinden daha iyi performans sağlayarak %86 sınıflandırma doğruluğuna ulaşmıştır.

Tablo 3. Aynı veri setini kullanan yöntem ile karşılaştırma

Metot	Model	Doğruluk (%)
Farooq ve diğerleri [18]	Inception-V3 ve MobileNetV1	86.00
Önerilen metot	MobileNetV2, L1Norm, RD ve DVM	88.35

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, dermatoskopik görüntülerden kötü huylu deri kanserini saptamak için MobileNetV2 derin öğrenme modelini ve DVM algoritmasını içeren bir yaklaşım kullanılmıştır. Ayrıca önerilen yöntemin başarımını artırmak için RD ve L1-Norm algoritmaları ile öznitelik seçimi yapılmıştır. Öznitelik seçimi kullanılmadan önerilen yöntemin sınıflandırma doğruluğu %86.04 olmuştur. Öznitelik seçme algoritmaları ile sınıflandırma doğruluğu %2.31 oranında iyileştirilmiştir. Ayrıca aynı veri setini kullanan diğer bir yöntemle göre sınıflandırma doğruluğu %2.35 oranında geliştirilmiştir. Bununla birlikte diğer derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar kullanılarak sınıflandırma doğruluğu artırılacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada, sıfırdan eğitilmiş bir derin öğrenme modeli kullanılmadığı için eğitim sürecinde düşük hesaplama maliyeti elde edilmiştir. Bu durum da öğrenilebilir parametrelerin optimizasyon süresini azaltmıştır. Ayrıca öznitelik seçme algoritmalarıyla öğrenilebilir parametre sayısı daha da azaltılmıştır. Dahası daha az parametre ile daha yüksek bir başarımla elde edilmiştir. Önerilen bu yöntemin uzmanlara karar vermede yardımcı bir araç olarak kullanılması düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Nami N, Giannini E, Burrioni M, Fimiani M, Rubegni P. Teledermatology: state-of-the-art and future perspectives. Expert Review of Dermatology 2012; 7(1): 1–3.
- [2] Fabbrocini G, Triassi M, Mauriello MC, Torre G, Annunziata MC, De Vita V, Pastore F, D'Arco V, ve diğerleri. Epidemiology of skin cancer: role of some environmental factors, Cancers 2010; 2(4), 1980–1989.
- [3] Haenssle HA, Fink C, Schneiderbauer R, Toberer F, Buhl T, Blum A, Kalloo A, Ben Hadj Hassen, ve diğerleri. Man against machine: diagnostic performance of a deep learning convolutional neural network for dermoscopic melanoma recognition in comparison to 58 dermatologists. Annals of Oncology 2018; 29(8), 1836–1842.

- [4] Argenziano G, Soyer HP. Dermoscopy of pigmented skin lesions--a valuable tool for early. *The lancet oncology* 2001; 2(7), 443–449.
- [5] Kittler H, Pehamberger H, Wolff K, Binder M. Diagnostic accuracy of dermoscopy. *The lancet oncology* 2002; 3(3), 159–165.
- [6] Ali A-RA, Deserno TM. A systematic review of automated melanoma detection in dermatoscopic images and its ground truth data. In *Medical Imaging*; 12 February 2012; San Diego, California, USA.
- [7] Fabbrocini G, De Vita V, Pastore F, D'Arco V, Mazzella C, Annunziata MC, Cacciapuoti S, Mauriello MC, ve diğerleri. Teledermatology: from prevention to diagnosis of nonmelanoma and melanoma skin cancer. *International journal of telemedicine and applications* 2011; 2011(125762).1-5.
- [8] Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton GE. Imagenet classification with deep convolutional neural networks, *Communications of the ACM* 2017; 60(6), 84–90.
- [9] Brinker TJ, Hekler A, Enk AH, Berking C, Haferkamp S, Hauschild A, Roman C, Berking C. Deep neural networks are superior to dermatologists in melanoma image classification, *European Journal of Cancer* 2019; 119, 11–17.
- [10] Hosny KM, Kassem MA, Foad MM. Classification of skin lesions using transfer learning and augmentation with AlexNet, *PloS one* 2019; 14(5), 217-293.
- [11] Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, Ko J, Swetter SM, Blau HM, Thrun S. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks, *nature* 2017; 542(7639), 115–118.
- [12] Nugroho AA, Slamet I, Sugiyanto. Skin cancer identification system of HAM10000 skin cancer dataset using convolutional neural network, In *AIP Conference Proceedings*; 27 December 2019; pp. 20039.
- [13] Alqudah AM, Alquraan H, and Qasmieh IA. Segmented and non-segmented skin lesions classification using transfer learning and adaptive moment learning rate technique using pretrained convolutional neural network, In *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering* 2019; 42, 67–78.
- [14] Howard AG, Zhu M, Chen B, Kalenichenko D, Wang W, Weyand T. Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications 2019; arXiv preprint arXiv:1704.04861.
- [15] Sandler M, Howard A, Zhu M, Zhmoginov A, and Chen L-C. Mobilenetv2: Inverted residuals and linear bottlenecks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*; 18-22 June 2018; Salt Lake City, Utah, USA, pp. 4510–4520.
- [16] [Liu S, Li H, Zhang Y, Zou B, Zhao J. Random forest-based track initiation method. *The Journal of Engineering* 2019; 2019(19), 6175–6179.
- [17] Bradley PS, Mangasarian OL. Feature selection via concave minimization and support vector machines, In *ICML* 1998; 98, 82–90.
- [18] Farooq MA, Khatoon A, Varkarakis V, Corcoran P. Advanced Deep Learning Methodologies for Skin Cancer Classification in Prodromal Stages 2020; arXiv preprint arXiv:2003.06356.

Salınlı Kaotik Ayçiçeği Optimizasyon Algoritması

Suna YILDIRIM^{1*}, Güngör YILDIRIM², Bilal ALATAŞ³

¹ Elazığ İl Özel İdaresi, Bilgi İşlem Birimi, Elazığ, Türkiye

² Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

³ Yazılım Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

^{1*} sunayildirim23@gmail.com, ² gungor.yildirim@firat.edu.tr, ³ balatas@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 23/03/2021;

Kabul/Accepted: 04/05/2021)

Öz: Uzun yıllardır metasezgisel algoritmalar güncelliğini korumakta, bu alanda farklı algoritmalar geliştirilmeye devam etmektedir. Son zamanlarda önerilen Ayçiçeği Optimizasyon Algoritması başarılı bir arama algoritması olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte yeni bir algoritma olması nedeni ile geliştirilmeye açık ve kullandığı yöntem ile de esnek bir yapıdadır. Bu çalışma Ayçiçeği Optimizasyon Algoritmasını esas alan ve farklı bir keşif yöntemi kullanan Salınlı Kaotik Ayçiçeği Optimizasyon Algoritmasını önermektedir. Önerilen algoritmada birey üretimi ve algoritma yürütümü farklı kaotik haritalar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bunun için Chebyshev, Circle, Logistic, Sine ve Tent kaotik haritaları kullanılmıştır. Performans karşılaştırmaları için kısıtlı ve kısıtsız test fonksiyonları tercih edilmiş ve mukayeseli sonuçlar sunulmuştur. Yapılan bu deneysel çalışma sonucunda, Salınlı Kaotik Ayçiçeği Algoritmasının, klasik ayçiçeği algoritması ile rekabet edebilir sonuçlar verdiği ispatlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ayçiçeği optimizasyon algoritması, kaotik, optimizasyon

Oscillating Chaotic Sunflower Optimization Algorithm

Abstract: Metaheuristic algorithms have been a significant research area for years, and different algorithms in this area continue to be developed constantly. Recently proposed Sunflower Optimization Algorithm stands out as a successful search algorithm. The fact that it is a new algorithm and has a flexible structure makes it more open to development. This study proposes the Oscillating Chaotic Sunflower Optimization Algorithm, which is a different version of the Sunflower Optimization algorithm and uses an improved discovery method. Besides, in the proposed algorithm, plant production and other algorithm processes are able to be conducted using different chaotic maps. For this, chaotic maps of Chebyshev, Circle, Logistic, Sine and Tent have been preferred. For performance comparisons, constrained and unconstrained benchmark functions have been used and comparative results obtained have been presented. As a result of this experimental study, the Oscillating Chaotic Sunflower Algorithm has proven that it can achieve competitive results.

Key words: Sunflower Optimization Algorithm, chaotic, optimization

1. Giriş

Kombinasyonel ve nonlinear problemlerin çözümünde bitki zekası temelli sezgisel algoritmalar başarılarını ispatlamışlardır. Uzun yıllardır yapılan çalışmaların sonucunda bitkilerin cinsiyet kimliği ve bağışıklık sistemine sahip olduğu ve bitkilerin akıllı davranışlar sergilediği görülmüştür. Bu bilgilere dayanarak, bitkilerin sinir sistemine sahip olduğu düşünülmektedir. Örneğin köklerde, alınan ışık ve zehir verileri kök uçlarında büyüme merkezlerine iletilir ve kökler buna göre yönlendirme yapar. Diğer bir husus olarak, bitkilerin elektrik akımları yoluyla dış dünya ile temas kurduğu düşünülmektedir. Bitkiler tarafından yaprak biti veya tırtıla karşı gösterilen savunma mekanizması buna örnek olarak gösterilebilir. İlk saldırı gerçekleştikten sonra bitkiler tatlarını kötüleştirir veya düşmanlarını zehirleyebilecek salgılar üretir [1].

Bu makalede bir bitki zekası algoritması olan Ayçiçeği Optimizasyon(AO) Algoritmasına yönelik deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu algoritma ayçiçeği bitkilerinin güneşe yönelim hareketlerini baz alır. Literatürde yeni olmasına karşın bazı problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Qais ve diğ. [2] fotovoltaiik modüllerin modellenmesi ve simülasyonu için bazı parametre seçimlerinde AO Algoritmasını kullanmışlardır. Parametre seçimlerinde tozlaşma oranı %5 ve eleme oranı %10 olarak alınmış ve başarılı sonuçlar elde edildiğini belirtmişlerdir. Gomes ve diğ. [3] yaptıkları çalışmada plaka benzeri yapıların hasar tespiti için bir optimizasyon yaklaşımı sunmuş ve önerilen tanımlamanın verimliliğini, Genetik Algoritma, AO ve geliştirilmiş bir AO

* Sorumlu yazar: sunayildirim23@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-8246-0515, ² 0000-0002-4096-4838, ³ 0000-0002-3513-0329

Algoritmasını kullanarak karşılaştırmışlardır. Önerilen yaklaşımın sıkça kullanılan genetik algoritmalarından daha iyi sonuçlar verdiğini savunmuşlardır. Hussein ve diğ. [4] Proportional integral (PI) kontrolör parametrelerini seçmek için AO Algoritmasını uygulamışlardır. Elde edilen optimizasyon sonuçlarını Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması sonuçları ile kıyaslamışlardır. Yuan ve diğ. [5], proton değişim membranlı yakıt hücresi (PEMFC) modelleri için parametrelerin optimum seçimi için yeni bir metodoloji önermektedir. PEMFC yığınının tahmini ve gerçek çıkış voltajı arasındaki hata karesi değerinin toplamını en aza indirmek için yeni geliştirilmiş bir AO Algoritması sunmuşlardır. Geliştirilmiş AO Algoritmasında, en iyi çözüme ulaşmak için kendi kendine uyarlanabilir ağırlıklandırma kullanılmıştır. Shaheen ve diğ. [6], güç sistemleri alanında optimum güç akışı problemini çözmek için AO algoritmasını kullanan yeni bir girişim sunmuşlardır. AO Algoritması amaç fonksiyonunu minimuma indirip, en iyi çözümü bulmak için kullanılmıştır. AO Algoritması, parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritmaları kullanıp sonuçları karşılaştırmışlardır ve AO Algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Alshammari ve Guesmi [7] yaptıkları çalışmada, güç sistemi stabilizatörlerinin optimal ayarı için Logistic kaotik haritalama metodunu kullanan bir AO Algoritması geliştirmişlerdir. Sekiz test fonksiyonu kullanılmış ve kaotik AO Algoritmasının karşılaştırma için kullanılan tüm algoritmalarından daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Öte yandan kaotik temelli optimizasyon algoritmaları bir çok problemin çözümünde farklı yaklaşımlar geliştirilmesine imkan sağlamıştır. Birçok metasezgisel algoritmanın kaotik versiyonu literatürde bulunmaktadır. Koupaei ve diğ. [8] yaptıkları çalışmada, çok/tek modlu amaç fonksiyonlarını optimize etmek için altın bölüm arama algoritmasının pratik bir versiyonunu tanıtmışlardır. Çalışma, doğrusal olmayan optimizasyon problemlerini çözmek için kaotik haritaların yeteneklerini ve altın bölüm arama yöntemini birleştiren yeni bir algoritma sunmuştur. Kaotik harita olarak Lorenz, Logistic ve Chebyshev haritaları kullanılmıştır. Önerilen algoritmanın performansını incelemek için yirmi test fonksiyonu ve bir gerçek dünya problemi kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın bazı son teknoloji yöntemlerle karşılaştırıldığında etkili ve verimli bir optimizasyon algoritması olduğunu ortaya koymuştur. Yang ve diğ. [9], kaotik haritaların yerel minimumdan daha kolay kaçabileceğini farklı kaotik haritalar kullanarak belirtmişlerdir. Makale, farklı kaotik haritaların ürettiği kaotik dizilerin hem olasılık dağılım özelliğinin hem de arama hızının yeni bir perspektifinden, kaotik optimizasyon algoritmalarının yüksek verimlilik ve üstün performansının doğal mekanizmasını ortaya koymuştur. Demir ve diğ. [10], optimizasyon yöntemlerinden daha yüksek sayısal sonuçlar elde etmek için 1B hibrit kaotik harita (Logistic haritası) tabanlı yeni sürü optimizasyon yöntemi önermişlerdir. Logistic-sinüs haritasının iyi bir istatistiksel sonuca sahip olma avantajını kullanmış ve bu avantaj, bu çalışmada global optimum değeri hesaplamak için doğrudan kullanılmıştır. Önerilen algoritma, sürü tabanlı bir optimizasyon algoritmasıdır ve küresel optimuma ulaşmak için yerel en iyi çözüme ulaşmak için Logistic-sinüs haritasının çekirdek değerini kullanmışlardır. Önerilen hibrit, kaotik harita tabanlı optimizasyon yöntemini test etmek için, yaygın olarak kullanılan sayısal kıyaslama fonksiyonları seçilmiştir. Önerilen kaotik optimizasyon yöntemi, sıkıştırma yayı tasarım problemi üzerinde de test edilmiştir. Xiang ve diğ. [11], yaptıkları çalışmada, kaotik aramayı PSO'ya bağlayan şemaların performansını ve eksikliklerini analiz etmişlerdir. Ardından, kaotik aramayı gerçekleştirmek için parçalı doğrusal kaotik harita (PWLCM- Piecewise Linear Chaotic Map) tanıtılmıştır ve PWLCM (PWLCPSO- Piecewise Linear Chaotic Particle Swarm Optimization) ile birleştirilmiş geliştirilmiş bir PSO (Particle Swarm Optimization) algoritması önerilmiştir. Tian [12], yerel optimuma yakalanmamak için, PSO algoritmasına kaotik haritalar (Tent haritası ve Logistic harita) ve Gauss mutasyonunu ekleyerek yeni bir parçacık sürüsü optimizasyonu önermiştir. Bir yandan, ilk popülasyonun kalitesini iyileştirmek için basit ama çok etkili bir yöntem olan kaotik harita kullanılmıştır. Öte yandan, maksimal odak mesafesine dayalı Gauss mutasyon mekanizması, algoritmanın yerel optimumdan kaçmasına yardımcı olmak ve partiküllerin global optimal veya daha yakın olana kadar çözüm uzayının diğer bölgelerinde aramaya devam etmesini sağlamak için benimsenmiştir. Garip ve diğ. [13], yaptıkları çalışmada, balina optimizasyon algoritmasının etkinliğini ve verimliliğini artırmak amacıyla 5 farklı kesikli kaotik harita kullanılmıştır. Global optimizasyon için kaotik haritalar ve balina optimizasyon algoritmasına dayalı CBWOA 1 (Chaotic-Based Whale Optimization Algorithm 1), CBWOA 2, CBWOA 3 ve CBWOA 4 algoritmaları önerilmiştir. WOA'da (Whale Optimization Algorithm) bulunan parametreleri ayarlamak için Tinkerbelle, Sine, Logistic, Tent ve Henon kaotik haritalarından rastgele sayı dizileri kullanılmıştır. Geliştirilen algoritmaların doğruluğunu test etmek ve performans analizini yapmak için altı farklı tek modlu ve çok modlu kıyaslama fonksiyonu kullanılmıştır. Pluhacek ve diğ. [14], atalet ağırlıklı PSO algoritmasının performansını artırmak için üç farklı kaotik harita tabanlı sayı üreticinin kullanılmasını önermiştir. Bu çalışma, çeşitli test fonksiyonları üzerinde performans testinin sonuçlarını sunmaktadır. Farklı kaotik oluşturucular için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve kısaca analiz edilmiştir.

Bu çalışma, literatürdeki AO Algoritmalarından farklı olarak daha esnek bir keşif (exploration) sürecine olanak sağlayan Salınlı Kaotik Ayçiçeği Algoritmasını (SKAO) önermektedir. Bu algoritma, iterasyonlar

süresince yeni katılan bireylerin arama alanlarına osilasyon temelli konumlanmalarını esas almaktadır. Ayrıca önerilen algoritma, birey üretim ve algoritmik yürütümlerde kaotik haritaları kullanmaktadır. Önerilen yöntem, klasik AO Algoritmasına göre rekabetçi sonuçlar elde edebilmiş ve AO Algoritmasını kullanacak olan araştırmacılara güçlü bir alternatif olacağını ispatlamıştır.

Çalışmanın bundan sonraki organizasyonu şu şekildedir; klasik AO Algoritmasının detayları ve SKAO'nun kullandığı yaklaşım ikinci bölümde sunulacaktır. Performans testleri, deney parametreleri ve elde edilen sonuçlar üçüncü bölümde, sonuç değerlendirmeleri ise dördüncü bölümde paylaşılacaktır.

2. Ayçiçeği Optimizasyon Algoritması ve Sahnımlı Kaotik Ayçiçeği Optimizasyon Algoritması

Optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan matematiksel yöntemler, işlem maliyetinin bazen çok büyük oranlara ulaşması veya her problem için matematiksel modelin çıkarılmasının zor olabileceği ihtimali nedeniyle dezavantajlı olabilir. Buna alternatif olarak metasezgisel yöntemler belirli bir modele bağlı kalmadan farklı türde problemlere uygulanabilir. Hesaplama maliyetinin daha düşük olması, kolay uyarlanabilir olması ve başarımları metasezgisel yöntemleri güncel tutmaktadır. Bu avantajlarıyla metasezgisel algoritmalar, mühendislikten sosyal bilimlere kadar pek çok alanda farklı problem tiplerine uygulanmıştır. Son yıllarda, önerilmiş başarılı metasezgisel optimizasyon algoritmalarından Ayçiçeği Optimizasyon Algoritması, ayçiçeklerinin güneş ışınlarını takip hareketlerini esas alır [15]. Ayçiçeklerinin amacı güneşe en iyi yönelimi arayıp bulmaktır. Her yeni günde, ayçiçekleri güne başlar ve güneşi takip etmeyi hedefler ve bu döngü her sabah devam eder. Gün sonunda ise ters yönde hareket ederek ertesi günün başlamasını beklerler. Ayçiçekleri, güneşe yakınlıklarına bağlı olarak, eğer güneşe yakınlarsa durumlarını korumak ya da güneşten uzaklarsa güneşe daha fazla yaklaşabilmek için daha büyük yönelimler göstermek isteyebilir. Komşu ayçiçekleri güneşin pozisyonuna göre kendi aralarında tozlaşarak yeni bireyler oluştururlar. Gerçek dünyada ayçiçekleri milyonlarca tozlaşma gerçekleştirebilecekken, algoritmada basitlik açısından her ayçiçeğinin bir tozlaşma gerçekleştirdiği varsayılır. Ayçiçeği Optimizasyon Algoritmasında, başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra çözüme en yakın birey, güneş olarak adlandırılır. Diğer bireyler de güneşin pozisyonuna göre kendi aralarında tozlaşarak yeni bireyler oluştururlar. Yeni bireyler oluşturulduktan sonra tekrar çözüme en yakın birey bulunarak güneş güncellenir. Arama uzayının çok fazla artmaması için belli bir oranda ayçiçeği elenir ve buna eleme oranı denir. Ve sonlandırma kriteri sağlanana kadar bu işlemler tekrarlanır.

Ayçiçeği algoritmasında, bir etken güneşe olan uzaklıktır. Burada ters kare radyasyon yasası geçerlidir. Bu yasada, radyasyon yoğunluğu, uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. Yani bir birey güneşe ne kadar uzaksa, o miktarın karesinin tersi kadar radyasyona maruz kalır. Bu etki Q_i ile gösterilip genel ifadesi Denklem 1'deki gibidir. Bu denklemde, P kaynağın gücü ve r_i de, i . birey ile anlık en iyi arasındaki mesafedir.

$$Q_i = \frac{P}{4\pi r_i^2} \quad (1)$$

Algoritmada temel prensip ayçiçeklerinin güneşe yöneliminin temsil edilmesidir. Bunun için popülasyondaki güneş (X^*), diğer ayçiçekleri için (X_i) referans olmaktadır. Referansa göre uzaklık kriterini dikkate alan yönelimi Denklem 2 ile ifade edilir.

$$\vec{s}_i = \frac{X^* - X_i}{\|X^* - X_i\|}, \quad i = 1, 2, \dots, n_p \quad (2)$$

Popülasyon bireylerinin güneşe doğru yönelim adımları ayçiçeği algoritmasının kritik parametrelerindedir. Popülasyon bireylerinin yönelim hızlarında i . birey ($i-1$). birey ile tozlaşarak rasgele pozisyonlu yeni bireyi oluşturur. Bu rasgele pozisyon, bireyler arasındaki mesafe ile orantılıdır. Güneşe yönelim adımlarının genel ifadesi Denklem 3'te verilmiştir. Bu denklemde P_i ilgili bireyler arasındaki tozlaşma olasılığını, λ ise eylemsizlik katsayısının temsil etmektedir.

$$d_i = \lambda P_i (\|X_i + X_{i-1}\|) \|X_i + X_{i-1}\| \quad (3)$$

Adım değerlerinin belirlenmesinde temel kriterlerden bir tanesi maksimum adım uzunluğudur (d_{max}). Denklem 4'te gösterilen bu parametre, problem tanımına göre öntanımlı üst sınır (X_{max}) ve alt sınır (X_{min})'in Öklid mesafesi ile doğru, popülasyondaki birey sayısı (N_{pop}) ile ters orantılıdır.

$$d_{max} = \frac{\|X_{max} - X_{min}\|}{2N_{pop}} \quad (4)$$

Yukarıda açıklanan temel parametreleri esas alan yeni birey Denklem 5 ile hesaplanır.

$$\vec{X}_{i+1} = \vec{X}_i + d_i \vec{s}_i \quad (5)$$

Klasik AO Algoritmasında her iterasyonda güneşe uzak olan bireyler, popülasyondan çıkarma oranına (mortality rate) göre arama sürecinden çıkarılmakta ve yerine yeni bireyler üretilmektedir. Rastgelelik dikkate alındığında yeni bireylerin eski bireyler ile benzer şekilde davranış göstermesi olasılık dahilindedir. Bu çalışmada keşif (exploration) sürecini daha esnek bir şekilde gerçekleştirme imkânı veren Salınlı Kaotik Ayçiçeği Algoritmasını (SKAO) önerilmiştir. AO'nun bu versiyonunda, iterasyonlar boyunca yeni eklenen bireylerin belirli bir kısmı için arama uzayı, popülasyon en iyisi ve arama uzayı maksimumu esas alınarak belirlenmektedir. Bunun için iki temel aşama geçilmektedir. Birinci aşama, eklenecek bireylerin belirli oranı (Y) için iterasyon en iyisi ve arama uzayı maksimum değeri arasında bir lokasyonun belirlenmesidir. Bu lokasyonunun belirlenmesinde, iki sınır ortasını ortalama değer olarak kullanan Gaussian Dağılım Fonksiyonundan elde edilen değer baz alınır. Birinci aşama adımlarını gösteren Denklem 6-7'de, D problem boyutunu göstermek üzere, $f \in D$, P_f ortalama değer, L_f arama lokasyon merkezini ve σ^2 varyansı temsil etmektedir.

$$P_f = \frac{x_f^* + x_f^{max}}{2} \quad (6)$$

$$L_f = N(P_f, \sigma^2) \quad (7)$$

Belirlenen lokasyon merkezi etrafında aday değerlerinin üretimi için trigonometrik bir yaklaşım kullanılır. Böylece keşif süreci daha esnek bir şekilde gerçekleştirilir. Denklem 8, Salınlı kaotik AO'da iterasyon i'de popülasyona katılan yeni aday değerlerinin belirlenmesini göstermektedir. Burada, η kullanılan kaotik harita fonksiyonundan dönen değeri, β ise ön tanımlı uygulama sabitini ifade etmektedir.

$$X_f^{yeni} = L_f(1 + \eta \cos(\frac{2\pi i}{\beta})) \quad (8)$$

Algoritma 1. Kaotik temelli Ayçiçeği Optimizasyon Algoritması sözde kodu

1. $X_{max}, X_{min} \leftarrow$ problem tanımlı üst sınır ve alt sınırlar
 2. $Itr_{max} \leftarrow$ maksimum iterasyon sayısı
 3. $N_{pop} \leftarrow$ popülasyon boyutu
 4. $k \leftarrow$ kaotik üreteç fonksiyonu tipi
 5. $O \leftarrow$ Popülasyondan çıkarma oranı (%)
 6. **for** $i=1$ 'den N_{pop}
 7. $X_i =$ BireyÜreteçFonksiyonu(k, X_{max}, X_{min})
 8. PopulasyonaEkle(X_i)
 9. **end for**
 10. AmaçHesapla()
 11. $X^* \leftarrow$ GüneşBul()
 12. AyçicekleriniGüneşeYonlendir()
 13. **while** ($i < Itr_{max}$)
 14. **for** $j=1$ 'den N_{pop}
 15. BireylerinVektörünüHesapla()
 16. GüneştenUzakBireyleriÇıkar(%O, %Y, i, σ β)
 17. YeniBireyleriDeğerlendir(X^*)
 18. **end for**
 19. AmaçHesapla()
 20. $X^* \leftarrow$ GüneşBul()
 21. **End while**
 22. EniyiÇözümGöster()
-

Bu fonksiyonu kullanmayan ve popülasyona yeni katılan diğer bireylerin belirlenmesi klasik AO'ya göre gerçekleştirilmiştir. Ancak tüm aday üretimlerinde (başlangıç popülasyonu dahil) kaotik harita fonksiyonları kullanılmıştır. Çalışma, SKAO'nun farklı kaotik varyasyonlarının performansını değerlendirmek için literatürde iyi bilinen kaotik harita fonksiyonlarını kullanmıştır. Algoritma 1, SKAO Algoritmasının sözde kodunu

göstermektedir. Kullanılan kaotik harita seçimi k parametresi ile gösterilmektedir. Algoritmada Denklem 6-8, güneşten uzak bireylerin çıkarılma fonksiyonunda yürütülmektedir. Bu fonksiyon i, Y, σ ve β parametrelerini kullanır.

Kaotik haritalar, matematiksel olarak basit deterministik dinamik bir sistemin rastgeleliğidir ve kaotik sistem rastgelelik kaynağı olarak düşünülebilir [16]. Bu çalışmada kaotik haritalar kullanılarak, SKAO uygulamasından daha verimli sonuçlar elde edilip edilemeyeceği incelenmiştir. Birey üretimi ve hareket davranışlarında bu kaotik haritalar kullanılmıştır. Tablo 1, çalışmada kullanılan kaotik haritaları göstermektedir. Kullanılan tüm kaotik haritalar, SKAO Algoritmasına eklenmiş ve bir fonksiyon seçim parametresi ile etkinleştirilmiştir. Böylece, [16, 17]'ye benzer şekilde, çalıştırılan SKAO Algoritması kullanılan kaotik harita ile adlandırılmıştır (örnek tentSKAO gibi).

3. Deneyleer

Bu bölümde, kaotik temelli Ayçiçeği Optimizasyon Algoritmalarının performans sonuçları paylaşılacaktır. Değerlendirmeler için bir önceki bölümde açıklanan kaotik üreteçleri kullanan Ayçiçeği algoritmalarının sonuçları ile klasik ayçiçeği algoritmasının sonuçları birlikte ele alınmıştır. Performans testleri için literatürde iyi bilinen ve Tablo 2'de verilen test fonksiyonları kullanılmıştır. Bu test fonksiyonlarından Rosenbrock Cubic/Line ve Rosenbrock Disk kısıtlı test fonksiyonlarıdır. Yapılan performans testlerinde problem boyutları Sphere fonksiyonunda beş, Rastrigin fonksiyonunda üç, diğer fonksiyonlarda ise iki olarak seçilmiştir. Bununla birlikte, birey boyutu ve iç iterasyon sayısı 20 olup çözüm iterasyon sayısı 5 olarak seçilmiştir. Böylece deneyler 95 iterasyon (referans eleman dışı) üzerinden gerçekleştirilmiştir. Deneylerde tozlaşma oranı (p) 0.05, eleme oranı (O) 0.1'dir. Performans testleri birbirinden bağımsız 20 deney ile gerçekleştirilmiştir. Performans sonuçlarında ilk olarak iterasyonlara göre elde edilen minimum değerler irdelenmiştir. Bunun için klasik ve kaotik Ayçiçeği Algoritmaları her bir test fonksiyon için birlikte değerlendirilmiştir. Son olarak ise tüm deneylerden elde edilen sonuçlara ait istatistik sonuçlar paylaşılmıştır.

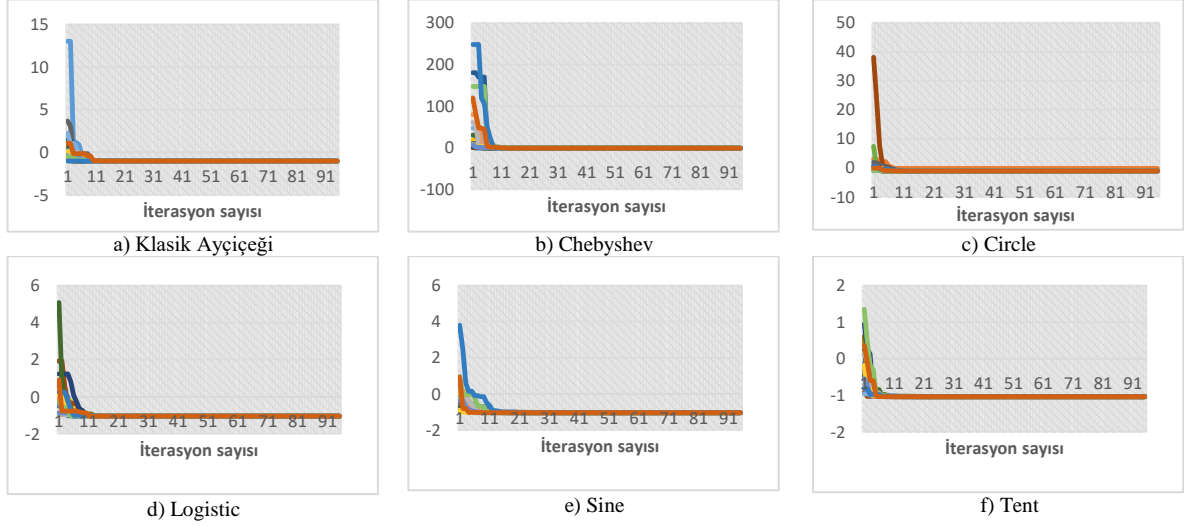
Tablo 1. Kaotik Haritalar

Adı	Fonksiyonu	Parametreleri
Sine [18]	$X_{n+1} = \frac{a}{4} \sin(\pi X_n)$	$0 < a \leq 4$
Logistic [19]	$X_{n+1} = \mu X_n (1 - X_n)$	$0 < \mu \leq 4$
Chebyshev [20]	$X_{n+1} = \cos(k \cos^{-1} X_n)$	$k \geq 2$
Circle [18]	$X_{n+1} = X_n + 0.2 - \left(\frac{1}{4\pi}\right) \sin(2\pi X_n) \text{mod}(1)$	
Tent [21]	$X_{n+1} = \begin{cases} \mu X_n, & X_n < \frac{1}{2} \\ \mu(1 - X_n), & \frac{1}{2} \leq X_n \end{cases}$	

Tablo 2. Test Fonksiyonları

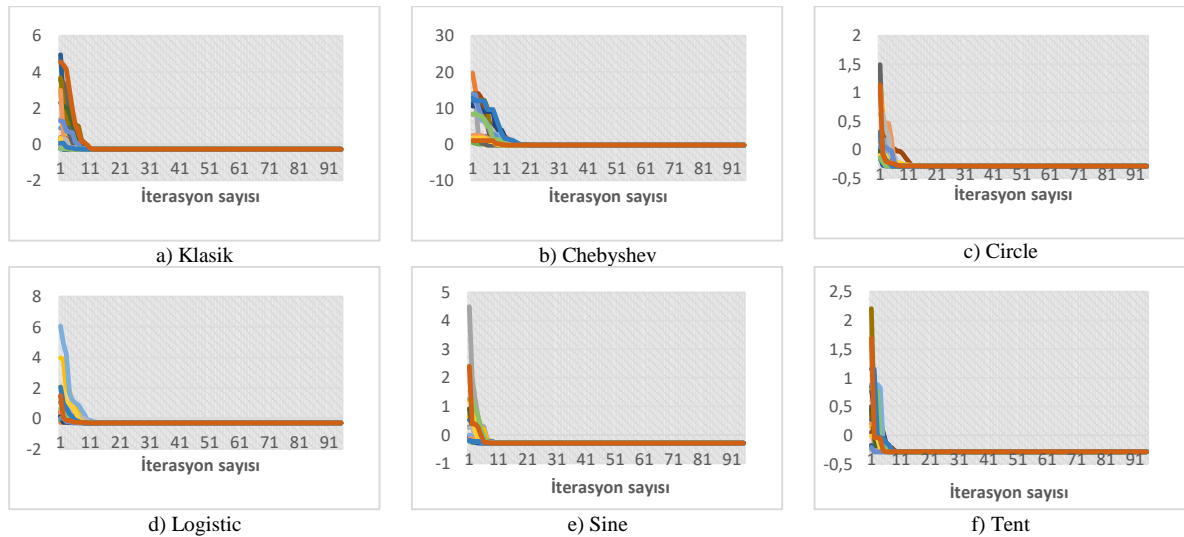
Adı	Fonksiyon Denklemi	Parametreler	Min
Sphere	$f(x) = \sum_{i=1}^N x_i^2$	$-100 < x_i < 100$	0
Rastrigin	$f(x) = 10N + \sum_{i=1}^N [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i)]$	$-5.12 < x_i < 5.12$	0
Camel	$f(x) = \left(4 - 2.1x_1^2 + \frac{x_1^4}{3}\right)x_1^2 + x_1x_2 + (-4 + 4x_2^2)x_2^2$	$-200 < x_i < 200$	-1.031
Nonlinear	$f(x) = x_1^2 - 3x_1x_2 + 4x_2^2 + x_1 - x_2$	$-2 < x_i < 2$	-0.28
Rosenbrock Cubic/Line	$f(x, y) = (1 - x)^2 + 100(y - x^2)^2$	$(x - 1)^3 - y + 1 \leq 0$ ve $x + y - 2 \leq 0$	0
Rosenbrock Disk	$f(x, y) = (1 - x)^2 + 100(y - x^2)^2$	$x^2 + y^2 \leq 2$	0

İlk performans testleri, Camel test fonksiyonu için yapılmıştır. Şekil 1, bu deneylerin iterasyonlarından elde edilen iterasyon minimum değişimlerini göstermektedir. Klasik Ayçiçeği fonksiyonu deneylerinde elde edilen minimum değerlere %99 ve üzeri oranda yaklaşıma ortalama olarak 17 iterasyonda gerçekleşmiştir. Bu ortalama iterasyon değerleri, tentSKAO için 13, circleSKAO ve logisticSKAO için 16, chebyshevSKAO için 19 ve sineSKAO için 25'tir. Genel performanslar bir birine yakın olmakla beraber tentSKAO bu fonksiyon için daha başarılı olmuştur.



Şekil 1. Camel Test Fonksiyonu için iterasyonlara göre uygunluk değerinin minimum değişimleri

Bir sonraki performans testleri, Nonlineer test fonksiyonu için gerçekleştirilmiştir. Şekil 2 bu deneylerin iterasyonlarından elde edilen iterasyon minimumları değişim performanslarını göstermektedir. Klasik ve kaotik ayçiçeği fonksiyonu deneyleri karşılaştırıldığında; klasik yöntemde ortalama 8 iterasyonda, chebyshevSKAO'da 11 iterasyonda, circleSKAO'da 7 iterasyonda, logisticSKAO'da 10 iterasyonda, sineSKAO'da 7 iterasyonda ve tentSKAO'da 6 iterasyonda minimum değerlere ulaşılmıştır. Bu testlerde de yine en iyi sonucu tentSKAO vermiştir.

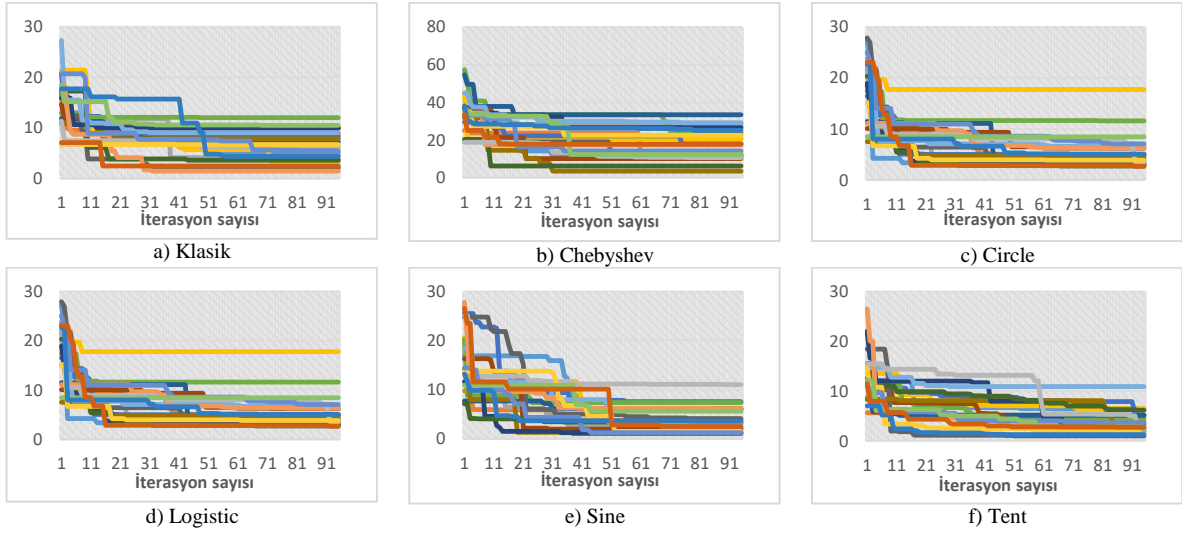


Şekil 2. Nonlineer Test Fonksiyonu için iterasyonlara göre uygunluk değerinin minimum değişimleri

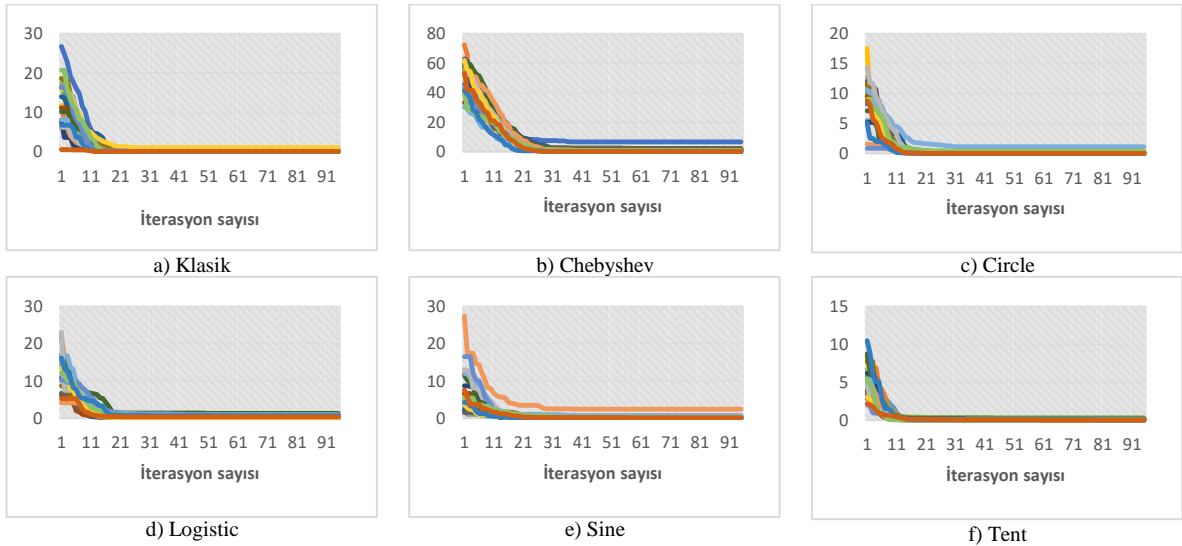
Sonraki performans testleri, Rastrigin test fonksiyonu için yapılmıştır. Şekil 3'te deneylerdeki iterasyon minimumları sonuçları gösterilmektedir. Bilindiği üzere Rastrigin test fonksiyonu pek çok yerel lokal minimum

İçeren zor bir fonksiyondur. Minimumu sıfır olan Rastrigin fonksiyonu için deneylerde $d=3$ alınmıştır. Sonuçlar incelendiğinde genellikle metotların bu lokal minimumlara takıldığı gözlemlenmiştir. Minimuma ulaşma ortalama iterasyon sayılarına bakıldığında, klasik yöntemde 32. iterasyonda 1.471, chebyshevSKAO'da 31. iterasyonda 3.554, circleSKAO'da 16. iterasyonda 2.666, logisticSKAO'da 65. iterasyonda 0.885, sineSKAO'da 19. iterasyonda 1.026, tentSKAO'da ise 17. iterasyonda 1.012 minimum değerlerine ulaşılmıştır. Bu testlerde, en performanslı sonuç logistic ayçiçeği optimizasyon algoritmasında elde edilmiştir.

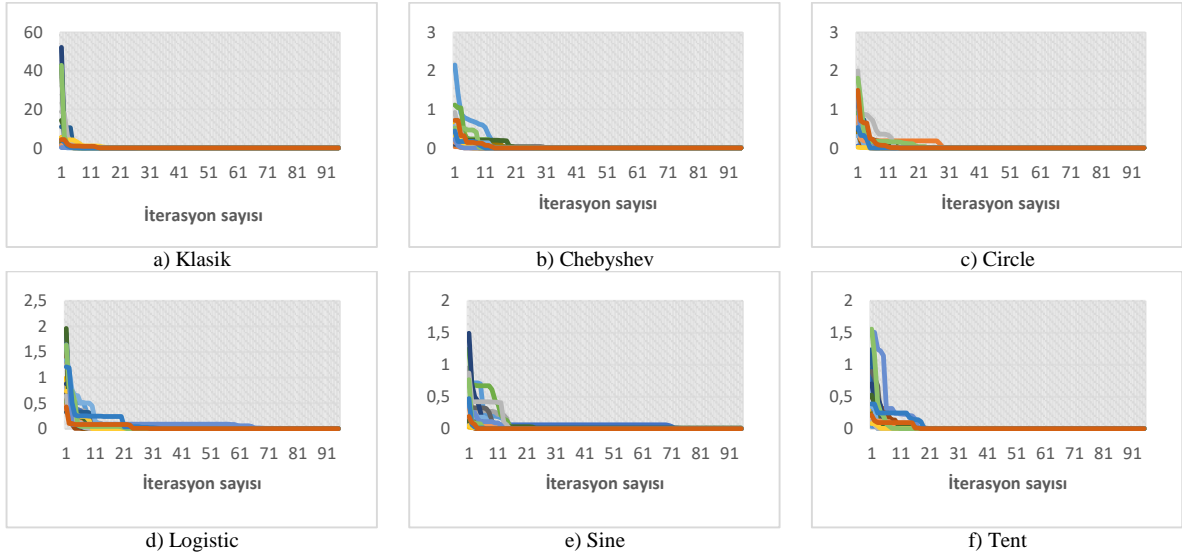
Sphere fonksiyonu için yapılan deneylerde elde edilen iterasyon-minimum değişimleri Şekil 4'te verilmiştir. Genel olarak bu test fonksiyonu için kaotik temelli AO metotlarından tentSKAO algoritmasının başarımı klasikAO algoritmasıyla hemen hemen aynıdır. Minimum değerlere ulaşılan ortalama iterasyon sayıları; klasikAO'da 22. iterasyon, chebyshevSKAO'da 47. iterasyon, circleSKAO'da 27. iterasyon, logisticSKAO'da 48. iterasyon, sineSKAO'da 43. iterasyon, tentSKAO'da 19. iterasyondur.



Şekil 3. Rastrigin Test Fonksiyonu için iterasyonlara göre uygunluk değerinin minimum değişimleri

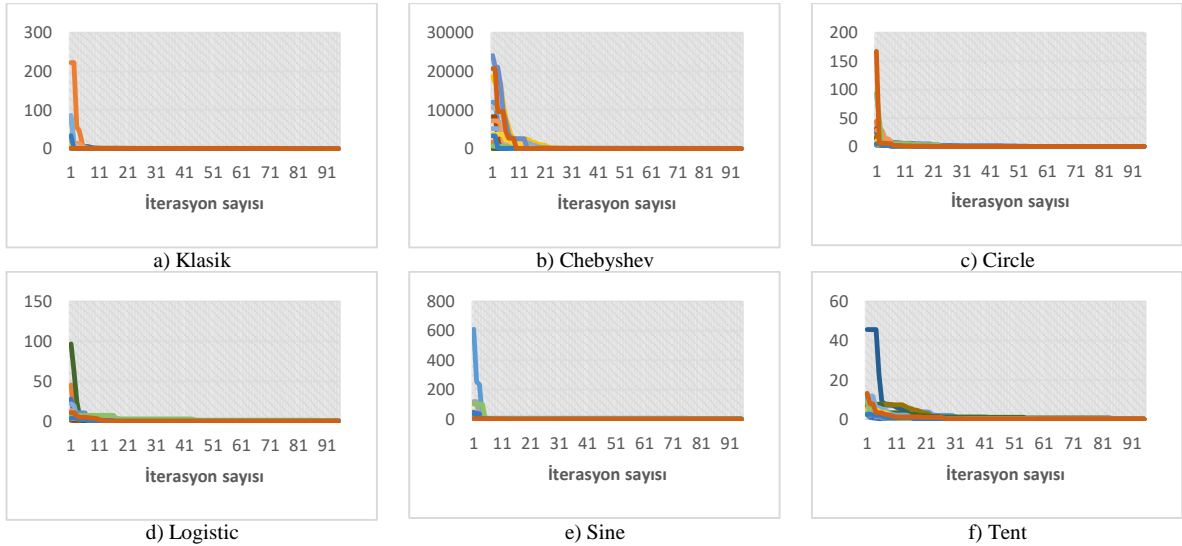


Şekil 4. Sphere Test Fonksiyonu için iterasyonlara göre uygunluk değerinin minimum değişimleri



Şekil 5. Rosenbrock Disk Test Fonksiyonu için iterasyonlara göre uygunluk değerinin minimum değişimleri

Rosenbrock Disk test fonksiyonu için yapılan deney sonuçları ve iterasyon değişimleri Şekil 5'te görülmektedir. Bu deneylerde hem klasik AO, hem de kaotik temelli AO'ların minimum değerlere ulaştığı ortalama iterasyon sayılarının birbirine yakın olduğu ve başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. KlasikAO ortalama 9. iterasyonda minimum değere ulaşmışken, chebyshevSKAO 10. iterasyonda, circleSKAO 15. iterasyonda, logisticSKAO 12. iterasyonda, sineSKAO 8. iterasyonda ve tentSKAO da 10. iterasyonda minimum değerlere ulaşmıştır. Son performans testleri, Şekil 6'da gösterildiği üzere Rosenbrock Cubic/Line test fonksiyonu için yapılmıştır. KlasikAO, kaotik temelli AO Algoritmalarına göre gözle görülür bir şekilde başarılı sonuçlar vermiştir. Minimum değere ulaşılan ortalama iterasyon sayısı klasikAO'da 10. iterasyondayken, kaotik temelli AO'larda; 25. iterasyonla sineSKAO, 28. iterasyonla logisticSKAO, 33. iterasyonla circleSKAO, 47. iterasyonla tentSKAO ve 53. iterasyonla chebyshevSKAO, klasikAO sonuçlarını izlemişlerdir.



Şekil 6. Rosenbrock Cubic/Line Test Fonksiyonu için iterasyonlara göre uygunluk değerinin minimum değişimleri

Tablo 3, deneylerde elde edilen tüm sonuçlara ait istatistiksel değerlendirmeleri karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Tablo sonuçları, test fonksiyonlarına göre değerlendirildiğinde, minimum değeri -1.031 olan Camel fonksiyonu için her ne kadar tüm fonksiyonlar genel olarak performanslı sayılsa da, chebyshevSKAO, logisticSKAO, sineSKAO ve tentSKAO daha başarılıdır. Bu fonksiyon için KlasikAO ve circleSKAO, standart

sapma ve ortalama değerleri bakımından biraz daha geride kalmıştır. İkinci test fonksiyonu olan nonlinear fonksiyonuna ait gerçek minimum değeri -0.28 'dir. Bu fonksiyon için tüm yöntemler son derece başarılı olmuştur. Tüm testler için her yöntem neredeyse aynı sonuçlara ulaşmayı başarmıştır. Rastrigin fonksiyonu, gerçek minimumun bulunması zor olan bir fonksiyondur. 0 olan gerçek minimum değerine ulaşamamış olup, en iyi sonucu logisticSKAO vermiştir. Onu, tentSKAO ve sineSKAO algoritmaları izlemiştir. Gerçek minimum değeri 0 olan Sphere fonksiyonunun performansları incelendiğinde, minimum değer parametresine göre en yakın değeri sineSKAO ve tentSKAO yakalamıştır. Bununla birlikte bu değere yaklaşan klasikAO ve circleSKAO da oldukça başarılıdır. Ortalama ve ortanca değerleri performansı açısından tentSKAO daha da ön plana çıkmaktadır. Kaotik temelli Aolar içerisinde chebyshevSKAO ve logisticSKAO, klasikAO'ya göre bu fonksiyon için geride kalmışlardır. Kısıtlı fonksiyonlardan Rosenbrock Disk için gerçek minimum değeri sıfırdır. Bu fonksiyon için tüm yöntemler oldukça başarılıdır. Bununla birlikte minimum ve maksimum değerler dikkate alındığında klasikAO ve tentSKAO, küçük bir farkla diğerlerinden geride kalmıştır. Gerçek minimum değeri 0 olan bir diğer kısıtlı test fonksiyonu Rosenbrock Cubic/Line fonksiyonudur. Minimum değere ulaşma bakımından tüm yöntemler başarılı sayılabilir. Öte yandan, ortalama ve ortanca parametrelerine göre chebyshevSKAO biraz daha geride kalmıştır.

İterasyon ve istatistiksel sonuçlar beraber değerlendirildiğinde kaotikAO'ların klasikAO'ya göre rekabetçi ve başarılı performansı görülmüştür. Bununla birlikte tentSKAO diğer kaotik fonksiyonlara göre bir adım daha öne çıkmaktadır. Her ne kadar başarılı sayılsa da, chebyshevSKAO'nun diğer kaotikSKAO'lara göre küçük bir farkla geride kaldığı görülmüştür.

Tablo 3. Tüm deneyler için istatistiksel sonuçlar

		Camel	Nonlinear	Rastrigin	Sphere	R.Disk	R. Cubic/Line
Klasik	Min	-1.031	-0.285	1.471	2.812E-05	2.938E-07	3.420E-08
	Maks	-1.027	-0.285	12.046	1.029	0.028	5.369E-07
	Ortalama	-1.031	-0.285	6.416	0.094	0.001	9.042E-05
	Ortanca	-1.031	-0.285	6.479	0.019	5.437E-06	1.858E-05
	Std. Sapma	0.001	3.519E-06	3.014	0.226	0.006	8.745E-07
Chebyshev	Min	-1.031	-0.285	3.554	0.014	3.635E-08	5.997E-07
	Maks	-1.031	-0.285	33.335	6.490	6.193E-05	6.776
	Ortalama	-1.031	-0.285	17.778	0.890	1.001E-05	0.762
	Ortanca	-1.031	-0.285	17.572	0.399	5.116E-06	6.036E-07
	Std. Sapma	7.433E-05	8.59E-06	7.966	1.408	1.523E-05	1.857
Circle	Min	-1.031	-0.285	2.666	3.951E-05	3.611E-08	5.484E-07
	Maks	-0.215	-0.285	17.727	1.142	4.778E-05	0.001
	Ortalama	-0.988	-0.285	5.684	0.142	8.096E-06	9.958E-05
	Ortanca	-1.031	-0.285	4.793	0.067	3.477E-06	5.888E-06
	Std. Sapma	0.182	1.869E-06	3.502	0.249	1.299E-05	1.541E-07
Logistic	Min	-1.031	-0.285	0.885	0.001	6.099E-08	4.551E-07
	Maks	-1.031	-0.285	11.396	1.326	1.19E-07	0.952
	Ortalama	-1.031	-0.285	4.704	0.333	2.791E-05	0.070
	Ortanca	-1.031	-0.285	4.028	0.124	3.688E-06	1.608E-05
	Std. Sapma	1.889E-05	2.154E-06	3.303	0.390	6.675E-05	0.224
Sine	Min	-1.031	-0.285	1.026	1.14E-07	4.312E-08	5.800E-07
	Maks	-1.031	-0.285	11.0422	2.441	0.008	3.211
	Ortalama	-1.031	-0.285	4.258	0.236	2.325E-07	0.160
	Ortanca	-1.031	-0.285	3.662	0.032	4.254E-06	5.806E-06
	Std. Sapma	3.884E-05	6.959E-06	2.590	0.537	0.001	0.699
Tent	Min	-1.031	-0.285	1.012	1.02E-07	9.126E-08	5.518E-08
	Maks	-1.031	-0.285	10.909	0.291	0.002	0.110
	Ortalama	-1.031	-0.285	3.909	0.042	3.902E-07	0.008
	Ortanca	-1.031	-0.285	3.492	0.012	2.793E-06	2.361E-05
	Std. Sapma	2.574E-05	3.693E-06	2.356	0.068	5.632E-07	0.025

4. Sonuçlar

Bu makalede, ayçiçeği optimizasyon algoritmasına daha esnek bir keşif süreci gerçekleştiren Salımlı Kaotik Ayçiçeği Algoritması (SKAO) önerilmiştir. Önerilen algoritmanın esnekliği, hem kaotik hem de trigonometrik yaklaşımları kullanmasından kaynaklanmaktadır. Önerilen algoritmanın performansı hem klasik Ayçiçeği Algoritmasına hem de farklı kaotik haritalar kullanan SKAO'ya göre irdelenmiştir. Kaotik harita fonksiyonu olarak, Chebyshev, Circle, Logistic, Sine ve Tent haritaları kullanılmıştır. Bu yöntemlerin tamamı, 4 kısıtsız (Camel, Nonlinear, Rastrigin, Sphere) ve 2 kısıtlı (Rosenbrock Disk ve Rosenbrock Cubic/Line) test

fonksiyonlarından geçirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, önerilen SKAO Algoritmasının oldukça rekabetçi sonuçlar ürettiği görülmüştür. Bu yönüyle, SKAO Algoritması hem yazarlar hem de bu alanda çalışan araştırmacılar için bir alternatif olabileceğini ispatlamıştır. Yazarlar, Kaotik Ayçiçeği Algoritmasıyla kural çıkarım bazlı optimizasyonu ve duygu analizi araştırmalarına odaklanacaklardır.

Kaynaklar

- [1] Akyol S, Alataş B. Plant intelligence based metaheuristic optimization algorithms. *Artificial Intelligence Review* 2017; 47:417–462. Doi: 10.1007/s10462-016-9486-6
- [2] Qais MH, Hasanien HM, Alghuwainem S. Identification of electrical parameters for three-diode photovoltaic model using analytical and sunflower optimization algorithm. *Applied Energy* 2019; 250: 109-117. Doi: 10.1016/j.apenergy.2019.05.013.
- [3] Gomes GF, Almeida FA. Tuning metaheuristic algorithms using mixture design: Application of sunflower optimization for structural damage identification. *Advances in Engineering Software* 2020; 149: 102877. Doi: 10.1016/j.advengsoft.2020.102877.
- [4] Hussien AM, Hasanien HM, Mekhamer SF. Sunflower optimization algorithm-based optimal PI control for enhancing the performance of an autonomous operation of a microgrid. *Ain Shams Engineering Journal* 2021; Doi: 10.1016/j.asej.2020.10.020.
- [5] Yuan Z, Wang W, Wang H, Razmjooy N. A new technique for optimal estimation of the circuit-based PEMFCs using developed Sunflower Optimization Algorithm. *Energy Reports* 2020; 6: 662-671. Doi: 10.1016/j.egy.2020.03.010.
- [6] Shaheen MAM, Hasanien HM, Mekhamer SF, Talaat HEA. Optimal Power of Power Systems Including Distributed Generation Units Using Sunflower Optimization Algorithm. *IEEE Access* 2019; 7: 109289-109300. Doi: 10.1109/Access.2019.2933489.
- [7] Alshammari BM, Guesmi T. New Chaotic Sunflower Optimization Algorithm for Optimal Tuning of Power System Stabilizers. *Journal of Electrical Engineering & Technology* 2020; 15: 1985-1997. Doi: 10.1007/s42835-020-00470-1.
- [8] Koupaei JA, Hosseini SMM, Ghaini FMM. A new optimization algorithm based on chaotic maps and golden section search method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 2016; 50: 201-214. Doi: 10.1016/j.engappai.2016.01.034.
- [9] Yang D, Liu Z, Jilei Z. Chaos optimization algorithms based on chaotic maps with different probability distribution and search speed for global optimization. *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* 2014; 19: 1229-1246. Doi: 10.1016/j.cnsns.2013.08.017.
- [10] Demir FB, Tuncer T, Kocamaz AF. A chaotic optimization method based on logistic-sine map for numerical function optimization. *Neural Computing and Applications* 2020; 32: 14227-14239. Doi: 10.1007/s00521-020-04815-9.
- [11] Xiang T, Liao X, Wong K. An improved particle swarm optimization algorithm combined with piecewise linear chaotic map. *Applied Mathematics and Computation* 2007; 190: 1637-1645. Doi: 10.1016/j.amc.2007.02.103.
- [12] Tian D. Particle Swarm Optimization with Chaotic Maps and Gaussian Mutation for Function Optimization. *International Journal of Grid Distribution Computing* 2015; 8(4): 123-134. Doi: 10.14257/ijgdc.2015.8.4.12
- [13] Garip ZB, Çimen ME, Karayel D, Boz AF. The Chaos-Based Whale Optimization Algorithms Global Optimization. *Chaos Theory and Applications*; 2019. 1(1): 51-63.
- [14] Pluhacek M, Senkerik R, Zelinka I. Impact of Various Chaotic Maps on the Performance of Chaos Enhanced PSO Algorithm with Inertia Weight-An Initial Study. *Nostradamus: Modern Methods of Prediction, Modeling and Analysis of Nonlinear Systems, Advances in Intelligent Systems and Computing*; 2013; Berlin. 153-166. Doi: 10.1007/978-3-642-33227-2_18
- [15] Gomes GF, Cunha Jr SS, Anceleti Jr AC. A sunflower optimization (SFO) algorithm applied to damage identification on laminated composite plates. *Engineering with Computers* 2019; 35: 619-626. Doi: 10.1007/s00366-018-0620-8.
- [16] Alataş B, Akın E, Özer AB, Kaotik Haritalı Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmaları. *ELECO 2007 5th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*; 2007; Bursa.
- [17] Yildirim G, Alatas B. New Adaptive Intelligent Grey Wolf Optimizer based Multi-Objective Quantitative Classification Rules Mining Approaches. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 2021; <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02701-9>.
- [18] Yıldırım G, Aydın G, Alli H, Tatar Y. Hadoop ile Kaos Temelli FCW Optimizasyon Algoritmasının Analizi. *ELECO 2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*; 2014; Bursa. 708-712.
- [19] May RM. Simple mathematical models with very complicated dynamics, *Nature* 1976; 261: 459-467.
- [20] Geisel T, Fairen V. Statistical Properties of Chaos in Chebyshev Maps. *Physics Letters* 1984; 105A: 263–266.
- [21] Li C, Luo G, Qin K, Li C. An image encryption scheme based on chaotic tent map. *Nonlinear Dynamics* 2017; 87: 127-133. Doi: 10.1017/s11071-016-3030-8.

Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası İzleme Kontrolünün Farklı Yöntemler Üzerinden Karşılaştırmalı Analizi

Hasan Bektaş PERÇİN^{1*}, Abuzer ÇALIŞKAN²

¹ Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye

² Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye

*¹ hbpercin@firat.edu.tr, ² acaliskan@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 27/03/2021;

Kabul/Accepted: 03/06/2021)

Öz: Rüzgâr enerjisi, elektrik üretiminde kullanımı giderek artan bir enerji kaynağıdır. Son yıllarda rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinde değişken hızlı rüzgâr türbinleriyle uyumlu kalıcı mıknatıslı senkron generatörler ön plana çıkmaktadır. Bu tip generatörler elektriksel kayıpları azaltabileceği gibi mekanik bileşenlere bağımlılığı azaltarak genel sistem performansını yükseltir. Rüzgâr enerjisinde verimlilik, sadece verimli elemanların değil aynı zamanda uygun kontrollerin seçimine bağlıdır. Dönüşüm sistemlerinde anlık rüzgâra göre sistem verimliliğini en üst seviyede tutabilmek için maksimum güç noktası izleme kontrollerinden yararlanılır. Bu çalışmada; dönüşüm sistemin bileşenlerinin sistem büyüklükleri üzerinden çalışma prensipleri açıklanmıştır. Kanat uç hız oranı, tepe tırmanma ve bulanık mantık tabanlı maksimum güç noktası izleme kontrol yöntemleri açıklanmıştır. Bu kontrol yöntemleri, Matlab/Simulink ortamında modellenerek çeşitli sistem büyüklükleri üzerinden karşılaştırmalı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Rüzgâr Enerjisi, Kalıcı Mıknatıslı Senkron Generatör, Matlab/Simulink, Maksimum Güç Noktası İzleme, Bulanık Mantık

Comparative Analysis of Maximum Power Point Tracking Control Through Different Methods in Wind Energy Conversion Systems

Abstract: Wind energy is a renewable energy source increasingly used in electricity generation. In recent years, permanent magnet synchronous generators compatible with variable speed wind turbines have come to the fore in wind energy conversion systems. This type of generator can reduce electrical losses and increase overall system performance by reducing dependency on mechanical components. The efficiency in wind energy depends on not only the selection of suitable components but also proper control techniques. In conversion systems, maximum power point tracking controls are utilized to keep the system efficiency at the highest level according to the instant wind. In this study; the working principles of the conversion system components are expressed over the system parameters. Tip speed ratio, hill climbing and fuzzy logic-based maximum power point tracking control methods are explained. These control methods are modeled in Matlab / Simulink environment and comparative analyzes are carried out over various system parameters.

Key words: Wind Energy, Permanent Magnet Synchronous Generator, Matlab/Simulink, Maximum Power Point Tracking Control, Fuzzy Logic

1. Giriş

Yüzyıllar boyu çeşitli amaçlarla kullanılan rüzgâr enerjisi, geçtiğimiz yüzyılın ikinci yarısından itibaren ortaya çıkan türbin teknolojileriyle elektrik üretiminde de kullanılmaya başlanmıştır. Fosil yakıt tabanlı enerji üretiminde artan maliyetler, nükleer enerji ile ilgili çekinceler, çevresel ve küresel ısınma üzerine artan kaygılar rüzgâr gibi yenilenebilir ve sürdürülebilir kaynaktan enerji üretimini arttırmıştır [1].

Rüzgârdan elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemi (REDS)'ler, rüzgârdaki kinetik enerjisi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. İlk zamanlarda REDS'lerde sabit hızlı türbinler kullanılmaktaydı. Ancak değişen rüzgâr koşullarına göre düşük verimlilikle çalışmaları, anlık rüzgâra göre hızı ayarlanabilen daha yüksek verimli, değişken hızlı türbinlerin kullanımını arttırmıştır. Enerji üretiminde kullanılan generatörler açısından bakıldığında ise son yıllarda dışardan uyarıtma ihtiyacı duymadan çalışan güçlü mekanik karakteristiğe sahip kalıcı mıknatıslı senkron generatör (KMSG)'ler ön plana çıkmaktadır. Doğrudan türbin yapısıyla bağlanabilecek şekilde tasarlanabilmeleri, giderek düşen maliyetleri rüzgâr enerjisinde kullanımlarını yaygınlaştırmıştır [2- 3].

* Sorumlu yazar: hbpercin@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-8968-969X, ² 0000-0001-8262-7912

REDS için kullanılan türbin ve generatör seçimi kadar kullanılan sistemin anlık değişen rüzgâr koşullarına göre kontrolü de önemlidir. REDS’lerde rüzgârdan anlık maksimum seviyede yararlanabilmek için maksimum güç noktası izleme (MGNİ) kontrollerinden yararlanır. Kontrol yönteminin temel çalışma prensibi, değişken hızlı kullanıma uygun REDS’lerde generatörün çalışma hızının belirli hız aralıklarında rüzgâr hızına göre ayarlanmasına dayanmaktadır. Kullanılan kontrol yapıları daha az maliyetli ve daha verimli enerji üretimine imkân verir [3].

Kullanılan kontrol teknikleri için REDS’de üretilen enerjinin şebekeye ya da şebekeden bağımsız yüke aktarımında kullanılan arayüzler ön plandadır. MGNİ yöntemleri için kullanılan kontrol yapıları kullanılan arayüz tipine göre farklılık gösterebilmektedir. Bu arayüz yapılarından kısıyıcı arayüzlerde kısıyıcı devresindeki yarıiletken anahtarın doluluk oranı üzerinden değişken rüzgâr hızlarında MGNİ kontrolü gerçekleştirilebilmektedir [4].

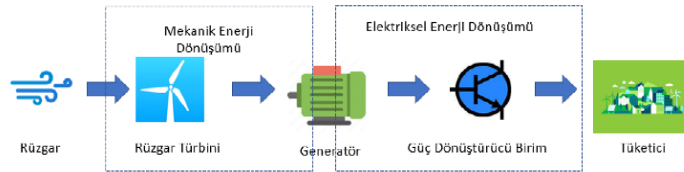
Literatürde kısıyıcı arayüz yapısını kullanan REDS’lerde farklı şekillerde MGNİ kontrolünü gerçekleştiren çalışmalar mevcuttur. Kontrol uygulamalarında sıklıkla kullanılan PID tabanlı MGNİ uygulamalarında [5- 6] farklı sistem parametrelerinin referans değerlerine göre hata değeri üzerinden çalışma sağlanmıştır. Özellikle lineer özellikteki sistemler için iyi performans veren bu kontrol yapıları REDS gibi hızlı rüzgâr değişimlerine maruz kalan sistemlerde düşük performans gösterebilir. MGNİ kontrolü için kullanılan diğer bir yaklaşımda ise güneş enerjisi sistemlerinde de kullanılan seçilen kontrol değişkenleri arasındaki ilişkiye göre çalışan tepe tırmanma değiştir ve gözlemle gibi isimlerle anılan yapıların kullanıldığı çalışmalar, REDS’lerde de kullanılabilir [7- 9]. Parametrelerin belirli büyüklükteki değişimlerine göre anlık güç kontrolünü esas alan bu çalışmalarda kullanılan yöntemler matematiksel ve akış diyagramı şeklinde ifade edilerek maksimum güç kontrolü sağlanmış, modellemelerle sistem büyüklüklerinin analizi gerçekleştirilmiştir.

MGNİ kontrolü için bahsedilen yaklaşımlar dışında bir diğer yaklaşım ise akıllı yapıları esas alan kontrol yöntemleridir. En önemli üstünlükleri kontrol edeceği sistemde kesin bir matematiksel model gerektirmeden esnek çalışma imkânı verebilmeleridir. Bu tür yöntemlerden bulanık mantık yöntemiyle REDS’de MGNİ kontrolünün yapıldığı çalışmalarda [10- 12] farklı bulanık mantık tasarımlarıyla kısıyıcı arayüz üzerinden kontrol sağlanmıştır.

Bu çalışmada değişken hızlı rüzgâr türbiniyle uyumlu KMSG içeren REDS için sistemin ve kontrol yapılarının anlaşılabilmesi adına sisteme ait büyüklüklerin matematiksel modellerinden yararlanılmış, farklı türdeki MGNİ kontrol yöntemlerinin Matlab/Simulink ortamında modellenen REDS modeli üzerinden karşılaştırmalı analizleri gerçekleştirilmiştir. Kontrol yapılarının performansı çeşitli sistem büyüklüklerinin grafikleri üzerinden değerlendirilerek araştırmacılara uygun kontrol yöntemi seçimiyle ilgili bilgi sağlanması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Değişken hızlı KMSG içeren REDS için farklı alt bileşenlerden meydana gelen bir sistem söz konusudur. Kullanılan alt bileşenlere göre sistemdeki enerji dönüşümlerini gösteren şema Şekil 1’de görülmektedir



Şekil 1. REDS enerji dönüşüm şeması [13]

Şekil 1’e göre anlık rüzgârın kinetik enerjisi, türbin yapısıyla önce mekanik enerjiye ardından türbine bağlı olan generatör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Elde edilen enerji istenirse şebekeye istenirse de şebekeden bağımsız lokal (tekil) çalışma moduyla da kullanılabilir. Kullanılan sistem ve kontrol yöntemlerinin anlaşılabilmesi adına enerji dönüşümünde kilit öneme sahip büyüklüklerin matematiksel modellerinden yararlanılabilir.

2.1 Türbin Modeli

Anlık rüzgâr hızına göre türbin tarafından elde edilen mekanik güç, Denklem 1’deki gibi ifade edilir.

$$P_{Mekanik} = \frac{1}{2} \times p \times C_p \times A \times V_R^3 \quad (1)$$

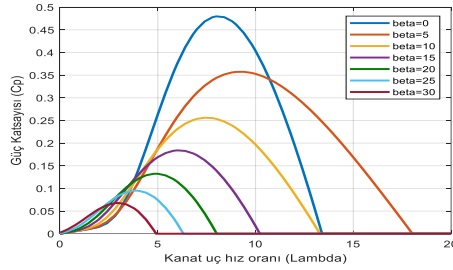
Denklem 1’de p hava yoğunluğu, A türbin kanatlarının taradığı alan, V_R rüzgâr hızını temsil etmektedir. C_p ise REDS’lerde türbindeki mekanik enerjinin rüzgârın mevcut enerjisine oranı olarak da tanımlanabileceği gibi rüzgârdan ne kadar oranda faydalanılabildiğini gösteren güç (verimlilik) katsayısıdır [3, 13- 16]. Bu katsayı iki farklı değişkene göre Denklem 2’deki gibi ifade edilir.

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left(\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3 \times \beta - C_4 \right) e^{-(C_5/\lambda_i)} + C_6 \times \lambda, \quad \frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (2)$$

C_{1-6} ile ifade edilen parametreler, türbinlerin tasarımlarına göre belirlenen karakteristik değerlerdir. β yüksek hızlarda türbinin zarar görmesini engelleyecek şekilde devreye girebilen kanat açısı, λ ise kanat uç hız oranı (KHO) olarak tanımlanır. Bu oran matematiksel olarak Denklem 3’deki gibi ifade edilir.

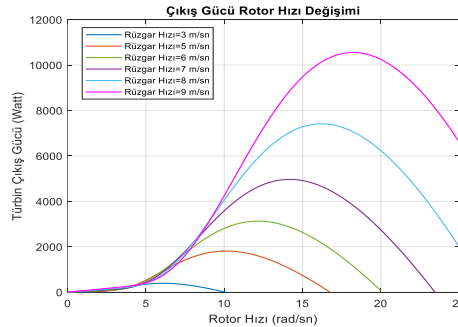
$$KHO(\lambda) = \frac{w_M \times R}{V_R} \quad (3)$$

Burada R türbin kanat yarıçapı, w_M türbinin ve ona doğrudan bağlı generatörün rotor açısız hızı, V_R ise rüzgâr hızıdır. Güç katsayısı en uygun KHO ve kanat açısı değerlerinde maksimum 0.5926 değerini almaktadır. Bu maksimum değer aynı zamanda betz limiti olarak da adlandırılmaktadır [3]. Bu değer teorik olarak rüzgârın yaklaşık %60’ından yararlanılabildiğini gösterir. Ancak pratikte kayıplardan dolayı anlık rüzgârdan maksimum %40 ile %50 arasında faydalanılırken güç katsayısı da en ideal 0.4 ile 0.5 arasında değerlerde tutulabilir [16- 17]. Güç katsayısı ve KHO arasındaki bağıntı türbindeki dönüşüm verimliliği adına en önemli kriterdir. Değişen kanat açısı değerlerine göre güç katsayısının KHO’ya göre değişimi Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Güç katsayısı KHO değişimi [3]

Şekil 2’ye göre güç katsayısı, kanat açısı değerinin en küçük değerinde, KHO’nun uygun değerinde tutulmasıyla maksimum değerini almaktadır. Denklem 3’e göre KHO, türbin kanat yarıçapı ve rotor açısız hızına bağlıdır. Denklemde kullanılan türbin kanat yarıçapı, sabit bir değer olduğundan değişen rüzgâr hızlarına göre rotor açısız hızını ayarlamak suretiyle KHO ve güç katsayısı en uygun değerlerde tutulabilir. Anlık rüzgâra göre çalışma hızını ayarlayarak güç katsayısını dolayısıyla sistem verimliliğini ayarlamak, MGNİ kontrolünün temel prensibidir. Açısız hız ve rüzgâr hızı değişimlerine göre türbinden elde edilen mekanik gücün değişimi Şekil 3’te görülmektedir.

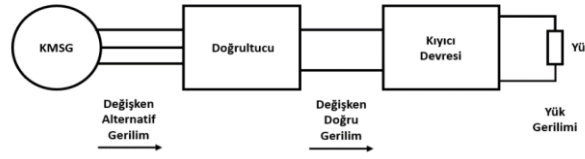


Şekil 3. Türbin çıkış gücünün rotor hızına göre değişimi

Şekil 3 incelendiğinde çıkış gücü, belirli hızlarda maksimum değeri almaktadır. Kullanılacak kontrol yöntemiyle anlık rüzgâra göre generatörün çalışma hızı ayarlanarak güç maksimum seviyede tutulabilir.

2.2 Generatör ve Arayüz Modeli

Anlık rüzgâra göre MGNİ kontrolünde kullanılan kontrol yöntemlerinin uygulanmasında generatör ve yük arasında kullanılan güç dönüştürücü birimler (arayüzler) önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada genellikle küçük ve orta güç seviyelerine uygun kıyıcı arayüz kullanılmıştır. Doğrudan türbin bağlantılı KMSG içeren REDS’de generatör ve yük arasındaki arayüz için gerilim dönüşüm aşamaları Şekil 4’te görülmektedir.



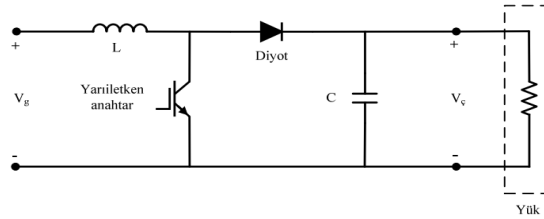
Şekil 4. KMSG arayüz dönüşüm yapısı

Şekil 4’e göre gerilim anlık değişimlerden etkilenmeden yüke aktarılmalıdır. Ancak anlık rüzgâra göre generatör çıkış gerilimi değişken yapıdadır. Bu gerilim bir doğrultucu aracılığıyla doğrultulsa da gerilim yapısında değişkenlik söz konusudur. Kıyıcı devresi, girişine uygulanan gerilime göre çıkışında istenen seviyede gerilim sağlayacak şekilde kullanılır. Gerilimdeki dönüşüm aşamalarına göre generatör ve doğrultucu arasındaki akım ve gerilim büyüklükleri arasındaki bağıntı Denklem 4 ve 5’teki gibidir.

$$V_D = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} V_{GEN} \quad (4)$$

$$I_D = \frac{\pi}{\sqrt{6}} I_{GEN} \quad (5)$$

Denklemlerde V_{GEN} ve V_D sırasıyla generatörün faz geriliminin efektif değeri ve doğrultucu çıkış gerilimi; I_{GEN} ve I_D ise sırasıyla generatör akımı ve doğrultucu çıkışındaki akımı ifade etmektedir. Doğrultucu çıkışında bu çalışmada kullanılan yükselten (boost) tipi kıyıcı devresinin anlık kontrolüyle doğrultucudan gelen gerilime göre çıkışta daha yüksek seviyede bir gerilim elde edilebilir. Bu tip kıyıcıya ait devre şeması Şekil 5’teki gibidir.



Şekil 5. Yükselten tip (boost) kıyıcı devre şeması

Kıyıcı devresindeki yarıiletken anahtarın iletim ve kesimde kalma sürelerine göre çıkışta daha yüksek seviyede bir gerilim elde edilebilir. Anahtarlama sürelerine göre kıyıcı devresi için Denklem 6 ve 7 elde edilir.

$$T_S = t_{on} + t_{off} \quad (6)$$

$$d = \frac{t_{on}}{T} \quad (7)$$

Denklemlerde T_S anahtarlama periyodunu, t_{on} ve t_{off} sırasıyla anahtarın iletimde ve kesimde kalma süreleri, d ise doluluk oranıdır. Doluluk oranı, 0 ile 1 arasında bir değerdir. Kıyıcı devresinin kontrolü esasında doluluk oranı kontrolüne dayanmaktadır. Kıyıcı giriş çıkış gerilimleri ve doluluk oranı arasındaki bağıntı Denklem 8’deki gibidir.

$$\frac{V_{Çıkış}}{V_{Giriş}} = \frac{1}{1-d} \quad (8)$$

Denklemlerde $V_{g(Min)}$ giriş geriliminin alabileceği minimum değer, $I_{ç(Max)}$ çıkış akımının maksimum değeri, f_s kıyıcı devresindeki anahtarlama frekansdır. ΔI_L ve ΔV_C ise endüktans akımı ve kondansatör geriliminde ne kadarlık dalgalanmaya izin verilebileceğini gösteren yüzdesel değerlerdir. Uygun devre tasarımı hem kıyıcının çalışması hem de kullanılacak kontrol yönteminin kararlılığı açısından önemlidir.

Denklemlerle $V_{g(Min)}$ giriş geriliminin alabileceği minimum değer, $I_{ç(Max)}$ çıkış akımının maksimum değeri, f_s kıyıcı devresindeki anahtarlama frekansdır. ΔI_L ve ΔV_C ise endüktans akımı ve kondansatör geriliminde ne kadarlık dalgalanmaya izin verilebileceğini gösteren yüzdesel değerlerdir. Uygun devre tasarımı hem kıyıcının çalışması hem de kullanılacak kontrol yönteminin kararlılığı açısından önemlidir.

$$L = \frac{V_{g(Min)} * d}{\Delta I_L * f_s} \quad (9)$$

$$C = \frac{I_{ç(Max)} * d}{\Delta V_C * f_s} \quad (10)$$

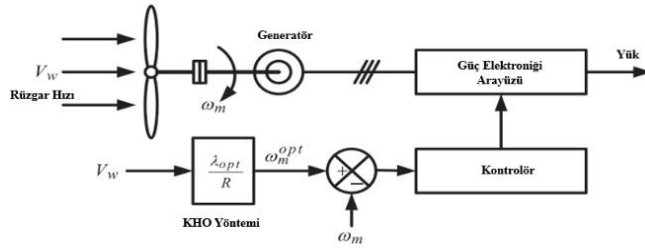
Denklemlerde $V_{g(Min)}$ giriş geriliminin alabileceği minimum değer, $I_{ç(Max)}$ çıkış akımının maksimum değeri, f_s kıyıcı devresindeki anahtarlama frekansdır. ΔI_L ve ΔV_C ise endüktans akımı ve kondansatör geriliminde ne kadarlık dalgalanmaya izin verilebileceğini gösteren yüzdesel değerlerdir. Uygun devre tasarımı hem kıyıcının çalışması hem de kullanılacak kontrol yönteminin kararlılığı açısından önemlidir.

2.3 MGNİ Kontrol Yöntemleri

REDS'lerde üretim verimliliği sadece rüzgârın yoğunluğu ile değil aynı zamanda kullanılan kontrol yöntemleriyle anlık olarak üst seviyede tutulabilir. REDS'lerde kullanılabilen MGNİ yöntemleri birçok farklı kritere göre belirlenebilir. Sistem için uygun kontrol yönteminin belirlenmesinde en önemli kriter, maliyet performans dengesini gözetenek kontrol yöntemi seçimidir.

Uygulanma şekillerine göre dolaylı, doğrudan, akıllı yapılı yöntemler şeklinde MGNİ yöntemleri sınıflandırılabilir. Dolaylı yöntemler, sisteme ait mekanik büyüklükler üzerinden çalışırken doğrudan kontrol yöntemleri, elektriksel büyüklükler üzerinden çalışır. Akıllı yapılı yöntemler ise bulanık mantık, yapay sinir ağları, optimizasyon teknikleri vb. yapıların MGNİ kontrolü için kullanıldığı yöntemlerdir [19].

Dolaylı kontrol yöntemleri, uygulama kolaylığı açısından avantajlıdır. Bu türdeki yöntemlerden KHO yöntemi, KHO'yu elde ettiğimiz denklemleri esas alarak anlık hız kontrolünü gerçekleştirebilmektedir. Yöntemin çalışma prensibi Şekil 6'da görülmektedir



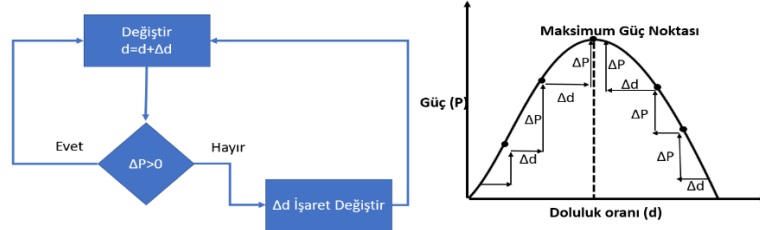
Şekil 6. KHO yöntemi çalışma şeması [19]

Şekil 6'da anlık rüzgâr hızına göre elde edilen referans hızın anlık açısal hızla karşılaştırılmasıyla anlık kontrol gerçekleştirilmektedir. Ancak bu yöntemin yüksek doğrulukta çalışan ek donanımlara ihtiyaç duyabilmesi, kullanım zamanı ve ortam koşullarına bağlı olarak değişen parametrelere bağımlılığı hem maliyet hem de performans açısından kontrol yöntemini olumsuz yönde etkiler [19- 20].

Kontrol değişkeni olarak REDS'lerde elektriksel büyüklüklerden yararlanan doğrudan yöntemler ise dolaylı yöntemler gibi yüksek maliyetli ek donanım gerektirmeden çalışabilirler. Bu tür yöntemlerden tepe tırmanma

yöntemi, seçilen kontrol parametrelerinde yapılan belirli büyüklükteki değişimlerin, hedef parametrede meydana getirdiği değişimler üzerinden çalışmaktadır.

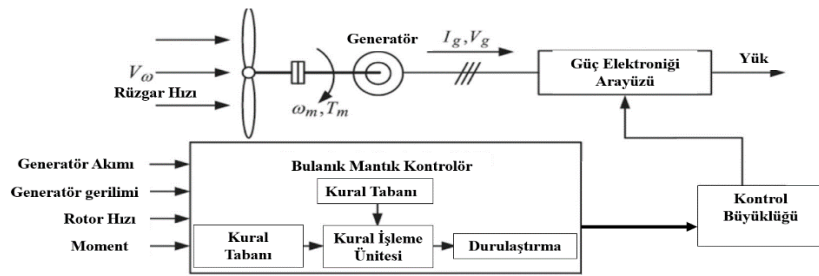
REDS’de bu yöntemin kullanımında kontrolü sağlanacak parametreler akım gerilim değerleri gibi elektriksel büyüklükler olabileceği gibi dolaylı olarak bu değerleri değiştirebilen kısıyıcı doluluk oranı da alınabilir. Temel çalışma prensibi, seçilen parametrelere göre sistemin güç eğrisi üzerinde kontrol değişkenini ayarlayarak sistemin çalışma noktasını maksimum güç noktasında tutabilmektir [21]. Doluluk oranına göre gücün değişimi ve yöntemin çalışma şeması Şekil 7’de görülmektedir.



Şekil 7. Tepe tırmanma yöntemi şeması ve doluluk oranına göre gücün değişim eğrisi

Şekil 7’ye göre güçteki değişim (ΔP)’nin işaretine göre doluluk oranında (d) yapılan değişikliklerle (Δd), MGNİ kontrolü gerçekleştirilir. Eğrinin sol ya da sağ kısmına göre doluluk oranında artış ya da azalışla anlık maksimum gücün üretildiği çalışma noktasında sistemin çalışması sürdürülür. Basit yapısı ve doğrudan çalışması gibi avantajlara karşın bazı önemli dezavantajları da vardır. Belirli bir parametre için değişim büyüklüğünün seçimi, performans ve çalışma hızı açısından önemlidir. Değişim büyükse hızlı çalışmayla beraber büyük salınımlara sebep olurken, küçük değişimlerde salınım azalırken çalışma hızı düşer. Bu problemin aşılabilmesi adına değişim büyüklüğünün anlık çalışma noktasının konumuna göre adaptif yapıda olması yöntemin performansını iyileştirebilir [22]. Diğer bir dezavantajı ise rüzgâr hızında meydana gelen ani değişimleri kontrol yapısının güçte değişim olarak algılayıp çalışma noktasını maksimum güç noktasından uzaklaştıracak şekilde çalışabilmesidir.

Doğrudan ve dolaylı MGNİ yöntemlerinin dezavantajları, nonlineer yapıdaki REDS’lerde akıllı yapı tabanlı MGNİ yöntemlerinin kullanımına zemin hazırlamıştır [23]. Akıllı olarak tanımlanmaları, kullanıldıkları koşul ve sistemlere göre uyarlanabilir ve esnek performans göstermelerinden kaynaklanır. Bu tip yöntemlerden bulanık mantık yöntemi, insan mantığına göre ifade edilen sözel değişkenler ve bunlar arasında tanımlanan kurallar çerçevesinde çalışmaktadır. REDS’de bulanık mantık tabanlı MGNİ kontrolü çalışma şeması Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. Bulanık mantık tabanlı MGNİ kontrolü [19]

Şekil 8’de kontrol için farklı türde değişkenler kullanılabileceği gibi bu büyüklüklerin birbirlerine göre değişimleri de kullanılabilir. Kontrol performansını; tasarımı yapan kullanıcının sistem hakkında bilgisi, kullanılan değişkenlerin seçimi, kullanılan ara birimlerin uygun tasarımı ve kural tabanı belirler. REDS gibi hızlı değişimlere maruz kalan yapılar için kararlı, hızlı ve esnek çalışabilmeleri farklı kontrol amaçları için de bulanık mantık yapılarının sıklıkla kullanımını sağlamıştır [21, 23].

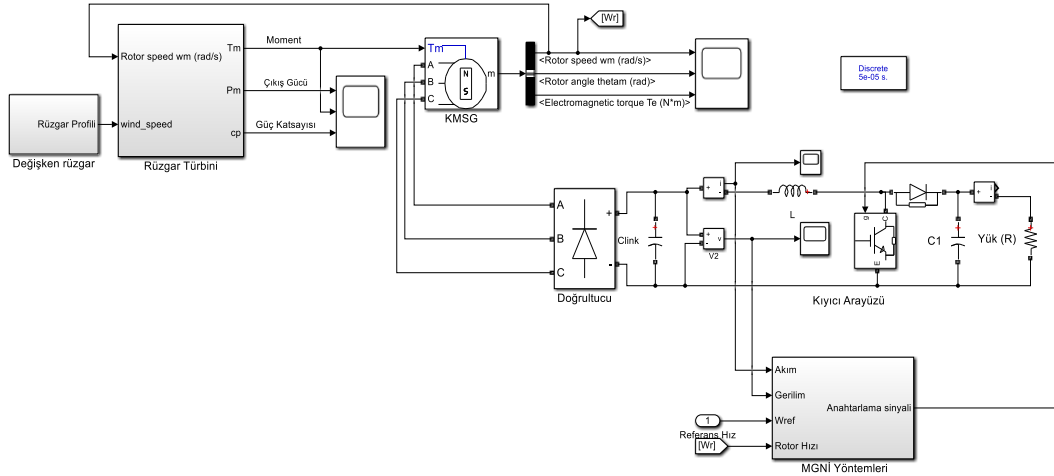
3. Tartışma ve Bulgular

Önceki bölümde açıklanan MGNİ kontrollerinin analizi için kıyıcı arayüzü içeren REDS'nin Simulink modeli Tablo 1'de verilen parametreler üzerinden oluşturulmuştur.

Tablo 1. REDS modeli için kullanılan parametreler

Türbin Parametreleri		KMSG Parametreleri	
Rotor Yarıçapı	4 m	Stator Direnci	0.425 Ω
ρ (Hava Yoğunluğu)	1.2 kg/m ³	Armatür Endüktansı	0.000835 H
Kanat Açısı	0°	Akım Bağı	0.433 Wb
Optimal KHO	8.4	Atalet (J)	0.01197 kg.m ²
Optimal Güç katsayısı	0.48	Sürtünme (Viskoz) Katsayısı (B)	0.001189 Nms
Yük	50 Ω	Kutup Çifti	4

Seçilen türbin ve generatör parametrelerine göre REDS'nin simulink modeli Şekil 9'da görülmektedir.



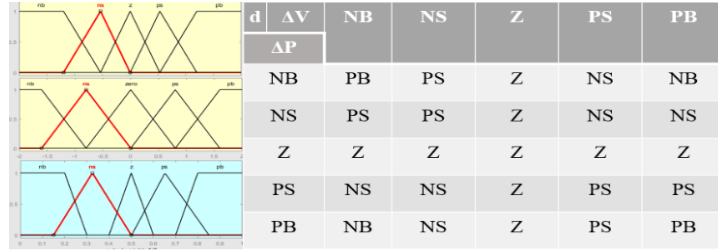
Şekil 9. REDS genel simulink modeli

Anlık rüzgâr profiline göre türbinden üretilen moment ve güç, Tablo 1'deki parametreler ve türbin modelindeki matematiksel ifadeler üzerinden elde edilir. Üretilen momentin KMSG'ye uygulanmasıyla generatör tarafından üretilen gerilim doğrultucu ve kıyıcı arayüzü üzerinden yüke aktarılır. Şekil 9'daki MGNİ yöntemleri bloğu, üç tekniğe göre oluşturulmuş girişindeki hız değerleri KHO yöntemi, elektriksel büyüklükler ise hem tepe tırmanma hem de bulanık mantık yöntemi için kullanılmıştır. Kullanılan MGNİ yöntemleri için üretilen doluluk oranı, anahtarlama sinyali aracılığıyla kıyıcıdaki anahtara uygulanmıştır. Kullanılan kıyıcı devresi için parametreler ise Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Kıyıcı arayüzü parametreler

Parametreler	Değerler
Endüktans (L)	3 mH
Kapasite (C _{link} , C ₁)	2x10 ⁻⁵ F
Anahtarlama Frekansı (fs)	10 kHz
Anahtar Tipi	IGBT

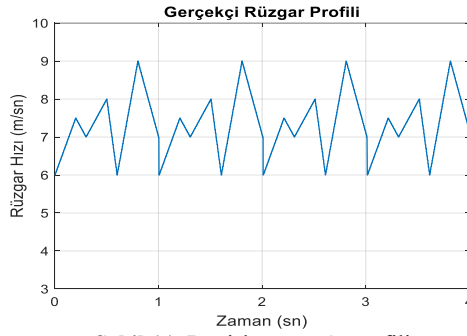
MGNİ kontrol yöntemlerinden bulanık mantık yapıli kontrole ait üyelik fonksiyonları ve kural tabanı Şekil 10'da görölmektedir.



Şekil 10. Bulanık mantık tabanlı MGNİ yöntemi için üyelik fonksiyonları ve kural tabanı

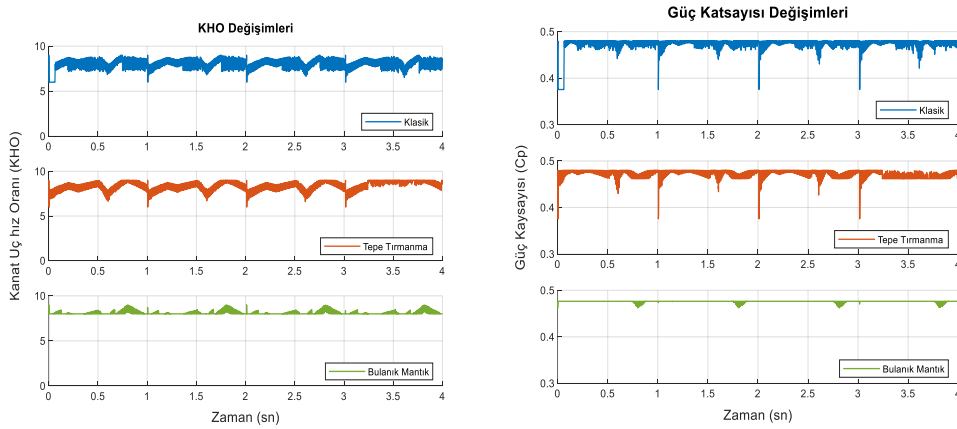
Giriş değişkenleri olarak kıyıcı girişindeki akım ve gerilimlere göre elde edilen gücün değişimi (ΔP) ve generatör geriliminin değişimi (ΔV) seçilmiştir. Bunlara göre değişimin yönü ve büyüklüğüne göre negatif büyük (NB), negatif küçük (NS), sıfır (Z), pozitif küçük (PS), pozitif büyük (PB) şeklinde üyelik fonksiyonları oluşturularak değişkenlerdeki değişime göre doluluk oranını artıracak ya da azaltacak şekilde çalışma amaçlanmıştır. Tepe tırmanma yöntemine göre en önemli farkı tepe tırmanmada bu değişim belirli büyüklükte yapılırken bulanık mantıkta kural tabanı aracılığıyla doluluk oranındaki değişim daha esnek yapıdadır.

Kullanılan yöntemlerin performansını değerlendirebilme adına Şekil 11'deki gibi değişken rüzgâr profilinden yararlanılmıştır.



Şekil 11. Değişken rüzgâr profili

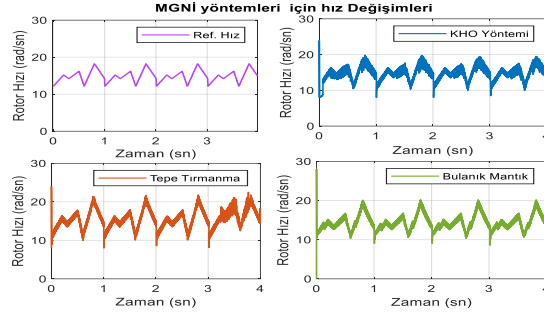
Şekil 11'deki 6 ile 9 m/sn aralığındaki değişimlere göre sistemin MGNİ kontrolüyle güç katsayısının maksimum değerini elde edebilmek için kanat açısı değeri 0° , KHO'nun değeri 8.4, güç katsayısının buna karşılık 0.48 olduğu belirlenmiştir. Alınan bu referans değerlere göre kullanılan üç yöntem için KHO ve güç katsayısı değişimleri Şekil 12'de görölmektedir.



Şekil 12. Üç farklı tekniğe göre KHO ve güç katsayısı değişimleri

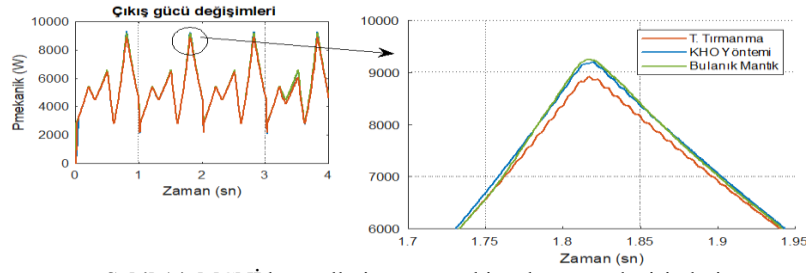
Şekil 12'deki grafikler incelendiğinde bulanık mantık tabanlı yöntem, diğer iki yönteme göre daha kararlı ve referans değerlere yakın değişimler gözlemlenmiştir. Değişimler bulanık mantık yapısının daha kararlı ve daha verimli çalışma gerçekleştirdiğini göstermiştir.

Kullanılan yöntemlerde temel hedef, anlık çalışma hızının referans hıza göre ayarlanmasıdır. Değişen rüzgâr hızlarına göre kullanılan yöntemler için çalışma hızlarının referans hıza göre değişimi Şekil 13'teki gibidir.



Şekil 13. MGNİ yöntemleri için anlık generatör hızının referans hıza göre değişimi

Referans hız değeriyle diğer kontrol yöntemlerinin sağladığı hız değişimleri karşılaştırıldığında bulanık mantıklı tabanlı yöntemde daha kararlı ve referans hız değerine yakın değişimler gözlemlenmiştir. Kullanılan MGNİ yöntemleri için anlık rüzgâra göre türbinden elde edilen güç değişimleri ise Şekil 14'te görülmektedir.



Şekil 14. MGNİ kontrollerine göre türbin çıkış gücü değişimleri

Çıkış gücü değişimlerinde kullanılan kontrol yöntemlerinin tümünde rüzgâr profiliyle uyumlu değişimler gözlemlenmiştir. Tepe tırmanma yöntemi diğer iki yönteme göre düşük değerlerde değişim gösterirken bulanık mantık tabanlı yöntem ise diğer yapılara göre yüksek değerlerde değişim gösterdiği görülmektedir. Seçilen yöntemlere göre elde edilen ortalama güç değerleri Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3. Kullanılan MGNİ yöntemlerine göre ortalama çıkış gücü değişimleri

Kontrol Yöntemi	Ortalama Güç Değeri (W)
Klasik Yöntem	5930
Tepe Tırmanma	5742
Bulanık Mantık	6189

Tablo 3'e göre Bulanık mantıklı tabanlı MGNİ kontrolüyle diğer iki yönteme göre daha yüksek güç değeri elde edilmesi bu yöntemin verimlilik adına diğer iki yönteme göre daha iyi performans verdiğini göstermiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada değişken hızlı çalışmaya uygun, KMSG ve kıyııcı arayüzüne sahip REDS için anlık verimliliği en yüksek seviyede tutma amacıyla kullanılan MGNİ yönteminin temel çalışma prensibi açıklanmıştır. MGNİ kontrolü yöntemlerinden KHO, tepe tırmanma ve bulanık mantık tabanlı kontrollerin Matlab/Simulink ortamında karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde bulanık mantık tabanlı yöntemin diğer iki yönteme göre daha kararlı, daha verimli çalışmayı sağladığı belirlenmiştir. Bu da akıllı yapı olarak tanımlanan bulanık mantığın MGNİ kontrolünde uygunluğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmada kullanılan bulanık mantık dışında yapay sinir ağları, farklı optimizasyon teknikleri gibi akıllı yapılar, REDS için farklı kontrol amaçları için kullanılabilir. REDS'lerde MGNİ çalışmalarında birden fazla kontrol yönteminin birlikte kullanımını esas alan hibrid yapıların da bu çalışmadaki benzer modelleme mantığıyla analizi gerçekleştirilebilir.

Kaynaklar

- [1] Rolan, A., Luna, A., Vazquez, G., Aguilar, D., Azevedo, G. Modeling of a variable speed wind turbine with a permanent magnet synchronous generator. In 2009 IEEE international symposium on industrial electronics; 05 08 June 2009; South Korea, pp. 734-739.
- [2] Yin, M., Li, G., Zhou, M., & Zhao, C. Modeling of the wind turbine with a permanent magnet synchronous generator for integration. In 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting; June 2007, pp. 1-6.
- [3] Ackermann T. Wind Power in Power Systems, United Kingdom, John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
- [4] Sharma, H. K., Samaria, A., & Gidwani, L. Designing and performance analysis of controller for PMSG based wind energy conversion system. In 2017 International Conference on Information, Communication, Instrumentation, and Control (ICICIC); 17-19 August 2017; Indore, India, pp. 1-6.
- [5] Abbaker, O. Control of wind turbine for variable speed based on fuzzy-PID controller. Journal of Engineering and Computer Science (JECS) 2017; 18(1): 40-51.
- [6] Vijayalakshmi, G., & Arutchelvi, M. Design and development of controller for PMSG based Wind Energy Conversion system. In 2014 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies; 2014; pp. 573-578.
- [7] Kumari, S., Kushwaha, V., & Gupta, T. N. A Maximum Power Point Tracking For a PMSG Based Variable Speed Wind Energy Conversion System. In 2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC); 2018; pp. 789-794.
- [8] Zammit, D., Staines, C. S., Micallef, A., Apap, M. Optimal power control for a PMSG small wind turbine in a grid-connected DC microgrid. In 2018 5th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT); 2018; pp. 32-37.
- [9] Sahin, P., Resmi, R., Vanitha, V. PMSG based standalone wind electric conversion system with MPPT. In 2016 International Conference on Emerging Technological Trends (ICETT); 2016; pp. 1-5.
- [10] Prajapati, K. R. Application of fuzzy logic for MPPT control in stand-alone wind energy conversion system with a battery storage system. In 2019 IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS); 2019; pp. 1-6.
- [11] Tiwari, R., & Babu, N. R. Fuzzy logic based MPPT for permanent magnet synchronous generator in wind energy conversion system. IFAC-PapersOnLine, 2019; 49(1): 462-467.
- [12] Ngo, Q. V., Yi, C., Nguyen, T. The maximum power point tracking based-control system for small-scale wind turbine using fuzzy logic. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE) 2020; pp. 3927-3935.
- [13] Percin H.B., Caliskan A. (2020). Modeling And Analysis Of Pitch Angle Control On Variable Speed Wind Turbines, In 2020 International Engineering and Natural Sciences Conference (IENSC), 5-6 November 2020, Diyarbakır, Turkey, pp. 131-140.
- [14] Gajewski, P., Pieńkowski, K. Advanced Control of Direct-Driven Pmsg Generator in Wind Turbine System. Archives of Electrical Engineering, 2016; 65(4): 643-656.
- [15] Wu, B., Lang, Y., Zargari, N., & Kouro, S. Power conversion and control of wind energy systems, New York, NY, USA John Wiley & Sons, 2011.
- [16] Bianchi, F. D., De Battista, H., Mantz, R. J. Wind turbine control systems: principles, modelling and gain scheduling design. Springer Science & Business Media, 2006.
- [17] Soetedjo, A., Lomi, A., & Mulayanto, W. P. Modeling of wind energy system with MPPT control. In Proceedings of the 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics; July 2011; pp. 1-6.
- [18] Koutroulis, E., & Kalaitzakis, K. Design of a maximum power tracking system for wind-energy-conversion applications. IEEE transactions on industrial electronics, 2006, 53(2): 486-494.
- [19] Abdullah, M. A., Yatim, A. H. M., Tan, C. W., & Saidur, R. A review of maximum power point tracking algorithms for wind energy systems. Renewable and sustainable energy reviews, 2012; 16(5): 3220-3227.
- [20] Jha, D. A comprehensive review on wind energy systems for electric power generation: current situation and improved technologies to realize future development. International Journal of Renewable Energy Research (IJRER) 2017; 7(4): 1786-1805.
- [21] Govinda, C. V., Udhay, S. V., Rani, C., Wang, Y., & Busawon, K. A review on various MPPT techniques for wind energy conversion system. In 2018 International conference on computation of power, energy, Information and Communication (ICCPEIC); 2018; pp. 310-326.
- [22] Yüksek, G., & Mete, A. N. A hybrid variable step size MPPT method based on P&O and INC methods. In 2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO); 2017. pp. 949-953.
- [23] Thongam, J. S., & Ouhrouche, M. MPPT control methods in wind energy conversion systems. Fundamental and advanced topics in wind power, 2011, (1): 339-360.

Ön İşlem Uygulanmış Alg Biyokütlesinin Mikrobiyal Yakıt Hücresinde Elektrik Üretim Performansının Araştırılması

Muhammed Fatih HASAR¹, Ergin TAŞKAN^{2*}

¹ Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye

² Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye

¹ hasar.mf@gmail.com, ^{2*} etaskan@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 11/04/2021;

Kabul/Accepted: 03/06/2021)

Öz: Alg biyokütlesi yüksek organik içeriğinden dolayı mikrobiyal yakıt hücreleri (MYH) için eşsiz substrat kaynaklarından biridir. Fakat alg hücre duvarının kompleks yapısı biyolojik parçalanabilirliğini önemli ölçüde kısıtlamaktadır. Bu çalışmada farklı konsantrasyonlarda (5-30 ml/L aralığında) hidrojen peroksit (H₂O₂) kullanılarak alg biyokütlesine ön işlem uygulanmış ve MYH sisteminde elektrik üretim performansı araştırılmıştır. MYH’de maksimum güç yoğunluğu (244.64 mW/m²) 25 ml/L H₂O₂ konsantrasyonunda ön işlem uygulanmış alg biyokütlesi ile elde edilmiştir. Elde edilen maksimum güç miktarı kontrol reaktörüne (41.16 mW/m²) kıyasla yaklaşık olarak altı kat daha yüksektir. Moleküler analizler, ön işlem uygulanmış alg biyokütlesinin kullanıldığı MYH reaktöründe (MYH-A) b-proteobacteria grubuna ait bakteriyel türlerin oranının kontrol reaktörüne (MYH-K) kıyasla %10 arttığını göstermiştir. Ayrıca döngüsel voltmetri (CV) sonuçları, MYH-A reaktörlerindeki anot biyofilminin MYH-K reaktörünün anot biofilmine kıyasla daha yüksek bir elektroaktiviteye sahip olduğunu göstermiştir. Çalışma sonuçları, H₂O₂’nin alg biyokütlesinin biyolojik olarak parçalanmasını desteklemek ve MYH’nin elektrik üretim performansını iyileştirmek için etkili bir ön işlem yöntemi olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Mikrobiyal yakıt hücresi, alg biyokütlesi, ön işlem, H₂O₂, mikrobiyal çeşitlilik.

Investigation of Electricity Generation Performance of Pretreated Algal Biomass in Microbial Fuel Cell

Abstract: Algal biomass is one of the unique substrate sources for microbial fuel cells (MFCs) because of its high organic content. However, the complex cell wall of algal cells substantially limits biodegradability. In this study, the electricity generation performance of the algal biomass, pretreated using hydrogen peroxide at different concentrations (between 5-30 mg/L), was investigated in MFC. The MFC produced the maximum power density (244.64 mW/m²) with algal biomass pretreated with H₂O₂ at the concentration of 25 ml/L. The obtained maximum power density is six times higher than the power density (41.16 mW/m²) of the control MFC. The molecular analyses showed that the relative ratio of bacterial species belongs to the b-proteobacteria class in the main MFC (MFC-A) is 10% higher compared to the relative ratio in control MFC (MFC-K). Additionally, cyclic voltammetry (CV) results showed that the anode biofilm in MFC-A has higher bioelectroactivity than anode biofilm of MFC-K. The results showed that H₂O₂ is an effective pretreatment method to promote the biodegradation of algal biomass and improve the electricity generation performance of MFC.

Key words: Microbial fuel cell, algae biomass, pretreatment, H₂O₂, microbial diversity.

1. Giriş

Günümüzde, artan enerji ihtiyacı ve yüksek yakıt fiyatları nedeni ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını oldukça önemli hale gelmiştir [1]. Bu nedenle araştırmacılar, sürdürülebilir ve uygun maliyetli enerji üretim teknolojileri üzerine yoğunlaşmışlardır [2, 3]. MYH’ler organik bileşiklerden doğrudan elektrik üretebilme yeteneğine sahip olmalarından dolayı önemli bir yenilenebilir enerji üretim teknolojisidir [4]. Klasik bir MYH, anot bölgesi, katot bölgesi ve bu bölmeleri fiziksel olarak birbirinden ayıran proton değişim membranından (PDM) oluşmaktadır. Anot bölgesinde elektrot yüzeyinde bulunan mikroorganizmalar, organik bileşikleri oksitleyerek elektron (e⁻) ve proton (H⁺) üretimini gerçekleştirir [5]. Protonlar PDM aracılığı ile elektronlar ise dış direnç vasıtası ile katot bölgesine ulaşır ve burada oksijen ile birleşerek suyu oluştururlar [6]. MYH’leri büyük ölçekte uygulanabilir hale getirmek için araştırmacılar, yeni substrat kaynakları [7], elektrot malzemeleri [8] ve yeni reaktör tasarımlarına odaklanmıştır [9]. MYH’lerde anot bakterileri için substrat kaynağı olarak genellikle sentetik ve evsel kaynaklı atıksular kullanılmasına rağmen son yıllarda alg biyokütlesi gibi organik içeriği yüksek substrat kaynaklarına yönelim artmıştır [10].

* Sorumlu yazar: etaskan@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-9496-3697, ² 0000-0002-9620-8644

Mikroalgler, yüksek büyüme oranlarına sahip olması [11], CO₂ fiksasyonu [12] ve atıksudan nütrient giderimi yapabilme yeteneğinden [13] dolayı yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bu nedenle, dünya genelinde yüksek miktarda alg biyokütlesi üretilmektedir. Alg biyokütlesi yüksek düzeyde protein, lipit, karbonhidrat ve farklı biyomoleküller içermesinden dolayı MYH'lerde anot bakterileri için eşsiz bir substrat kaynağı potansiyeli taşımaktadır. Fakat alg hücrelerinin kompleks hücre duvarına sahip olması, anot bakterileri tarafından gerçekleştirilen mikrobiyal parçalanmayı ciddi oranda güçleştirmektedir [14]. Bu nedenle, MYH sistemlerinde mikroalgler kullanılarak elektrik üretim performansını arttırmak için ön işlem uygulamaları oldukça önemlidir.

H₂O₂ oldukça etkili bir oksitleyici olup katı biyokütelerin sıvılaştırılmasını arttırmakta ve biyodegradasyon sürelerini kısaltmaktadır [15, 16]. Ön işlem olarak H₂O₂ uygulanması durumunda, biyokütlenin disintegrasyonu (parçalanma) daha kolay bir şekilde gerçekleşmekte ve biyokütlenin organik içeriği sıvı faza geçerek sıvılaşma olmaktadır. Bu durum aynı zamanda çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) konsantrasyonunun artması ve biyopolimerlerin serbest kalarak sıvı faza geçmesi şeklinde de ifade edilmektedir [17]. H₂O₂ ile ön işlem sırasında oluşan hidroksil radikali (HO·), alg ve katı fazlı biyokütelerin dağılmasını ve dolayısıyla sıvılaşmasını hızlandırmaktadır. HO· Radikali, hücre duvarını parçalamakta ve böylece hücresel içeriğin sıvı faza geçişi meydana gelmektedir [18]. Sonuç olarak oksitleyici yardımı ile sıvı faza geçen bu çözünmüş organikler, bakteriler tarafından kolayca ayrıştırılarak kullanılabilirler. H₂O₂ ile ön işlem uygulaması, daha önce birçok farklı biyolojik arıtma proseslerinde kullanılarak sistemin giderim performansı iyileştirilmiştir [19]. Daha önce yapılan bir çalışmada mikrodalga-H₂O₂ uygulaması, anaerobik bir çürütme prosesinde ön işlem amacı ile kullanılmıştır. Besleme çamuruna mikrodalga-H₂O₂ ön işlemlerinin uygulanmasıyla kontrol reaktörüne kıyasla ana reaktörde hem toplam katı madde miktarında azalma hem de günlük metan üretiminde %18.3 artış meydana geldiği rapor edilmiştir [20]. Rashid ve ark. [21] tarafından yapılan bir çalışmada, MYH sisteminde substrat kaynağı olarak kullanılmak için *Scenedesmus* türü alg biyokütlesine sonikasyon ön işlemi uygulanmıştır. Çalışmada 2 dk boyunca 20 KHz'de sonikasyon ön işlemi uygulanmış ve 1, 2 ve 5 g/L konsantrasyonunda alg beslemesi ile 0.56, 0.85 ve 1.78 W/m² güç yoğunlukları elde edilmiştir [22]. Bu çalışmada alg biyokütlesinin biyolojik ayrıştırılabilirliğini arttırmak amacı ile farklı konsantrasyonlarda H₂O₂ ön işlem olarak uygulanmıştır. Ardından alg biyokütlesi MYH sisteminde substrat kaynağı olarak kullanılmış ve elektrik üretim performansları detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Ayrıca, H₂O₂ ön işleminin anot biyofilminde mikrobiyal komünite üzerindeki etkisi PCR-DGGE yöntemleri ile tespit edilmiştir.

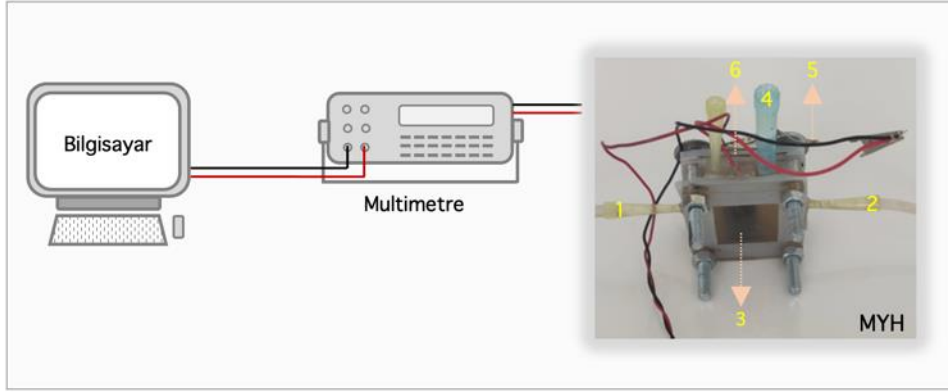
2. Materyal ve Metot

2.1. Alg izolasyonu ve kültürlenmesi

Çalışmada kullanılan karışık alg türleri Elazığ ili Kehli deresinden (38°35'36.3"N 39°20'23.6"E) alınarak Ashok ve ark. [23] tarafından verilen prosedüre göre çoğaltılmıştır. Elde edilen karışık alg türleri, 500 ml'lik silindirik plastik şişelerde Muñoz ve ark. [24] tarafından verilen besi ortamı kullanılarak oda sıcaklığında ve 2000 lux ışık yoğunluğunda kültürlenmiştir.

2.2. MYH kurulumu ve işletimi

Çalışmada tek bölmeli hava katot MYH reaktörleri kullanılmıştır. Reaktörler pleksiglas malzemeden yapılmış olup anot bölmelerinin etkin çalışma hacmi 10 ml'dir (Şekil 1). Reaktörlerde anot ve katot elektrotu olarak grafit (FuelCellStore, USA) ve %5 oranında platin katkılı karbon kâğıt kullanılmıştır. Anot ve katot elektrotları 1000 Ω'luk direnç kullanılarak sabitlenmiştir. Ayrıca MYH reaktörlerinde PDM olarak ULTREX CMI-7000 membran ve gaz difüzyon tabakası olarak karbon fiber kâğıt (AvCarb P50T- FuelCellStore, USA) kullanılmıştır. PDM'ler kullanılmadan önce üretici firmanın vermiş olduğu prosedür dikkate alınarak (%5'lik NaCl içerisinde 12 sa) şartlandırılmıştır. MYH'lerin anot bölmeleri Elazığ ili kentsel atıksu arıtma tesisinin girişinden alınan atıksu ile aşılantılmıştır. MYH'ler işletmeye alındıktan sonra besleme yapmak için sabit bir elektrik üretimi elde edilinceye kadar beklenmiş ve sabit elektrik üretiminden sonra kuru ağırlığı 2 gr olacak şekilde toplamda 10 ml hacme sahip alg biyokütlesi reaktöre enjekte edilmiştir. H₂O₂ ön işleminin MYH'deki biyofilm yapısının elektroaktif özelliklerini ve baskın mikrobiyal tür yapısındaki değişimi incelemek amacı ile reaktörlerden biri kontrol reaktörü (MYH-K) olarak işletilmiş ve ön işlem uygulanmayan (ham) alg biyokütlesi ile besleme yapılmıştır. Diğer reaktör ise ana reaktör (MYH-A) olarak işletilmiş ve sırası ile 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 ml/L konsantrasyonlarında H₂O₂ ön işlemi uygulanmış alg biyokütlesi ile besleme yapılmıştır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan MYH sisteminin şematik görünümü (1: Giriş, 2: Çıkış, 3: Anot elektrotu, 4: Referans elektrot alanı, 5: Dış direnç, 6: Katot elektrotu)

2.3. Elektrokimyasal analizler

Elektrokimyasal analizler Gamry Interface 1000 potansiyostat (Gamry, Warminster, PA) cihazı kullanılarak üçlü elektrot sistemi (anot: grafit elektrot, katot: platin katkılu karbon kâğıt ve referans elektrot: gümüş-gümüş klorür (Ag/AgCl)) ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler bilgisayara kaydedilerek Gamry Framework Data Acquisition yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Doğrusal taramalı voltametri (LSV) analizi 0.25 mV/s tarama hızında gerçekleştirilmiştir. CV analizi MYH reaktörlerine işletme süresi sonunda -1 V ile 0.75 V aralığında 5 mV/s tarama hızında gerçekleştirilmiştir [25]. MYH reaktörlerinde üretilen akım yoğunluğu (mw/m^2) ve güç yoğunluğu (A/m^2) değerleri Denklem (1) ve Denklem (2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Akım Yoğunluğu} = \frac{I}{\text{elektrot yüzey alanı (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

$$\text{Güç Yoğunluğu} = \frac{I \cdot V}{\text{elektrot yüzey alanı (m}^2\text{)}} \quad (2)$$

Burada;

V: Potansiyel, volt

I: Akım, amper

R: Direnç, ohm ifade etmektedir.

2.4. Moleküler analizler

MYH reaktörlerinin işletme süresi sonunda anot elektrotu yüzeyinden alınan biyofilm numuneleri $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 'de muhafaza edilmiş ve ardından DNA izolasyon işlemi Power soil DNA ekstraksiyon kiti (Qiagen, Hilden, Germany) kullanılarak üretici firmanın vermiş olduğu prosedür kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DNA izolasyon işleminden sonra elde edilen saf DNA'lara polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) işlemi uygulanarak 16S rRNA genleri çoğaltılmıştır. PCR işlemi GC-BacV3f (5'-CGCCCCG CCGCGCGGCGGGGCGGGGCGGGGGCACGGGGGGCCTACGGGAGGCAG CAG-3') [26] ve 907R (5'-CCGTCAATTCMTTGTGAGTTT-3') [27] primerleri kullanılarak Tablo 1'de verilen işlem basamakları takip edilerek gerçekleştirilmiştir [28].

Tablo 1. PCR analizinin işlem basamakları

İşlem Basamağı	Süre (sn)	Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)
İlk denatürasyon	130	94
Denatürasyon	30	94
Primer bağlanması	45	56
Uzama	130	72

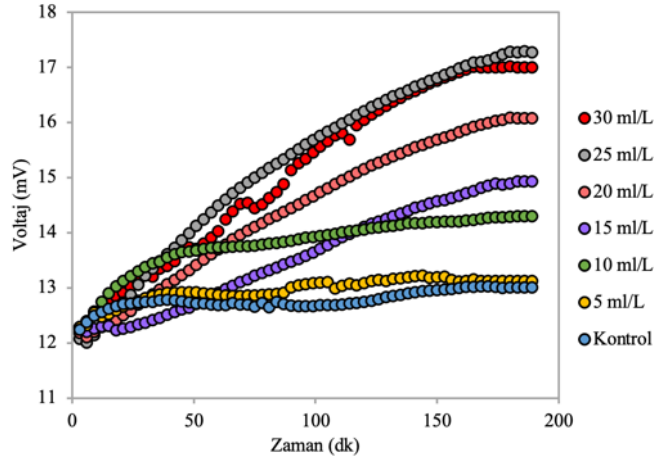
PCR işleminin başarısını kontrol etmek için PCR ürünleri %1'lik (w/v) agaroz jel içerisinde 100 V'da 20 dk süre ile yürütülmüş ve jel görüntüleme cihazı (Vilber Lourmat, Fransa) kullanılarak ilgili genlerin çoğaltılıp çoğaltılmadığı kontrol edilmiştir. Ardından denatüre edici gradient jel elektroforezi (DGGE) analizi ile bakterilere ait her bir DNA'nın denatüre jel içerisinde ayrılması sağlanmıştır. DGGE işlemi INGENYphorU elektroforez sistemi (INGENY®, Leiden, Netherlands) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DGGE işleminden sonra elde edilen saf DNA'lar PCR işlemine tabi tutulmuş ve ardından sekans analizi gerçekleştirilerek mevcut türler tanımlanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Elektrik üretim performansı

3.1.1. Voltaj üretimi

Çalışmada H₂O₂ ön işleminin MYH'nin elektrik üretim performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek amacı ile ham ve H₂O₂ ön uygulamasına tabi tutulmuş alg biyokütlesi MYH reaktörlerine besleme yapılmış ve elektrik üretim performansları değerlendirilmiştir. Her bir besleme için MYH'nin voltaj üretimi izlenmiş ve voltaj değerinde sabitlenmenin görüldüğü noktada işletim süreci durdurulmuştur (yaklaşık 190 dk). Ön işleme tabi tutulmuş alg biyokütlesi MYH-A reaktörüne düşük konsantrasyondan başlayarak (5 ml/L) yüksek konsantrasyon değerine (30 ml/L) doğru besleme yapılmıştır. MYH-K reaktörüne yapılan ön işleme tabi tutulmamış (kontrol) beslemesi ve MYH-A reaktörüne yapılan ön işleme tabi tutulmuş alg biyokütlesi beslemeleri için üretilen voltaj değerleri Şekil 2'de verilmiştir. Voltaj değerleri incelendiğinde, MYH reaktöründe üretilen voltaj değerinin yaklaşık 180 dk'lık süre boyunca arttığı ve daha sonra sabitlenmeye başladığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle MYH'nin voltaj değerleri her bir besleme için 190 dk'lık süre dikkate alınarak kıyaslanmıştır.



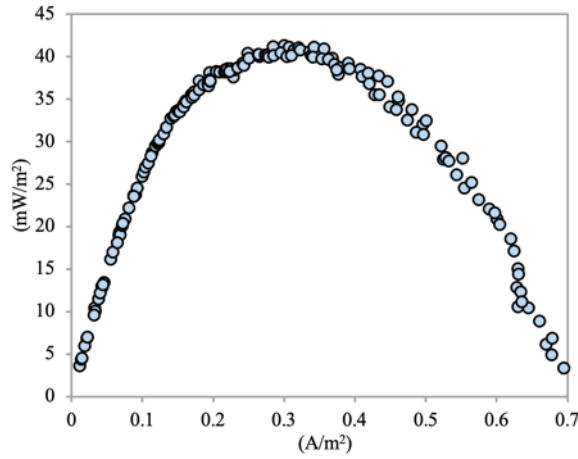
Şekil 2. Voltaj üretimi

Ön işlem uygulaması yapılmamış alg biyokütlesi için MYH-K'da üretilen voltaj değerleri 190 dk'lık süreç boyunca ciddi bir değişime uğramamış ve 12.93 mV düzeylerinde gerçekleşmiştir. 5 ml/L konsantrasyonda H₂O₂ ön işlemi uygulandığı alg biyokütlesinin MYH-A reaktörüne enjeksiyonu sonucunda üretilen voltaj miktarı kontrol reaktörüne kıyasla az miktarda bir artış göstererek 13.2 mV değerlerinde seyretmiştir. H₂O₂ konsantrasyonu 10 mL/L'ye yükseltildiğinde, 190 dk'lık işletme süresi sonunda MYH'de üretilen voltaj 14.28 mV değerine ulaşmıştır. Alg biyokütlesine uygulanan H₂O₂ konsantrasyonunun 15, 20 ve 25 mL/L'ye yükseltilmesi sonucunda MYH'de üretilen voltaj değerleri sırası ile 14.88 mV, 16.03 mV, ve 17.29 mV değerlerine yükselmiştir. H₂O₂ konsantrasyonunun 25 mL/L'den 30 mL/L değerine yükseltilmesi ile MYH'nin voltaj üretimi 17.00 mV değerine düşmüştür. Voltaj sonuçları H₂O₂ konsantrasyonunun 30 mL/L değerine arttırılması ile alg biyokütlesinin oksidasyonunun hızlanarak organik parçalanmanın gerçekleşerek organik içerikte azalma olabileceği göstermektedir. Voltaj değerleri incelendiğinde H₂O₂ ön işleminin voltaj üretimine ciddi oranda katkı sağladığı ve 25 mL/L H₂O₂ konsantrasyonunun voltaj üretimi açısından optimum değer olduğu tespit edilmiştir.

Voltaj üretim sonuçları, H_2O_2 ön işlemleri uygulanması neticesinde alg hücre duvarı parçalanarak dezintegrasyon işleminin gerçekleştiği ve bununla beraber alg biyokütlesinin anot bakterileri tarafından biyolojik ayrıştırılabilirliğinin arttığı kanıtlanmıştır. Literatürde ön işlem uygulaması olarak H_2O_2 'nin kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, H_2O_2 'nin kompleks organik bileşiklerin kısmi parçalanmasını gerçekleştirdiği ve buna bağlı olarak artım sürecini hızlandırdığı, ve maliyet açısından da oldukça avantajlı bir oksidant olduğu belirtilmiştir [29]. Kumar ve ark. [15] tarafından yapılan çalışmada, H_2O_2 ve mikrodalga ön işlem uygulamalarının (15 dk) alg biyokütlesine uygulanması ile biyohidrojen üretiminin %33.9 arttığı rapor edilmiştir. Diğer taraftan, lignoselülozik yapıdaki biyokütlelerden biyo-yakıt üretimi üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, enerji tüketimi ve maliyet göz ardı edildiği takdirde ön işlem yaklaşımının sistem performansını ciddi oranda arttırdığı ve gerekliliği araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir [30, 31].

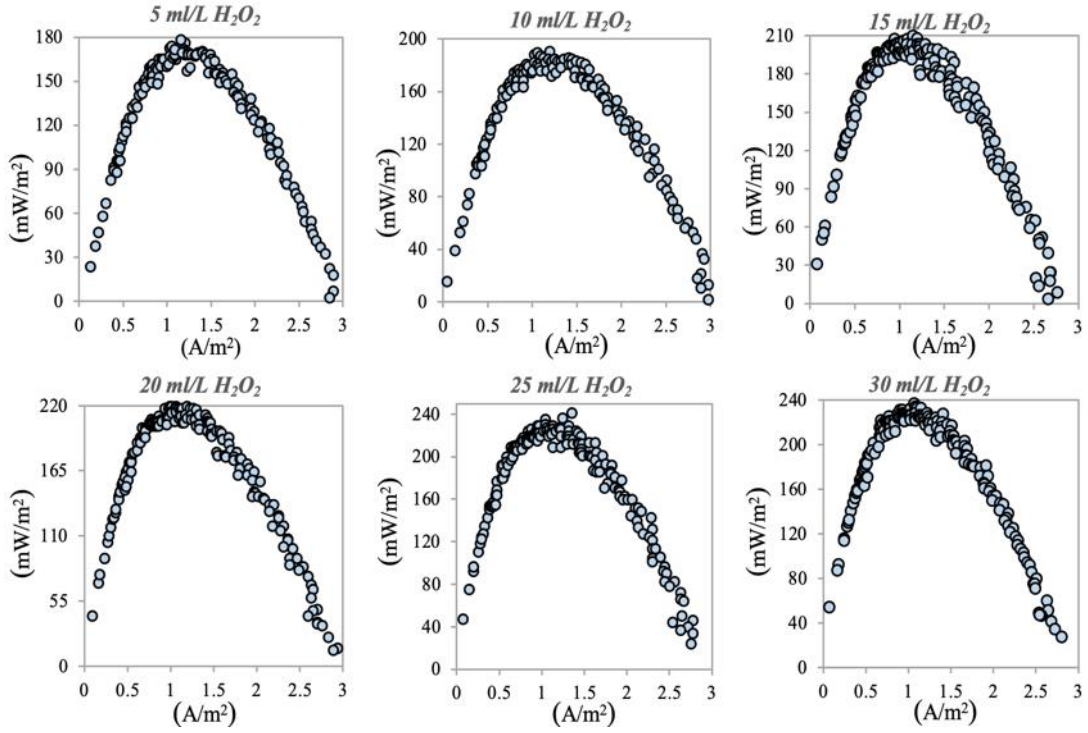
3.1.2. Güç üretimi

MYH sistemlerinde üretilen güç yoğunluğu, MYH performansını gösteren en önemli parametrelerden biridir. MYH reaktörüne alg biyokütlesinin enjekte edilmesi ile voltaj üretiminde meydana gelen artışın ardından yaklaşık olarak 180 dk'lık süre sonunda sabitlenme gözlemlenmiştir. Voltaj üretiminin sabitlendiği süreçte MYH'de güç analizi yapılmıştır. Buna karşın, ham alg biyokütlesi ile MYH-K reaktöründe üretilen güç yoğunluğunun 41.16 mW/m^2 olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. MYH-K reaktörüne ait güç eğrisi

Farklı konsantrasyonlarda H_2O_2 ön işlemleri uygulanan alg biyokütleleri ile elde edilen güç yoğunlukları Şekil 4'te verilmiştir. Karışık alg biyokütlesine 5 ml/L konsantrasyonunda H_2O_2 ön işlemleri uygulanması ile MYH-A'da üretilen güç yoğunluğu yaklaşık 178.57 mW/m^2 olarak elde edilmiş olup kontrol reaktöründe elde edilen güç yoğunluğuna kıyasla 4.3 kat yüksek olarak elde edilmiştir. H_2O_2 konsantrasyonunun 10 ml/L'ye yükseltilmesi ile MYH-A'nın güç üretimi kontrol reaktörüne kıyasla 4.6 kat artarak 190.8 mW/m^2 değerine yükselmiştir.

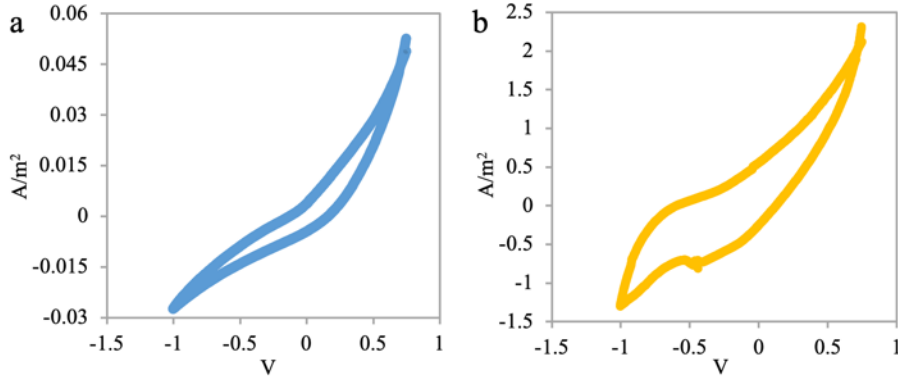


Şekil 4. Farklı H₂O₂ konsantrasyonlarının uygulandığı alg biyokütlesi ile elde edilen güç eğrileri

15, 20, 25 ve 30 ml/L H₂O₂ konsantrasyonu uygulanan alg biyokütlelerinin maksimum güç üretimi sırası ile 209.8, 227.64, 244.64 ve 233.54 mW/m² olarak elde edilmiştir. Çalışmada en yüksek güç yoğunluğu (244.64 mW/m²) 25 ml/L konsantrasyonunda H₂O₂'nin uygulandığı alg biyokütlesi ile elde edilmiştir. Bu değer kontrol biyokütlesi ile elde edilen güç yoğunluğuna kıyasla yaklaşık olarak 6 kat daha yüksektir. Literatürde Song ve ark. [32] tarafından yapılan bir çalışmada pirinç samanına sülfürik asit (H₂SO₄), sodyum hidroksit (NaOH) ve H₂O₂ kullanılarak ön işlem uygulanmış ve sediment tipi MYH'de substrat kaynağı olarak kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarda NaOH ön işleminin uygulandığı pirinç samanı ile 140 mW/m² güç yoğunluğu elde edilmiş olup bu güç değerinin kontrol beslemesine kıyasla 3.6 kat yüksek olduğu rapor edilmiştir. Geng ve ark. [33] tarafından yapılan çalışmalarda alkali ön işleminin MYH performansını iyileştirerek yüksek voltaj (0.74 V) ve güç yoğunluğu (0.65 W/m²) elde edildiği belirtilmiştir. Shen ve ark. [34] tarafından yapılmış diğer bir çalışmada mandıra gübresine 0, 300, 600 ve 900 W gücünde ultrasonik ön işlem uygulanmış ve sırası ile 29.9 mW/m², 56.2 mW/m², 102 mW/m² ve 72.6 mW/m² güç yoğunlukları elde edilmiştir. Elde edilen çalışma sonuçları ve literatür çalışmaları dikkate alındığında ön işlem uygulamasının MYH performansı üzerinde ciddi oranda bir iyileştirme potansiyelinin olduğu görülmektedir.

3.1.3. CV sonuçları

H₂O₂ ön işleminin MYH'nin anot biyofilminin elektroaktivitesi üzerine etkisini tespit etmek amacı ile MYH'lerde CV analizleri yapılmıştır. MYH-K ve MYH-A reaktörlerde işletme süresi sonunda yapılan CV analiz sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar MYH-A reaktöre ait CV analizi için elde edilen akım yoğunluğunun MYH-K reaktörüne kıyasla oldukça yüksek olduğunu göstermiştir. MYH-K reaktörü için elde edilen maksimum akım yoğunluğu 0.052 A/m² iken MYH-A reaktöründe elde edilen akım yoğunluğu 2.3 A/m² olarak elde edilmiştir.

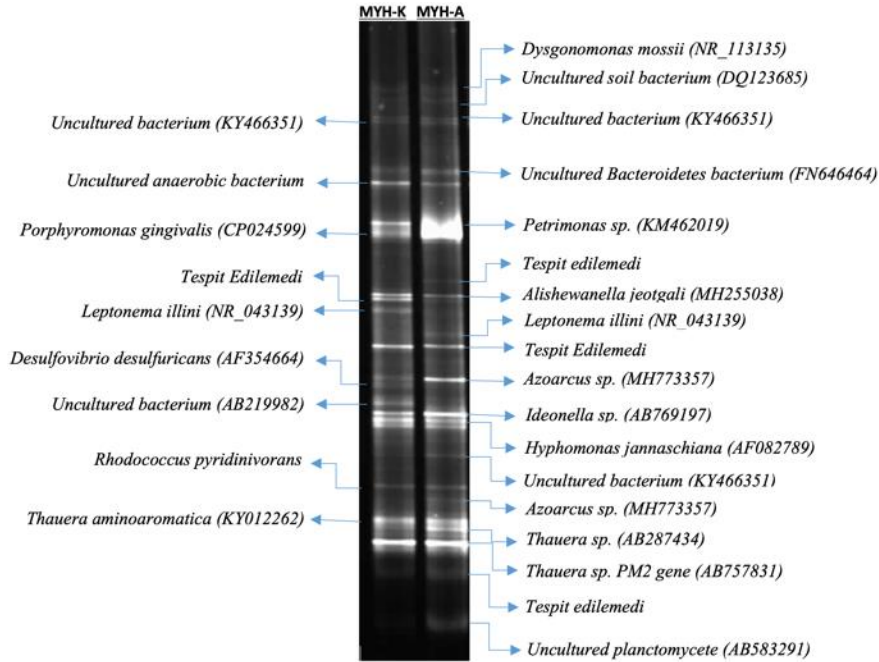


Şekil 5. MYH reaktörlerinin CV sonuçları (A: MYH-K, B: MYH-A)

Elde edilen sonuçlar MYH-A reaktörünün hem katodik hem de anodik akımının yüksek olması uygulanan ön işlemin MYH performansı üzerindeki olumlu etkisini göstermektedir. Ön işlem uygulaması alg biyokütlesinin anot mikroorganizmaları tarafından ayrıştırılmasını kolaylaştırarak anot elektrotu yüzeyinde bakteriyel çoğalmayı hızlandırmıştır. Buna bağlı olarak MYH-A'da anot biyofilm oluşumu desteklemiş ve elektroaktif bir biyofilm yapısı sağlanarak elektron transferi hızlanmıştır. Bununla birlikte alg biyokütlesinin kolay parçalanabilir organik içeriği MYH'nin akım üretimini de arttırdığı kanıtlanmıştır. Sonuç olarak CV verileri, H₂O₂ ön işlem uygulamasının alg biyokütlesinin MYH reaktöründe elektron transfer mekanizmalarını hızlandırdığını göstermiştir.

3.2. Mikrobiyal analiz sonuçları

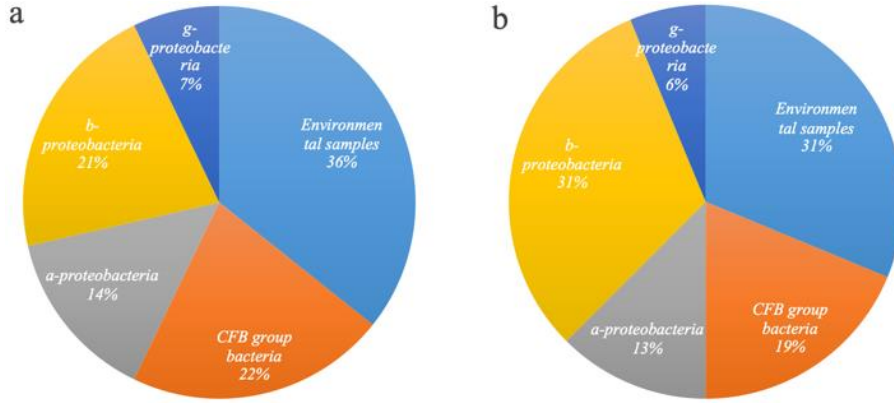
H₂O₂ ön işlem uygulamasının MYH'lerin anot biyofilminde mikrobiyal komünite üzerindeki etkisini tespit etmek amacı ile işletme süresi sonunda reaktörlerden anot biyofilm numuneleri alınmış ve PCR-DGGE analizleri uygulanmıştır. DGGE analizi sonucunda MYH'lerde toplamda 22 adet bakteriyel türün varlığı tespit edilmiştir. MYH-K ve MYH-A reaktörlerinin anot biyofilmlerinde tespit edilen bakterilere ait bantlar ve tür isimleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. MYH reaktörlerinden alınan biyofilm numunelerine ait DGGE jel görüntüsü

DGGE jel görüntüsü H₂O₂ ön işleminin MYH'lerin anot biyofilminde ortak türlerin yanı sıra farklı türlerin de baskın olduğunu göstermektedir. *Leptonema illini* (NR_043139) ve *Azoarcus sp.* (MH773357) gibi türler MYH-A reaktöründe tespit edilirken MYH-K reaktörünün anot biyofilminde tespit edilememiştir. Ayrıca tespit edilen bant yoğunlukları *Uncultured Bacteroidetes bacterium* (FN646464), *Petrimonas sp.* (KM462019), *Alishewanella jeotgali* (MH255038) ve *Azoarcus sp.* (MH773357) gibi türlerin yoğunluğunun MYH-K ve MYH-A reaktörlerinde farklı olduğunu göstermiştir. Meydana gelen farklılık, alg biyokütlesine yapılan H₂O₂ ön işleminin mikrobiyal komüniteyi etkilemesi ile açıklanabilir. MYH-K ve MYH-A reaktörlerinde sırasıyla 17 ve 19 türün baskın olduğu görülmüştür. MYH reaktörlerinde tespit edilen bakteriyel türler literatürde yapılmış MYH çalışmalarda da rapor edilmiştir. MYH-A reaktörünün anot biyofilminde tespit edilen *Azoarcus sp.* türü alkol kullanılarak elektrik üretimi yapılmış çift bölmeli bir MYH reaktörünün anot biyofilminde %17.4 oranında tespit edilmiş ve 488±12 mW/m² güç yoğunluğu rapor edilmiştir [35]. MYH-A reaktöründe tespit edilen diğer bir tür olan *Dysgonomonas mossii* Li ve ark. [36] tarafından izole edilerek MYH sisteminde elektrik üretim potansiyeli araştırılmış ve 104.3 mW/m² güç yoğunluğu rapor edilmiştir. Daha önce yapılmış MYH çalışmalarında *Thauera sp.* türü çikolata endüstrisi atıksularının arıtımının ve eş zamanlı elektrik üretiminin araştırıldığı aktif çamur tabanlı MYH sisteminde tespit edilmiştir [37].

MYH-K ve MYH-A reaktörlerinde tespit edilen baskın türlerin ait oldukları bakteri sınıfları Şekil 7'de verilmiştir. Anot biyofilmlerinde H₂O₂ ön işlemi sonrası en yüksek oranda bulunan bakteri sınıfları *Environmental samples* ve *b-proteobacteria* grubuna aittir bakterilerdir.



Şekil 7. MYH reaktörlerindeki baskın tür sınıfları (a: MYH-K ve b: MYH-A)

Elde edilen DGGE sonuçlarına göre MYH-K reaktöründe ve MYH-A reaktörlerinde mikroorganizma sınıflarının büyük bir kısmının *Environmental samples* grubundaki bakteriyel türler olduğu tespit edilmiştir. *Environmental samples* sınıfından sonra MYH'lerde en yaygın rastlanan bakteri sınıfı *b-proteobacteria*'dir. Bu sınıfa ait bakteriler MYH-K ve MYH-A reaktörlerinin anot biyofilmlerinde sırası ile %21 ve %31 oranında tespit edilmiştir. Daha önceki çalışmalarda, bu sınıfa ait bakteriler MYH sistemlerinde çok yaygın bir şekilde tespit edilmektedir. Li ve ark. [38] tarafından yapılan bir çalışmada, *b-proteobacteria* sınıfına ait bakteri türlerinin sediment tipi MYH'de baskın türler olduğu rapor edilmiştir. Diğer bir çalışmada, Zhao ve Kong [39] MYH anot biyofilm komünitesinin %47.61 oranında *b-proteobacteria* sınıfına ait bakteriler içerdiğini rapor etmiştir. Kim ve ark. [40] *b-proteobacteria* ve *g-proteobacteria* sınıfına ait bakterilerin elektroaktif türler olduğunu ve iletken biyofilm tabakası oluşturabildiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca *b-proteobacteria* sınıfına ait bakterilerin organik maddelerin ayrıştırılmasından ve elektrik üretiminden sorumlu olduğu tespit edilmiştir [41]. Anot biyofilminde tespit edilen diğer bir bakteri sınıfı ise *g-proteobacteria*'dir. Bu bakteriyel sınıf MYH-K ve MYH-A reaktörlerinde sırası ile %7 ve %6 oranında tespit edilmiştir. Wu ve ark. [42] *g-proteobacteria* sınıfına ait olan bakterilerin hücre dışı elektron transferi yapabilme yeteneğine sahip olduğunu ve bunun sonucunda MYH sisteminde yüksek güç yoğunluklarına ulaşılabilirdiğini rapor etmiştir. Sonuç olarak H₂O₂ ön işlem uygulaması belirgin bir şekilde *b-proteobacteria* sınıfına ait bakteriyel türlerin çoğalmasını desteklemiş ve bu sınıfa ait türler MYH-A'nın elektrik üretimine katkıda bulunmuştur. Ayrıca hücre dışı elektron transferi yapabilme yeteneğine sahip olan bakteriyel türleri içeren *g-proteobacteria* sınıfına ait bakteri türlerinin de varlığı tespit edilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada karışık alg biyokütlesine farklı konsantrasyonlarda H₂O₂ ön işlemleri uygulanarak MYH’de anot bölgesinde substrat kaynağı olarak kullanılmış ve ön işlemin MYH performansına katkısı araştırılmıştır. MYH’lerin güç üretimi incelendiğinde, en yüksek performans artışı 25 ml/L H₂O₂ konsantrasyonunun uygulandığı alg biyokütlesi ile 244.64 mW/m² olarak elde edilmiştir. Bu değer MYH-K reaktöründe elde edilen güç değerinden (41.16 mW/m²) 6 kat daha yüksektir. CV sonuçları, MYH-A’nın anot biyofilminin elektroaktivitesinin MYH-K reaktörünün anot biyofilmine kıyasla daha yüksek olduğunu göstermiştir. Moleküler analizler H₂O₂ ön işleminin anot biyofilm elektroaktif mikrobiyal türlerin varlığını desteklediğini ve bu durumun MYH’nin elektrik üretimine katkı sağladığını göstermiştir. Sonuç olarak H₂O₂ ön işlemleri MYH’nin güç üretimini ciddi oranda arttırmış olup MYH’lerde kullanılan zor ayrışabilir besin maddeleri için önemli bir uygulama potansiyeline sahiptir.

Teşekkür: Bu çalışma, “Farklı Ön İşlem Teknikleri Uygulanmış Alg Biyokütlesinin Mikrobiyal Yakıt Hücresinde Elektrik Üretim Performansının Araştırılması” başlıklı yüksek lisans çalışmasının bir kısmını içermektedir. M.F.H. deneysel düzeneğin hazırlanması, analizlerin yapılması, sonuçların yorumlanması ve makalenin yazılmasına katkıda bulundu. E.T. fikir sahibi, deneysel düzeneğin hazırlanması, sonuçların yorumlanması ve makalenin yazılmasına katkıda bulundu.

Kaynaklar

- [1] Love BJ, Einheuser MD, Nejadhashemi AP. Effects on aquatic and human health due to large scale bioenergy crop expansion. *Sci Total Environ* 2011; 409: 3215-3229.
- [2] Feng Y, Harper Jr WF. Biosensing with microbial fuel cells and artificial neural networks: laboratory and field investigations. *J Environ Manage* 2013; 130: 369-374.
- [3] Sinyak Y. Global climate and energy systems. *Sci Total Environ* 1994; 143: 31-51.
- [4] Zhou M, Chi M, Wang H, Jin T. Anode modification by electrochemical oxidation: A new practical method to improve the performance of microbial fuel cells. *Biochem Eng J* 2012; 60: 151-155.
- [5] Wen Q, Kong F, Zheng H, Cao D, Ren Y, Yin J. Electricity generation from synthetic penicillin wastewater in an air-cathode single chamber microbial fuel cell. *Chem Eng J* 2011; 168: 572-576.
- [6] Rabaey K, Verstraete W. Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation. *Trends Biotechnol* 2005; 23: 291-298.
- [7] Reyes KRE, Tsai P-W, Tayo LL, Hsueh C-C, Chen B-Y. Biodegradation of anthraquinone dyes: Interactive assessment upon biodecolorization, biosorption and biotoxicity using dual-chamber microbial fuel cells (MFCs). *Process Biochem* 2021; 101: 111-127.
- [8] Huang S-J, Ubando AT, Wang C-Y, Su Y-X, Culaba AB, Lin Y-A, Wang C-T. Modification of carbon based cathode electrode in a batch-type microbial fuel cells. *Biomass Bioenergy* 2021; 145: 105972.
- [9] Taşkan B. Increased power generation from a new sandwich-type microbial fuel cell (ST-MFC) with a membrane-aerated cathode. *Biomass Bioenergy* 2020; 142: 105781.
- [10] Gupta S, Nayak A, Roy C, Yadav AK. An algal assisted constructed wetland-microbial fuel cell integrated with sand filter for efficient wastewater treatment and electricity production. *Chemosphere* 2021; 263: 128132.
- [11] Blanken W, Postma PR, de Winter L, Wijffels RH, Janssen M. Predicting microalgae growth. *Algal Res.* 2016; 14: 28-38.
- [12] Barahoei M, Hatamipour MS, Afsharzadeh S. CO₂ capturing by chlorella vulgaris in a bubble column photo-bioreactor; Effect of bubble size on CO₂ removal and growth rate. *J. CO₂ Util.* 2020; 37: 9-19.
- [13] Martínez C, Mairat F, Plaza L, Sciandra A, Bernard O. Quantifying the potential of microalgae to remove nutrients from wastewater. *IFAC-PapersOnLine* 2019; 52: 287-292.
- [14] de Carvalho JC, Magalhães Jr AI, de Melo Pereira GV, Medeiros ABP, Sydney EB, Rodrigues C, Aulestia DTM, de Souza Vandenberghe LP, Soccol VT, Soccol CR. Microalgal biomass pretreatment for integrated processing into biofuels, food, and feed. *Bioresour. Technol.* 2020; 300: 122719.
- [15] Kumar MD, Kaliappan S, Gopikumar S, Zhen G, Banu JR. Synergetic pretreatment of algal biomass through H₂O₂ induced microwave in acidic condition for biohydrogen production. *Fuel* 2019; 253: 833-839.
- [16] Chavoshani A, Amin MM, Asgari G, Seidmohammadi A, Hashemi M. In *Advanced Oxidation Processes for Waste Water Treatment*. Elsevier, 2018. pp. 215-255.
- [17] Teong SP, Li X, Zhang Y. Hydrogen peroxide as an oxidant in biomass-to-chemical processes of industrial interest. *Green Chem.* 2019; 21: 5753-5780.
- [18] Eswari P, Kavitha S, Kaliappan S, Yeom I-T, Banu JR. Enhancement of sludge anaerobic biodegradability by combined microwave-H₂O₂ pretreatment in acidic conditions. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2016; 23: 13467-13479.
- [19] Ho MC, Ong VZ, Wu TY. Potential use of alkaline hydrogen peroxide in lignocellulosic biomass pretreatment and valorization – A review. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2019; 112: 75-86.

- [20] Liu J, Yu D, Zhang J, Yang M, Wang Y, Wei Y, Tong J. Rheological properties of sewage sludge during enhanced anaerobic digestion with microwave-H₂O₂ pretreatment. *Water Res.* 2016; 98: 98-108.
- [21] Rashid N, Cui Y-F, Saif Ur Rehman M, Han J-I. Enhanced electricity generation by using algae biomass and activated sludge in microbial fuel cell. *Sci Total Environ* 2013; 456-457: 91-94.
- [22] Rashid N, Cui Y-F, Rehman MSU, Han J-I. Enhanced electricity generation by using algae biomass and activated sludge in microbial fuel cell. *Sci Total Environ* 2013; 456: 91-94.
- [23] Ashok V, Shriwastav A, Bose P. Nutrient removal using algal-bacterial mixed culture. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2014; 174: 2827-2838.
- [24] Muñoz R, Jacinto M, Guieysse B, Mattiasson B. Combined carbon and nitrogen removal from acetonitrile using algal-bacterial bioreactors. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2005; 67: 699-707.
- [25] Taşkan E, Bulak S, Taşkan B, Şaşmaz M, El Abed S, El Abed A. Nitinol as a suitable anode material for electricity generation in microbial fuel cells. *Bioelectrochemistry* 2019; 128: 118-125.
- [26] Muyzer G, De Waal EC, Uitterlinden AG. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. *Appl. Environ. Microbiol.* 1993; 59: 695-700.
- [27] Muyzer G. Denaturing gradient gel electrophoresis of PCR-amplified 16S rDNA. A new molecular approach to analyze the genetic diversity of mixed microbial communities. *Molecular microbial ecology manual*: Springer, 1996.
- [28] Taskan E, Hasar H. Comprehensive comparison of a new tin-coated copper mesh and a graphite plate electrode as an anode material in microbial fuel cell. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2015; 175: 2300-2308.
- [29] Ameta SC, Ameta R. (2018) *Advanced oxidation processes for wastewater treatment: emerging green chemical technology*. ed. Academic press. Rajasthan, India: Elsevier, 2018.
- [30] Monlau F, Barakat A, Trably E, Dumas C, Steyer J-P, Carrère H. Lignocellulosic materials into biohydrogen and biomethane: impact of structural features and pretreatment. *Crit Rev Env Sci Tec* 2013; 43: 260-322.
- [31] Sivagurunathan P, Kumar G, Sen B, Lin CY. Development of a novel hybrid immobilization material (HY-IM) for fermentative biohydrogen production from beverage wastewater. *J. Chin. Chem. Soc.* 2014; 61: 827-830.
- [32] Song T-s, Hou S, Zhang J, Wang H, Xie J. Production of Electricity from Rice Straw with different Pretreatment Methods Using a Sediment Microbial Fuel Cell. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2018; 13: 461-471.
- [33] Geng Y-K, Yuan L, Liu T, Li Z-H, Zheng X, Sheng G-P. In-situ alkaline pretreatment of waste activated sludge in microbial fuel cell enhanced power production. *J. Power Sources* 2021; 491: 229616.
- [34] Shen J, Wang C, Liu Y, Hu C, Xin Y, Ding N, Su S. Effect of ultrasonic pretreatment of the dairy manure on the electricity generation of microbial fuel cell. *Biochem Eng J* 2018; 129: 44-49.
- [35] Kim JR, Jung SH, Regan JM, Logan BE. Electricity generation and microbial community analysis of alcohol powered microbial fuel cells. *Bioresour. Technol.* 2007; 98: 2568-2577.
- [36] Li Y, Sun Y, Kong X, Li L, Yang G, Yuan Z. Isolation and electricity-producing characteristics of strain *Dysgonomonas mossii*. *Trans. CSAE* 2011; 27: 181-184.
- [37] Patil SA, Surakasi VP, Koul S, Ijmulwar S, Vivek A, Shouche YS, Kapadnis BP. Electricity generation using chocolate industry wastewater and its treatment in activated sludge based microbial fuel cell and analysis of developed microbial community in the anode chamber. *Bioresour. Technol.* 2009; 100: 5132-5139.
- [38] Li T, Fang Z, Yu R, Cao X, Song H, Li X. The performance of the microbial fuel cell-coupled constructed wetland system and the influence of the anode bacterial community. *Environ. Technol.* 2016; 37: 1683-1692.
- [39] Zhao H, Kong C-H. Enhanced removal of p-nitrophenol in a microbial fuel cell after long-term operation and the catabolic versatility of its microbial community. *Chem Eng J* 2018; 339: 424-431.
- [40] Kim G, Webster G, Wimpenny J, Kim BH, Kim H, Weightman AJ. Bacterial community structure, compartmentalization and activity in a microbial fuel cell. *J. Appl. Microbiol.* 2006; 101: 698-710.
- [41] Kumar SS, Malyan SK, Basu S, Bishnoi NR. Syntrophic association and performance of *Clostridium*, *Desulfovibrio*, *Aeromonas* and *Tetrathobacter* as anodic biocatalysts for bioelectricity generation in dual chamber microbial fuel cell. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2017; 24: 16019-16030.
- [42] Wu X, Xiong X, Owens G, Brunetti G, Zhou J, Yong X, Xie X, Zhang L, Wei P, Jia H. Anode modification by biogenic gold nanoparticles for the improved performance of microbial fuel cells and microbial community shift. *Bioresour. Technol.* 2018; 270: 11-19.

Kaotik Bir Sistemin Kararlılık Sınır Eğrileri Yöntemi Kullanılarak PI Kontrolör ile Kontrolü

Hatice GÖVERCİN¹, Vedat ÇELİK^{2*}

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Elektrik Programı, Bilecik, Türkiye

² Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

¹ hatice.govercin@bilecik.edu.tr, ² celik@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 14/04/2021;

Kabul/Accepted: 03/06/2021)

Öz: Bu makalede, PI kontrolör kullanılarak kaotik Genesio-Tesi sistemin kaos kontrolü amaçlanmıştır ve PI kontrolörün tasarımı kararlılık sınır eğrileri yöntemi ile sağlanmıştır. Bu amaçla, kaotik davranış gösteren Genesio-Tesi sistemin denge noktalarındaki doğrusal matematiksel modelleri elde edilmiştir. Elde edilen matematiksel modellerden orijindeki denge noktasının modeline PI kontrolör eklenmiş ve yeni sistemin ilgili denge noktasını kararlı hale getirecek kontrolör parametre seçimi gerçekleştirilmiştir. Denge noktasını kararlı hale getirecek kontrolör parametrelerinin belirlenmesi için kararlılık sınır eğrileri yöntemi kullanılmıştır. Son olarak, denge noktasını kararlı ve kararsız hale getirecek kontrolör parametreleri için MATLAB/Simulink ortamında sistemin benzetim sonuçları elde edilmiş ve böylece sonuçların doğruluğu gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kaos kontrol, PI kontrolör, Kaotik Genesio-Tesi sistem, Kararlılık sınır eğrileri yöntemi.

Control of a Chaotic System with PI Controller by Using Stability Boundary Locus Method

Abstract: In this paper, chaos control of chaotic Genesio-Tesi system is aimed by using PI controller and the design of PI controller is provided by stability boundary locus method. For this purpose, the linear mathematical models of an equilibrium points of the Genesio-Tesi system showing chaotic behavior is obtained. PI controller is added to the model of the equilibrium point at the origin, which is one of the mathematical models obtained, and the controller parameter choose is performed to stabilize the relevant equilibrium point of the system. The stability boundary locus method is used to determine the controller parameters to stabilize the equilibrium point. Finally, simulation results of the system are obtained in MATLAB / Simulink environment for controller parameters become the equilibrium point stable and unstable, and thus, the accuracy of the results is shown.

Key words: Chaos control, PI controller, Chaotic Genesio-Tesi system, Stability boundary locus method.

1. Giriş

Kontrol sistemlerinde kullanılan PID kontrolörlerin endüstride yaygın bir şekilde kullanılması nedeni dayanıklı performans ve basit yapıya sahip olmalarıdır. PID kontrolörler genellikle pratik uygulamalarda türevsel kısmının sık kullanılmaması sebebiyle PI şeklindedirler [1]. PID tipi kontrolörlerden biri olan PI kontrolörler, oldukça basit ve birçok kontrol sistemi için çok iyi sonuçlar sağlayan yapı olarak iki parametreye sahip bir kontrolördür. Bir kontrol sisteminde temel amaçlardan biri sistemin kararlılığını sağlamak olduğundan dolayı kontrolörler tasarlanırken istenilen sistem performansını sağlamadan önce sistemin kararlı bölgede tutulmasını sağlayacak kontrolör tasarımlarının gerçekleştirilmesi gereklidir. Kontrol sistemlerinde sistemi kararlı hale getirecek tasarım yöntemlerinden biri de kararlılık sınır eğrileri yöntemidir [1-2]. Bu yöntem frekans tabanlı grafiksel bir metottur ve sistem parametrelerinin yanı sıra kontrolör parametrelerinin kararlılık uzayını belirleyebilmeyi de sağlamaktadır. Bu yöntemle tam ve kesir dereceli PID tipi kontrolörlerin doğrusal sistemlerin kararlılığını sağlayacak şekilde tasarımının, başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği gösterilmiştir [2-5].

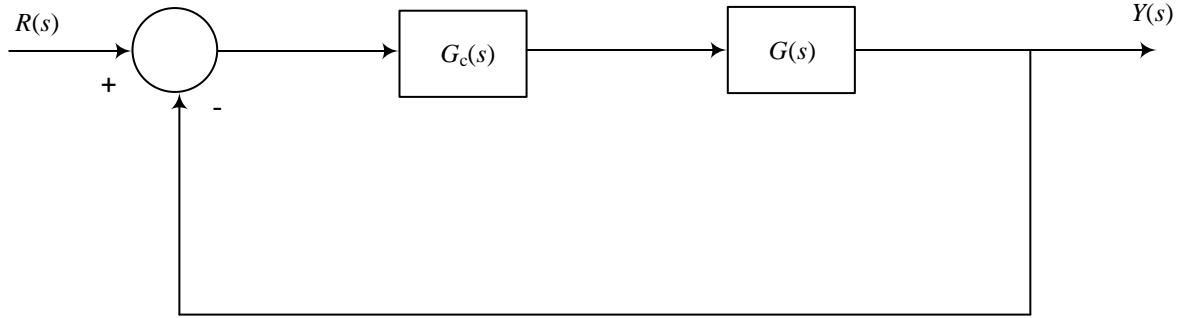
Kaos, doğrusal olmayan deterministik bir sistemde gürültü benzeri geniş güç spektrumuna sahip ve başlangıç şartlarına hassas bağlı düzensiz davranışlar olarak tanımlanmaktadır [6]. Bilimsel anlamda ilk defa 20. yüzyılın başlarında Fransız filozof Henry Poincare tarafından astronomi çalışmalarında, karmaşık bir sistemin kararlılığı ile ilgili olan kısımlarda kullanılmıştır [7]. Bir meteorolog olan Lorenz'in 1963 yılında sıvılardaki türbülans hareketi ile ilgili bir çalışma yapması ile kaos konusunda bilimsel anlamdaki ilk araştırmayı gerçekleştirmiştir [8]. Kaotik davranış gösteren sistemlerden biri de Genesio-Tesi sistemidir [9]. Bu davranış türünün güvenli haberleşme gibi istendiği uygulama alanları olduğu gibi kontrol sistemleri gibi bu davranışın gözlemlenmesinin istenmediği alanlarda vardır. Bu yüzden [10]'da kaos kontrol fikri ilk defa ortaya atılmış ve kaos kontrol önemli

* Sorumlu yazar: celik@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-5008-8870, ² 0000-0001-8870-8465

bir çalışma alanı haline gelmiştir [11]. Kaos kontrolde temel amaç kaotik yörüngeleri bir denge noktasına taşımak veya kararlı bir yörüngede tutmaktır. Bu amacı gerçekleştirmeye yönelik bazı çalışmalar şöyle sıralanabilir: [12]'de zaman gecikmeli geri besleme kullanılarak, [13]'de kaotik davranış gösteren ekonomik bir modelin durum değişkenleri ve sistem parametreleri kullanılarak, [14]'de birden fazla geri besleme kullanılarak, [15]'de kayma kipli kontrol yöntemi kullanılarak, [16]'da meta sezgisel bir optimizasyon yöntem kullanılarak ve [17]'de kesir dereceli PI kontrolör kullanılarak kaos kontrol işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalara bakıldığında, eğer kaotik sistemin sistem parametrelerine ve durum değişkenlerine pratikte erişim mümkün değilse PI kontrolör kullanımı kaos kontrolü mümkün kılabilir. Bu makalede, literatürde ilk defa doğrusal sistemler için önerilen kararlılık sınır eğrileri yöntemi kullanılarak doğrusal olmayan yapıdaki kaotik davranış gösteren Genesio-Tesi sistemin PI kontrolör kullanılarak bu davranıştan kurtarılması amaçlanmıştır. Bu girişle birlikte ikinci bölümde kararlılık sınır eğrileri yöntemiyle doğrusal sistemler için PI kontrolör tasarımı verilmiştir. Üçüncü bölümde kaotik Genesio-Tesi sistem verilmiş ve dördüncü bölümde kararlılık sınır eğrileri yöntemiyle PI kontrolör kullanılarak kaotik Genesio-Tesi sistemin kaos kontrolünün gerçekleştirilmesi MATLAB/Simulink ortamındaki benzetim sonuçlarıyla birlikte sunulmuştur. Sonuçlar bölümünde ise elde edilen sonuçlar özetlenip yorumlanmıştır.

2. Kararlılık Sınır Eğrileri Yöntemi ile PI kontrolör Tasarımı

Bu bölümde, PI kontrolörlü doğrusal kontrol sistemleri için [2]'de önerilen kararlılık sınır eğrileri yöntemi verilmiş ve kararlılık için PI kontrolör parametre uzayının nasıl elde edileceği sunulmuştur. PI kontrolör tasarımı için Şekil 1'de verilen tek girişli-tek çıkışlı birim geri beslemeli kontrol sistemi ele alınsın.



Şekil 1. Tek girişli tek çıkışlı birim geri beslemeli kontrol sistemi

Şekil 1'de $G(s)$, denklem (1)'de verilen $N(s)$ pay ve $D(s)$ payda polinomundan oluşan kontrol edilecek sistemin transfer fonksiyonudur.

$$G(s) = \frac{N(s)}{D(s)} \quad (1)$$

$G_c(s)$, denklem (2)'de verildiği gibi sistemi kontrol edecek bir PI kontrolördür.

$$G_c(s) = k_p + \frac{k_i}{s} \quad (2)$$

Denklem (2)'de yer alan k_p oransal, k_i ise integratör kazancını ifade etmektedir.

Denklem (1)'deki sistemde $s = j\omega$ için pay ve payda polinomları reel ve imajiner bileşenlerine ayrıştırılarak denklem (3) elde edilir.

$$G(j\omega) = \frac{N_e(-\omega^2) + j\omega N_o(-\omega^2)}{D_e(-\omega^2) + j\omega D_o(-\omega^2)} \quad (3)$$

Burada, N_e ve D_e ilgili polinomdaki çift dereceli bileşenleri ve N_o ve D_o ilgili polinomdaki tek dereceli bileşenleri temsil etmektedir. Aynı işlem denklem (2) için yapıldığında aşağıdaki gibi denklem (4) elde edilecektir.

$$G_C(j\omega) = \frac{j\omega k_p + k_i}{j\omega} \quad (4)$$

Bu durumda $\Delta(j\omega)$ olarak tanımlanan kapalı çevrimli sistemin karakteristik denklemi aşağıdaki gibi elde edilecektir.

$$\Delta(j\omega) = [k_i N_e(-\omega^2) - k_p \omega^2 N_o(-\omega^2) - \omega^2 D_o(-\omega^2)] + j[k_p \omega N_e(-\omega^2) + k_i \omega N_o(-\omega^2) + \omega D_e(-\omega^2)] = 0 \quad (5)$$

$\Delta(j\omega)$ reel (R_Δ) ve imajiner (I_Δ) kısımları sıfıra eşitlendiğinde denklem (6) ve (7) elde edilecektir.

$$k_p Q(\omega) + k_i R(\omega) = X(\omega) \quad (6)$$

$$k_p S(\omega) + k_i U(\omega) = Y(\omega) \quad (7)$$

Burada;

$$\begin{aligned} Q(\omega) &= -\omega^2 N_o(-\omega^2), & R(\omega) &= N_e(-\omega^2), \\ S(\omega) &= \omega N_e(-\omega^2), & U(\omega) &= \omega N_o(-\omega^2), \\ X(\omega) &= \omega^2 D_o(-\omega^2), & Y(\omega) &= -\omega D_e(-\omega^2) \end{aligned}$$

dir. Bu eşitliklerden frekansa bağlı olarak oransal ve integral kazançları sırasıyla denklem (8) ve denklem (9)'daki gibi elde edilir.

$$k_p = \frac{X(\omega)U(\omega) - Y(\omega)R(\omega)}{Q(\omega)U(\omega) - R(\omega)S(\omega)} \quad (8)$$

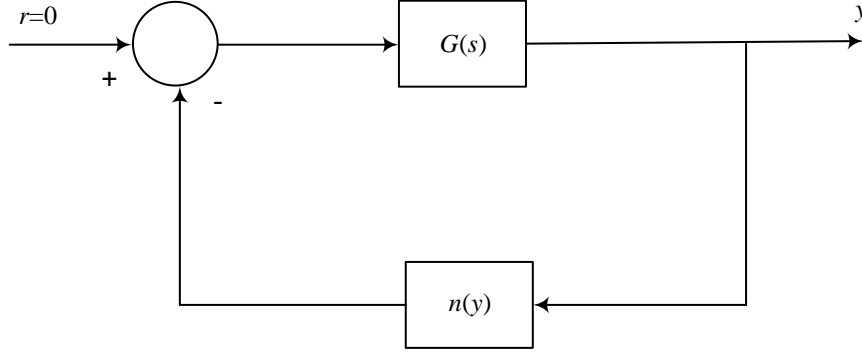
$$k_i = \frac{Y(\omega)Q(\omega) - X(\omega)S(\omega)}{Q(\omega)U(\omega) - R(\omega)S(\omega)} \quad (9)$$

Karakteristik denkleme göre üç tane sınır vardır. Bunlar karmaşık kök sınırı, reel kök sınırı ve sonsuz kök sınırı olarak adlandırılır [3]. Karmaşık kök sınırı, $\Delta_\omega(j\omega, k_p, k_i) = 0$, reel kök sınırı, $\Delta_0(0, k_p, k_i) = 0$ ve sonsuz kök sınırı, $\Delta_\infty(\infty, k_p, k_i) = 0$ olarak tanımlanır ve bu tanımlardan faydalanılarak belirlenir.

Denklem (8) ve (9) kullanılarak, kararlılık sınır eğrisi, $\ell(k_p, k_i, \omega)$, $k_p - k_i$ düzleminde çizilebilir. Elde edilen bu değişim karmaşık kök sınırınıdır. Ayrıca, $k_i = 0$ doğrusu kararlılık bölgesinin bir diğer sınırınıdır çünkü $\Delta(s)$ 'in bir reel kökü $s = 0$ 'da imajiner eksenini keser. Bu değişim reel kök sınırı olarak adlandırılır. Dolayısıyla denklem (5)'te $\omega = 0$ için I_Δ zaten sıfır olacaktır ve R_Δ sıfıra eşitlenerek $k_i = 0$ elde edilir. Bu durumda, $k_i = 0$ reel kök sınırı olacaktır. Son olarak sonsuz kök sınırının k_p, k_i kontrolör parametrelerine bağlı olmadığı karakteristik denklemden görülmektedir. Böylece sistemi kararlı yapacak PI kontrolör parametre uzayı belirlenebilir. Çünkü karmaşık kök sınırı ile $k_i = 0$ reel kök sınırı parametre düzlemini yani, $k_p - k_i$ düzlemini kararlı ve kararsız bölgelere böler. Bu bölgelerde seçilecek kontrolör parametre değerleri kullanılarak hangi bölgenin sistemi kararlı yapacak parametreler içerdiği test edilebilir.

3. Kaotik Genesio-Tesi Sistem

Bu bölümde kaotik Genesio-Tesi sistemin matematiksel modeli, denge noktaları ve kaotik davranış gösterdiği sistem parametrelerinde elde edilen durum uzay diyagramı verilecek ve ikili garip çekici formundaki kaotik davranışın oluşma şartından bahsedilecektir. Genesio-Tesi sistemi Şekil 2’de verilen blok diyagramı ile tanımlanmıştır [6].



Şekil 2. Kaotik Genesio-Tesi sistemi

Şekil 2’de doğrusal ve doğrusal olmayan sistemden oluşan bir geri beslemeli sistem gösterilmektedir [9]. Bu sistemdeki $G(s)$ ifadesi doğrusal sistem transfer fonksiyonunu, $n(y)$ ifadesi sistemin doğrusal olmayan bileşenini tanımlayan bir fonksiyonu, r giriş fonksiyonunu ve y ise çıkış fonksiyonunu temsil etmektedir.

Genesio-Tesi sistemde $G(s)$ aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$G(s) = \frac{1}{s^3 + as^2 + bs + c} \quad (10)$$

Şekil 2’de yer alan $n(y)$ doğrusal olmayan alt sistem fonksiyonu denklem (11) ile gösterilmektedir.

$$n(y) = y^3 - dy \quad (11)$$

Denklem (10) ve denklem (11)’den yararlanarak Şekil 2’de gösterilen geri beslemeli sistemin durum uzay modelini elde etmek için öncelikle denklem (10)’da verilen transfer fonksiyonunun diferansiyel denklem formu aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\ddot{y} + a\dot{y} + by + cy = r \quad (12)$$

$G(y) + n(y) = 0$ olduğundan, Şekil 2’de gösterilmekte olan doğrusal olmayan geri beslemeli sistemin diferansiyel denklem formunda matematiksel ifadesi denklem (13)’teki gibi elde edilecektir.

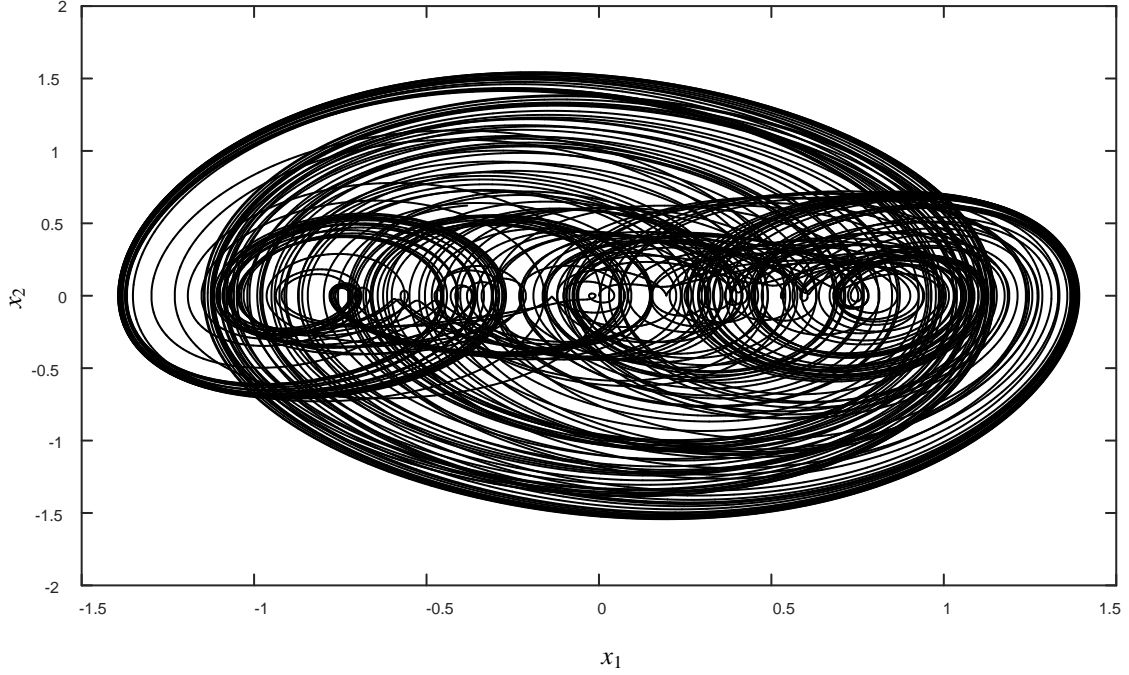
$$\ddot{y} + a\dot{y} + by + cy + y^3 - dy = 0 \quad (13)$$

Böylece, denklem (13)’te diferansiyel denklem formundaki doğrusal olmayan sistemin durum uzay modeli $y = x_1$ olmak kaydıyla aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -x_1^2 - c + d & -b & -a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Dikkat edilirse denklem (13), blok diyagramında gösterildiği gibi özerk bir sistemdir. Bu sistemin denge noktaları durum denklemlerinden $E^0(0, 0, 0)$, $E^+(\sqrt{d-c}, 0, 0)$, $E^-(\sqrt{d-c}, 0, 0)$ olarak elde edilir.

Bu sistem, $a = 0.2$, $b = 1.5$, $c = 1.2$, $d = 2$ değerleri için kaotik davranış göstermektedir. Şekil 3'te bu değerler için sistemin *MATLAB/Simulink* ortamında elde edilmiş durum uzay diyagramı gösterilmektedir.

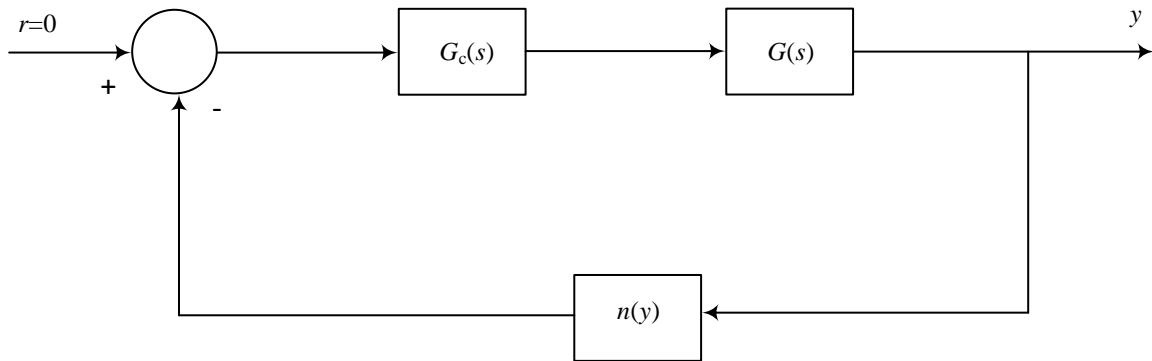


Şekil 3. Kaotik Genesisio-Tesi sistemin durum uzay diyagramı

Şekil 3'ten, verilen parametreleri için, sistemin ikili garip çekici formunda kaotik davranış gösterdiği gözlenmektedir. Bu yapıdaki kaotik sistemlerin kaotik davranış gösterebilmesi için orijindeki denge noktasının İndeks 1'in eğer noktası karakteristiğine, diğer denge noktalarının ise İndeks 2'nin eğer noktası karakteristiğine sahip olması gerekir [18]. İndeks 1'in eğer noktası sayesinde oluşan ikili kaotik çekicilerin bağlantısı sağlanmış olur.

4. Kararlılık Sınır Eğrileri Yöntemi Kullanılarak PI Kontrolör ile Kaotik Genesisio-Tesi Sistemin Kontrolü

Bu bölümde kaotik Genesisio-Tesi sistemin kontrolü için gerekli olan kontrolör tasarımı kararlılık sınır eğrileri yöntemiyle gerçekleştirilecek ve tasarlanan kontrolörün kaotik sistem üzerine etkisi simülasyon sonuçlarıyla doğrulanacaktır. Şekil 2'de verilen ve bir önceki bölümde incelenen kaotik Genesisio-Tesi sisteme PI kontrolör eklenerek sistemi kaotik davranıştan kurtarılacaktır. Şekil 4'te bu sistemin blok diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 4. PI kontrolörlü Genesisio-Tesi sistemin blok diyagramı

Şekil 4'te gösterilmekte olan geri beslemeli sistemde, kontrol edilecek sistemin transfer fonksiyonu denklem (15)'de, PI kontrolörün transfer fonksiyonu denklem (16)'da ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olan geri besleme birimi ise denklem (17)'de verilen eşitliklerdir.

$$G_c(s) = k_p + \frac{k_i}{s} \quad (15)$$

$$G(s) = \frac{1}{s^3 + as^2 + bs + c} \quad (16)$$

$$n(y) = y^3 - dy = 0 \quad (17)$$

s -domeninde analizlerin gerçekleştirilebilmesi için denklem (17)'de verilen doğrusal olmayan fonksiyonun denge noktaları civarında doğrusal modeli elde edilmelidir. Bu amaçla ilk önce denklem (17)'de verilen doğrusal olmayan fonksiyonun denge noktaları bulunmuştur. Bu denge noktalarının, $y_1 = 0$, $y_{2,3} = \pm\sqrt{d}$ olduğu görülmektedir. Denklem (17)'nin denge noktaları civarındaki doğrusal modelleri, $y_1 = 0$ denge noktası için $A_1 = -d$ ve $y_{2,3} = \pm\sqrt{d}$ denge noktaları için $A_{2,3} = 2d$ olarak elde edilir.

Eğer $y_1 = 0$ 'daki denge noktası kaotik davranış için gerekli olan İndeks 1'in eğer noktası karakteristiğinden kurtarılabilirse sistem kaotik davranıştan kurtarılacaktır. Bu yüzden orijindeki denge noktası kararlı hale getirilmeye çalışılacaktır. Bu durumda, $y_1 = 0$ denge noktasındaki doğrusal modeli kullanılarak Şekil 4'te verilen sistemin karakteristik denklemi aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\Delta(s) = 1 + G_c(s)G(s)A_1 \quad (18)$$

Transfer fonksiyonları yerine yazıldığında aşağıdaki karakteristik denklem elde edilecektir.

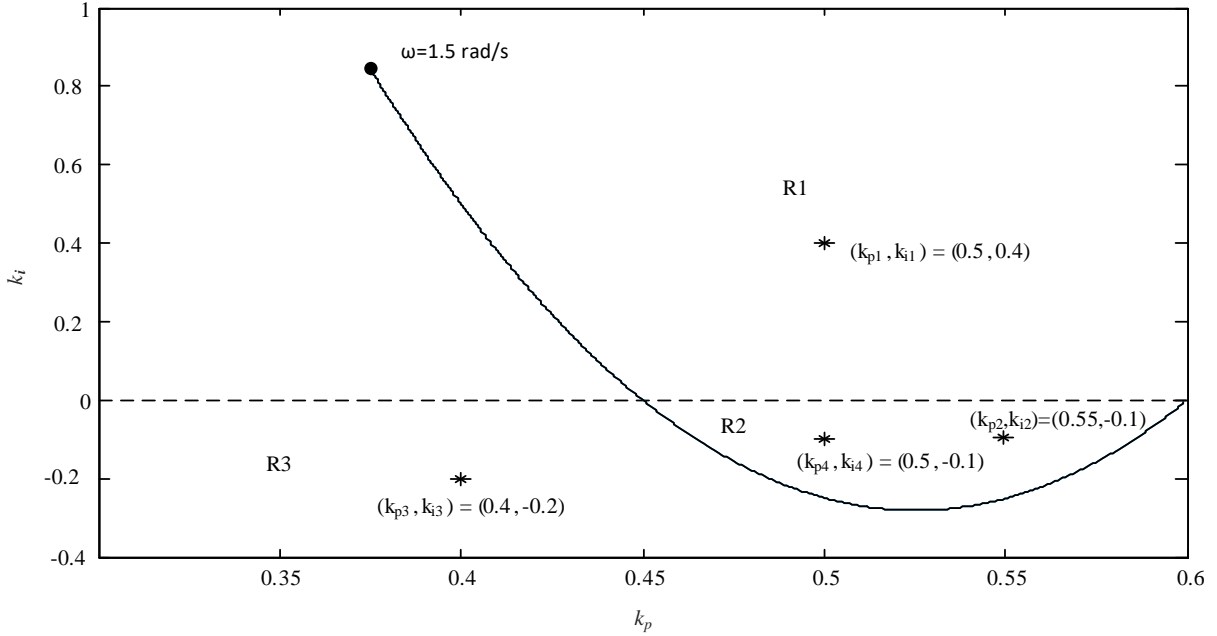
$$\Delta(s) = s^4 + as^3 + bs^2 + (c - dk_p)s - dk_i = 0 \quad (19)$$

Denklem (19)'da s yerine $j\omega$ yazılarak karakteristik denklemin çözümü gerçekleştirildiğinde Şekil 4'te verilen Genesio-Tesi sistemin $y_1 = 0$ denge noktasındaki kararlılık sınır eğrilerinin elde edilmesini sağlayacak PI kontrolörün integratör ve oransal kazançları sırasıyla aşağıdaki gibi elde edilir.

$$k_i = \frac{\omega^4 - b\omega^2}{d} \quad (20)$$

$$k_p = \frac{-a\omega^2 + c}{d} \quad (21)$$

Bir önceki bölümde Genesio-Tesi sistemin kaotik davranış gösterdiği, $a = 0.2$, $b = 1.5$, $c = 1.2$, $d = 2$, parametreler kullanılarak $y_1 = 0$ 'daki denge noktasını kararlı hale getirecek PI kontrolör kazançlarını elde etmek için kararlılık sınır eğrileri, $\ell(k_p, k_i, \omega)$, belirli frekans aralıkları için (k_p, k_i) düzleminde denklem (20) ve (21)'den faydalanılarak *MATLAB* ortamında Şekil 5'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 5. Şekil 4'te verilen sistemin denge noktasındaki doğrusal modeli için kararlılık sınır eğrisi

Şekil 5'te elde edilen değişim karmaşık kök sınırıdır. $k_i = 0$ ise reel kök sınırı olacaktır ve kesikli çizgiler ile şekil üzerinde gösterilmiştir. Bu sistem için sonsuz kök, k_p, k_i parametrelerine bağlı olmadığından sonsuz kök sınırı mevcut değildir. Böylece, karmaşık kök ve reel kök sınırları arasında kalan bölgenin kararlı olması beklenir. Ancak, bu bölgelerin test edilmesi gerekecektir. Bunun için (k_p, k_i) düzlemi üzerinde R1, R2 ve R3 olarak adlandırılan üç bölgede test noktaları belirlenmiştir.

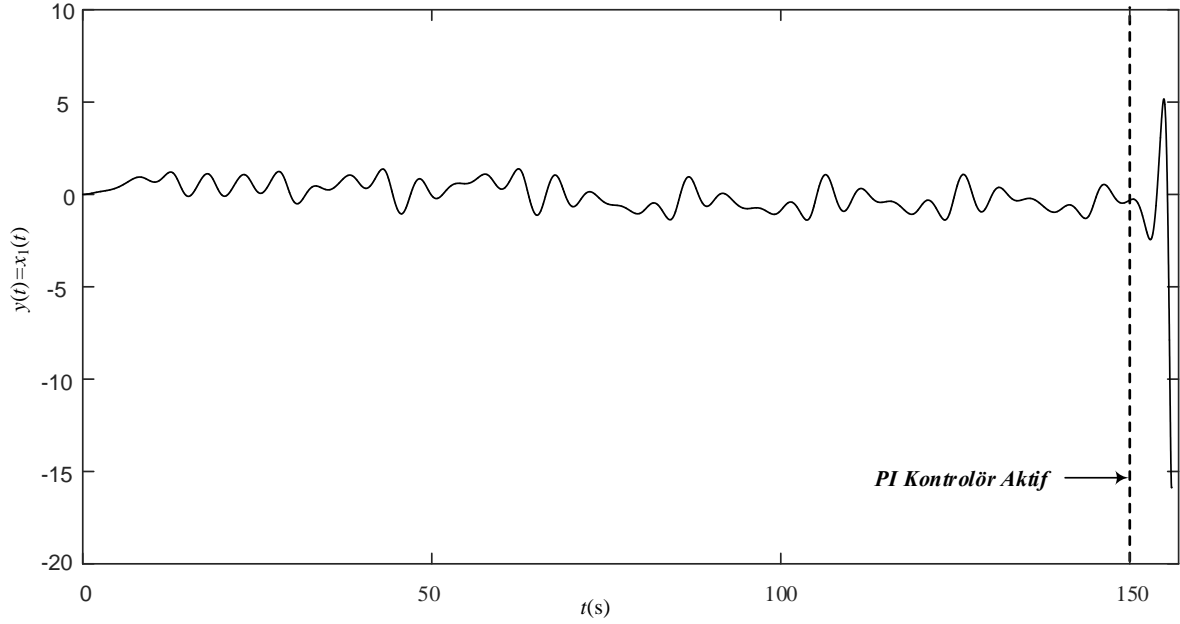
Şekil 5'te R1 bölgesi içinde $k_{p1} = 0.5$, $k_{i1} = 0.4$ test noktası için karakteristik denklem aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\Delta(s) = s^4 + 0.2s^3 + 1.5s^2 + 0.2s - 0.8 = 0 \quad (22)$$

Bu durumda, karakteristik denklemin kökleri yani kapalı çevrim sistemin kutupları aşağıdaki gibi elde edilecektir.

$$\begin{aligned} s_1 &= -0.0391 + j1.3813 \\ s_2 &= -0.0391 - j1.3813 \\ s_3 &= -0.7111 \\ s_4 &= 0.5892 \end{aligned}$$

Dikkat edilirse, s_4 sağ yarı s -düzleminde bir kutba karşılık gelmektedir. Bu yüzden, R1 bölgesi içindeki $k_{p1} = 0.5, k_{i1} = 0.4$ test noktası kararsızdır. Bu sonuç R1 bölgesinin kararsız parametre uzayına karşılık geldiği anlamına gelmektedir. Şekil 6'da R1 bölgesi içinde seçilen test noktası için *MATLAB/Simulink* ortamında sistem çıkış işaretinin, kontrolörün belirli bir zamanda aktif edilmesi durumuna göre değişimi elde edilmiştir.



Şekil 6. R1 bölgesi içinde seçilen $k_{p1} = 0.5, k_{i1} = 0.4$ test noktası için sistemin zaman cevabı

Burada 150.s'de PI kontrolör devreye girmesine rağmen sistemin kaotik davranıştan kararsız bir davranışa geçtiği görülmektedir.

Şekil 5'teki R2 bölgesi içinde $k_{p2} = 0.55, k_{i2} = -0.1$ test noktası için karakteristik denklem aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\Delta(s) = s^4 + 0.2s^3 + 1.5s^2 + 0.1s + 0.2 = 0 \quad (23)$$

Bu durumda, sistemin kutupları aşağıdaki gibi elde edilecektir.

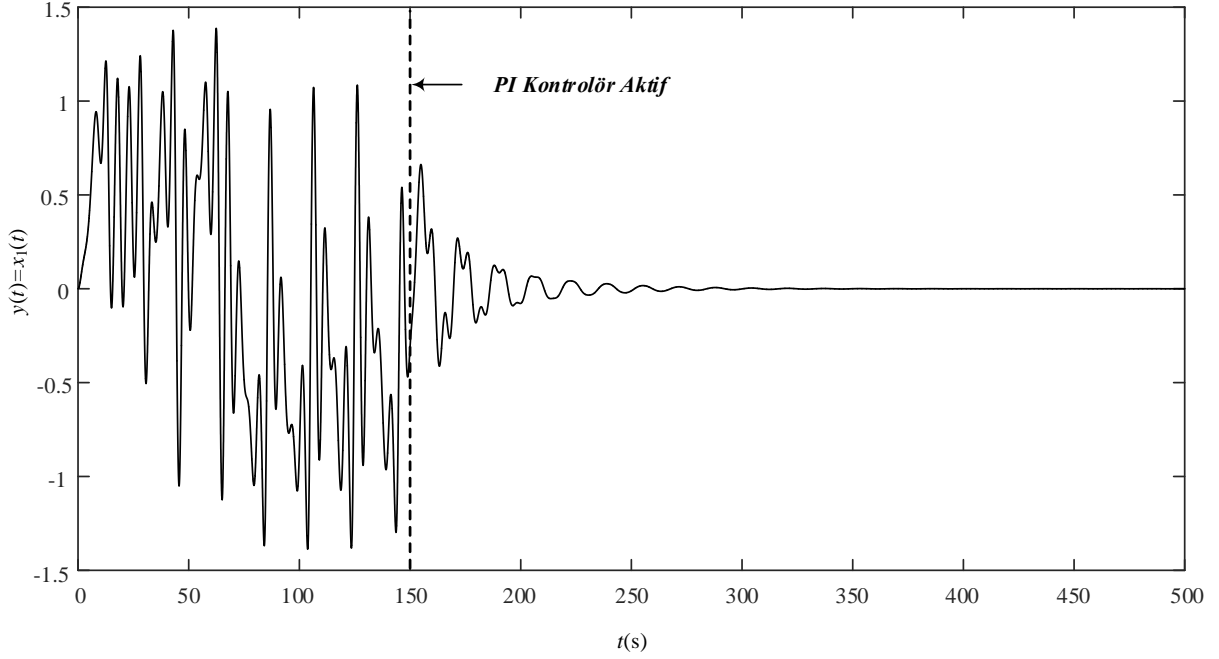
$$s_1 = -0.0706 + j1.1566$$

$$s_2 = -0.0706 - j1.1566$$

$$s_3 = -0.0294 + j0.3848$$

$$s_4 = -0.0294 - j0.3848$$

Dikkat edilirse, tüm kutuplar sol yarı s -düzleminindedir. Bu yüzden, R2 bölgesi içindeki $k_{p2} = 0.55, k_{i2} = -0.1$ test noktası kararlıdır. Bu sonuç R2 bölgesinin kararlı parametre uzayına karşılık geldiği anlamına gelmektedir. Şekil 7'de R2 bölgesi içinde seçilen kontrolör parametreleri için *MATLAB/Simulink* ortamında sistem çıkış işaretinin, kontrolörün belirli bir zamanda aktif edilmesi durumuna göre değişimi elde edilmiştir.



Şekil 7. R2 Bölgesi içinde seçilen $k_{p2} = 0.55, k_{i2} = -0.1$ test noktası için sistemin zaman cevabı

Şekil 7 incelendiğinde 150. saniyede PI kontrolörün devreye girdiği ve sistemdeki kaotik davranışının kontrolünün bu andan itibaren sağlanarak sistem çıkış işaretinin geçici durum davranışından sonra zamana göre kararlı bir davranış gösterdiği görülmektedir.

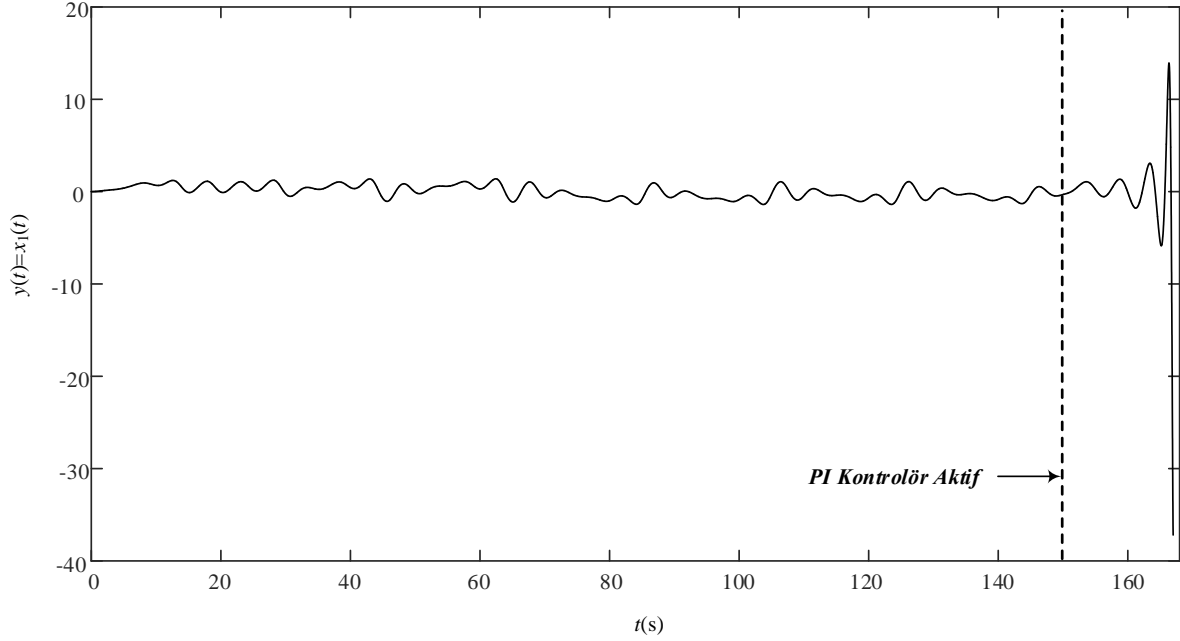
Şekil 5'teki R3 bölgesi içinde $k_{p3} = 0.4, k_{i3} = -0.2$ test noktası için karakteristik denklem aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\Delta(s) = s^4 + 0.2s^3 + 1.5s^2 + 0.4s + 0.4 = 0 \quad (24)$$

Bu durumda, sistemin kutupları aşağıdaki gibi elde edilecektir.

$$\begin{aligned} s_1 &= 0.0833 + j1.1095 \\ s_2 &= 0.0833 - j1.1095 \\ s_3 &= -0.1833 + j0.5381 \\ s_4 &= -0.1833 - j0.5381 \end{aligned}$$

Elde edilen kutuplara bakıldığında, iki kutup sağ yarı s -düzleminindedir. Bu yüzden, R3 bölgesi içindeki $k_{p3} = 0.4, k_{i3} = -0.2$ test noktası kararsızdır. Bu sonuç R3 bölgesinin kararsız parametre uzayına karşılık geldiği anlamına gelmektedir. Şekil 8'de R3 bölgesi içinde seçilen kontrolör parametreleri için *MATLAB/Simulink* ortamında sistem çıkış işaretinin, kontrolörün belirli bir zamanda aktif edilmesi durumuna göre değişimi elde edilmiştir.



Şekil 8. R3 Bölgesi içinde seçilen $k_{p3} = 0.4, k_{i3} = -0.2$ test noktası için sistemin zaman cevabı

Şekil 8’de görüldüğü gibi 150.s’de PI kontrolör devreye girmesine rağmen sistemin kaotik davranıştan kararsız bir davranışa geçtiği görülmektedir.

Son olarak, Şekil 5’teki R2 bölgesi içerisinde farklı bir nokta olan $k_{p4} = 0.5, k_{i4} = -0.1$ için karakteristik denklem aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\Delta(s) = s^4 + 0.2s^3 + 1.5s^2 + 0.2s + 0.2 = 0 \quad (25)$$

Bu kontrolör parametreleri için sistemin kutupları aşağıdaki gibi elde edilecektir.

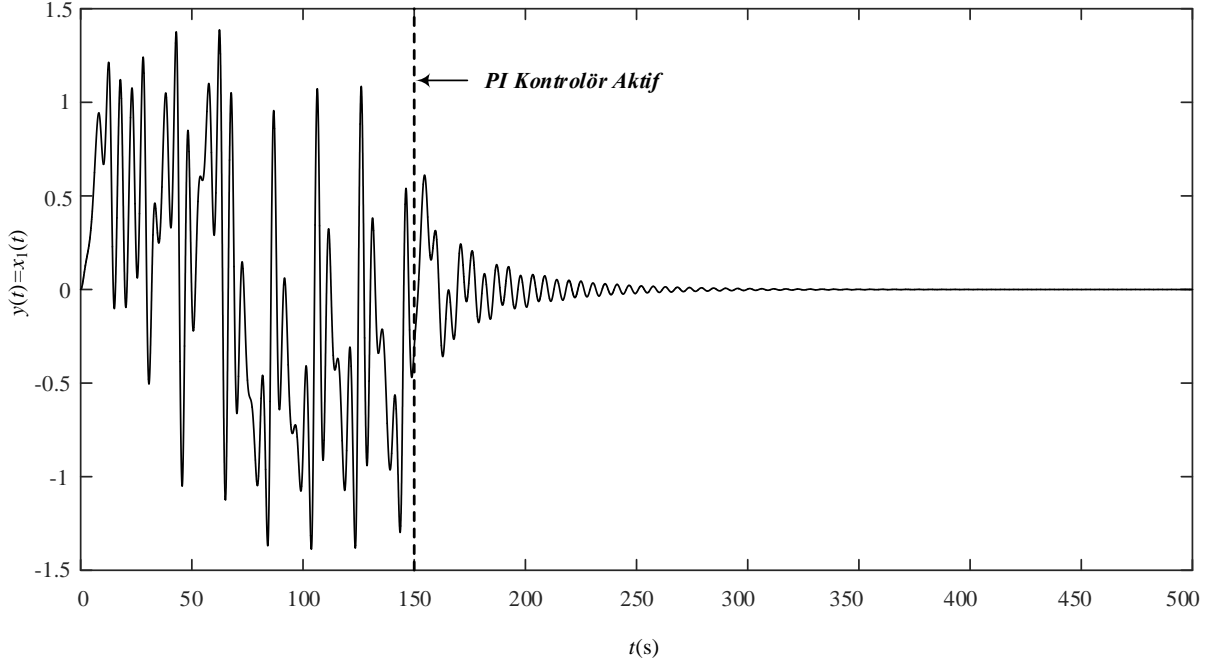
$$s_1 = -0.0287 + j1.1585,$$

$$s_2 = -0.0287 - j1.1585$$

$$s_3 = -0.0713 + j0.3793$$

$$s_4 = -0.0713 - j0.3793$$

Tüm kutuplar sol yarı s -düzleminde olduğu için R2 bölgesi içindeki $k_{p4} = 0.5, k_{i4} = -0.1$ noktası kararlıdır. Bu sonuç R2 bölgesinin kararlı parametre uzayına karşılık geldiğini bir kez daha doğrulamaktadır. Şekil 9’da R2 bölgesi içinde seçilen kontrolör parametreleri için *MATLAB/Simulink* ortamında sistem çıkış işaretinin, kontrolörün belirli bir zamanda aktif edilmesi durumuna göre değişimi elde edilmiştir.



Şekil 9. R2 Bölgesi içinde seçilen $k_{p4} = 0.5, k_{i4} = -0.1$ test noktası için sistemin zaman cevabı

Şekil 9'da 150. saniye de PI kontrolörün devreye girdiği ve sistemin kaotik davranışının kontrolünün bu andan itibaren sağlanarak sistem çıkış işaretinin zamana göre kararlı bir davranış gösterdiği görülmektedir. Dikkat edilirse, sistemin geçici durum davranışı sönümlü bir osilasyon yaparak sifıra girmektedir. Bunun sebebi sistemin dominant kutuplarının kompleks eşlenik olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum Şekil 7'de elde edilen değişim için de geçerlidir.

Elde edilen sonuçların genel bir değerlendirmesi yapıldığında $k_p - k_i$ düzleminde elde edilen karmaşık kök sınırı, $\ell(k_p, k_i, \omega)$ ve reel kök sınırı, $k_i = 0$ arasında kalan R2 bölgesi içerisinde seçilecek herhangi bir PI kontrolör parametre değeri için kaotik davranış gösteren Genesisio-Tesi sistemin kaotik davranıştan kurtarılacağı görülmüştür.

5. Sonuç

Bu makalede, kaotik davranış gösteren Genesisio-Tesi sistem PI kontrolör kullanılarak kaotik davranıştan kurtarmak amaçlanmıştır. Bu amaçla, kaotik davranış gösteren Genesisio-Tesi sistemin orijindeki denge noktası için doğrusal modeli elde edilmiş ve elde edilen model kullanılarak orijindeki denge noktasını kararlı hale getirecek kontrolör parametreleri belirlenmiştir. Denge noktasını kararlı hale getirecek kontrolör parametrelerinin belirlenmesi için kararlılık sınır eğrileri yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların doğruluğunu göstermek için MATLAB/Simulink ortamında sistemin benzetim sonuçları ayrıca sunulmuştur. Bu sonuçlara göre kaotik sistemi kontrol etmek için belirlenen denge noktasını kararlı hale getirecek PI kontrolör parametreleri için sistem kaotik davranıştan kurtulurken diğer kontrolör parametreleri için sistem kararsız bir davranış göstermiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar, doğrusal sistemlerin kontrolü için önerilen kararlılık sınır eğrileri yönteminin doğrusal olmayan sistemlere de uygulanabileceğini ve mevcut kaos kontrol yöntemlerine bir alternatif olabileceğini de göstermiştir.

Kaynaklar

- [1] Astrom K.J. and Hagglund T., 2001. The Future of PID control. Control Engineering Practice, 9, 1163-1175.
- [2] Tan, N., Kaya, I., Yeroglu, C., and Atherton, D. P., 2006. Computation of stabilizing PI and PID controllers using the stability boundary locus, Energy Conversion and Management, 47, 3045-3058.
- [3] Hamamci, S. E., 2007. An algorithm for stabilization of fractional-order time delay systems using fractional-order PID controllers, IEEE Trans Automat Contr, 52(10), 1964-1969.

- [4] Özdemir, M. T., Çelik, V., 2017. Stability analysis of the automatic voltage regulation system with PI controller, Sak. Univ. J. Sci., 21(4), 698–705.
- [5] Çelik, V., Özdemir, M.T., Bayrak, G., 2017. The effects on stability region of the fractional-order PI controller for one-area time-delayed loadfrequency control systems, Trans Inst Meas Contr, 39(10), 1509-1521.
- [6] Strogatz, S. H., 1994. *Nonlinear Dynamics and Chaos*, Westview Press.
- [7] Isham, V., 1992. Discussion on the meeting on chaos, Journal of Royal Statistical Society, 54(2), 451-454.
- [8] Lorenz, E.N., 1963. Deterministic non-periodic flow, Journal of the Atmospheric Sciences, 20(2), 130-141.
- [9] Genesio, R., Tesi, A., 1991. Chaos prediction in nonlinear feedback systems, IEE proceedings D-control theory and applications, 138 (4), 313-320.
- [10] Ott, E., Grebogi, C., Yorke, J. A., 1990. Controlling chaos, Phys. Rev. Lett., 64, 1196–1199.
- [11] Kapitaniak T., 1996. *Controlling Chaos: Theoretical and practical methods in nonlinear dynamics*, Academic Press Inc.
- [12] Pyragas K., 1992. Continuous control of chaos by self-controlling feedback. Phys Lett A, 170, 421–428.
- [13] Holyst, J. A., Urbanowicz K., 2000. Chaos control in economical model by time-delayed feedback method, Physica A, 287, 587–598.
- [14] Yassen, M.T., 2003. Chaos control of Chen chaotic dynamical system, Chaos, Solitons and Fractals, 15, 271–283.
- [15] Nazzal, J. M., Natsheh, A. N., 2007. Chaos control using sliding-mode theory, Chaos, Solitons and Fractals, 33, 695–702.
- [16] Zelinka, I., Senkerik, R., Navratil, E., (2009). Investigation on evolutionary optimization of chaos control, Chaos, Solitons and Fractals, 40, 111–129.
- [17] Çelik, V., Demir Y., 2010. Effects on the chaotic system of fractional order PI^α controller, Nonlinear Dynam, 59(1–2), 143-159.
- [18] Tavazoei, M. S., Haeri, M., 2008. A necessary condition for double scroll attractor existence in fractional-order systems, Physics Letters A, 367(1–2), 102–113.

$\mathbb{Q}_2^3 \subset E_2^4$ Lightlike Koni 3-Uzayında Null Eğrilerin Elastik Olmayan Akış (Inextensible Flow) Eğrileri

Fatma ALMAZ^{1*}, Mihriban ALYAMAÇ KÜLAHÇI²

^{1,2} Matematik Bölümü, Fen Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE
^{*1} fb_fatalmaz@hotmail.com, ² malyamac@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 31/01/2021;

Kabul/Accepted: 30/07/2021)

Öz: Bir eğri veya yüzey akışı eğer yay uzunluğu ve eğrilik korunursa uzatılamaz olarak adlandırılır. Fiziksel anlamda, elastik olmayan eğri (inextensible flows) ve yüzey akışları herhangi bir gerilme enerjisinin yokluğu ile karakterize edilir. Bu çalışmada 2 indeksli 4 boyutlu $\mathbb{Q}_2^3 \subset E_2^4$ lightlike koni uzayında doğal Frenet çatısı kullanılarak ifade edilen bir null $x: I \rightarrow \mathbb{Q}_2^3 \subset E_2^4$ eğrisinin elastik olmayan akışı (inextensible flows) ifade edilerek matematiksel açıdan bazı karakterizasyonları verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Elastik olmayan akış (inextensible flow), $\mathbb{Q}_2^3 \subset E_2^4$ Lightlike koni uzayı, null eğri.

The Inextensible Flows of Null Curves in the Lightlike Cone $\mathbb{Q}_2^3 \subset E_2^4$

Abstract: A curve or surface flow is called inextensible if arc length and curvature are preserved. In a physical sense, inextensible flows and surface flows are characterized by the absence of any strain energy. In this study, the inextensible flows of a null $x: I \rightarrow \mathbb{Q}_2^3 \subset E_2^4$ curve expressed using the natural Frenet framework in the 4-dimensional lightlike cone space $\mathbb{Q}_2^3 \subset E_2^4$ with 2 index are given some mathematical characterizations.

Key words: Inextensible flow, $\mathbb{Q}_2^3 \subset E_2^4$ Lightlike cone space, null curve.

1. Giriş

Yarı Riemann manifoldlarının incelenmesi, diferansiyel geometri ve fizikte, özellikle de görelilik teorisinde önemli bir rol oynamaktadır. Öyleki matematiksel olarak ifade etmeye çalıştığımız elastik olmayan eğri (inextensible flow) kavramı ve dolayısıyla da yüzey akışları fiziksel olarak hareketlere neden olmaktadır. Örneğin hiçbir gerilme enerjisi olmadan rüzgar tarafından taşınan bir kağıt parçası elastik olmayan eğri (inextensible flow) ve yüzey akışları ile tarif edilebilir ki bu tür hareketler oldukça doğal bir şekilde günlük yaşantımızda fizik yasaları altında gerçekleşen sadece birkaç fenomenen biridir.

Öncelikli olarak elastik olmayan akışlar (inextensible flow) Öklid 3-uzayında Körpınar tarafından incelenmiştir, [11]. Akabinde Öklid n-uzayında elastik olmayan akışlar için bazı karakterizasyonlar ifade edilmiştir [13]. Ayrıca, birçok araştırmacı farklı uzaylarda elastik olmayan akışları inceleyerek çalışmışlardır [6, 10, 11]. Ayrıca, yazarlar tarafından $M^3(\delta_0)$ uzayının alt uzayı olan Sitter 3-uzayı veya Anti de Sitter 3-uzayı üzerinde Sabban çatısına göre dejenere olmayan eğriler kullanılarak slant helisler incelenmiştir [4]. Abazari ve diğerleri tarafından 1 indeksli lightlike konide spacelike eğriler için bazı durumlar incelenmiştir [1]. Liu tarafından lightlike konide eğriler üzerine bazı temel ifadeler verilmiştir [16]. Ayrıca, lightlike koni uzayında farklı tipden eğriler [2, 3, 12, 13] çalışmalarında ele alınmıştır. Uygulama alanlarında elastik olmayan eğri (inextensible flows) ve yüzey akışları, bilgisayar destekli ve bilgisayar animasyonu gibi ve hatta mekanik ile ilgili bir çok alanda problem olarak ortaya çıkmakta ve araştırmacılar tarafından ele alınmıştır [7, 8, 20, 21].

2. Ön bilgiler

E_s^m uzayı ($s, m - s$) işaretine sahip m -boyutlu pseudo-Öklid uzayı, standart koordinat sistemi (x_1, x_2, x_3, x_4) olmak üzere \langle, \rangle metriği ile verilen \mathbb{R}^m reel vektör uzayı olup,

$$\langle, \rangle_s = - \sum_{i=1}^s (dx_i)^2 + \sum_{i=s+1}^m (dx_i)^2 \quad (1)$$

* Sorumlu yazar: fb_fatalmaz@hotmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-1060-7813, ² 0000-0002-8621-5779

metriği ile ifade edilir. E_s^m de bir v vektörü

- i) Eğer $\langle v, v \rangle_s > 0$ veya v sıfır ise space-like,
- ii) Eğer $\langle v, v \rangle_s < 0$ ise time-like,
- iii) Eğer $\langle v, v \rangle_s = 0$ ise null (veya lightlike) olarak adlandırılır.

E_s^m de I açık aralık olmak üzere regüler bir eğri $\alpha: I \rightarrow E_s^m, \forall t \in I$ olsun $\left(\alpha'(t) \neq \frac{d\alpha}{dt}\right)$. Bu durumda, eğer $\langle \alpha'(t), \alpha'(t) \rangle > 0, \langle \alpha'(t), \alpha'(t) \rangle = 0$ veya $\langle \alpha'(t), \alpha'(t) \rangle < 0$ eşitlikleri sağlanıyorsa eğri sırasıyla space-like, null veya time-like olarak adlandırılır. Ayrıca, E_s^m de bir v vektörünün normu $\|v\| = \sqrt{|\langle v, v \rangle|}$ şeklinde tanımlanır. Bu bağlamda $E = \mathbb{R}$ alınıp elde edilen \mathbb{R}_s^m uzayı için üç farklı hiperyüzey vardır. Öyle ki E_s^m uzayında sırasıyla;

- 1) $r > 0$ yarıçaplı, $x_0 \in E_s^m$ merkezli bir pseudo-Riemannian küre $S_s^{m-1}(x_0, r)$

$$S_s^{m-1}(x_0, r) = \{x \in E_s^m: \langle x - x_0, x - x_0 \rangle = r^2\};$$

- 2) $r > 0$ yarıçaplı, $x_0 \in E_s^m$ merkezli bir pseudo-hiperbolik uzayı $H_{s-1}^{m-1}(x_0, r)$

$$H_{s-1}^{m-1}(x_0, r) = \{x \in E_s^m: \langle x - x_0, x - x_0 \rangle = -r^2\}$$

ile verilir. Ayrıca, $S_s^{m-1}(x_0, r)$ pseudo-Riemannian küre $\mathbb{R}^s \times S^{m-1-s}$ uzayına, $H_{s-1}^{m-1}(x_0, r)$ pseudo-hiperbolik uzayı ise $S^{s-1} \times \mathbb{R}^{m-s}$ uzayına diffeomorftir. Ayrıca, $H^{m-1}(x_0, r)$ Hiperbolik uzayı

$$H_{s-1}^{m-1}(x_0, r) = \{x \in E_s^m: \langle x - x_0, x - x_0 \rangle = -r^2, x_1 > 0\}$$

ile verilir. Genelliği bozmaksızın, $E = \mathbb{R}$ alınarak $m = 4$ ve $s = 2$ değerlerine karşılık elde edilen 2 indekse sahip 4-boyutlu semi Öklid uzayı \mathbb{R}_2^4 için 3 tip hiperyüzey vardır. Öyle ki

- 1) Anti-de Sitter ve de Sitter uzayı sırasıyla

$$H_1^3 = \{x \in \mathbb{R}_2^4: g(x, x) = -1\} \text{ and } S_2^3 = \{x \in \mathbb{R}_2^4: g(x, x) = 1\} \quad (2)$$

ile tanımlanır.

- 2) Lightlike koni uzayı

$$\mathbb{Q}_2^3 = \{x \in \mathbb{R}_2^4: g(x, x) = 0\} \quad (3)$$

ile verilir. \mathbb{R}_2^4 de I açık aralık olmak üzere her $t \in I$ regüler bir eğri $x: I \rightarrow \mathbb{R}_2^4$ olsun $\left(x'(t) \neq \frac{dx}{dt}\right)$. Bu durumda, eğer $\langle x'(t), x'(t) \rangle > 0, \langle x'(t), x'(t) \rangle = 0$ veya $\langle x'(t), x'(t) \rangle < 0$ eşitlikleri sağlanıyorsa eğri sırasıyla space-like, null veya time-like olarak adlandırılır.

Eğer x time-like veya space-like bir eğri ise non-null olarak adlandırılır ve eğri için $x'(t)$ vektörü tanjant vektör olarak isimlendirilir. Bu nedenle bir non-null eğrisinin yay uzunluğu $s(t) = \int_{t_0}^t \|x'(t)\| dt$ ile bulunur.

Böylece x eğrisinin yay parametresi s ile gösterilir ve $\left(\frac{dx}{ds}, \frac{dx}{ds}\right) = \varepsilon = \pm 1$ şeklinde yazılır. Herhangi bir null eğri için t parametresinde $\varepsilon = 0$ olur [14], null x eğrisi için aşağıdaki ifadeleri sağlayacak şekilde $\{x(t), \xi(t), N(t), W(t)\}$ doğal Frenet çatısından bahsedilebilir.

$$\langle x(t), x(t) \rangle = \langle x(t), \xi(t) \rangle = \langle x(t), N(t) \rangle = 0; \langle \xi(t), \xi(t) \rangle = \langle \xi(t), B(t) \rangle = 0 \quad (4a)$$

$$\langle N(t), N(t) \rangle = \langle W(t), W(t) \rangle = \langle W(t), N(t) \rangle = 0; \langle \xi(t), N(t) \rangle = \langle x(t), B(t) \rangle = 1 \quad (4b)$$

burada $\xi(t)$ teğet vektör, $N(t)$ vektörü $\xi(t)$ 'ye transversal vektör olup $W(t)$ vektörü ise $x(t)$ vektörüne transversal vektördür [19]. Dolayısıyla da doğal Frenet çatı vektörleri

$$\begin{aligned} x'(t) &= \xi(t) \\ \xi'(t) &= h(t)\xi(t) + k_1(t)x(t) \\ N'(t) &= -h(t)N(t) + k_2(t)x(t) - W(t) \\ W'(t) &= -k_2(t)\xi(t) - k_1(t)N(t) \end{aligned} \quad (5)$$

şeklinde verilir ve bu çatı \mathbb{Q}_2^3 lightlike koni uzayında x null eğrisinin doğal Frenet denklemleri olarak adlandırılır. Ayrıca, h, k_1, k_2 fonksiyonları x eğrisinin eğrilik fonksiyonları olup sırasıyla

$$h(t) = \langle x''(t), N(t) \rangle, k_1(t) = \langle x''(t), W(t) \rangle, k_2(t) = \langle N'(t), W(t) \rangle \quad (6)$$

şeklinde ifade edilir [9].

Definition 1 \mathbb{Q}_2^3 uzayında bir null eğri x olmak üzere doğal Frenet çatısı $\{x, \xi, N, W\}$ şeklinde verilsin. Bu durumda null eğrinin akış(flow) ifadesi

$$\frac{dx}{dt} = m_0x + m_1\xi + m_2N + m_3B; m_i \in C^\infty \quad (7)$$

şeklinde verilir.

3. \mathbb{Q}_2^3 uzayında null eğrilerin elastik olmayan akışları (Inextensible Flows) üzerine inceleme

\mathbb{Q}_2^3 lightlike koni uzayında bir null eğri x olmak üzere eğrinin yay parametresi

$$s(u) = \int_0^u \left\| \frac{dx}{dt} \right\| du$$

ile verilir. Ayrıca, $v = \left\| \frac{dx}{dt} \right\|$ ifadesi $\frac{\partial}{\partial s} = \frac{1}{v} \frac{\partial}{\partial u}$ şeklinde u parametresine göre ifade edilebilir. Bu durumda $s(u, t) = \int_0^u v du$ yazılabilir. Ayrıca, $x(u, t)$ null eğrisinin $\frac{dx}{dt}$ akış(flow) değeri için $\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{dx}{du} \right) = 0$ eşitliği sağlanıyorsa $\frac{dx}{dt}$ akış(flow) elastik olmayan(inextensible) eğri olarak ifade edilir.

Theorem 1. \mathbb{Q}_2^3 lightlike cone uzayında bir akış(flow) ifadesi $\frac{dx}{dt} = m_0x + m_1\xi + m_2N + m_3B$ şeklinde verilsin. Bu durumda

1) Eger akış(flow) elastik değilse(inextensible) ise

$$2v \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial m_2}{\partial u} - (hm_2 + k_1m_3)v \quad (8)$$

eşitliği sağlanır.

2) Akışın(flow) non-elastik (inextensible) olması için

$$\frac{\partial m_2}{\partial u} = (hm_2 + k_1m_3)v \quad (9)$$

eşitliği sağlanır.

Proof. \mathbb{Q}_2^3 lightlike koni uzayında ifade edilen x eğrisinin akışı(flow) $\frac{dx}{dt} = m_0x + m_1\xi + m_2N + m_3B$ şeklinde verilsin. Bu durumda $v = \left\| \frac{dx}{dt} \right\|$ ve dolayısıyla da $v^2 = \left\langle \frac{dx}{du}, \frac{dx}{du} \right\rangle$ şeklinde yazılıp eşitliğin türevi alınarak

$$2v \frac{\partial v}{\partial t} = \left\langle \frac{\partial x}{\partial u}, \frac{\partial}{\partial u} \left(\frac{\partial x}{\partial t} \right) \right\rangle = \left\langle \frac{\partial x}{\partial u}, \frac{\partial}{\partial u} (m_0x + m_1\xi + m_2N + m_3B) \right\rangle$$

ifadesi elde edilir. Buradan u parametresine göre türev alınarak frenet çatısı kullanılıp ve $\langle \xi(t), N(t) \rangle = 1$ olduğu göz önüne alındığında

$$2v \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial m_2}{\partial u} - (hm_2 + k_1m_3)v \quad (10)$$

eşitliği elde edilir. Ayrıca, $\frac{dx}{dt}$ akış(flow) değeri için $\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{dx}{du} \right) = 0$ eşitliği sağlandığından $\frac{dx}{dt}$ akış(flow) elastik olmayan (inextensible) eğri olarak ifade edilir ki bu ise $\frac{\partial m_2}{\partial u} = (hm_2 + k_1m_3)v$ olması demektir.

Theorem 2. \mathbb{Q}_2^3 lightlike koni uzayında $\frac{dx}{dt} = m_0x + m_1\xi + m_2N + m_3B$ akışı(fow) ile verilen bir null eğri x olsun. Bu durumda aşağıdaki eşitlikler sağlanır.

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} &= \delta_1x - (m_0 + \frac{\partial m_1}{\partial s} + hm_1 - k_2m_0)N - m_1W \\ \frac{\partial W}{\partial t} &= -\delta_1\xi - (\frac{\partial m_0}{\partial s} + k_1m_1 + k_2m_2)N - m_0W \\ \frac{\partial \xi}{\partial t} &= (\frac{\partial m_0}{\partial s} + k_1m_1 + k_2m_2)x + (m_0 + \frac{\partial m_1}{\partial s} + hm_1 - k_2m_3)\xi \\ &\quad + (\frac{\partial m_2}{\partial s} - hm_2 - k_1m_3)N + (-m_2 + \frac{\partial m_3}{\partial s})W, \end{aligned}$$

burada $-\left\langle \frac{\partial W}{\partial t}, N \right\rangle = \delta_1$ şeklindedir.

Proof. Kabul edelim ki \mathbb{Q}_2^3 lightlike koni uzayında (7) ile verilen elastik olmayan akış(inextensible flow) x olsun. O halde,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \xi}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial x}{\partial s} \right) = \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{\partial x}{\partial t} \right) = \frac{\partial}{\partial s} (m_0x + m_1\xi + m_2N + m_3B) \\ &= (\frac{\partial m_0}{\partial s} + k_1m_1 + k_2m_2)x + (m_0 + \frac{\partial m_1}{\partial s} + hm_1 - k_2m_3)\xi \\ &\quad + (\frac{\partial m_2}{\partial s} - hm_2 - k_1m_3)N + (-m_2 + \frac{\partial m_3}{\partial s})W \end{aligned}$$

elde edilen son eşitlikten (4) de verilen çatı ifadeleri yardımıyla

$$\begin{aligned} \left\langle \frac{\partial \xi}{\partial t}, W \right\rangle &= \frac{\partial m_0}{\partial s} + k_1m_1 + k_2m_2; \left\langle \frac{\partial \xi}{\partial t}, N \right\rangle = m_0 + \frac{\partial m_1}{\partial s} + hm_1 - k_2m_3; \\ \left\langle \frac{\partial \xi}{\partial t}, \xi \right\rangle &= \frac{\partial m_2}{\partial s} - hm_2 - k_1m_3; \left\langle \frac{\partial \xi}{\partial t}, x \right\rangle = -m_2 + \frac{\partial m_3}{\partial s} \end{aligned}$$

eşitlikleri elde edilir. Ayrıca, (7) eşitliğinden

$$\left\langle \frac{\partial x}{\partial t}, W \right\rangle = m_0; \left\langle \frac{\partial x}{\partial t}, N \right\rangle = m_1; \left\langle \frac{\partial x}{\partial t}, \xi \right\rangle = m_2; \left\langle \frac{\partial x}{\partial t}, x \right\rangle = m_3 \quad (11)$$

eşitlikleri yazılabilir. Öyle ki $\frac{\partial N}{\partial t} = n_0x + n_1\xi + n_2N + n_3B$ değeri için

$$\begin{aligned} \left\langle \frac{\partial N}{\partial t}, W \right\rangle &= n_0 = \delta_1; \left\langle \frac{\partial N}{\partial t}, N \right\rangle = m_1 = 0; \\ \left\langle \frac{\partial N}{\partial t}, \xi \right\rangle &= n_2 = -\left(m_0 + \frac{\partial m_1}{\partial s} + hm_1 - k_2m_3\right); \left\langle \frac{\partial N}{\partial t}, x \right\rangle = -m_1 \end{aligned}$$

eşitlikleri elde edilir. Böylece,

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \delta_1x - \left(m_0 + \frac{\partial m_1}{\partial s} + hm_1 - k_2m_3\right)N - m_1W \quad (12)$$

yazılır. Ayrıca, $\frac{\partial W}{\partial t} = w_0x + w_1\xi + w_2N + w_3B$; $w_i \in C^\infty$ değeri için

$$\begin{aligned} \left\langle \frac{\partial W}{\partial t}, W \right\rangle &= w_0 = 0; \left\langle \frac{\partial W}{\partial t}, N \right\rangle = w_1 = -\delta_1; \\ \left\langle \frac{\partial W}{\partial t}, \xi \right\rangle &= w_2 = -\left(\frac{\partial m_0}{\partial s} + k_1m_1 + k_2m_2\right); \left\langle \frac{\partial W}{\partial t}, x \right\rangle = w_3 = -m_0 \end{aligned}$$

eşitlikleri bulunur. Böylece,

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -\delta_1\xi - \left(\frac{\partial m_0}{\partial s} + k_1m_1 + k_2m_2\right)N - m_0W \quad (13)$$

vektörü elde edilir.

Theorem 3. \mathbb{Q}_2^3 lightlike koni uzayında $\frac{dx}{dt} = m_0x + m_1\xi + m_2N + m_3B$ akışı(fow) ile verilen bir null eğri x olsun. Bu durumda aşağıdaki ifadeler sağlanır.

1) $\frac{\partial N}{\partial t}$ değerine karşılık

$$\delta'_1 - h\delta_1 - \frac{\partial k_2}{\partial t} = -k_2(2m_0 + m'_1 + hm_1 - k_2m_0); \delta_1 = 1; \quad (14)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h(2k_2m_0 - 2hm_1 - m'_1) + (2 - k_2)m'_0 + k_2m_2 - m''_1 + h'm_1 - k'_2m_0 = 0; \quad (15)$$

$$2hm_1 = k_2(m_3 + m_0) \quad (16)$$

diferensiyel denklemler sağlanır.

2) $\frac{\partial W}{\partial t}$ değerine karşılık

$$\delta'_1 + \delta_1h = \frac{\partial k_2}{\partial t} + k_2(\Omega + m_0); m_3 = \text{sabit}; \quad (17)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial s} = h\Phi + m_1k_1 + k_2\Psi + \frac{\partial k_1}{\partial t} + k_1\Omega \quad (18)$$

eşitlikleri sağlanır.

3) $\frac{\partial \xi}{\partial t}$ değerine karşılık

$$\frac{\partial \Phi}{\partial s} + \Phi(\Omega + m_0 - h) + \delta_1(m'_2 - hm_2 - m_3k_1) = +m_0k_1 + \frac{\partial k_1}{\partial t}; \quad (19)$$

$$m_1\Phi + \frac{\partial \Omega}{\partial s} + \Omega^2 = \frac{\partial h}{\partial t} + m_1k_1 + \Omega; \quad m_2\Phi + \frac{\partial \Psi}{\partial s} = h\Psi + m_2k_1 \quad (20)$$

eşitlikleri sağlanır. Burada Φ, Ω ve Ψ değerleri

$$\Phi = m'_0 + m_1k_1 + m_2k_2; \quad \Omega = m_0 + m'_1 + hm_1 - m_3k_2; \quad \Psi = m'_2 - hm_2 - m_3k_1$$

şeklindedir.

Proof. İspat için

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \delta_1x - \left(m_0 + \frac{\partial m_1}{\partial s} + hm_1 - k_2m_0\right)N - m_1W; \quad \frac{\partial N}{\partial s} = hN + k_2x - W \quad (21)$$

ifadesi gözönüne alınıp sırasıyla $\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial N}{\partial s}\right)$ ve $\frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{\partial N}{\partial t}\right)$ değerleri bulunarak

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial N}{\partial s}\right) &= \frac{\partial}{\partial t} (hN + k_2x - W) = (h\delta_1 + \frac{\partial k_2}{\partial t} + k_2m_0)x + (k_2m_1 + \delta_1)\xi \\ &+ \left(\frac{\partial h}{\partial t} - hm_0 - h\frac{\partial m_1}{\partial s} + h^2m_1 + hk_2m_0 + \frac{\partial m_0}{\partial s} + m_1k_1 + 2k_2m_2\right)N \\ &+ (-hm_1 + m_3k_2 + m_0)W \end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{\partial N}{\partial t}\right) &= \frac{\partial}{\partial s} \left(\delta_1x - (m_0 + \frac{\partial m_1}{\partial s} + hm_1 - k_2m_0)N - m_1W\right) \\ &= (\delta'_1 - k_2(m_0 + m'_1 + hm_1 - k_2m_0))x + (\delta_1 + k_2m_1)\xi \\ &+ \left(\begin{aligned} &-m'_0 + m'_1 - h'm_1 - hm'_1 + k'_2m_0 + k_2m'_0 \\ &+ hm_0 + hm'_1 + h^2m_1 - hk_2m_0 + k_1m_1 \end{aligned}\right)N + (m_0 + hm_1 - k_2m_0)W \end{aligned}$$

eşitliklerinde bileşenlerin cebirsel eşitliği göz önüne alınarak sırasıyla

$$\delta'_1 - h\delta_1 - \frac{\partial k_2}{\partial t} = -k_2(2m_0 + m'_1 + hm_1 - k_2m_0); \quad \delta_1 = 1;$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h(2k_2m_0 - 2hm_1 - m'_1) + (2 - k_2)m'_0 + k_2m_2 - m'_1 + h'm_1 - k'_2m_0 = 0;$$

$$2hm_1 = k_2(m_3 + m_0)$$

denklemleri elde edilir. Benzer şekilde $\frac{\partial W}{\partial t}$ ve $\frac{\partial \xi}{\partial t}$ değerleri için sırasıyla $\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial N}{\partial s}\right)$ ve $\frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{\partial N}{\partial t}\right)$ ile $\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \xi}{\partial s}\right)$ ve $\frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{\partial \xi}{\partial t}\right)$ değerleri bulunup cebirsel ifadelerin eşitliğinden sırasıyla (17), (18), (19) ve (20) eşitlikleri elde edilir. Böylece ispat tamamlanır.

Teşekkür

FA, belirtilen başlıkta ilk fikri ortaya koyarak makaleyi yazarak yorumlamıştır. MAK verileri tekrardan analiz ederek yeniden yorumlamıştır. Son taslak tüm yazarlar tarafından okuyup onaylanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Abazari N, Bohner M, Sager I, Sedaghatdoost A. Spacelike curves in the lightlike cone. Appl. Math. Inf. Sci. 2018; 12(6): 1227–1236.
- [2] Almaz F, Külahcı MA. A survey on magnetic curves in 2-dimensional lightlike cone. Malaya Journal of Matematik 2019; 7(3): 477-485.
- [3] Almaz F, Külahcı MA. On x -magnetic Surfaces Generated by Trajectory of x -magnetic Curves in Null Cone. General Letters in Mathematics 2018; 5(2), pp.84-92.
- [4] Almaz F, Külahcı MA. The helix and slant helices generated by non-degenerate curves in $M^3(\delta_0) \subset E_2^4$. Turkish Journal of Science & Technology 2021; 16 (1): 113-117
- [5] Bejancu A. Lightlike curves in Lorentz manifolds. Publ. Math. (Debr.) 1994; 44(1–2): 145–155.
- [6] Bonnor WB. Null curves in a Minkowski space-time. Tensor 1969; 20: 229- 242.
- [7] Chirikjian G, Burdick J. A modal approach to hyper-redundant manipulator kinematics IEEE Trans. Robot. Autom. 1994; 10: 343–354.
- [8] Desbrun M, Cani-Gascuel MP. Active implicit surface for animation. in: Proc. Graphics Interface Canadian Inf. Process. Soc. 1998; 143–150.
- [9] Duggal KL, Jin DH. Null Curves and Hypersurfaces of Semi-Riemannian Manifolds. London: World Scientific 2007.
- [10] Gökmen O, Tosun M, Özkaldı Karakuş S, A note on inextensible flows of curves in En. Int. Electron. J. Geom. 2013; 6(2): 118–124.
- [11] Körpınar T, Turhan E. A new version of inextensible flows of spacelike curves with timelike B2 in Minkowski space-time E^4_1 . Differ. Equ. Dyn. Syst. Vol. 2013; 21(3): 281-290.
- [12] Kulahcı M. Investigation of a curve using Frenet frame in the lightlike cone. Open Phys. 2017; 15(1): 175–181.
- [13] Kulahcı M, Almaz F, Bektaş M. On Helices and slant Helices in the Lightlike Cone. Honam Mathematical J. 2018; 40(2): pp. 305–314.
- [14] Kühnel W. Differential Geometry: Curves Surfaces Manifolds. Student Mathematical Library, vol. 77. Am. Math. Soc., Providence 2015.
- [15] Kwon DY, Park FC, Chi DP. Inextensible flows of curves and developable surfaces. Applied Mathematics Letters 2005; 18: 1156-1162.
- [16] Liu H. Curves in the lightlike cone. Beitr. Algebra Geom. 2004; 45(1): 291–303.
- [17] Liu H, Meng Q. Representation formulas of curves in a two-and three-dimensional lightlike cone. Results Math. 2011; 59(3–4): 437–451.
- [18] O’Neill B. Semi-Riemannian geometry with applications to relativity. New York: Academic Press 1983.
- [19] Sun J, Pei D. Some new properties of null curves on 3-null cone and unit semi-Euclidean 3-spheres. J. Nonlinear Sci. Appl. 2015; 8(3): 275–284.
- [20] Unger DJ. Developable surfaces in elastoplastic fracture mechanics. Int. J. Fract. 1991; 50: 33–38.
- [21] Yıldız ÖG, Tosun M, Karakuş SÖ. A note on inextensible flows of curves in E^n . International Electronic Journal of Geometry 2013; 6(2): 118-124.

Ön Eğitilmiş Dil Modelleri Kullanarak Türkçe Tweetlerden Cinsiyet Tespiti

İlhami SEL^{1*}, Davut HANBAY²

¹ Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

² Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

*¹ ilhamisel23@gmail.com, ² davut.hanbay@inonu.edu.tr

(Geliş/Received: 28/04/2021;

Kabul/Accepted: 25/08/2021)

Öz: Yazar profili oluşturma (Author Profiling) bir metnin üslup ve içeriğine bakarak yazarın çeşitli özelliklerinin ortaya çıkarılmasına yönelik bir metin kümesi analizidir. Bu özellikler yaş, cinsiyet, kişilik özellikleri ve hatta meslek gibi unsurları barındırır. Cinsiyet belirleme yazar profili oluşturma çalışmalarının alt alanlarından birisidir. Siber suçlar başta olmak üzere sahte haber yayma gibi adli olayların yanında pazarlama (reklamcılık), sosyolojik ve psikolojik olayların incelenmesinde cinsiyet belirleme oldukça önemlidir. Ayrıca İletişim partnerinin cinsiyetini belirlemek, e-posta, bloglar, forumlar gibi sosyal medya aracılığıyla gerçekleşen sahtekarlık ve suistimallerin önlenmesine yardımcı olabilmektedir. Türkçe dili için kısa gönderilerden cinsiyet tespiti yapılması, diğer dillere oranla çok fazla çalışılmayan bir alandır. Bu çalışmada Türkçe Twitter gönderilerinden cinsiyet tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Twitter gönderileri dil kurallarına uymayan, kısaltılmış kelimeler ve anlamsız cümle yapıları da içerme ihtimallerine rağmen cinsiyet belirleme görevi için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Problem bir sınıflandırma görevi olarak ele alınmıştır. Yapılan çalışmada makine öğrenmesi metodları (TF-IDF + SVM), derin öğrenme yöntemleri (LSTM, CNN) ve Türkçe için ön eğitilmiş dil modelleri (BERT, DistilBert, Electra) kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek başarıyı (%80.1) kelime boyutunun 128k olduğu Bert modeli sağlamıştır. Bu çalışma diğer metin sınıflandırma görevleri için de detaylı bir çalışma olma özelliği göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Yazar Profili Oluşturma, Cinsiyet Tespiti, Doğal Dil İşleme, Dil Modelleri, Metin Sınıflandırma.

Gender Identification from Turkish Tweets Using Pre-Trained Language Models

Abstract: Author Profiling is a text set analysis to reveal various characteristics of the author by examining the style and content of a text. These features include factors such as age, gender, personality traits and even profession. Gender identification is one of the subfields of author profile creation. Gender identification is very important in the investigation of marketing (advertising), sociological and psychological events, as well as forensic events such as spreading fake news, especially cybercrime. In addition, identifying the gender of the communication partner can help prevent fraud and abuse through social media such as e-mail, blogs, forums. Identifying the gender of short posts for the Turkish language is an area that has not been studied much compared to other languages. In this study, it was attempted to determine gender from Turkish Twitter posts. Twitter posts are widely used for gender identification, although they may include ungrammatical structures, abbreviated words and meaningless sentence structures. The problem is handled as a classification task. In the study, machine learning methods (TF-IDF + SVM), deep learning methods (LSTM, CNN) and pre-trained language models for Turkish (BERT, DistilBert, Electra) were used. As a result of the experiments, Bert model with the word size of 128k provided the highest success (80.1%). This study also features as a detailed study for other text classification tasks.

Key words: Author Profiling, Gender Identification, Natural Language Processing, Language Models, Text Classification.

1. Giriş

Yazar profili oluşturma görevi için metin kümesinin çıkarılmasında sosyal medya oldukça zengin bir kaynaktır. Başta Twitter olmak üzere çok sayıda sosyal medya uygulaması kişilerin duygu ve düşüncelerini kolayca paylaşabilmelerini sağlamaktadır. Bu günden güne giderek artan paylaşım sayıları sayesinde kişilerin yazar profilleri hakkında belirli bilgilere ulaşmak mümkün olmuştur. Ne yazık ki günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası haline gelen sosyal medya araçları her zaman güvenilir ve doğru olmamaktadır. Bu noktada dolandırıcılık, istismar gibi siber suçların tespitinde ve önlenmesinde yazar profili çıkarmanın önemi de artmaktadır. Öte yandan reklam pazarı açısından kullanıcıların tercihleri ve beklentileri pazar arayışı içinde olan firmalar için oldukça önemlidir.

* Sorumlu yazar: ilhamisel@msn.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-0222-7017, ² 0000-0003-2271-7865

Her yıl düzenlenen uluslararası CLEF¹ (Conference and Labs of the Evaluation Forum) konferanslarında çeşitli PAN² görevleri bulunmaktadır. Yazar profili oluşturma da bu görevler arasındadır. Yaş, cinsiyet, eğitim gibi temel özelliklerin tespiti görevlerinin yanında, herhangi bir yazarın sahte haber yaymaya istekli olup olmadığı belirlenmesi gibi özel görevler de bulunmaktadır [1]. PAN2013 [2, 3] ten itibaren bu görevler içerisine giren cinsiyet tespiti bugün bile önemini korumaktadır. Özellikle siber suçların tespitinde önemli bir yeri olan cinsiyet belirleme görevi İngilizce, İspanyolca gibi dillerde önemli başarılarla ulaşmasına rağmen Türkçe için yeterli sayıda çalışma yapılmamıştır.

Cinsiyet belirleme görevi ikili metin sınıflandırma problemi olarak ele alınmaktadır. Metin sınıflandırma probleminden farklı olarak sosyal medya paylaşımlarıyla sınıflandırma yapmak oldukça karmaşık ve başarısı düşük olabilmektedir. Bu durumun genel sebepleri şu şekilde sıralanabilir:

- Metinlerin bir veya iki kelime gibi küçük boyutlarda olabilmesi
- Kelimelerin sözlükte kullanıldığı şekilde yazılmayıp bazı harflerin eksik veya bazılarının fazla yazılabilmesi
- Metin içinde değinme (Mention), etiket (Hashtag), bağlantı (url) veya sındamga (emoji) gibi web ifadelerin oldukça fazla olabilmesi

Türkçe için Sezerer ve Ark. tarafından [4] hazırlanan ve Twitter'dan toplanmış cinsiyetlerin etiketlendiği veri seti bu çalışma için ulaşabildiğimiz en kapsamlı veri setidir. Ayrıca yazarların bu veri setiyle yaptıkları çalışmada (Bag-Of-Words + SVM) %72.32'lik başarıya ulaşmışlardır. Aynı veri seti bu çalışma için de kullanılmıştır.

Bu çalışma da Türkçe veri setleriyle önceden eğitilmiş BERT [5], Distilbert [6] ve Electra[7] gibi mimarilerde dil modelleri ve türevleri kullanılarak cinsiyet tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Bu dil modelleri üzerinde ince ayar (fine tuning) yapılarak metin sınıflandırma görevi için başarımları hesaplanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek başarı puanını (%80.1) Bert modeli almıştır. Bu çalışma Türkçe dili için yazar profili oluşturma görevlerinden cinsiyet tespiti için sınırlı ve az sayıda yapılmış çalışmalar arasındadır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde ilgili çalışmalar, üçüncü bölümünde veri seti ve yöntem detaylıca açıklanmıştır. Dördüncü bölümde alınan sonuçlar raporlanmış ve son bölümde görüş ve önerilere yer verilmiştir.

2. İlgili Çalışmalar

CLEF konferanslarında düzenlenen PAN workshoplarında temel amaç yazar profili oluşturmaktır[1]. Yazar profili oluşturma görevleri yaş ve cinsiyet belirleme [3, 8], yazarın bot olup olmadığı tespiti [9], bir kullanıcının sahte haber yaymaya istekli olup olmadığı [1], metnin yanında görüntü yardımıyla cinsiyet tespiti [3] gibi alt görevlerden oluşur. Bu görevler genel olarak İngilizce, İspanyolca ve Arapça gibi dilleri kapsamaktadır. Bu görevler için veri setlerinin yanında Arapça cinsiyet tespiti [10] için detaylı veri setleri oluşturulmuş başarıları test edilmiştir.

Gutierrez ve ark. [11] İngilizce dili için farklı veri setlerini birleştirerek twitter verilerinden bot tespiti yapmaya çalışmışlardır. Yazar profili oluşturma görevlerinden olan bot tespiti otomatik hesap olarak bilinmektedir. Bu çalışma için Bert ve Roberta gibi ön eğitimli dil modellerini kullanarak 0.77 (f1-score) oranında başarımlar elde etmişlerdir.

Safara ve ark. [12] İngilizce dili için hazırladıkları çalışma da Yapay Sinir Ağları(YSA) ile birlikte Balina Optimizasyon Algoritmasını (Whale Opt. Alg. - WOA) birlikte kullanarak cinsiyet tespiti yapmaya çalışmışlardır. Elektronik posta verilerinin kullanıldığı çalışma da sınıflandırıcı olarak YSA kullanılmıştır. Ayrıca model tahminlerini iyileştirmek ve önyargıları tespit etmek için meta-sezgisel bir yöntem olan WOA kullanılmıştır. Sonuç olarak %98 doğruluk puanı elde etmişlerdir.

Zhang ve ark. [13]Arapça dili için yazar profili oluşturma ve aldatma tespiti alt görevleri için yaş, dil çeşitliliği ve cinsiyet tespiti yapmaya çalışmışlardır. Bu görev için Bert dil modelini kullanmışlardır. Farklı veri setleri üzerinde yaptıkları deneyler sonucunda cinsiyet tespiti için %81 oranında başarımlar elde etmişlerdir.

Türkçe dili için Sezerer ve ark. [4] kendi oluşturdukları Twitter veri setiyle cinsiyet tespiti yapmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda %72.32'lik bir başarı puanı elde etmişlerdir. Ayrıca 2013 yılında Talebi ve ark. [14] tarafından yapılan çalışma da facebook üzerinden toplanan veriyi kullanarak Destek Vektör Makinaları (SVM), K-en yakın komşu (KNN) gibi klasik sınıflandırma algoritmalarının başarımlarını test etmiş cinsiyet için %90.85 yaş için %89.67 gibi başarı puanları elde etmişlerdir.

¹ <https://clef2020.clef-initiative.eu/>

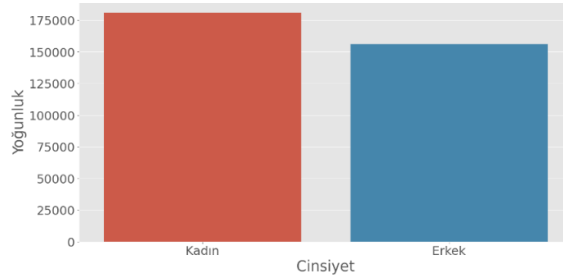
² <https://pan.webis.de/>

Cinsiyet tespiti bir metin sınıflandırma problemi gibi değerlendirilmektedir. Metin sınıflandırma görevinde önışlem adımlarından geçirilen metinler öncelikle vektör haline getirilip sonrasında sınıflandırma algoritmaları kullanılmaktadır. Önışlem adımı gereksiz kelimelerin (stop words) çıkarılması matematiksel semboller kısaltmalar gibi başarıyı düşürecek verilerin temizlenmesini kapsamaktadır[15]. Vektörleştirme işleminde ise kelime torbası(Bag of Word), N-gram terim frekansı-ters belge frekansı(TF-IDF), word2vec [16] gibi yöntemler kullanılan en ilk yöntemlerdir [15]. Sınıflandırma kısmında ise Naive Bayes, KNN [17] ve SVM gibi olasılıksal yöntemlerin yanında, tekrarlayan sinir ağı (Recurrent Neural Network-RNN) modelleri LSTM, GRU gibi derin öğrenme sınıflandırma yöntemleri kullanılmaktadır [15]. Ayrıca dikkat mekanizmasına sahip RNN ve CNN modelleri [18] metin sınıflandırmada önemli başarılar elde etmişlerdir. Dikkat mekanizması yöntemine bağlı transformer [19]tabanlı oluşturulan dil modelleri ise en son teknoloji metin sınıflandırma sonuçlarını elde etmektedirler [5, 7].

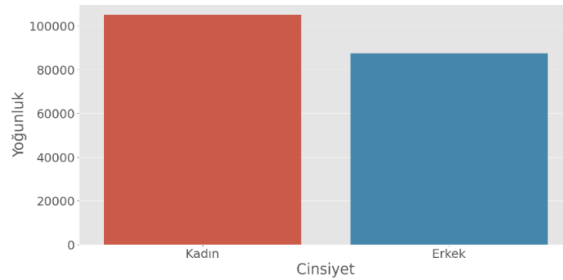
3. Materyal ve Yöntem

3.1 Veriseti

Bu çalışma için Sezerer ve ark³ [4] tarafından oluşturulan veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti toplamda 5292 farklı kişi tarafından gönderilmiş 100'er adet gönderiden oluşmaktadır. Tüm veri seti 3368 eğitim ve 1924 test olmak üzere ayrılmıştır. Toplam gönderi sayısı ve cinsiyetlere göre dağılımı Şekil 1 ve 2'de verilmiştir. Tüm veri seti incelendiğinde kadın olarak etiketlenen veri sayısı (%53,68) kısmen fazla olsa da dengeli bir veri seti olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Eğitim Veri Seti Cinsiyete Göre Dağılımı

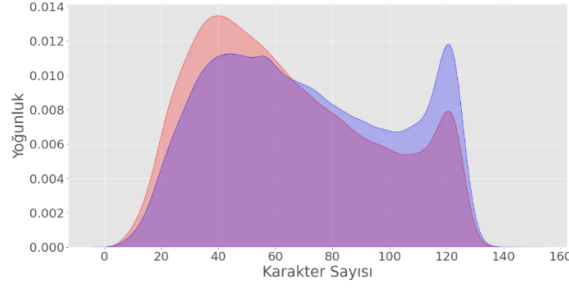


Şekil 2. Test Veri Seti Cinsiyete Göre Dağılımı

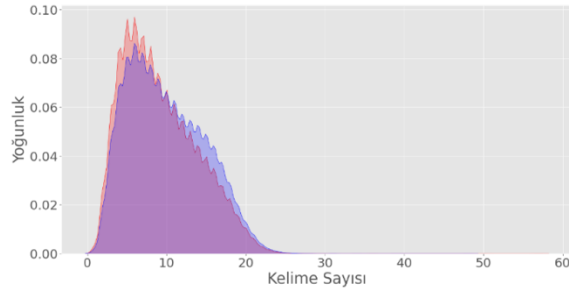
Tüm veri seti incelendiğinde (Şekil 3 ve Şekil 4) veri seti hakkında şu bilgiler gözlenmiştir;

- 25-45 karakter aralığındaki gönderilerin kadın kullanıcılar tarafından daha fazla tercih edildiği, 120 karakter gönderilerde ise durumun tam tersi olduğu,
- 40 karakterlik gönderilerde cinsiyetin kadın olma ihtimalinin erkek olma ihtimalinden daha fazla olduğu
- 120 karakterlik gönderilerde cinsiyetin erkek olma ihtimalinin kadın olma ihtimalinden daha fazla olduğu
- 110 karakter bulunduran gönderilerin her iki cinsiyet içinde beklenmeyen bir şekilde az tercih edildiği,
- 8 kelimelik gönderilerde cinsiyetin kadın olma ihtimalinin erkek olma ihtimalinden daha fazla olduğu 17 kelimelik gönderilerde durumun tam tersi olduğu,

³ <https://cloud.iyte.edu.tr/index.php/s/5DhqdlUCCdB60qG>



Şekil 3. Karakter sayısı kırmızı: kadın-mavi: erkek



Şekil 4. Kelime sayısı kırmızı: kadın- mavi: erkek

3.2. Metin önışlem

Araştırmacıların kullanımına açık bir şekilde sunulan veri seti her bir kullanıcı için xml türü dosyalardan oluşmuştur. Bu dosyaların her birinde o kullanıcıya ait 100 adet gönderi bulunmaktadır. İlk adımda bu dosyalar sırasıyla işlenerek verilen etiketler sayesinde veri seti oluşturulmuştur. Sonrasında her bir ifade küçük harfe dönüştürülmüştür. Cinsiyet tespitinde yazılan içerikten çok yazım tarzı daha belirleyici bir özellik olduğundan “Stop Words” olarak belirtilen gereksiz kelimeler, noktalama işaretleri, emoji gibi ifadeler çıkarılmamıştır. Metinlerde bulunan sosyal medyaya özgü etiket (#), değinme (@) ve web sayfası bağlantıları (http) şeklinde etiketlenerek bu ifadelerin çeşitliliği azaltılmıştır. Bu işlemler sonucunda toplam token sayısı 420k olarak hesaplanmıştır.

3.3. Yöntem

Bu çalışma kapsamında kısa metinlerden cinsiyet tespiti yapılabilmesi için görev ikili sınıflandırma problemi olarak ele alınmıştır. Veri seti kadınlar için 0 erkekler için 1 olarak etiketlenmiştir. Eğitim aşamasında başarıyı artırabilmek için aynı yazar tarafından gönderilen metinler N boyutunda bir çerçeve kullanılarak birleştirilmiştir. $n=[1,2,4,5,10]$ olmak üzere 5 farklı değer seçilmiştir. Yazara ait yazım tarzını modelin öğrenebilmesi için çerçeve veri seti üzerinde kaydırılarak veri seti her defasında yeniden düzenlenmiştir. Tablo 1’de yeni oluşturulan veri seti ve boyutları gösterilmiştir. Her bir metin için örnek uzunluğu veri setindeki örneklerin %99’unu kapsayacak şekilde belirlenmiştir. Metin sınıflandırma algoritmaları sayesinde her bir modelin başarısı hesaplanmıştır.

Tablo 1. n çerçeve değerine bağlı olarak veri setinin yeniden oluşturulması

n	Eğitim Örnek sayısı	Test Örnek Sayısı	Örnek Uzunluğu
1	336800	192400	25
2	168400	96200	50
4	84200	48100	80
5	67360	38480	100
10	33680	19240	175

Bu çalışma kapsamında çok sayıda model oluşturularak detaylı deneyler yapılmıştır. Oluşturulan modeller 3 grup altında toplanabilir.

3.3.1. Makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırma

Klasik makine öğrenmesi modellerinde kelimeleri tokenleştirmek yani vektör haline getirmek için sınıflandırıcıdan ayrı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan en çok kullanılan yöntemler N-Gram, TF-IDF ve BOW olarak bilinen kelimelerin metin içerisindeki frekanslarına ve birlikte kullanıldığı diğer kelimelere bakılarak oluşturulan yöntemlerdir [15]. Çalışmanın bu bölümünde PAN 2019 görevinde kullanılan ve yüksek başarı sağlamış yöntem oluşturduğumuz veri setleri üzerinde kullanılmıştır [20]. Tokenization işlemi için N-gram(1-3) sınıflandırma için destek vektör makineleri kullanılmıştır (N-gram + SVM).

3.3.2. Derin öğrenme yöntemleri ile sınıflandırma

Tekrarlayan sinir ağları (RNN) ve evrişimli sinir ağları (CNN) metin sınıflandırmada sıklıkla kullanılan derin öğrenme modelleri olmuşturlardır [15]. Yüksek parametre sayısı ve hesaplama gerektiren modeller olmalarına rağmen sınıflandırma problemlerinde klasik makine öğrenmesi modellerine göre başarıyı artırmışlardır[15]. Tokenleştirme işlemi BOW yöntemi kullanılarak yapay sinir ağına gömme (embedding) katmanı olarak aktarılmıştır. Vektör boyutu (embedding size) 50 olarak belirlenmiştir. Model eğitim sırasında bu vektörü devamlı güncelleyerek öğrenmeyi sağlayacaktır.

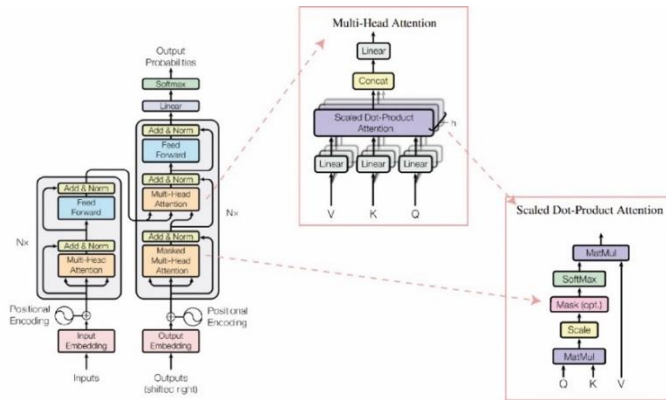
Çalışmanın bu kısmında tekrarlayan sinir ağı modeli olarak iki yönlü uzun kısa süreli bellek (Bi-LSTM)[21] modeli kullanılmıştır. 128 adet gizli katmana sahip Bi-LSTM katmanı ve çıkış katmanı olarak tek bir çıkışa sahip yapay sinir ağı eklenerek oluşturulmuştur.

Evrişimsel sinir ağı (CNN) olarak aynı şekilde 128-64-32 boyutunda 3 CNN katmanı ve tek çıkışa sahip yapay sinir ağı eklenmiştir. Her iki modelde de aşırı öğrenme problemini önlemek için dropout katmanları eklenmiş çıkış fonksiyonu sigmoid olarak seçilmiştir.

3.3.3. Ön eğitilmiş dil modelleri kullanarak sınıflandırma

Dil modelleri özetle verilen bir metinde maskelenmiş kelimeleri tahmin etmeye çalışan yapılardır. Maskelenen veri tek bir kelime olabileceği gibi bir cümle de olabilmektedir. 2017 yılında Vaswani ve ark tarafından [19] önerilen ve transformer olarak bilinen dikkat mekanizması dil modeli metin sınıflandırma, makine çevirisi ve metin özetleme gibi doğal dil işleme uygulamalarında o ana kadar ki en yüksek puanları elde etmiştir. Transformer mimarisi genel olarak Kodlayıcı (Encoder) ve kod çözücü (Decoder) olmak üzere iki ayrı ağıdan oluşur. Encoder katmanlarının çıktıları decoder katmanlarına giriş olarak verilir. Ağ n adet giriş alır ve n adet çıkış üretir. Giriş verisinden hangi veriye daha fazla dikkat edilmesi gerektiğini bulmaya çalışır.

Mimari genel olarak şu şekilde çalışır: Giriş olarak kelime embedding vektörlerini alır ve kelimelerin cümle içindeki pozisyon bilgilerini oluşturur. Bir sonraki katmanda hangi kelimeye dikkatin artması gerektiğini hesaplayabilmek için çok başlıklı dikkat mekanizmasını kullanılır. Burada girişteki her bir kelime için query, key ve value vektörleri hesaplanır. Dikkat mekanizmasından sonra giriş vektörü eklenir ve normalizasyon işlemi yapılır. Sonraki katmanda tam bağlı sinir ağı ile çıkış üretilir. Bir önceki katmanda olduğu gibi bu katmanın girişi de çıkışına eklenir ve normalizasyon işlemi yapılır(Şekil 8).

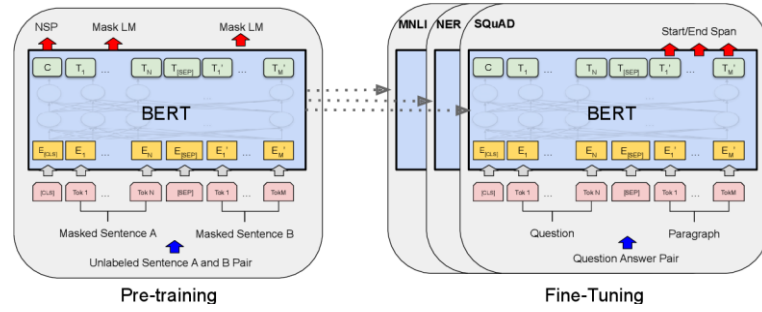


Şekil 5. Transformer ağ modeli [19]

Transformer mimarisinin başarısından sonra bu mimari kullanılarak büyük miktarda metin verileriyle (Bert:16Gb, Gpt-3:40Gb) dil modelleri oluşturulmuştur [5, 7]. Transfer öğrenmesi yöntemleri ile bu dil modelleri diğer doğal dil işleme görevlerinde (Downstream Task) kullanılmaktadır. Bu çalışma süresince Bert, DistilBert ve Electra olmak üzere 3 farklı dil modeli [22] ve versiyonları kullanılarak sınıflandırma başarıları test edilmiştir. 35Gb Türkçe metinlerle eğitilen modeller HuggingFace⁴ kütüphanesinde bulunmaktadır. Ayrıca çalışma da kelimelerin vektörle temsil edebilmek için her modelin önceden eğitilmiş token vektörleri kullanılmıştır.

3.3.3.1. Bert

Bert (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) [5] dil modeli transformer mimarisinin encoder ağı kullanılarak wikipedia⁵ ve bookcorpus⁶ verileriyle Google beyin takımı tarafından eğitilmiştir. BertBase (Layer=12, Hidden Size=768, Self Attention Heads=12, Toplam Parametre=110M) ve BertLarge (Layer=24, Hidden Size=1024, Self Attention Heads=16, Total Parameters=340M) olmak üzere İngilizce için 2 farklı model oluşturulmuştur. Bert modelinde giriş verisinin bir kısmı mask etiketiyle maskelenir. Model eğitildikçe maskelenen kelime veya cümle verisini öğrenmeye çalışır. Böylelikle soru cevap sistemleri, varlık tanıma gibi görevlerde başarıyı artırmıştır. Ayrıca Bert modelin de giriş verisindeki kelimelerin konumlarına göre farklı vektör temsilleri bulunmaktadır. Dolayısıyla bir kelimenin cümle başında veya ortasında olmasıyla dil modelinin o kelimeye uygulayacağı dikkat değişecektir. Ön eğitimli Bert dil modelinin son katmanından sonra ek katmanlarla farklı görevler için ince ayar yapılabilmektedir. Örneğin 2'li bir sınıflandırma yapmak için tek hücreli bir sinir ağı veya soru cevap sistemi geliştirmek için cümle boyutunda bir katman eklenmesi yeterlidir (Şekil 9).



Şekil 6. Ön eğitimli bert ve Transfer öğrenme mimarisini[5]

Bu çalışmada BertBase⁷ mimarisi ile geliştirilmiş 2 farklı model kullanılmıştır. Eğitim verisi 35Gb metin dosyaları ve 44M token'dan oluşmaktadır. Kelime temsilleri birinci modelde 32k ikinci modelde 128k boyutunda vektörlerden oluşmaktadır.

3.3.3.2. DistilBert

Distilbert(Distillation Bert) damıtılmış bert olarak adlandırılır. Burada geçen damıtma terimi daha büyük bir modelin davranışını yeniden üretmek için küçük bir modelin eğitildiği sıkıştırma tekniği olarak tanımlanabilir. Parametre sayısı BertBase'in neredeyse yarısı (66M) kadardır. Bert'e göre daha kısa eğitim ve transfer öğrenme süresi sunmaktadır. Başarı olarak doğal dil anlama görevlerinde yaklaşık %2'lik bir kayıp yaşamaktadır [6].

3.3.3.3. Electra

BERT gibi maskeli dil modelleme (MLM) ön eğitim yöntemleri, bazı simgeleri [MASK] ile değiştirerek girdiyi bozar ve ardından orijinal simgeleri yeniden yapılandırmak için bir model eğitir. Doğal dil işleme görevlerine aktarıldıklarında iyi sonuçlar üretirken, genellikle etkili olmak için büyük miktarlarda hesaplama gerektirirler. Electra mimarisi alternatif olarak, değiştirilen belirteç tespiti adı verilen, örnek açısından daha verimli

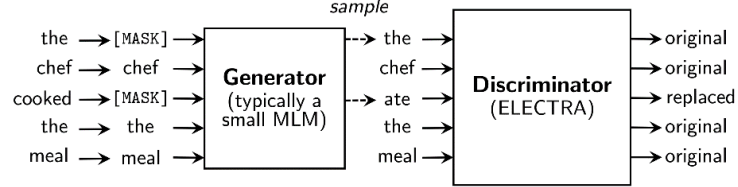
⁴ <https://huggingface.co/models>

⁵ <https://dumps.wikimedia.org/>

⁶ <https://huggingface.co/datasets/bookcorpus>

⁷ <https://huggingface.co/dbmdz>

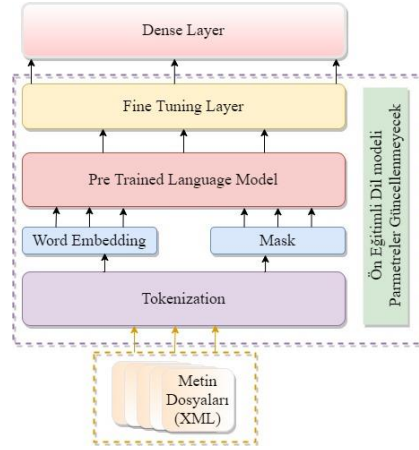
bir eğitim öncesi görev önermektedir. Bu yaklaşımda girdiyi maskelemek yerine, bazı simgeleri küçük bir jeneratör (Generator) ağından örneklenen benzer değerlerle değiştirerek onu bozar. Ardından, bozuk simgelerin orijinal değerlerini tahmin eden bir model eğitmek yerine, bozuk girdideki her bir simgenin bir jeneratör örneğiyle değiştirilip değiştirilmediğini öngören ayrımcı bir model yapısındadır [7] (şekil 10). Sonuç olarak aynı model boyutunda bert ile karşılaştırıldığında daha iyi performans göstermektedir.



Şekil 7. Electra Dil Modeli Yapısı [7]

4. Uygulama ve Sonuçlar

Bu uygulama da ön eğitilmiş dil modelleri kullanılarak Twitter gönderilerinden oluşturulmuş veri seti üzerinde cinsiyet tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Uygulamanın genel çalışma prensibi şekil-11 de verilmiştir.



Şekil 8. Uygulama mimarisi

Çalışma kapsamında toplamda 8 adet farklı model oluşturulmuştur. Her bir model 5 farklı veri boyutuyla eğitilmiştir. Derin öğrenme yöntemleriyle ve dil modelleri kullanılarak oluşturulan modellerin parametre sayıları Tablo 2'de verilmiştir. Dil modellerinde önceden oluşturulmuş parametreler güncellenmemiş sadece son katman güncellenmiştir.

Tablo 2. Derin öğrenme modellerinin parametre sayıları

Modeller	P. Sayısı	Güncellenen P. Sayısı
Bi-LSTM		45M
CNN		50M
dbmdz/bert-base-turkish-128k-cased	185M	
dbmdz/bert-base-turkish-cased	110M	
dbmdz/distilbert-base-turkish-cased	67M	104k
dbmdz/electra-base-turkish-cased-discriminator	110M	
dbmdz/electra-base-turkish-cased-generator	35M	37k

4.1. Hiperparametreler

Eğitim süresince öğrenme oranı için 0.00001(1e-5) ile 0.005(5e-3) arası değerler test edilmiş en önemli yakınsama ‘0.001’ değerinde yakalanmıştır. Tüm modeller için aynı öğrenme oranı ve ‘adam’ optimizör kullanılmıştır. Uygulama 2’li sınıflandırma problemi olarak ele alınmış ve başarımlar değerlendirilmesi için ‘binary accuracy’, kayıp fonksiyonu için ‘binary cross entropy’ seçilmiştir.

4.2. Uygulama Ortamı

Tüm uygulamalarda python programlama dili kullanılmıştır. Ön işlem adımların da ‘XML’, ‘NLTK’ kütüphaneleri makine öğrenmesi metodunda ‘SckitLearn’ kütüphanesi, Derin öğrenme ve dil modellerinin eğitimi sırasında ‘Keras’ kütüphaneleri kullanılmıştır. Ayrıca dil modellerinin önceden eğitilerek kullanılmasını sağlayan ‘transformers’ kütüphanesi kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan bilgisayar 2080Ti 11Gb ekran kartı, 9. Nesil i7 işlemci ve 16 Gb ram donanımına sahiptir. Çalışmanın kodlarına ve sonuçlarına Github⁸ repomuzdan ulaşabilmektedir.

4.3. Değerlendirme

Oluşturulan modellerin başarımlar ölçümleri için doğruluk (accuracy) metriği kullanılmıştır. Erkek cinsiyeti için pozitif, kadın cinsiyeti için negatif değişkenleri atanmıştır. Her bir kayıt için modelin doğru tahmin ettiği erkekler doğru pozitif (True Positive - TP), doğru tahmin ettiği kadın cinsiyeti için doğru negatif (True Negative - TN) olarak belirlenmiştir. Tam tersi olarak modelin yanlış tahmin ettiği erkek cinsiyeti için yanlış negatif (False Negative - FN), kadın cinsiyeti için yanlış pozitif (False Positive - FP) olarak belirlenmiştir. Doğruluk metriğinin hesaplanması Denklem-1 de verilmiştir [23].

$$Accuracy = (TP + TN)/(TP + FN + TN + FP) \quad (1)$$

Ayrıca en başarılı olan modelin f1-score (Denklem-2), Sensitivity (duyarlılık) (Denklem-3), Specificity (özgüllük) (Denklem-4) başarı puanları ölçülmüştür (Tablo 4).

$$F1Score = 2TP/(2TP + FP + FN) \quad (2)$$

$$Sensitivity = TP/(TP + FN) \quad (3)$$

$$Specificity = TN/(FP + TN) \quad (4)$$

4.4. Sonuçlar

Yapılan uygulamalar sonucunda ulaşılan doğruluk puanları Tablo 3’te verilmiştir. En başarılı olan modelin farklı başarımlar metrikleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 3. Geliştirilen modeller ve başarı puanları

	<i>n=1</i>	<i>n=2</i>	<i>n=4</i>	<i>n=5</i>	<i>n=10</i>
TF-IDF + SVM	0.6812	0.7116	0.7540	0.7680	0.7910
Bi-LSTM	0.6823	0.7153	0.7471	0.7524	0.7660
CNN	0.6781	0.6830	0.6981	0.7158	0.7459
Bert	0.6967	0.7163	0.7524	0.7651	0.7931
Bert-128k	0.7017	0.7304	0.7630	0.7708	0.8012
Distilbert	0.6452	0.6525	0.6824	0.7028	0.7457
Electra Discriminator	0.6825	0.7157	0.7383	0.7451	0.7747
Electra Generator	0.6910	0.7238	0.7538	0.7657	0.7952

⁸ https://github.com/ilhamisel/Gender_Identification

Tablo 4. Bert-128k modelinin farklı başarımları metrikleri

	<i>TP</i>	<i>TN</i>	<i>FN</i>	<i>FP</i>	<i>Doğruluk</i>	<i>F1-Score</i>	<i>Duyarlılık</i>	<i>Özgüllük</i>
<i>n=1</i>	61198	73809	26202	31191	0.7017	0.6808	0.7002	0.7029
<i>n=2</i>	31868	38396	11832	14104	0.7304	0.7108	0.7292	0.7314
<i>n=4</i>	16642	20059	5208	6191	0.7630	0.7449	0.7616	0.7642
<i>n=5</i>	13483	16177	3997	4823	0.7708	0.7535	0.7713	0.7703
<i>n=10</i>	7002	8413	1738	2087	0.8012	0.7855	0.8011	0.8012

5. Tartışma

Bu çalışma kapsamında Türkçe Twitter gönderilerinden cinsiyet tespiti yapılmıştır. Problem, sınıflandırma görevi gibi ele alınıp klasik makine öğrenmesi yöntemleri, derin öğrenme modelleri ve ön eğitilmiş dil modelleri kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en başarılı model bert mimarisi ile hazırlanan ve kelime boyutunu 128k vektörle temsil eden model olmuştur. Derin öğrenme mimarileri ile karşılaştırıldığında çok daha az parametre eğitimi ile çok daha yüksek puan almıştır. Electra Generator mimarisine sahip dil modeli ise en az parametreye sahip olmasına rağmen yüksek oranda başarıyı yakalamıştır. Dolayısı ile bu çalışma da Türkçe dil modellerinin az sayıda parametre eğitimi ile sınırlı sayıda eğitim seti ve kısa ve düzensiz kelime grupları üzerinde doğal dili anlama becerileri ölçülmüştür. Önerilen model ve yöntemlerin farklı metin sınıflandırma problemlerinde kullanılabilir olduğu gösterilmeye çalışılmıştır.

Veri seti içeriği düzensiz gönderiler, kısa metinler, farklı yazım yanlışları, çok sayıda kelime türü gibi sınıflandırmayı etkileyen olumsuz öğelerden oluşmaktadır. Başarımları artırmak için farklı yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sorunu giderebilmek için bu çalışmada gönderileri tek başına değerlendirmenin yanında belirlediğimiz bir çerçeveye boyutuyla ek çalışmalar yapılmıştır. Sonuç olarak tek bir tweet için cinsiyet tespiti zor olmasına rağmen 5-10 arası tweet gönderileri değerlendirmeye alındığında %80'e kadar doğru tahmin edilebilmektedir. Çalışma Türkçe gönderilerden cinsiyet tespiti için hazırlanan en kapsamlı çalışmalardan biri olmaktadır. Ayrıca kısa metin sınıflandırma görevi olarak ele alındığında ise ön eğitilmiş dil modellerinin Türkçe için başarımları kıyaslanarak sonraki çalışmalar için bir rehber olmaktadır.

Aynı veri seti ile ulaşabildiğimiz tek yayın olan diğer çalışmada [4] (Bag-Of-Words+SVM) %72.32 oranında başarıya ulaşıldığı belirtilmektedir. Yazarların veri setini ham bir şekilde paylaştığından ve metin ön işleme adımları detaylıca belirtilmediğinden dolayı bu çalışma da kullanılan SVM sınıflandırma yöntemi ile aynı sonuçlara ulaşamamıştır. Oluşturulan en başarılı Bert modeli ile $n=1$ için %70 $n=2$ için %73 başarımları elde edilmiştir.

Ayrıca ön eğitilmiş dil modellerinin eğitimi için yüksek miktarda veri kullanılmaktadır. Bu veriler çoğunlukla düzenli, anlamlı ve standart cümle yapılarından oluşmaktadır. Dil modellerinde kelimelerin cümle içerisindeki anlamı, diğer kelimelerle ilişkisi hatta konumu bile kodlanmaktadır (encoding). Bu yüzden metin sınıflandırma, duygu analizi gibi uygulamalarda klasik makine öğrenme modellerine oranla yüksek başarımlar elde edilebilmektedirler. Fakat twitter gibi düzensiz kelime öbeklerinden oluşan, sohbet dili kullanılmış metin kümeleri üzerindeki uygulamalarda aynı oranda fark oluşmamaktadır. SVM gibi sınıflandırıcılar dil modellerinin aksine metin içerisindeki cümlelerin yapısıyla veya kelimelerin anlamları ile ilgilenmezler. Bu sebeple klasik makine öğrenme algoritmaları cinsiyet belirleme görevi için yüksek parametrelili dil modellerine yakın sonuçlar elde etmiştir.

Kaynaklar

- [1] F. M. R. Pardo, A. Giachanou, B. Ghanem, and P. Rosso, "Overview of the 8th Author Profiling Task at PAN 2020: Profiling Fake News Spreaders on Twitter," *CLEF 2020 Labs Work. Noteb. Pap.*, pp. 22–25, 2020.
- [2] M. A. Álvarez-Carmona *et al.*, "A visual approach for age and gender identification on Twitter," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 34, no. 5, pp. 3133–3145, 2018, doi: 10.3233/JIFS-169497.
- [3] F. Rangel, P. Rosso, M. Montes-Y-Gómez, M. Potthast, and B. Stein, "Overview of the 6th Author Profiling Task at PAN 2018: Multimodal Gender Identification in Twitter," *CEUR Workshop Proc.*, vol. 2380, 2018.
- [4] E. Sezerer, O. Polatbilek, and S. Tekir, "A Turkish Dataset for Gender Identification of Twitter Users," pp. 203–207, 2019, doi: 10.18653/v1/w19-4023.
- [5] J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee, and K. Toutanova, "BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding," no. M1m, 2018, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1810.04805>.
- [6] V. Sanh, L. Debut, J. Chaumond, and T. Wolf, "DistilBERT, a distilled version of BERT: Smaller, faster, cheaper and lighter," *arXiv*, pp. 2–6, 2019.

- [7] C. D. Manning, “Electra : P Re - Training T Ext E Ncoders As D Iscriminators R Ather T Han G Enerators,” *Iclr*, pp. 1–18, 2020.
- [8] F. Rangel, P. Rosso, M. Potthast, and B. Stein, “Overview of the 5th author profiling task at PAN 2017: Gender and language variety identification in Twitter,” *CEUR Workshop Proc.*, vol. 1866, 2017.
- [9] F. Rangel and P. Rosso, “Overview of the 7th author profiling task at Pan 2019: Bots and gender profiling in twitter,” *CEUR Workshop Proc.*, vol. 2380, 2019.
- [10] W. Zaghouani and A. Charfi, “Arap-Tweet: A Large Multi-Dialect Twitter Corpus for Gender, Age and Language Variety Identification,” *arXiv*, pp. 694–700, 2018.
- [11] D. Martin-Gutierrez, G. Hernandez-Penalzoa, A. B. Hernandez, A. Lozano-Diez, and F. Alvarez, “A Deep Learning Approach for Robust Detection of Bots in Twitter Using Transformers,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 54591–54601, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3068659.
- [12] F. Safara *et al.*, “An Author Gender Detection Method Using Whale Optimization Algorithm and Artificial Neural Network,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 48428–48437, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2973509.
- [13] C. Zhang and M. Abdul-Mageed, “BERT-based Arabic social media author profiling,” *CEUR Workshop Proc.*, vol. 2517, no. 1, pp. 84–91, 2019.
- [14] M. Talebi and C. Köse, “Facebook yorumlarının analiziyle Cinsiyet, Yaş ve Eğitim düzeyi belirleme Identifying Gender, Age and Education level by analyzing comments on Facebook,” *Ieee*, no. 2007, pp. 4–7, 2013.
- [15] L. I. Qian *et al.*, “A Survey on Text Classification: From Shallow to Deep Learning,” *arXiv*, vol. 31, no. 11, pp. 1–21, 2020.
- [16] İ. Sel, A. Karci, and D. Hanbay, “Karşılıklı Bilgi Kullanılarak Metin Sınıflandırma İçin Özellik Seçimi Feature Selection for Text Classification Using Mutual Information,” *2019 Int. Artif. Intell. Data Process. Symp.*, pp. 18–21, 2019.
- [17] İ. Sel and D. Hanbay, “Doğal Dil İşleme Yöntemleri Kullanarak E- Maillerin Sınıflandırılması E- Mail Classification Using Natural Language Processing,” *2019 27th Signal Process. Commun. Appl. Conf.*, pp. 19–22, 2019.
- [18] D. Bahdanau, K. H. Cho, and Y. Bengio, “Neural machine translation by jointly learning to align and translate,” *3rd Int. Conf. Learn. Represent. ICLR 2015 - Conf. Track Proc.*, pp. 1–15, 2015.
- [19] A. Vaswani *et al.*, “Attention is all you need,” *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, vol. 2017-Decem, no. Nips, pp. 5999–6009, 2017.
- [20] J. Pizarro, “Using N-grams to detect Bots on Twitter Notebook for PAN at CLEF 2019,” *CEUR Workshop Proc.*, vol. 2380, pp. 9–12, 2019.
- [21] S. ElSayed and M. Farouk, “Gender identification for Egyptian Arabic dialect in twitter using deep learning models,” *Egypt. Informatics J.*, vol. 21, no. 3, pp. 159–167, 2020, doi: 10.1016/j.eij.2020.04.001.
- [22] S. Schweter, “BERTurk - BERT models for Turkish.” Zenodo, 2020, doi: 10.5281/zenodo.3770924.
- [23] Y. Altuntaş and K. Fatih, “Deep Feature Extraction for Detection of Tomato Plant Diseases and Pests based on Leaf Images,” *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, vol. 17, no. 2, pp. 145–152, 2021, doi: 10.18466/cbayarfbe.812375.

Krom (III) Klorür Tuzuna Maruz Kalan *Saccharomyces cerevisiae*' nin Stres Yanıtı

Ebru ÇÖTELİ^{1*}, Fikret KARATAŞ², Seher GÜR³

¹ Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, Türkiye

² Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

³ Biyoloji Bölümü, Fen Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ e.coteli@ahievran.edu.tr, ² fkaratas@firat.edu.tr, ³ sgur@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 04/05/2021;

Kabul/Accepted: 12/08/2021)

Öz: Son yıllardaki çalışmalar, mikroelementlerin yüksek yapıları organizmalar ile maya metabolizması üzerindeki etkilerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada, *Saccharomyces cerevisiae* mikroorganizması iki farklı dozda (10 ve 40 µg/mL) krom III klorür tuzuna 12, 24 ve 36 saat boyunca maruz bırakılmıştır. Krom tuzuna maruz bırakılan maya örneklerine 10, 15 ve 20 µg/mL miktarlarında C vitamini eklenmiştir. Maya ve krom etkileşiminin mikroorganizmadaki bazı biyokimyasal parametrelere (A, E, C vitaminleri, Glutasyon, Malondialdehit) etkileri HPLC cihazı ile belirlenmiştir. Artan krom dozu ve süreye bağlı olarak mayaların hücre sayıları, GSH, A, E, C vitamini miktarları ve GSH/GSSG oranlarında azalma, GSSG ve MDA miktarlarında ise artmaların olduğu belirlenmiştir. Artan C vitamini dozuna bağlı olarak mayaların hücre sayıları, GSH, A, E, C vitamini miktarları ve GSH/GSSG oranında artma, GSSG ve MDA miktarlarında azalmaların olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak; kromun maya mikroorganizmasında serbest radikal oluşumunu artırdığı, değişik konsantrasyonlarda eklenen C vitamininin serbest radikal oluşumunu azalttığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: *Saccharomyces cerevisiae*, Krom, Vitamin, Stres, Antioksidan parametreler.

Response Stres of *Saccharomyces cerevisiae* Exposed to Chromium (III) Chloride Salt

Abstract: Recent studies have focused on the effects of microelements on higher organisms and yeast metabolism. In this study, *Saccharomyces cerevisiae* microorganism was exposed to chromium III chloride salt at two different doses (10 and 40 µg/mL) for 12, 24 and 36 hours. Vitamin C was added in amounts of 10, 15 and 20 µg/mL to the yeast samples exposed to chromium salt. The effects of yeast and chromium interaction on some biochemical parameters (vitamins A, E, C, Glutathione, Malondialdehyde) in microorganisms were determined by HPLC device. It was determined that there was a decrease in the cell numbers of yeast, the amounts of GSH, A, E, C vitamins and GSH/GSSG ratios, an increase in the amounts of GSSG and MDA depending on the increasing chromium dose and time. It was observed that there was an increase in the cell numbers of yeast, the amounts of GSH, A, E, C vitamins and GSH/GSSG ratios, a decrease in the amount of GSSG and MDA depending on the increased dose of vitamin C. As a result; It was concluded that chromium increases the formation of free radicals in yeast microorganism, vitamin C added at different concentrations reduces the formation of free radicals.

Key words: *Saccharomyces cerevisiae*, Chromium, Vitamin, Stres, Antioxidant parameters.

1. Giriş

Mayalar tek hücreli mantarlar olup tomurcuklanma yoluyla çoğalırlar. Anaerobik koşullarda bile mayalar rahatlıkla gelişebilir. Bazı mantarlarda olduğu gibi, mayalar da asidik koşullara dayanıklıdır [1]. Mayalar en fazla alkol üretiminde, ekmek ve turşuların yapımında, vitaminler, gliserol, lipidlerin ve proteinlerin üretiminde [2-4], gıda, kimya, ilaç ve zirai alanlarda kullanılmaktadır [3-5]. *Saccharomyces cerevisiae* ekmek veya bira mayası olarak bilinmektedir [6]. *S. cerevisiae* vitaminler, aminoasitler, β-glukan gibi önemli maddeleri de içermektedir [7]. Maya hücrelerinin (*S. cerevisiae*) vitamin, protein, karbonhidrat, yağ ve mineral bakımından zengin olduğu için kozmetik alanında da çok faydalı olabileceği ileri sürülmektedir [8]. Mayalar fiziksel, kimyasal ve biyolojik strese maruz kalabilirler. Kimyasal stres faktörlerinden biri de metal iyonlarının stresidir. Krom canlılar için gerekli eser elementlerden biri olup, fazla miktarlarda alındığında toksik etki göstermektedir. Özellikle krom (VI), krom (III)'e göre daha toksiktir [9, 10].

Son zamanlarda mayalar biyoteknolojik çalışmalarda çok sık kullanılmaktadır. Özellikle biyosorpsiyon çalışmaları bunlardan birisidir. Çalışmada kullanılan *S. cerevisiae*' nin metal biyosorpsiyon çalışmalarında kullanıldığı bilinmektedir. Ancak günümüze kadar yapılan çalışmalarda, krom (III)' un *S. cerevisiae* metabolizması üzerindeki bazı biyokimyasal parametrelere etkileri tam olarak açıklanamamıştır. Ayrıca maya

* Sorumlu yazar: e.coteli@ahievran.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-9473-0914, ² 0000-0002-0884-027X, ³ 0000-0003-0081-5990

gelişme ortamına antioksidan özelliği bilinen C vitamininden değişik konsantrasyonlarda eklenilerek, krom metali ve C vitamininin *S. cerevisiae*' daki bu biyokimyasal parametreler (A, E, C vitamini, Malondialdehit, Glutatyon) üzerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Biyokütlenin üretimi

Krom (Cr^{+3})' un toksik etkisini araştırmak üzere maya (*S. cerevisiae*) kullanılmıştır. *S. cerevisiae* mikroorganizması Pakmaya A.Ş.' den temin edilmiştir. *S. cerevisiae* cinsi mayaların geliştirilmesinde Malt Extract Broth (Malt extract 17.0 g/L+ Mycological peptone 3.0 g/L, pH:5.4± 0.2) sıvı besiyeri, mayaların ekim ve sayım işlemi için Malt Extract Agar (Malt extract 30.0 g/L+ Mycological peptone 5.0 g/L + Agar No. 2 15.0 g/L, pH: 5.4± 0.2) kullanılmıştır. Besiyeri bileşimindeki maddeler distile su ile çözüldükten sonra otoklavda 121 °C' de 15 dk süreyle steril edilmiştir. Çalışma süresince *S. cerevisiae* mikroorganizmasını içeren kuru maya örneği +4°C' de saklanmıştır. Bütün kültürler 30°C' de çalkalamalı etüvde (Gerhardt-Laboshake) 150 rpm' de inkübe edilmiştir [11]. Maya örneğinden 200 mg tartılarak 10 mL Malt Extract Broth (MEB) içeren tüpe ekim yapılmıştır. 30°C' de 24 saat bekletilerek ön zenginleştirme işlemi yapılmıştır. Zenginleştirilmiş maya örneğinden 1 mL alınarak 100 mL MEB içeren erlene aşılama yapılarak etüvde 30°C' de 12 saat inkübasyona bırakılmıştır [12].

2.2. Çalışma prosedürlerinin belirlenmesi

2.2.1. Deneyde kullanılan çözeltilerin hazırlanması

- Cr^{+3} çözeltilerinin hazırlanması: 200 µg/mL stok Cr^{+3} çözeltisi $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ (Merck) tuzundan hazırlanmıştır.
- C vitamini çözeltilerinin hazırlanması: 200 µg/mL stok C vitamini çözeltisi C vitamini standardından (Merck) hazırlanmıştır.
- Lizozom enziminin hazırlanışı: 46400 Unite/mg Lizozom enzim standartından (Sigma) 20 mg tartılmış pH' ı 7.38 olarak hazırlanan fosfat tamponundan 1.5 mL eklenilerek enzimin iyice çözünmesi sağlanmıştır. Maya mikroorganizmasının parçalanmasında bu enzim kullanılmıştır.

2.2.2. Metal-mikroorganizma etkileşiminde uygun pH' ın belirlenmesi

Metal-mikroorganizma (biyosorpsiyon) prosesinde pH en önemli faktördür. Yapılan literatür çalışmalarında pH değeri düşük çözeltilerde ortamda bulunan fazla miktardaki protonlar ile metal iyonları yarışmaktadır. Böylece hücre-metal etkileşimi de azaltılmaktadır. Ancak ortamın pH değeri arttıkça metal iyonları daha fazla bağlanmaktadır. Ortamın pH değeri giderek artarsa ortamdaki OH^- iyon konsantrasyonu da artacağından metal iyonları çökmektedir [12]. Literatürde *S. cerevisiae* mayasının optimum çoğalma pH değerinin 3 ile 7 arasında olduğu belirlenmiştir [13]. Çalışmamızdaki uygun pH değerini belirlemek için; beş erlene maya kültürümüzden aynı miktarda alınmıştır. Kültür örneklerine stok 10 µg/mL Cr^{+3} çözeltisinden aynı miktarlarda eklenmiştir. Örneklerin pH' ı 3, 4, 5, 6, 7 olacak şekilde 1 M HCl ve 1M NaOH çözeltileri ile ayarlanmıştır. 30 °C' deki çalkalamalı etüve bırakılarak maya kültürlerinin 12, 24 ve 36. saatlerindeki hücre sayıları (cfu/mL) araştırılmıştır.

2.2.3. Metal-mikroorganizma etkileşiminde uygun Cr^{+3} dozlarının belirlenmesi (LD50)

Maya (*S. cerevisiae*)' da kromun toksik etkisini araştırmak için; aynı miktar maya örneklerine 10, 20, 30, 40 ve 50 µg/mL stok Cr^{+3} çözeltilerinden aynı miktarda eklenmiştir. Bütün örnekler pH=4'e ayarlanarak 30°C' deki çalkalamalı etüve bırakılmıştır. Başlangıç kültür numunesi ile değişik konsantrasyonlarda Cr^{+3} eklenen numunelerin 12, 24 ve 36. Saatteki hücre sayıları (cfu/mL)' nin nasıl değiştiği belirlenmiştir.

2.2.4. Metal-mikroorganizma etkileşiminde uygulanacak C vitamini dozlarının belirlenmesi

200 µg/mL C vitamini stok çözeltisi C vitamini standartından hazırlanmıştır. Çalışmamızda 10 ve 40 µg/mL krom (Cr^{+3}) dozuna maruz bırakılan maya örneklerimizin bazılarında 10, 15 ve 20 µg/mL konsantrasyonlarda C vitamini çözeltileri eklenmiştir. Kromun toksik etkilerine karşı farklı konsantrasyonlarda eklenen C vitamininin biyokimyasal parametreler üzerine etkileri araştırılmıştır.

2.2.5. Deney düzeneğinin hazırlanması

Saf olarak üretilen maya örnekleri dokuz gruba ayrıldı:

Grup 1 = maya örneği + su

Grup 2 = maya örneği +10 µg/mL krom III klorür tuzu+su,

Grup 3 = maya örneği +10 µg/mL krom III klorür tuzu+10 µg/mL C vitamini+su,

Grup 4 = maya örneği+10 µg/mL krom III klorür tuzu +15 µg/mL C vitamini+su,

Grup 5 = maya örneği +10 µg/mL krom III klorür tuzu+20 µg/mL C vitamini+su,

Grup 6 = maya örneği + 40 µg/mL krom III klorür tuzu + su,

Grup 7 = maya örneği +40 µg/mL krom III klorür tuzu+10 µg/mL C vitamini+su,

Grup 8 = maya örneği+40 µg/mL krom III klorür tuzu+15 µg/mL C vitamini+su,

Grup 9 =maya örneği+40 µg/mL krom III klorür tuzu+20 µg/mL C vitamini+su,

katılarak 120 mL örnekler hazırlanmıştır. Toplam 120 mL örnek hazırlamak için; 10 µg/mL Cr⁺³ uygulanacak gruplara (6 mL), 40 µg/mL Cr⁺³ uygulanacak gruplara (24 mL) stok Cr⁺³ çözeltisinden eklenmiştir. Ayrıca 10 µg/mL C vitamini uygulanacak gruplara (6 mL), 15 µg/mL C vitamini için (9 mL), 20 µg/mL C vitamini için (12 mL) stok C vitamini çözeltisinden ilave edilmiştir. Bütün numuneler pH=4'e ayarlanmıştır.

2.2.6. Ham özüt hazırlanması

Sıvı besi ortamındaki hücrelerden ham özüt hazırlanmıştır [14]. Kontrol grubu ve Cr⁺³ uygulanmış deney grubundaki hücreler, 4500 rpm' de 20 dakika santrifüj edilerek çöktürülmüştür. Hücre çökeltisi 2.0 mL steril saf su ile 2 kez yıkanılarak pH' ı 7.38 olan fosfat tamponu ile sulandırılmış lizozom enziminden hücre çökeltisine 2 damla eklenip 5 dk vortekslenmiştir. Örnekler 1.5 mL deiyonize su ile süspansiyon edilmiştir. Her bir örnek üzerine asit ile yıkanmış 1.0 g cam boncuk (0.25-0.30 mm çapında) eklendikten sonra tekrar vortekslenerek ultrasonik su banyosunda 15 dk bekletilmiştir. Örnekler 10 dk santrifüjlenerek üst sıvıdan 1 mL alınarak numune tüplerine aktarılmıştır. Elde edilen ham özütler deneylerde kullanılmak üzere -20 °C' da saklanmıştır.

2.2.7. Maya örneklerinin A ve E vitamini miktarlarının belirlenmesi

Maya özütlerinden 1 mL alınarak 2 mL etanol: sülfürik asit (99:1) karışımından ilave edilmiştir. Bu şekilde proteinlerin çöktürülmesi sağlanmıştır. Numuneler vorteks ile iyice karıştırıldıktan sonra 4500 devirde santrifüjlenmiştir. Santrifüjlenen numunelere 0.5 mL n-hekzan ilave edilerek tekrar santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonunda hekzan fazı dikkatli bir şekilde ayrılarak cam tüpe alınmıştır. Bu işlem iki defa tekrarlanılarak hekzan fazları birleştirilmiştir. Ekstrakte edilen hekzan fazı azot gazı ile dikkatlice ortamdan uzaklaştırılarak tüpteki kalıntı 0.1 mL metanolde çözülmüştür. Bu çözeltiden 20 µL alınarak yüksek performanslı sıvı kromatografisi cihazına verilmiştir. Bu cihazda mobil faz metanol: su (98:2) çözeltisi ve SUPELCOSIL LC-18 kolonu kullanılarak 326 nm'de A vitamini ve 296 nm'de E vitamini belirlenmiştir [15, 16].

2.2.8. Maya örneklerinin C ve MDA miktarlarının belirlenmesi

Maya özüt örneklerinden 1 mL alınarak 0.5 M HClO₄ çözeltisinden 0.5 mL eklenip vortekslenmiştir. Vortekslenen bu karışımın 4500 rpm' de 5 dk santrifüjlenerek içerisindeki proteinlerin çöktürülmesi sağlanmıştır. Santrifüjlenen örneğin üzerindeki berrak kısımdan 20 µL alınıp HPLC cihazına verilmiştir. 245 nm dalga boyu, (3.7 mM KH₂PO₄ pH=4) hazırlanan mobil faz ve Inertsil ODS-4 kolonu kullanılarak örneklerdeki C vitamini miktarları belirlenmiştir [17]. Örneklerdeki MDA miktarları; C vitamini tayini için hazırlanmış olan süzütünden yine 20 µL alınarak HPLC cihazına verilmiştir. Inertsil ODS-4 kolonu ve pH: 4'e fosforik asit ile ayarlanmış 30 mM KH₂PO₄-CH₃OH (%65-%35) karışımını içeren mobil faz kullanılarak 254 nm dalgaboyunda örneklerin MDA miktarı belirlenmiştir [18].

2.2.9. Maya örneklerinin glutatyon (GSH, GSSG) miktarlarının belirlenmesi

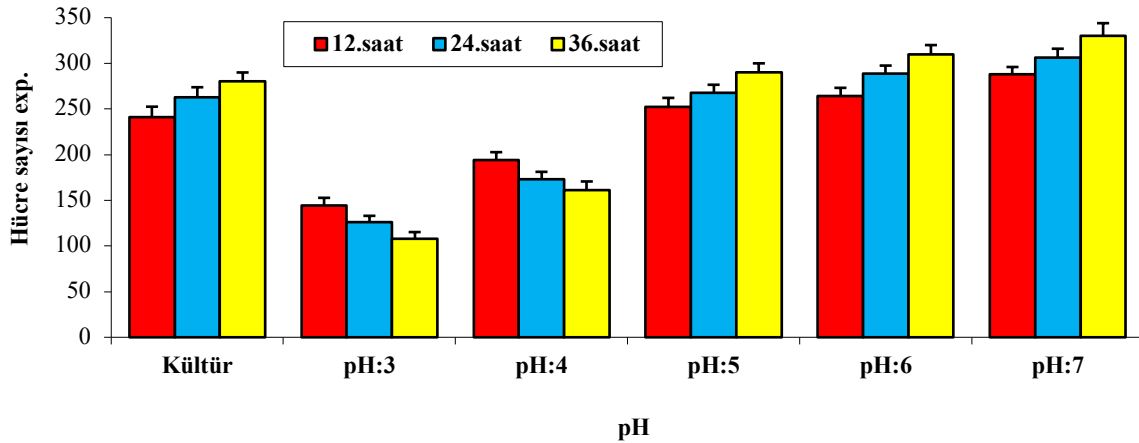
GSH ve GSSG miktarlarının belirlenmesi için maya süpernatant örneklerinden 1 mL alınmıştır. 0.5 M HClO₄ çözeltisinden 0.5 mL ilave edilerek vortekslenmiştir. Karışım 4500 rpm' de 5 dk santrifüjlenerek proteinlerin çöktürülmesi sağlanmıştır. Santrifüjlenen numuneden 20 µL alınarak HPLC cihazına verilmiştir. Analizlerde EXSIL 100-5ODS kolonu ve % 0.1 H₃PO₄ kullanılarak hazırlanmış olan 50 mM NaClO₄ mobil faz çözeltisi kullanılarak 215 nm' de örneklerdeki glutatyon (GSH ve GSSG) miktarları tayin edilmiştir [19].

2.2.10. İstatistiksel değerlendirme

Bu çalışmada incelenen her bir grup için tekrar sayısı (n) = 3 olacak şekilde analiz edilmiştir. Çalışmadaki sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Deneysel sonuçlar SPSS 17.0 istatistiksel bilgisayar programı ile hesaplanmış, sonuçların değerlendirilmesinde One-Sample T testi kullanılmıştır. Anlamlılık düzeyi p<0.05 olarak belirlenmiştir.

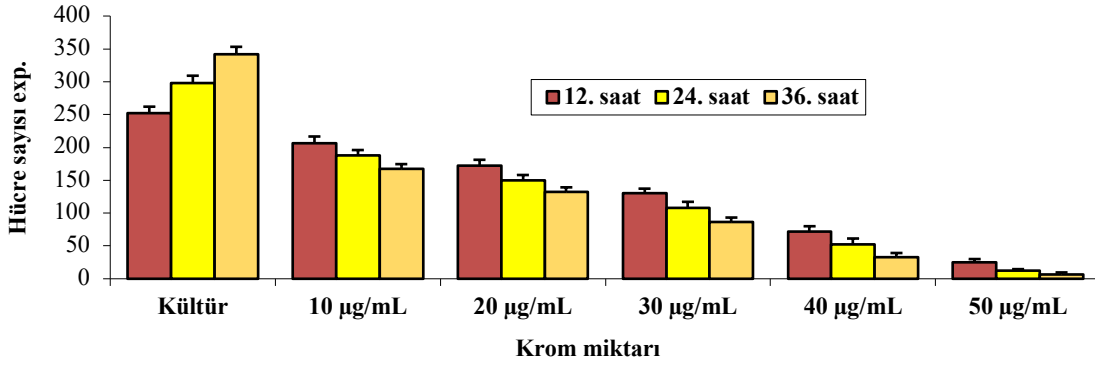
3. Sonuçlar

Başta başlangıç kültürü olmak üzere 3-7 arasında değişik pH' larda maya (*S. cerevisiae*)' nin 12, 24. ve 36. saatteki hücre sayıları (cfu/mL) belirlenmiştir. Maya (*S. cerevisiae*) ile krom (III) toksik etkileşimin pH 5 ve sonrasında olmadığı, pH 3' de ise etkileşimin fazla derecede olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada bazı biyokimyasal parametre miktarlarının ölçülebilmesi için; krom metali ile maya mikroorganizmasının pH 4' teki toksik etkileşiminin incelenmesine karar verilmiştir. Sonuçlar Şekil 1' de gösterilmiştir.



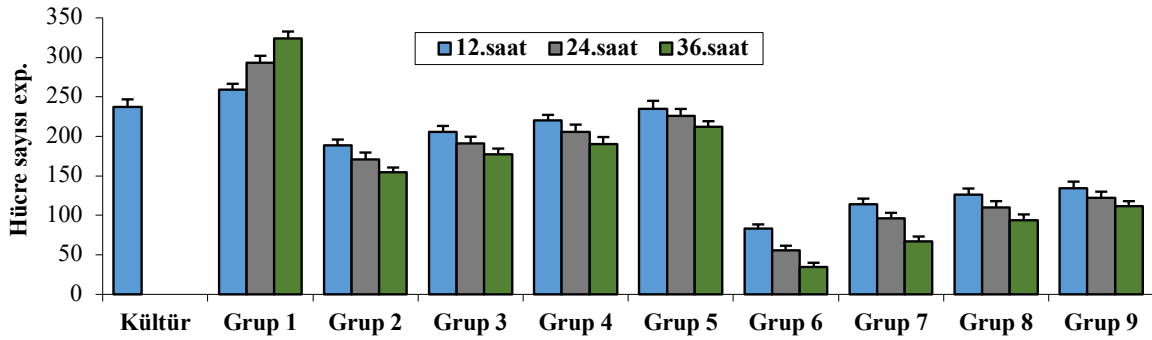
Şekil 1. *S. cerevisiae* ile krom etkileşiminde uygun pH' ın belirlenmesi (Grafikteki hücre sayıları 10⁶ ile çarpılmalıdır).

Metal-mikroorganizma etkileşiminde diğer bir faktör de uygun (LD50) krom (III) dozlarının belirlenmesidir. Bu amaçla 10-50 µg/mL konsantrasyonlardaki krom (III) metali çözeltileri ile maya mikroorganizmasının pH 4' teki toksik etkileşimi incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 2' de gösterilmiştir. 50 µg/mL konsantrasyondaki kromun lethal doz olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple çalışmada 10 ve 40 µg/mL olmak üzere iki farklı krom (III) dozlarının kullanılmasına karar verilmiştir.



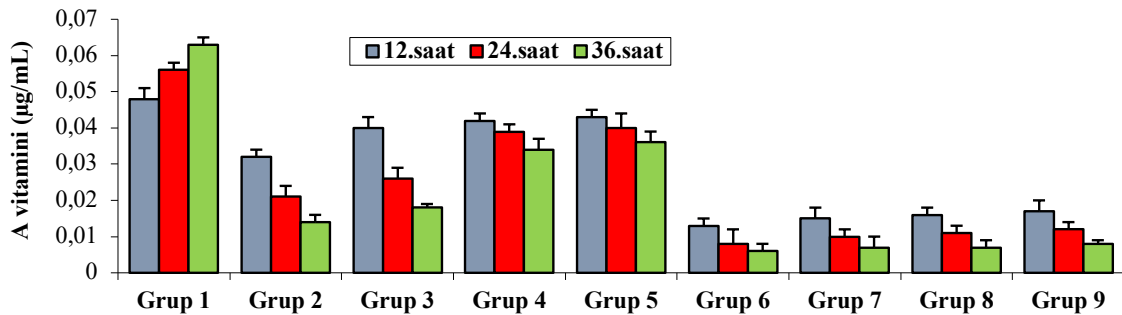
Şekil 2. *S. cerevisiae*' ya uygulanacak uygun krom dozlarının belirlenmesi (Grafikteki hücre sayıları 10^6 ile çarpılmalıdır)

Maya mikroorganizmasına uygulanmak üzere 10 ve 40 µg/mL derişimlerde olmak üzere iki farklı Cr^{+3} dozu seçilmiştir. Krom ile muamele edilen maya örneklerine C vitamininin etkisini araştırmak için 10, 15 ve 20 µg/mL olmak üzere üç farklı konsantrasyonda C vitamini çözeltilerinden ilave edilmiştir. Deney gruplarındaki mayaların hücre sayıları ile antioksidan vitaminleri (A, E, C), malondialdehit ve glutasyon miktarları (Şekil 3-11)' de gösterilmiştir.



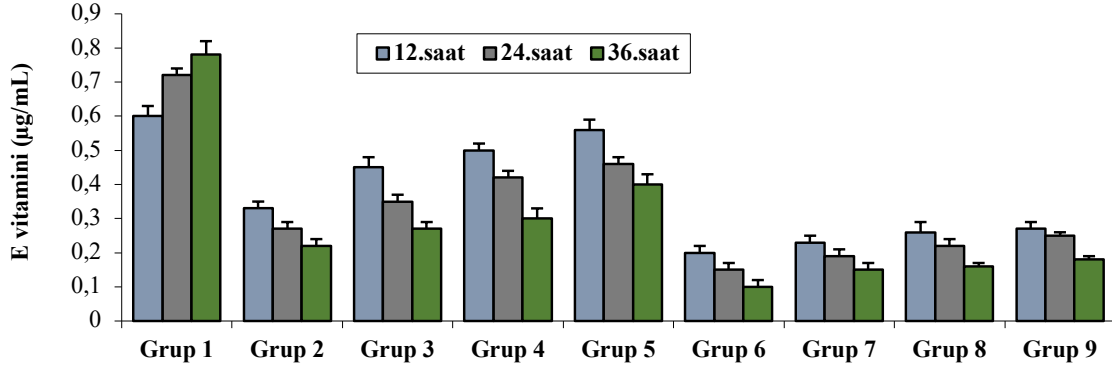
Şekil 3. Antioksidan vitaminler, malondialdehit ve glutasyon miktarlarının incelendiği kültürlerdeki hücre sayıları (cfu/mL) (Grafikteki hücre sayıları 10^6 ile çarpılmalıdır).

Zamana bağlı olarak *S. cerevisiae* maya örneklerinin A vitamini miktarlarındaki değişim Şekil 4' de gösterilmiştir.



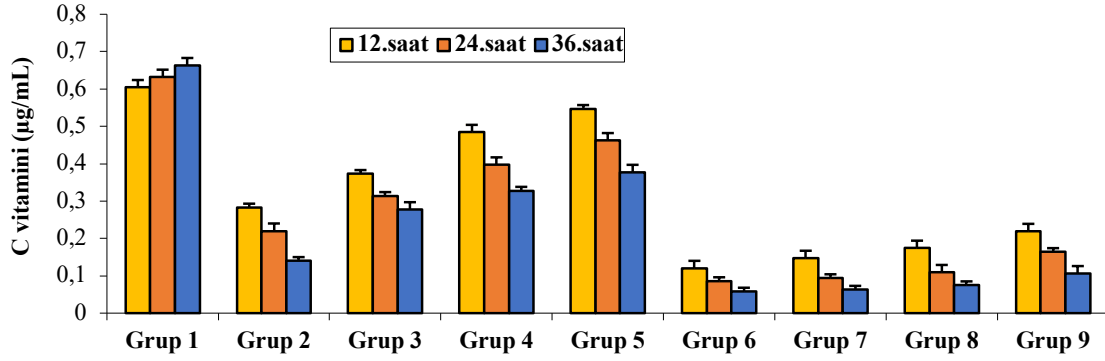
Şekil 4. Deney gruplarında süreye bağlı olarak A vitamini miktarlarındaki değişim grafiği

S. cerevisiae mikroorganizma örneklerinin zamana bağlı olarak E vitamini miktarlarındaki değişim Şekil 5' de gösterilmiştir.



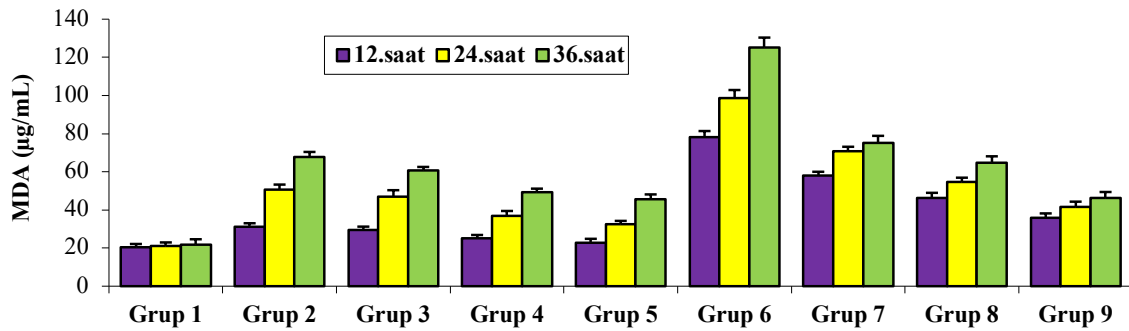
Şekil 5. Deney gruplarında süreye bağlı olarak E vitamini miktarlarındaki değişim grafiği

Zamana bağlı olarak *S. cerevisiae* maya örneklerinin C vitamini miktarlarındaki değişimler Şekil 6' da gösterilmiştir.



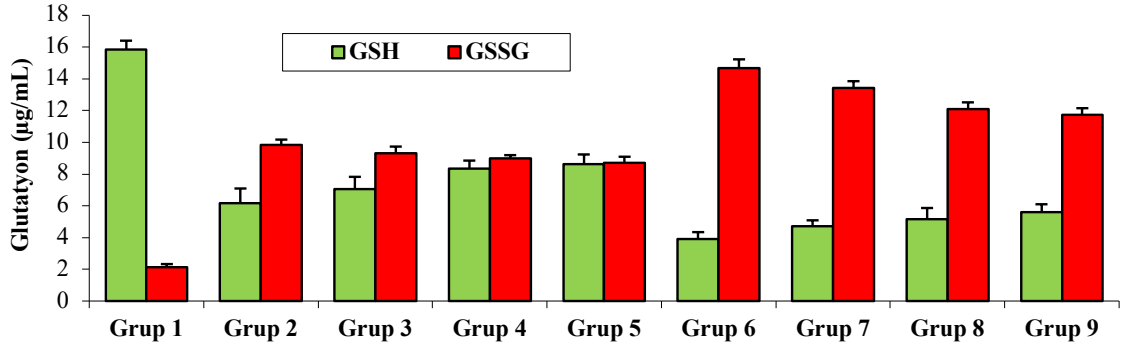
Şekil 6. Deney gruplarında süreye bağlı olarak C vitamini miktarlarındaki değişim grafiği

Zamana bağlı olarak *S. cerevisiae* deney gruplarının malondialdehit (MDA) miktarlarındaki değişim Şekil 7' de gösterilmiştir.

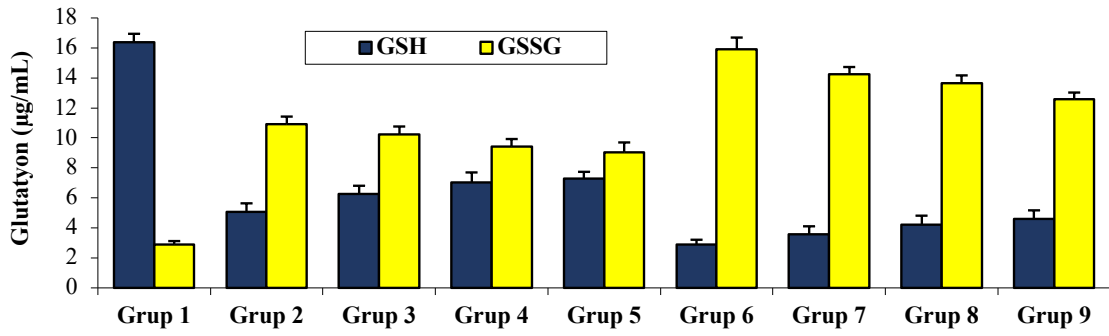


Şekil 7. Deney gruplarında süreye bağlı olarak MDA miktarlarındaki değişim grafiği

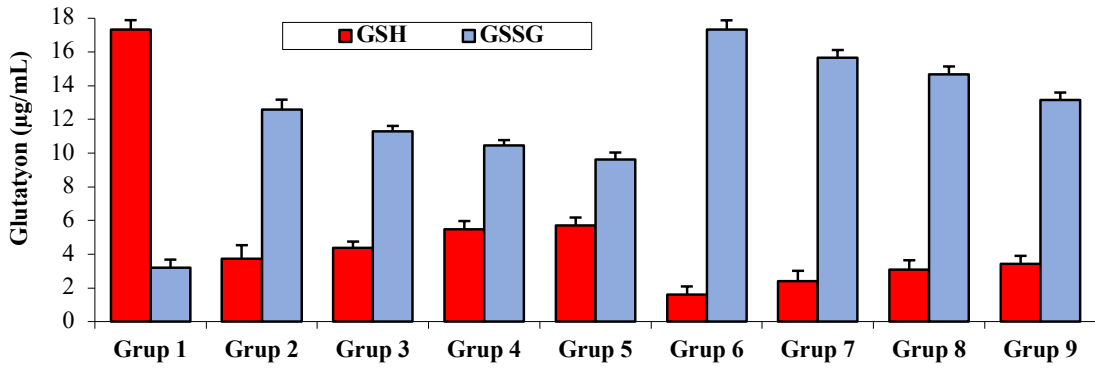
Zamana bağlı olarak maya örneklerindeki GSH ve GSSG miktarları (Şekil 8-10) ile GSH/GSSG oranları üzerine etkileri (Şekil 11)' de gösterilmiştir.



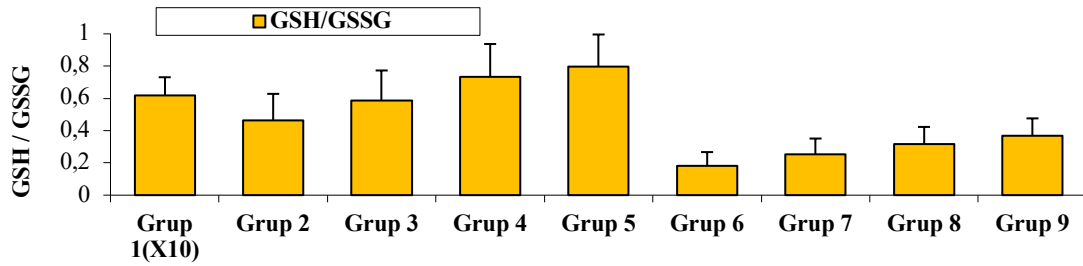
Şekil 8. Maya örneklerinin 12. saatteki GSH ve GSSG değerleri



Şekil 9. Maya örneklerinin 24. saatteki GSH ve GSSG değerleri



Şekil 10. Maya örneklerinin 36. saatteki GSH ve GSSG değerleri



Şekil 11. Maya örneklerinin 12, 24 ve 36. saatteki GSH/GSSG oranlarının ortalama değerleri

4. Tartışma

Krom protein, yağ ve karbonhidrat metabolizması için gerekli mikro besindir. Ancak fazla miktarlarının toksik etki yaptığı bildirilmiştir [20]. Kromdan etkilenen diğer bir canlı grubu maya mikroorganizmasıdır. Toksik metallere karşı mayalar ya metallerin alınımının ve geçişinin azaltılması veya hücrelerinin metalleri tutması yoluyla direnç gösterebilmektedirler [21]. Bütün çalışmalarımız maya mikroorganizmasının üstel fazındaki üremesi esnasında alınan kültürlerle yapılmıştır. Canlı hücre sayısının maksimum seviyede olduğu bu evrede, krom-maya etkileşiminin araştırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, dokuz farklı gruba ayrılmış maya örneklerinin 12, 24 ve 36. saatteki hücre sayıları incelenmiştir. Kontrol grubu ile iki farklı krom dozunun uygulandığı maya örneklerinin hücre sayıları karşılaştırıldığında, krom dozlarının uygulandığı örneklerin hücre sayılarında azalmalar ($p < 0.005$) tespit edilmiştir. Fakat ortama farklı dozlarda C vitamini eklenmesiyle doza bağlı olarak hücre sayılarının da arttığı ($p < 0.005$) belirlenmiştir. Ayrıca kontrol grubunda zamana bağlı olarak maya hücre sayılarında artışlar ($p < 0.005$) gözlenmiş iken, diğer gruplarda zamana bağlı olarak düşüşlerin ($p < 0.05$) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3). H_2O_2 ile stres oluşturulmuş *Schizosaccharomyces Pombe* mayasında yapılan bir çalışmada *S. pombe* hücrelerinde canlılık oranlarının, H_2O_2 derişimi ile ters orantılı olarak değiştiği rapor edilmiştir [22].

Metabolizmada ortaya çıkan radikallerin önlenmesi ve aktif oksijen türlerinin durdurulmasında karotenoidlerin önemli görevleri vardır [23]. Bu çalışmada, kontrol grubu maya örneklerinin zamana bağlı olarak A vitamini miktarlarında artmalar ($p > 0.05$) gözlenirken, kromun artan dozuna karşılık maya örneklerinin A vitamini miktarlarında azalmalar ($p < 0.05$) olduğu belirlenmiştir. Ortama katılan C vitamini doz artışına paralel olarak da maya örneklerinin A vitamini miktarlarında artışların ($p < 0.05$) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4). *S. cerevisiae* ve bazı ağır metallerin biyosorpsiyonu ile ilgili yapılan bir çalışmada, ağır metal uygulamalarının maya hücresi A vitamini miktarlarında düşüşlere yol açtığı bildirilmiştir [24].

E vitamininin antioksidan kapasitesi oldukça geniş ve yüksektir. Bu antioksidan kapasitesini zararlı radikallerin yok edilmesi, etkisinin azaltılması ve bozduğu yapıların tamiri gibi çeşitli mekanizmaları kullanarak yerine getirmektedir [25, 26]. Bu çalışmada kontrol grubu maya örneklerinin zamana bağlı olarak E vitamini miktarlarında artmaların ($p < 0.05$) olduğu, kromun artan dozuna bağlı olarak maya örneklerinin E vitamini miktarlarında azalmalar ($p < 0.05$) olduğu gözlenmiştir. Ortama katılan C vitamini doz artışına paralel olarak maya örneklerinin E vitamini miktarlarında artışların ($p < 0.05$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 5). H_2O_2 ile stres oluşturulmuş mikroorganizma *S. cerevisiae*'da, α -tokoferol'ün koruyucu etkileri araştırılmış ve stres oluşturulan grupların hücre sayısının kontrol grubuna göre düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca α -tokoferol ilave edilen grupların hücre sayısının, stres oluşturulan grupların hücre sayısından fazla olduğu bildirilmiştir [27]. Bulgularımızın birbirleriyle ve literatürlerle uyumlu oldukları görülmektedir.

C vitamininin antioksidan olarak görevi, lipid hidroperoksitlerin oluşumunu önlemektir. Özellikle bu vitamin peroksit ve süperoksit gibi reaktif oksijen türlerinin indirgenmesinde görev almaktadır [28]. Yapılan bir çalışmada, CrO_3 verilen farelerin dokularındaki askorbik asit miktarlarının kontrol grubuna göre düşük olduğu bildirilmiştir [29]. Bu çalışmada kontrol grubu C vitamini miktarlarında artışlar ($p < 0.005$) gözlenirken, diğer tüm gruplarda zamana bağlı olarak C vitamini miktarlarında düşüşler ($p < 0.05$) tespit edilmiştir. Ayrıca kromun artan dozlarına bağlı olarak örneklerdeki C vitamini miktarlarında azalma ($p > 0.05$) gözlenmiş iken, ortama ilave edilen C vitamini dozuna paralel olarak da örneklerdeki C vitamini miktarlarında artışların ($p < 0.05$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 6). Ayrıca ortama C vitamini katılması ve *S. cerevisiae*' ların C vitamini sentezleme yeteneklerinden dolayı [30], mayalardaki C vitamini miktarlarındaki artışın olması beklenen bir sonuçtur. Artan krom dozuna karşılık C vitamini miktarındaki düşüşün sebebi ise, kromun oluşturduğu serbest radikallerin temizlenmesi ve zararsız hale getirilmesinde kullanılmış olabileceği sonucunu akla getirmiştir.

Kromun en önemli özelliklerinden biri değerlik değiştirip yok olmamasıdır. Bu yüzden kromun serbest radikal uyarımı ile ilişkili olduğuna inanılmaktadır [31, 32]. Metabolizmada stres sonucu oluşan bu zararlı radikaller, hücre zarının yapısında bulunan doymamış yağ asitlerine etki etmektedirler. Bu olay sonucu lipid peroksidasyon meydana gelmektedir. Lipid peroksidasyonu sonucunda malondialdehit (MDA) adı verilen reaktif karbon bileşikler oluşmaktadır [33]. Metabolizmadaki serbest radikal oluşumunu arttıran maddelerin, MDA düzeyini arttırdığı ancak vitamin seviyelerini azalttığı bildirilmiştir [34]. Bu çalışmada, kontrol grubu maya örneklerinin zamana bağlı olarak MDA miktarında artışlar ($p < 0.005$) gözlenirken, diğer tüm gruplarda da zamana bağlı olarak MDA miktarlarında artışlar ($p < 0.05$) tespit edilmiştir (Şekil 7). Kontrol grubu maya örneğinde zamana bağlı olarak MDA miktarında artışın olması, maya hücrelerinin çoğalması sırasındaki stresten kaynaklanmış olabileceğini göstermektedir. Kromun artan dozuna bağlı olarak MDA miktarlarında artışlar gözlenirken ($p < 0.05$), ortama ilave edilen C vitamini dozuna paralel olarak da MDA miktarlarında düşüşlerin ($p < 0.05$) olduğu belirlenmiştir. Kromun maya mikroorganizmasında oksidatif stres oluşturarak, serbest radikallerin artışına sebep

olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla maya örneklerinin de MDA miktarlarında artışlara yol açmıştır. Ancak kültür ortamına ilave edilen C vitamininin antioksidan vitamin olması münasebetiyle, serbest radikal oluşumunu önlediği belirlenmiştir. Bazı ağır metaller (Mn, Mg, Cd, Fe) ve *S. cerevisiae* ile yapılan bir çalışmada; ağır metal uygulamalarının maya hücresinde MDA miktarlarında artışlara, vitamin miktarlarında da düşürlere yol açtığı bildirilmiştir [24]. Sonuçlarımızın literatürlerle uyumlu olduğu görülmüştür.

Glutasyon (GSH) glutamik asit, sistein ve glisin gibi aminoasitlerden oluşan bir tripeptit' tir. Glutasyon hücreyi özellikle oksidatif stres olmak üzere tüm çevresel stres koşullarına karşı korumaktadır [35, 36]. Bu çalışmada 12, 24 ve 36. saatlerdeki kontrol grubu ile diğer grup maya örneklerinin GSH ve GSSG miktarları karşılaştırılmıştır. Kontrol grubuna göre diğer grupların GSH miktarlarında azalma ($p<0.05$), GSSG miktarlarında artma ($p<0.05$) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8-10). Kromun doz artışına bağlı olarak GSH miktarlarında azalma ($p<0.05$), GSSG miktarlarında ise artış ($p<0.05$) olduğu belirlenmiştir. Ortama artan dozlarda C vitamini ilavesi durumunda GSH miktarlarında artış ($p<0.05$), GSSG miktarlarında ise azalma ($p<0.05$) olduğu belirlenmiştir. Her üç saatteki sonuçlar birbirini desteklemektedir. *S. cerevisiae* ile yapılan bir çalışmada, glutasyonun oksidatif strese karşı korumada önemli bir molekül olduğu belirtilmiş ve artan H_2O_2 derişimlerinin glutasyon (GSH) düzeyini düşürdüğü bildirilmiştir [37]. Glutasyonun redoks dengesi (GSH/GSSG) oranına bağlıdır. Metabolizmadaki oksidatif stres durumlarında bu oranın 1-10 arasında değişmektedir [38]. Glutasyon redoks dengesine (GSH/GSSG) bakıldığında, besi ortamlarına krom ilave edilen maya örneklerindeki bu oranın kontrol grubuna göre düşük olduğu görülmüştür. Krom stresine uğramış maya örneklerinde bu oran, zamana bağlı olarak azalmalar şeklinde devam etmiştir. Ayrıca GSH/GSSG oranı kontrol grubunda yüksek iken, diğer gruplarda oldukça düşük değerlerde olduğu ($p<0.05$) tespit edilmiştir. C vitamini eklenen örneklerde bu oranın daha fazla olduğu ve zamana bağlı olarak azalmaların daha yavaş olduğu belirlenmiştir (Şekil 11). Krom dozunun bu oranı düşürdüğü, artan C vitamini dozunun ise bu oranı kısmen artırdığı belirlenmiştir. Maya örneklerindeki artan MDA miktarları ile maya GSH/GSSG oranındaki azalma miktarlarından kromun mayada oksidatif strese neden olduğu, oluşan bu stresi C vitamininin kısmen de olsa önlediği belirlenmiştir. Metabolizmada oksidatif strese cevapta GSH miktarlarında azalmalar, GSSG miktarlarında ise artmaların olduğu yapılan çalışmalarda bildirilmiştir [39]. Ayrıca *S. cerevisiae* kültür ortamına ağır metallerin ilavesi ile ilgili yapılan bir çalışmada; maya hücresinin okside glutasyon (GSSG) miktarının arttığı, redükte glutasyon miktarlarının (GSH) azaldığı ve GSH/GSSG oranının ise düştüğü belirlenmiştir [37]. Bulgularımızdaki GSH, GSSG ve GSH/GSSG oranı sonuçlarımızın literatürlerle uyumlu olduğu görülmektedir.

Maya hücreleri ile memeli hücreleri büyük oranda benzerdirler [40]. Maya mikroorganizması ile yapılan çalışmalarla, ökaryotik canlılardaki metabolik stres ve strese karşı verilen antioksidan cevap mekanizmaları açıklanabilmektedir. Çalışmamızda memeli hücreleri gibi ökaryotik bir canlı olan *S. cerevisiae*' da oksidatif strese karşı antioksidan cevap ve bu cevaba C vitamininin etkisi araştırılmıştır. Sonuçta kromun artan dozuna karşı A, E, C vitaminleri, GSH ve GSH/GSSG oranı miktarlarında azalmalar gözlenirken, MDA ve GSSG miktarlarında artışların olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlardan kromun *S. cerevisiae*' da oksidatif strese yol açtığı, ortama ilave edilen C vitamininin etkin bir süpürücü ve koruyucu etki gösterdiği belirlenmiştir. Uygulanan krom stresinin *S. cerevisiae* metabolizmasında değişikliğe yol açtığı gözlenmiştir. Bu tarz çalışmaların, memeli hücrelerindeki redoks dengelerinin aydınlatılması açısından faydalı olabileceği kanaatine varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (FÜBAP) FF 11.01 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma özgün araştırma makalesi niteliğindedir.

Kaynaklar

- [1] Samson RA, Hocking AD, Pitt JI, King AD. Modern methods in food mycology. Elsevier, Amsterdam. Science Publishers pp 1992; 275–285.
- [2] Phaff HJ, Mille MW, Mrak EM. The live of yeasts. Harward University Press. Cambridge p. 186, 1966.
- [3] Jakobsen M, Norvhus J. Yeast and their possible beneficial and p. negative effects on the quality of dairy products. Int.Dairy Journal 1996; 6: 755-768.
- [4] Hierro N, Gonzalez A, Mas A, Guillaumon JM. New PCR based methods for yeast identification. Journal of Applied Microbiology 2004; 97: 792-801.
- [5] Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S. Metallerin çevresel etkileri I-II. İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü (Seminer çalışması 24s), 2004.
- [6] Barnett JA. The taxonomy of the genus *Saccharomyces* Meyen ex Reess: A Short Review for Nontaxonomists. Yeast 1992; 81: 1-23.

- [7] Inoue Y, Nomura W, Takeuchi Y, Ohdate T, Tamasu S, Kitaoka A, Kiyokawa Y, Masutani H, Murata K, Wakai Y, Izawa S, Yodoi J. Efficient extraction of thioredoxin from *Saccharomyces cerevisiae* by ethanol. *Appl Environ Microb* 2007; 73: 1672-1675.
- [8] Gaspar LR, Camargo FB, Graneti MD, Mara Campos PMBG. Evaluation of dermatological effects of cosmetic formulations containing *Saccharomyces cerevisiae* extract and vitamins. *Food and Chemical Toxicology* 2008; 46-11: 3493- 3500.
- [9] Piotrowska A, Mlyni K, Siwek A, Dybala M, Opoka W, Poleszak E, Nowak G. Antidepressant-like effect of chromium chloride in the mouse forced swim test: involvement of glutamatergic and serotonergic receptors. *Pharmacol Rep* 2008; 60 (6): 991–995.
- [10] Yang L, Chen JP. Biosorption of hexavalent chromium onto raw and chemically modified *Sargassum* sp. *Bioresource Technology* In Press, 2007.
- [11] Korhan H, Halipçi HN, Kertmen M, Dıġrak M. *Saccharomyces cerevisiae* Biyokütlesi ile Remazol Navy Blue Boyar Maddesinin Biyosorpsiyonu. *KSÜ Doġa Bil. Derg* 2012; 15 (3).
- [12] Çabuk A, Akar T, Kotluk Z, Şaşmaz S. *Saccharomyces cerevisiae* hücreleri ile ağır metal giderimi ve metal toleransı. *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi* 2007; 05-3:1-7.
- [13] Bailey JE, Ollis DF. *Biochemical engineering Fundamentals*. 2nd Edition, Mc Graw Hill. Singapore, 1986.
- [14] Jakubowski W, Bartosz G. 2,7-Dichlorofluorescein oxidation and reactive oxygen species: what does it measure?. *Cell Biology International* 2000; 24 (10): 757-760.
- [15] Miller KW, Lorr NA, Yang CS. Simultaneous determination of plasma Retinol α -Tocopherol, lycopene, α -Carotene and β -Carotene by high performance liquid chromatography. *Analytical Biochem* 1984; 138: 340-345.
- [16] Çetinkaya N, Özcan H. Investigation of seasonal variations in cow serum Retinol and β -Carotene by high performance liquid chromatographic method comp. *Biochem Physiol* 1991; 100 (4): 1003-1008.
- [17] Cerhata D, Bauerova A, Ginter E. Determination of Ascorbic Acid in blood serum using high-performance liquid chromatography and its correlation with spectrophotometric. *Caska-Slov-Farm* 1994; 43 (4): 166-168.
- [18] Karatas F, Karatepe M, Baysar A. Determination of free malondialdehyde in human serum by high performance liquid chromatography. *Analytical Biochemistry* 2002; 311: 76-79.
- [19] Dawes P, Dawes E. *SGE Chromatography Products Catalog* (pg: 182), 2000.
- [20] Mertz W. Chromium in human nutrition: a review. *J Nutr* 1993; 123: 626–633.
- [21] Guan-Zetic VG, Stehlik-Tomas V, Grba S, Lutitsky L, Kozlek D. Chromium uptake by *Saccharomyces cerevisiae* and isolation of glucose tolerance factor from yeast biomass. *Journal of Biosciences* 2001; 26 (2): 217–223.
- [22] Pekmez M. Oksidatif stres uygulanmış *Schizosaccharomyces Pombe*'de moleküler çalışmalar. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
- [23] Nikolai EP, Tatyana VL, Tatyana AK, Lowell PK. Carotenoids as scavengers of free radicals in a Fenton reaction: Antioxidants or pro-oxidants? *Free Rad Bio And Med* 2001; 31 (3): 398-404.
- [24] Kireççi OA. *Saccharomyces cerevisiae*'nin Gelişme Ortamına İlave Edilen Ağır Metallerin (Mn, Mg, Cd, Fe) Bazı Biyokimyasal Parametrelere Etkileri. *KSÜ Doġa Bil Derg* 2017; 20 (3): 175-184.
- [25] Thomas MJ. The role of free radicals and antioxidants. *Critical Reviews in Food and Sci Nutrition* 1995; 35 (1-2): 21-39.
- [26] Van-Der-Meulen JH, McArdle A, Jackson MJ, Faulkner JA. Contraction-induced injury to the extensor digitorum longus muscles of rats: the role of vitamin E. *J Appl Physiol* 1997; 83 (3): 817-823.
- [27] Kaur G, Alam MS, Athar M. Cumene hydroperoxide debilitates macrophage physiology by inducing oxidative stress: Possible protection by α -tocopherol. *Chemico- Biological Interactions* 2009; 179: 94-102.
- [28] Sies H, Stahl W, Sundquist AR. Antioxidant function of vitamins. Vitamin E and C, betacarotene and other carotenoids. *Ann N Y Acad Sci* 1992; 669: 7-20.
- [29] Acharya S, Acharya UR. In vivo lipid peroxidation responses of tissues in lead-induced Swiss mice. *Ind Health* 1997; 35: 542–544.
- [30] Hancock RD, Galpin JR, Viola R. Biosynthesis of L-ascorbic acid (vitamin C) by *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS Microbiology Letters* 2000; 186: 245-250.
- [31] Valko M, Morris H, Cronin MT. Metals, toxicity and oxidative stress. *Curr Med Chem* 2005; 12: 1161–1208.
- [32] Lushchak VI. Oxidative stress as a component of transition metal toxicity in fish. In: Svensson, E.P. (Ed.), *Aquatic Toxicology Research Focus*. Nova Science Publishers Inc., Hauppauge, NY, USA (pp. 1–29), 2008.
- [33] Gonzalez MJ, Miranda-Massari JR, Mora EM, Guzman A, Riordan NH, Riordan HD, Casciari JJ, Jackson JA, Roman Franco A. Orthomolecular oncology review: ascorbic acid and cancer 25 years later. *Integrative Cancer Therapies* 2005; 4: 32–44.
- [34] Büyükakyüz N, Altuğ T, Yaltrık M. Kanser proflaksisinde antioksidan maddelerden E vitamini ve selenyumun önemi. *Diş Hekimliğinde Klinik Dergi* 2000; 12: 136-139.
- [35] Smirnova GV, Oktyabrsky ON. Glutathione in Bacteria. *Biochemistry (Moscow)* 2005; 70 (11): 1199-1211.
- [36] Masip L, Veeravalli K, Georgiou G. The Many Faces of Glutathione in Bacteria. *Antioxidants & Redox Signaling* 2006; 8(5-6):753–762.
- [37] Stephen DWS, Jameison DJ. Glutathione is important antioxidant molecule in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS Microbiology Letters* 1996; 141: 207-212.

- [38] Chai YC, Ashraf SS, Rokutan K, Johnston RB, Jr Thomas, JA. Sthiolation of individual human neutrophil proteins including actin by stimulation of the respiratory burst: evidence against a role for glutathione disulfide. Arch Biochem Biophys 1994; 310: 273-281.
- [39] Morel Y, Barauki R. Repression of gene expression by oxidative stres. Biochem J 1999; 342: 481-496.
- [40] Costa V, Moradas-Ferreira P. Oxidative stress and signal transduction in *Saccharomyces cerevisiae*: insights into ageing, apoptosis and diseases. Molecular Aspects of Medicine 2001; 22: 217-246.

Kadmiyumla Stres Oluşturulan *Citrobacter freundii*'nin Vitamin İçeriği ve Stres Belirteçlerine Selenyumun Etkisi

Muhammad Salihu IBRAHİM¹, Meltem ÇAKMAK², Dursun ÖZER², Fikret KARATAS^{1*}, Sinan SAYDAM¹

¹ Firat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 23119 Elâzığ

² Firat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 23119 Elâzığ

¹ muhammadibrahim1247@gmail.com, ² mcakmak@firat.edu.tr, ² dozer@firat.edu.tr, ^{*1} fkaratas@firat.edu.tr, ^{*1} ssaydam@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 03/06/2021;

Kabul/Accepted: 31/08/2021)

Öz: Bu çalışmada, *Citrobacter freundii* farklı konsantrasyonlarda kadmiyum içeren LB besiyerinde üretildi. Kadmiyum içeren besi yerine değişik konsantrasyonlarda selenyum katılarak, üretilen hücre konsantrasyonu, ve bazı biyokimyasal parametreler spektrofotometre ve HPLC ile belirlendi. Bakteriler 0 (kontrol), 75, 100, 125 ppm kadmiyum (Cd) içeren besi ortamlarında üretildi. Kontrol ile 75, 100 ve 125 ppm Cd içeren gruplar karşılaştırıldığında, bakteri, vitaminler ve indirgenmiş glutatyonun (GSH) konsantrasyonlarında azalma, yükseltgenmiş glutatyon (GSSG), malondialdehit (MDA) ve 4-hidroksineoneal (4-HNE) konsantrasyonlarında ise artış gözlemlendi ($p < 0.05$). 75, 100 ve 125 ppm Cd içeren besi ortamına 1.0 ve 3.0 ppm selenyum (Se) katılmasıyla birlikte, bakteri, vitaminler ve GSH konsantrasyonlarında artış, GSSG, MDA ve 4-HNE konsantrasyonlarında ise azalma gözlemlendi. Bu bulgulardan, kadmiyumun olumsuz etkisini, bakteri besi yerine katılan selenyumun azalttığı söylenebilir.

Anahtar kelimeler: *Citrobacter freundii*, kadmiyum, selenyum, vitaminler, stres belirteçleri.

The effect of selenium on the vitamin content and stress biomarkers on the stress induced by cadmium of *Citrobacter freundii*

Abstract: In this study, *Citrobacter freundii* were grown in LB medium containing various concentrations of cadmium. By adding different concentrations of selenium to growth medium, the cell concentration and some biochemical parameters were determined by spectrophotometer and HPLC respectively. Bacteria were grown in nutrients containing 0 (control), 75, 100, 125 ppm cadmium (Cd). When the groups containing 75, 100 and 125 ppm Cd were compared with the control, a decrease in the concentrations of bacteria, vitamins and reduced glutathione (GSH), and an increase in the concentrations of oxidized glutathione (GSSG), malondialdehyde (MDA) and 4-hydroxyneoneal (4-HNE) were observed ($p < 0.05$). With the addition of 1.0 and 3.0 ppm selenium (Se) to the growth medium containing 75, 100 and 125 ppm Cd, cause to increase bacteria, vitamins and GSH concentrations together with the decrease in GSSG, MDA and 4-HNE concentrations. These findings, suggest that the negative effect of cadmium was reduced by the addition of selenium to the growth medium of bacteria.

Key words: *Citrobacter freundii*, cadmium, selenium, vitamins, stress biomarkers.

1. Giriş

Doğada milyonlarca canlı türü bulunmasına rağmen, bu çeşitlilik içinde canlılar arasında ortak yapı ve karakterler mevcuttur. Mikroorganizmalar insanların sahip olduğu birçok gene sahip olmalarının yanı sıra insanlarda olmayan bazı genleri de bünyelerinde bulundurmaktadır. Bakteriler, çoğalmak için yenilenebilir ucuz kaynakları karbon ve enerji kaynağı olarak kullanmaları, belirli bir sürede yüksek oranda çoğalma yetenekleri, nispeten basit yapıları ile değişikliğe uğratılabilir özelliklerinden dolayı ucuz maliyet sağladıkları için sağlık endüstrisinde kullanılan birçok ilacın doğal yollardan sentezlenmesinde kullanılmaktadır. [1]. Bakteriler hücre yapısı, hücre metabolizması veya DNA, yağ asitleri, pigmentler, antijenler ve kinonlar gibi hücre bileşen varyasyonları temelinde gruplandırılabilir. *C. freundii*, anaerobik gram negatif bakterilerden olan Enterobacteriaceae ailesinin bir üyesidir [2]. *C. freundii* bakteriyel bir patojen olmasına rağmen, azot döngüsünde nitratın, nitrite indirgenmesinden sorumludur [3]. Vitaminler, çeşitli biyokimyasal fonksiyonlara sahip olan ve metabolizmanın düzgün çalışması için küçük miktarlarda ihtiyaç duyulan organik moleküllerdir. Yağda ve suda çözünen olarak sınıflandırılan vitaminlerin eksikliği ya da fazlalığı klinik olarak önemli hastalıklara neden olabilir [4]. Bir tripeptit olan glutatyon, hücreleri oksidatif hasara karşı koruyan ve reaktif oksijen türlerini temizleyen, tüm canlılar için önemli bir antioksidandır. İndirgenmiş (GSH) ve yükseltgenmiş (GSSG) formda bulunan glutatyonun yükseltgenmiş formu, oksidatif stresin bir göstergesidir [5].

* Sorumlu yazar: fkaratas@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numaraları: ¹ 0000-0002-7535-4140, ² 0000-0002-6291-863X, ³ 0000-0002-7225-8903, ⁴ 0000-0002-0884-027X, ⁵ 0000-0003-1531-5454

Ağır metaller, düşük konsantrasyonlarda bile, canlılar için toksik olan metallerdir [6]. Biyolojik sistemlerde, hücre zarları, mitokondri, lizozomlar, endoplazmik retikulum, çekirdekler, bazı metabolik enzimler ve detoksifikasyon gibi hücresel bileşenlerin ağır metaller tarafından bozulduğu rapor edilmiştir [7]. Selenyum; canlı metabolizmasını etkileyen ve oksidatif stresten koruyan geniş bir pleiotropik etki alanına sahip eser elementtir [8].

Vitamin, peptit ve stres belirteçlerinin miktarları sağlıklı ve hasta bireylerde farklılık göstermesi hastalıkların tanı ve tedavisinde önemli ölçüde fikir verebilir. Bundan dolayı stres altındaki hücrelerde bu parametrelerin takibi tedavi yöntemleri açısından oldukça önemli sayılabilir. Mikroorganizmaların kolay ve hızlı bir şekilde çoğalabilmesi ve diğer canlılarla birçok ortak özelliğe sahip olmaları nedeniyle, tıbbi araştırmalar açısından önemli avantaj sağlamaktadır. Bahsedilen sebeplerden dolayı bu çalışmada, *C. freundii* (NRRL B-2643) kullanılmıştır. Bakteri içeren besi yerine farklı derişimlerde kadmiyum katılarak metabolik stres oluşturulmuştur. Kadmiyum içeren besi ortamı ve bu ortama farklı konsantrasyonlarda selenyum katılarak da üretilen mikroorganizmalarda, bakteri konsantrasyonu, vitaminler, GSH, GSSG, MDA ve 4-HNE miktarları belirlenerek kontrolle karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada LB (litre başına 10.0 g pepton, 5.0 g maya ekstraktı ve 10.0 g NaCl) besi yerinde üretilen *C. freundii* (NRRL B-2643) mikroorganizması kullanıldı. 1000 ppm'lik kadmiyum (Cd) stok çözeltisi kadmiyum klorürden ($CdCl_2$) hazırlanmıştır. Aynı şekilde 100 ppm'lik selenyum stok çözeltisi ise selenyum (IV) klorür ($SeCl_4$) den hazırlanmıştır.

Çalışmada aşağıdaki gruplar oluşturuldu;

1. Kontrol: *C. freundii*, steril LB ortamında çoğaltıldı.
2. Kadmiyum grubu: Mikroorganizma, kontrole farklı miktarlarda 1000 ppm'lik kadmiyum (Cd) stok çözeltisinden istenen ortam derişimine (75, 100 ve 125 ppm) göre gerekli miktar ilave edilerek çoğaltılmıştır.
3. Selenyum grubu: Mikroorganizma, kadmiyum grubuna 100 ppm'lik selenyum stok çözeltisinden istenen ortam derişimine (1.0 ve 3.0 ppm) göre gerekli miktar ilave edilerek çoğaltılmıştır.

Aşılardan sonra, orbital çalkalayıcıda (Selecta Rotabit) 150 rpm'de 37 °C'de sabit büyüme evresine kadar (18 saat) inkübe edildi. Bu sürenin sonunda 600 nm' de spektrofotometre (CHEBIOS s.r.l.) ile köre (mikroorganizma içermeyen besi ortamı) karşı absorbans okunarak bakteri konsantrasyonu belirlendi. Büyüme ortamının 8000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmesiyle ortamdaki hücreler çöktürüldü. Daha sonra supernatant uzaklaştırılarak mikroorganizma damıtılmış su ile iki kez yıkanıp santrifüjlenerek sonraki işlemlerde kullanıldı.

2.2. A, E Vitamini, β -karoten, Likopen ve 4-hidroksineoneal Tayini

Santrifüjlenmiş ağırlığı belli olan mikroorganizma üzerine 6.0 mL etanol ilave edilerek vortekslenildi. Vortekslenen çözelti sonikatörde (Wise Clean, WUC-AO3H, 170 W) buz ortamında 10 kez 30'ar saniye sonikasyona tabii tutuldu. Daha sonra 8000 rpm'de 10 dakika santrifüjlendikten sonra her tüpe 1.0 mL n-hegzan ilave edilerek tekrar 5 dakika santrifüjlendi. Üstteki n-hegzan fazı cam tüpe alındı ve bu işlem iki kez tekrarlandı. Toplanan n-hegzan vakumlu etüvde oda sıcaklığında uzaklaştırıldı. Tüpteki kalıntı üzerine 1.0 mL metanol ilave edilerek vortekslenip, HPLC viallerine alındı. HPLC'de ODS-2 kolonunda (25 cm, 4.6 mm ID, 5 μ m) mobil faz olarak metanol-asetonitril-su karışımı (33:63:4 v/v) kullanılarak analizler gerçekleştirildi [9-11].

2.3. Suda çözünen vitaminlerin Tayini

Ağırlığı bilinen mikroorganizmaya 4.0 mL saf su ilave edilerek vortekslenildi. Karışım ultrasonik parçalayıcıda, 30 saniye süre ile buz ortamında 10 kez sonikasyona tabii tutuldu. Sonikasyon işleminden sonra tüplere 1.0 mL 0.5 M $HClO_4$ ilave edilerek vortekslenip, 8000 rpm'de 10 dakika santrifüjlendi. Süpernatant viallere alınarak HPLC'de Supelcosil LC-18-DB kolonu (150 mm x 4.6 mm ID, 5 μ m) kullanılarak analizler gerçekleştirildi [9, 12].

2.4. Glutasyon ve Malondialdehit Tayini

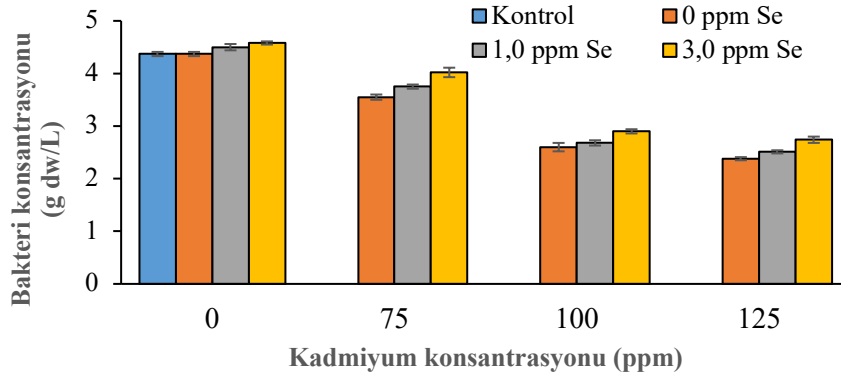
Suda çözünen vitaminler kısmında belirtilen ön işlemler gerçekleştirildikten sonra viallere alınan supernatant HPLC'de Utisil-XB-C-8 (25 cm, 4.6 mm ID, 5 µm) kolonu kullanılarak analizler gerçekleştirildi [13, 14].

2.5. İstatistiksel analiz

Tüm ölçümler üç kez tekrarlandı ve sonuçlar SPSS 10.0 ile varyans analizine tabi tutuldu ve anlamlılık p <0.05 olarak ifade edildi.

3. Sonuç ve Tartışma

Besi ortamına kadmiyum stok çözeltisinden ortamdaki Cd derişimi (0, 75, 100 ve 125 ppm) olacak şekilde eklenerek mikroorganizma üretimi gerçekleştirildi. 10, 20 ve 40 ppm kadmiyum içeren ortamda üretilen mikroorganizma konsantrasyonları kontrol ile karşılaştırıldığında bakteri konsantrasyonunda anlamlı bir azalma gözlenmemiştir. Kontrole eklenen 40 ppm'den fazla kadmiyumun mikroorganizma konsantrasyonunu azalttığı gözlemlendi (p<0.05). 75 ve 100 ppm kadmiyum eklenmiş gruplarda bakteri konsantrasyonundaki azalma, kontrole göre sırasıyla% 19 ve % 41 olarak bulundu. 150 ppm'in üzerindeki kadmiyum konsantrasyonlarında ise önemli bir mikroorganizma çoğalması gözlenmemiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Farklı derişimlerdeki kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* konsantrasyonu

Yiğit ve arkadaşları [15] tarafından yapılan çalışmada 35 ppm'den yüksek kadmiyum konsantrasyonlarında *Lactobacillus Brevis*'in büyüme hızının azaldığını rapor edilmiştir.

100 ppm kadmiyum konsantrasyonunun *B. mucilaginosus* ve *A. niger* mikroorganizmalarının büyümesini olumsuz etkilediği gösterilmiştir [16]. Mikroorganizma konsantrasyonundaki azalma, protein sentezi dâhil birçok metabolik aktiviteyi etkileyen hücredeki kadmiyumun toksik etkisinden kaynaklanıyor olabilir [17]. Kadmiyum gibi ağır metaller, hücrede metabolik, biyolojik ve fizyolojik modifikasyonlara neden olur [18]

Hücrede 5 ppm'den yüksek Se konsantrasyonunun toksik etki yaptığı için [19] 1.0 ve 3.0 ppm Se konsantrasyonlarında çalışılmıştır.

Kadmiyum ve selenyumun, mikroorganizmaya etkilerini belirlemek için 0, 75, 100 ve 125 ppm kadmiyum içeren besi yerine iki farklı konsantrasyonda (1.0 ve 3.0 ppm) selenyum eklenmiştir.

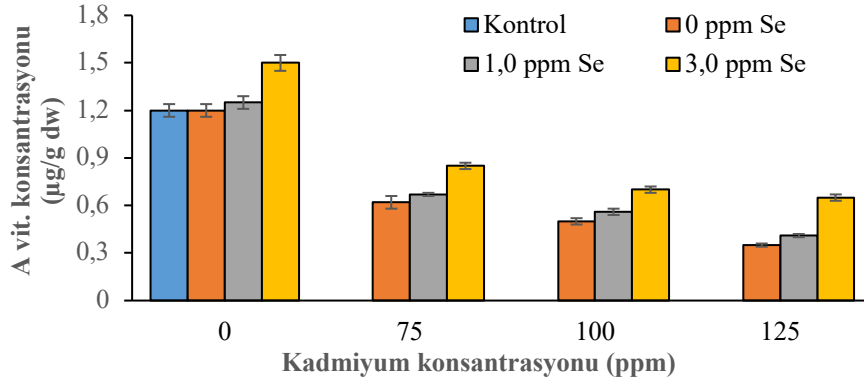
Selenyum tiroid hormon metabolizması, antioksidan savunma sistemleri, bağışıklık fonksiyonu ve hücreleri, oluşan serbest radikallerin zararlı etkilerinden korumak da dâhil olmak üzere birçok ana metabolik yolun önemli bileşenidir. Selenyum selenoenzim ve selenoproteinlerin biyosentezinde görev alır, ayrıca metabolizmada çeşitli metabolitlere de dönüştürülebilir [20-22]. 75 ppm kadmiyum içeren besi ortamına 1.0 ve 3.0 ppm selenyum eklendiğinde mikroorganizma konsantrasyonunda sırasıyla %6.0 ve %13 artış gözlenirken, 125 ppm kadmiyum içeren ortamda ise %6.0 ve %15 artış olduğu gözlemlendi (Şekil 1). Selenyumun bakterilerde kadmiyum toksisitesine karşı koruyucu etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir [23]. Selenyum konsantrasyonu arttıkça, kadmiyumun olumsuz etkisinin azaldığı söylenebilir, fakat yüksek selenyum konsantrasyonun ise hücrede toksik etki yaptığı bilinmektedir [24].

Farklı biyokimyasal fonksiyonlara sahip olan vitaminler, metabolizmanın düzgün çalışması için küçük miktarlarda ihtiyaç duyulan organik bileşiklerdir. Retinoidler, görme, üreme, büyüme ve epitel dokunun güçlenmesi için gerekli bileşiklerdir. Karotenoidler ise lipid peroksidasyonu sırasında oluşan radikalleri önledikleri için güçlü antioksidanlardır [25]. E vitamini ise, hücre zarındaki doymamış yağ asitlerini serbest radikallerin oksidasyonuna karşı korunmasında önemli olup, peroksitleri ve hidroperoksitleri hidrojen iyonları ile doyurarak oto-oksidasyon oluşumunu engeller [26].

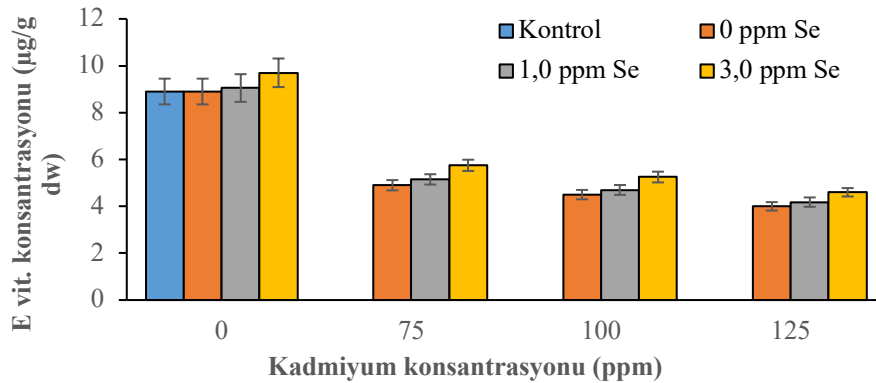
Besin ortamına eklenen kadmiyum konsantrasyonuna bağlı olarak mikroorganizmadaki vitamin A, E ve β -karoten miktarında azalma gözlenmiştir ($p < 0.05$). 100 ppm kadmiyum konsantrasyonunda vitamin A, E ve β -karoten miktarlarındaki kayıplar sırasıyla %58, 45 ve 41 olarak bulunurken, 125 ppm kadmiyum konsantrasyonundakiler ise %71, 55 ve 49 olarak bulunmuştur (Şekil 2-4).

100 ppm kadmiyum içeren besi ortamına 1.0 ppm selenyum ilave edilerek üretilen mikroorganizmalardaki vitamin A, E ve β -karoten miktarlarındaki artış sırasıyla %12, 4.4 ve 6.4 iken, 3.0 ppm selenyum ilavesinde ise %40, 16.7 ve 19.1 olarak bulunmuştur.

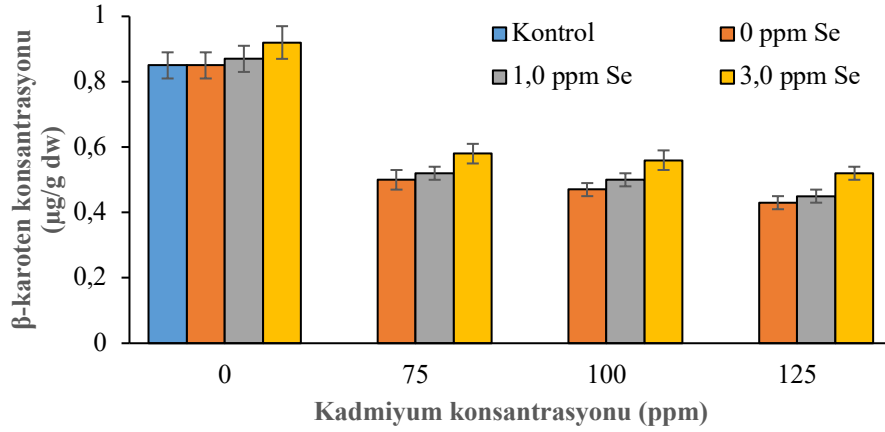
B vitaminleri, metabolik fonksiyonların yerine getirilmesini sağlayan, çeşitli besinlerden alınan organik bileşikler olup, enerji ve hücre üretimine katkı sağlamak gibi metabolizmada ciddi görevlere sahiptirler. Ayrıca, yeni hücre oluşumu, amino asit yıkımı ve oksijen taşınması gibi önemli görevleri üstlenirler [27]. Elektron vericisi olan C vitamini ise süperoksit ve hidroksil radikallerini nötralize ederek hücreyi oksidatif hasardan korur [28].



Şekil 2. Farklı derişimlerdeki kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki A vitamini konsantrasyonu

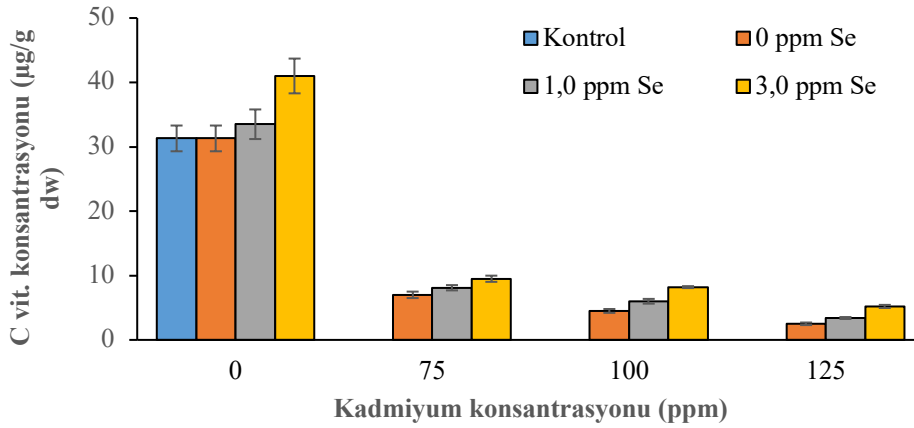


Şekil 3. Farklı derişimlerdeki kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki E vitamini konsantrasyonu

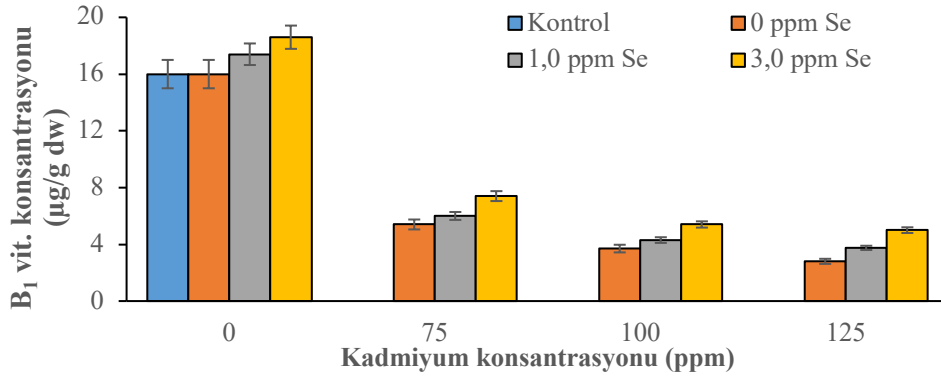


Şekil 4. Farklı derişimlerdeki kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki β -karoten konsantrasyonu

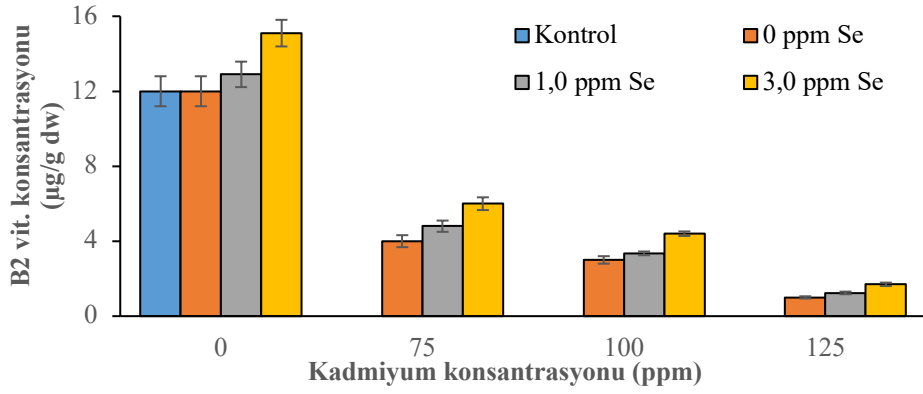
Besin ortamına eklenen kadmiyum konsantrasyonuna bağı olarak mikroorganizmadaki suda çözünen vitamin miktarlarında anlamlı bir azalma gözlenmiştir. Vitamin miktarlarındaki azalma kadmiyum konsantrasyonu ile doğru orantılıdır (Şekil 5-12). 100 ppm kadmiyum içeren besi yerinde üretilen mikroorganizmalardaki C, B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, B₉ ve B₁₂ vitaminlerindeki yüzde azalma sırasıyla 86, 77, 75, 58, 41, 39, 53 ve 55 olarak bulunmuştur. Kadmiyumun, mikroorganizmadaki suda çözünen vitamin miktarlarına olumsuz etkisini azaltmak için 125 ppm kadmiyum içeren besi ortamına 1.0 ve 3.0 ppm derişimlerinde selenyum eklenmiştir.



Şekil 5. Farklı derişimlerdeki kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki C vitamini konsantrasyonu

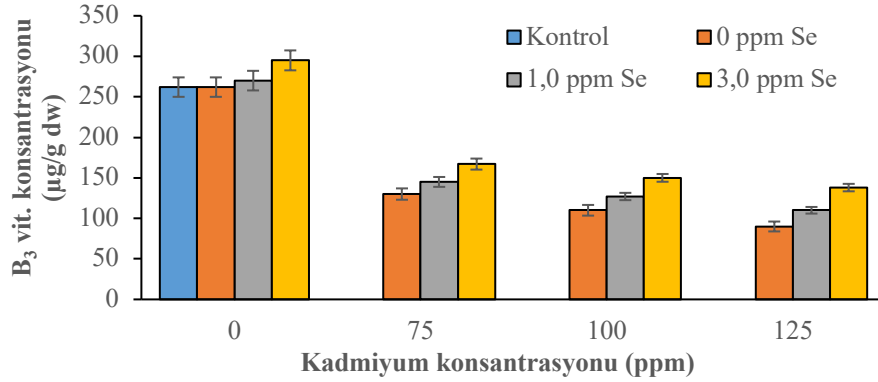


Şekil 6. Farklı derişimlerdeki kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki B₁ vitamini konsantrasyonu

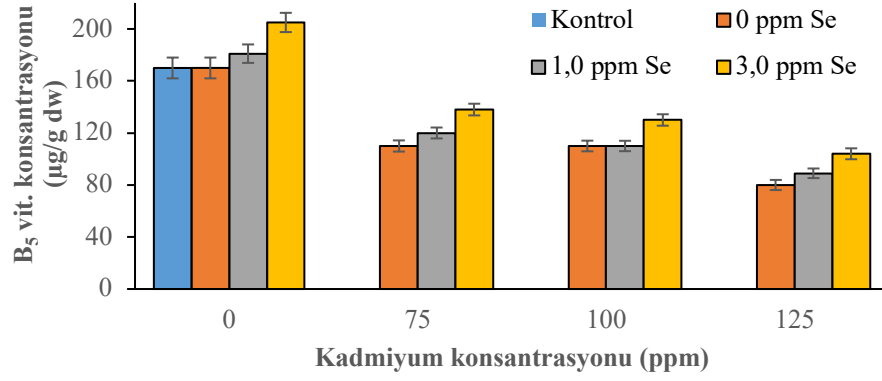


Şekil 7. Farklı derişimlerdeki kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki B₂ vitamini konsantrasyonu

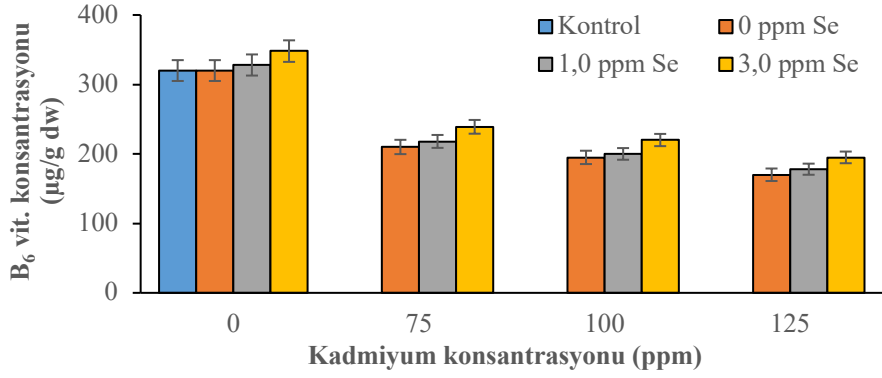
125 ppm kadmiyum içeren ortama 1.0 ppm selenyum eklendiğinde mikroorganizmadaki C, B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, B₉ ve B₁₂ vitaminlerin miktarı sırasıyla yüzde 36, 34, 24, 22, 11, 5, 9 ve 7 olarak artar iken, 3.0 pp selenyum eklendiğinde ise 53, 79, 70, 53, 30, 15, 23 ve 33 olarak artmıştır. Elde edilen sonuçlara göre besi yerine eklenen selenyum miktarındaki artışa bağlı olarak suda çözünen vitamin miktarlarındaki kayıp azalmıştır (Şekil 5-12).



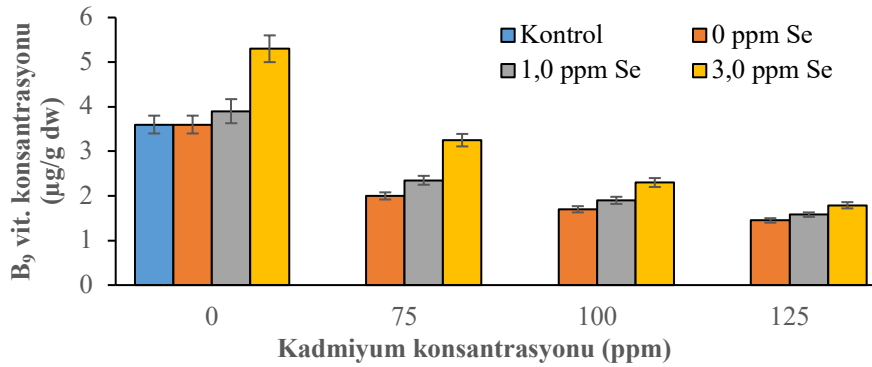
Şekil 8. Farklı derişimlerdeki kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki B₃ vitamini konsantrasyonu



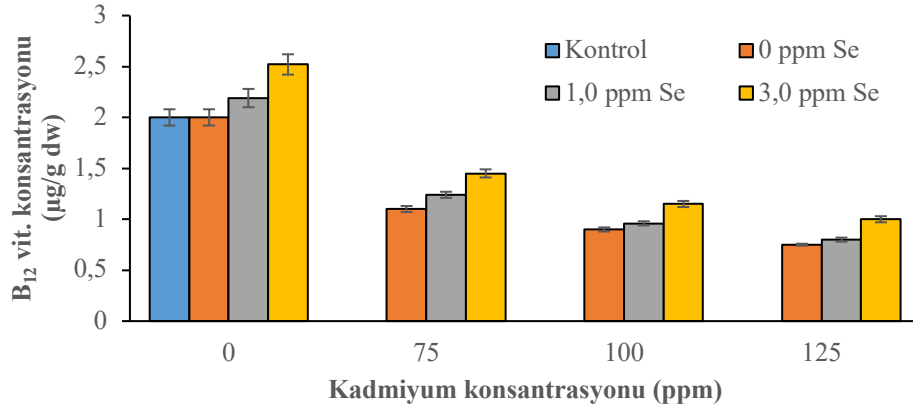
Şekil 9. Farklı derişimlerdeki kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki B₅ vitamini konsantrasyonu



Şekil 10. Farklı derişimlerdeki kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki B₆ vitamini konsantrasyonu

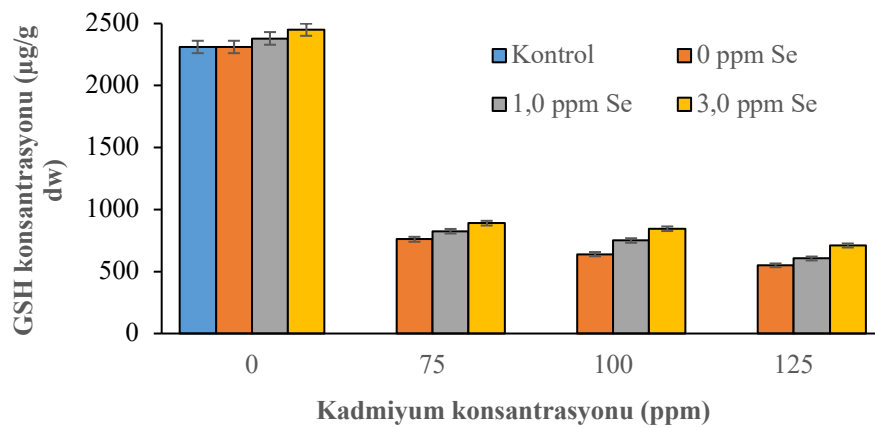


Şekil 11. Farklı derişimlerdeki kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki B₉ vitamini konsantrasyonu

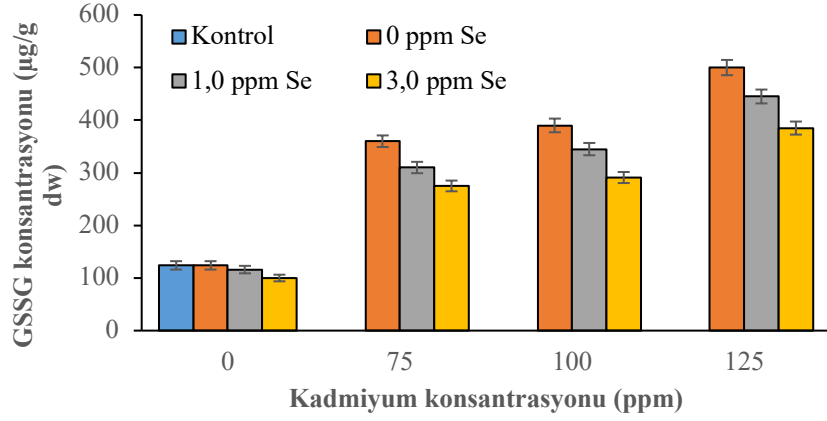


Şekil 12. Farklı derişimlerdeki kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki B₁₂ vitamini konsantrasyonu

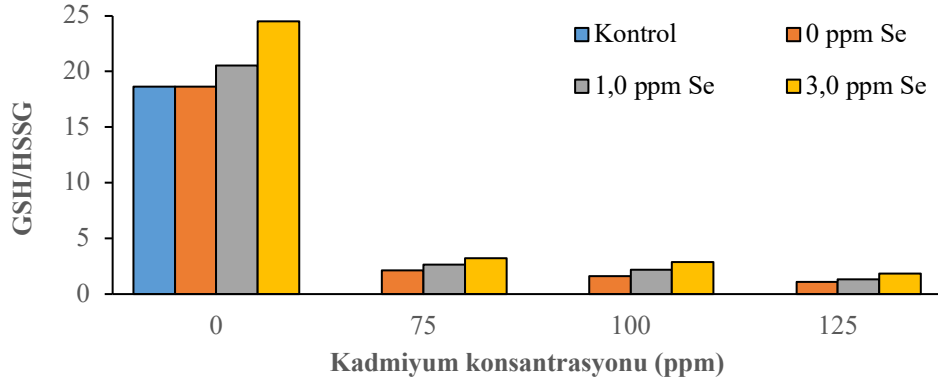
Kadmiyum, metabolizmada reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini artırarak, oksidatif strese neden olur. Oksidatif stres ise antioksidan enzimlerin aktivitelerinde değişiklik ve lipit peroksidasyonunda artışa sebep olur [29]. Besi ortamına değişik konsantrasyonlarda kadmiyum katılarak, mikroorganizmada oluşacak oksidatif stresin negatif etkisini azaltmak için düşük derişimlerde antioksidan özelliği ile bilinen selenyum katılarak hem kadmiyum hem de kadmiyum + selenyumun, GSH, GSSG, MDA ve 4-HNE miktarlarına etkileri incelenmiştir. Glutasyonun redükte ve okside formları hücrede denge durumunda olup, bu dengenin GSH aleyhinde bozulması hücrede olumsuz etkilere neden olur, ayrıca GSH/GSSG oranı stres belirteci olarak bilinmektedir [5]. Serbest radikaller, hücre zarlarındaki doymamış yağ asitlerini etkileyerek lipit peroksidasyonuna neden olur. Lipit peroksitler ise hızla parçalanarak reaktif karbon bileşiklerini oluşturur. Oluşan bu bileşikler arasında MDA ve 4-HNE, lipit peroksidasyonunun bir göstergesi olup, yaygın olarak kullanılan önemli reaktif karbon bileşikleridir [30]. Bu bileşikler DNA, RNA ve protein sentezinin inhibisyonu gibi çok sayıda yan etkiye yol açabilirler [31]. Şekil 13-17'den görüldüğü gibi besi ortamına eklenen kadmiyum miktarına bağlı olarak GSH miktarı ve GSH/GSSG oranı azalırken, GSSG, MDA ve 4-HNE miktarları artmaktadır. Bu sonuçlardan kadmiyumun mikroorganizmada ROS üretimini artırarak, oksidatif stres oluşturduğu ve buna bağlı olarak ta lipit peroksidasyonunun artması sonucu bahsedilen stres belirteçlerinin miktarlarını artırdığı söylenebilir.



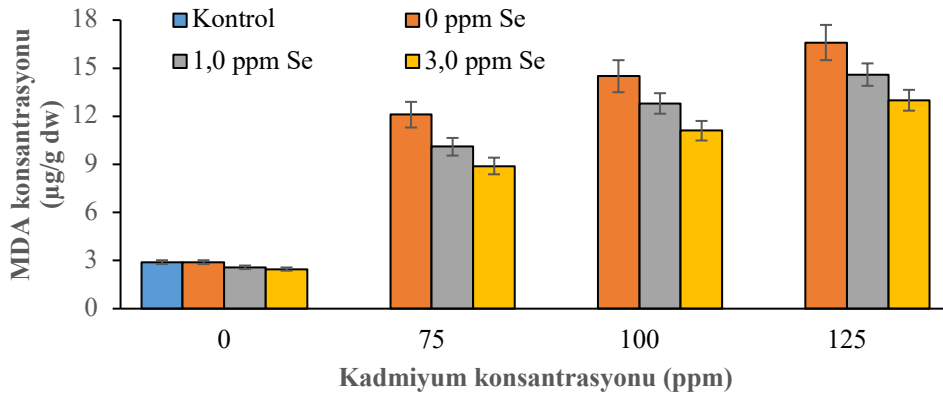
Şekil 13. Farklı derişimlerdeki kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki GSH konsantrasyonu



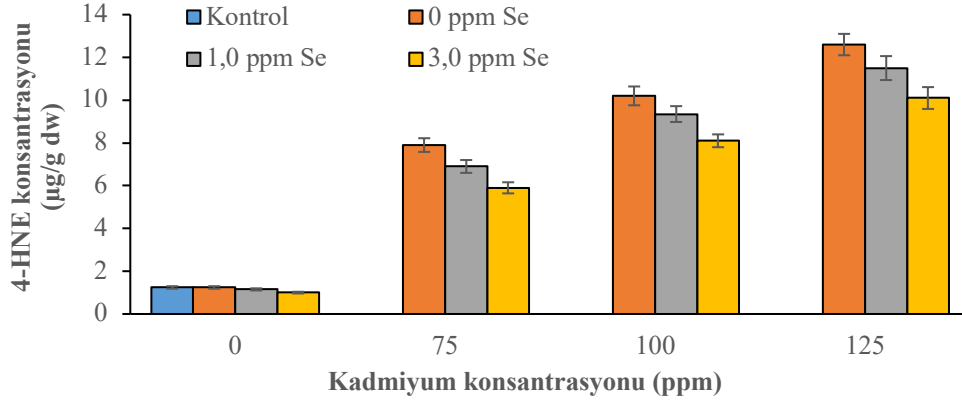
Şekil 14. Farklı derişimlerdeki kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki GSSG konsantrasyonu



Şekil 15. Farklı derişimlerde kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki GSH/GSSG oranları



Şekil 16. Farklı derişimlerde kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki MDA konsantrasyonları



Şekil 17. Farklı derişimlerde kadmiyum ve selenyum içeren besi yerinde üretilen *C. freundii* deki 4-HNE konsantrasyonu

Kontrolde GSH, GSSG, MDA ve 4-HNE miktarları sırasıyla 2311.00 ± 50.00 , 124.00 ± 8.00 , 2.90 ± 0.12 ve 1.24 ± 0.06 $\mu\text{g/g dw}$, olarak, besi ortamına 75 ppm kadmiyum ilave edildiğinde bu parametrelerin değerleri sırasıyla 760.00 ± 20.00 , 360.00 ± 11.00 , 12.10 ± 0.80 ve 7.90 ± 0.32 $\mu\text{g/g dw}$ olarak bulunmuştur. Ayrıca 75 ppm kadmiyum içeren besi ortamına 3.0 ppm selenyum ilave edildiğinde ise bu parametreler sırasıyla 890.00 ± 19.00 , 275.00 ± 10.20 , 8.90 ± 0.52 ve 5.90 ± 0.26 $\mu\text{g/g dw}$, olarak belirlenmiştir. GSH/GSSG oranı kontrolde 18.64 olup, 75 ppm kadmiyum içeren ortamda 2.11 iken, bu ortama 3.0 ppm selenyum ilavesinde ise 3.23 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan kadmiyumun stres parametrelerinin miktarını artırırken, selenyumun ise bu parametrelerin değerlerini azalttığı görülmektedir. Siyanobakterilerden *Spirulina platensi*'nin, ağır metale maruz kalması sonucu MDA miktarında önemli bir artış olduğu rapor edilmiştir [32]. Kadmiyum içeren ortamda üretilen *Rhizobium leguminosarum*'un GSH miktarında azalma, GSSG miktarında ise artış, bunların bir sonucu olarak GSH/GSSG oranında ise bir azalma gözlemlendiği rapor edilmiştir [33]. Kadmiyumun neden olduğu oksidatif hasarın toksik etkisini azaltma kabiliyetine sahip olan selenyumun, lipid peroksidasyonunu önleyerek stres biyobelirteçlerinin seviyesini düşürdüğü belirtilmektedir [34].

4. Sonuç

Besi ortamına katılan kadmiyum konsantrasyonuna bağlı olarak, bakteri, vitaminler, GSH ve GSH/GSSG miktarlarında azalma, GSSG, MDA ve 4-HNE miktarlarında ise artış gözlenmiştir. GSH/GSSG oranının azalması, MDA ve 4-HNE'nin miktarlarındaki artışlar kadmiyumun stres oluşturduğunu göstermektedir. Oluşan bu stresi azaltmak için besi ortamına katılan selenyumun ise bakteri, vitaminler ve GSH konsantrasyonlarında artış, GSSG, MDA ve 4-HNE miktarlarında ise azalma oluşturduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlardan, kadmiyumun oluşturduğu oksidatif stresi selenyumun azalttığı söylenebilir.

Teşekkür

Fırat Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri birimi (FÜBAP) tarafından FF 18.15 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir.

M.S.I. ve M.Ç., deneyleri gerçekleştirdiler D.Ö ve F.K. fikir sahibi, sonuçları yorumlama, makaleyi yazma S.S. makaleyi düzenleme

Kaynaklar

- [1] Demain AL, Vaishnav P. Production of recombinant proteins by microbes and higher organisms. *Biotechnol Adv* 2009; 27: 297-306.
- [2] O'Hara CM, Westbrook GL, Miller JM. Evaluation of Vitek GNI+ and Becton Dickinson Microbiology Systems Crystal E/NF identification systems for identification of members of the family Enterobacteriaceae and other gram-negative, glucose-fermenting and non-glucose-fermenting bacilli. *J Clin Microbiol* 1997; 35: 3269-3273.

- [3] Puchenkova S. Enterobacteria in areas of water along the Crimean Coast. *Mikrobiolohichnyi Zhurnal (Kiev, Ukraine: 1993)* 1996; 58: 3-7.
- [4] Awuchi CG, Igwe VS, Amagwula IO, Echeta CK. Health Benefits of Micronutrients (Vitamins and Minerals) and their Associated Deficiency Diseases: A Systematic Review. *Int J Food Sci* 2020; 3(1): 1-32
- [5] Cnubben NHP, Rietjens IMCM, Wortelboer H, Van Zanden J, Van Bladeren PJ. The interplay of glutathione-related processes in antioxidant defense. *Environ Toxicol Pharmacol* 2001;10: 141-152.
- [6] Banfalvi G. Cellular Effects of Heavy Metals. Netherlands, London, New York: Springer; 2011.
- [7] Beyersmann D, Hartwig A. Carcinogenic metal compounds: recent insight into molecular and cellular mechanisms. *Arch Toxicol* 2008; 82, 493-512.
- [8] Burcu Uslu, Şule Aktaş. Selenyum ve Depresyon Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2020; 20: 147-151
- [9] Ibrahim M, Ibrahim Y, Mukhtar Z, Karatas F. Amount of vitamin A, vitamin E, vitamin C, malondialdehyde, glutathione, ghrelin, beta-carotene, lycopene in fruits of Hawthorn, Midland (*Crataegus laevigata*). *J Hum Nutr Food Sci* 2017; 5: 1112-1117.
- [10] Ligor M, Ligor T, Gadzała-Kopciuch R, Buszewski B. The chromatographic assay of 4-hydroxynonenal as a biomarker of diseases by means of MEPS and HPLC technique. *Biomed Chromatogr* 2015; 29: 584-589.
- [11] Miller KW, Lorr NA, Yang CS. Simultaneous determination of plasma retinol, α -tocopherol, lycopene, α -carotene, and β -carotene by high-performance liquid chromatography. *Anal Biochem* 1984; 138: 340-345.
- [12] Amidžić R, Brborić J, Čudina O, Vladimirov S. Rp-HPLC determination of vitamins, folic acid and B12 in multivitamin tablets. *J Serbian Chem Society* 2005; 70: 1229-1235.
- [13] Dawes P, Dawes E. SGE Chromatography Products Catalog. (2000). pg: 182.
- [14] Karatas F, Karatepe M, Baysar A. Determination of free malondialdehyde in human serum by high-performance liquid chromatography. *Anal Biochem* 2002; 311: 76-79.
- [15] Yiğit A, Aktaş N, Şahan T. Lactobacillus Brevis Mikroorganizmasının Çoğalma Kinetiğinin Cevap Yüzeyi Yöntemi ile İncelenmesi, *YY Üniv Fen Bil Enst Derg/ J Inst Nat Appl Sci* 2013; 18(1-2): 25-32
- [16] Monballiu A, Cardon N, Tri Nguyen M, Cornelly C, Meesschaert B, Chiang YW. Tolerance of Chemoorganotrophic Bioleaching Microorganisms to Heavy Metal and Alkaline Stresses. *Bioinorg Chem Appl* 2015; 2015(), 1–9. doi:10.1155/2015/861874.
- [17] Çınar M. Kadmiyumun biyolojik sistemdeki etkileri. *Veterinarium* 2003; 14(1): 79-84
- [18] Güner U. Heavy metal effects on P, Ca, Mg, and total protein contents in embryonic pleopodal eggs and stage-1 juveniles of freshwater crayfish *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823). *Turk J Biol* 2010; 34: 405-412.
- [19] Underwood, E.J., Trace Elements in Human and Animal Nutrition New York, 1977, Academic Press. 302-346.
- [20] Brown KM, Arthur JR. Selenium, selenoproteins and human health: a review. *Public Health Nutr* 2001; 4(2B): 593–599
- [21] El-Demerdash FM, Nasr HM. Antioxidant effect of selenium on lipid peroxidation, hyperlipidemia and biochemical parameters in rats exposed to diazinon. *J Trace Elem Med Biol* 2014; 28(1): 89–93
- [22] Hoffmann PR, Berry MJ. The influence of selenium on immune responses. *Mol Nutr Food Res* 2008; 52:1273–1280
- [23] Araúz ILC, Afton S, Wrobel K, Caruso JA, Corona JFG, Wrobel K. Study on the protective role of selenium against cadmium toxicity in lactic acid bacteria: An advanced application of ICP-MS. *J Hazard Mater* 2008; 153: 1157-1164
- [24] Vinceti M, Filippini T, Cilloni S, Bargellini A, Vergoni AV, Tsatsakis A, Ferrante M. Health risk assessment of environmental selenium: Emerging evidence and challenges. *Mol Med Rep* 2017; 15(5): 3323-3335.
- [25] Gutteridge JMC, Halliwell B. The Deoxsiriboz Assay Both for Free Radical and for Site Specific Hydroxyl Radical Production. *Biochem* 1988; 253-932.
- [26] Ognjanovic BJ, Pavlovic SZ, Maletic D, Zikic RV, Stajn AS, Radojicic RM, Saicic ZS, Petrovic VM. Protective influence of vitamin E on antioxidant defense system in the blood of rats treated with cadmium. *Physiol Res* 2003; 52: 563- 570.
- [27] Bolander FF. Vitamins: not just for enzymes, Current opinion in investigational drugs (London, England: 2000) 2006; 7(10): 912-915
- [28] Muhamma I, Ashiru S, Kanoma A, Sani I, Garba S. Effect of ripening stage on vitamin C content in selected fruits. *Int J Agric Forestry Fisheries* 2014; 2: 60-65
- [29] Kumar A, Pandey R, Siddiqi N. Oxidative stress biomarkers of cadmium toxicity in mammalian systems and their distinct ameliorative strategy. *J Appl Biotechnol Bioeng* 2019; 6: 126-135.
- [30] Gawel S, Wardas M, Niedworok E, Wardas P. Malondialdehyde as lipid peroxidation marker. *Wiad Lek* 2004; 57(9-10): 453-455.
- [31] Schaur RJ, Siems W, Bresgen N, Eckl PM. 4-Hydroxy-nonenal—a bioactive lipid peroxidation product. *Biomolecules* 2015; 5: 2247-2337.
- [32] Choudhary M, Jetley UK, Khan MA, Zutshi S, Fatma T. Effect of heavy metal stress on proline, malondialdehyde, and superoxide dismutase activity in the cyanobacterium *Spirulina platensis*-S5. *Ecolotoxicol Environ Saf* 2007; 66: 204-209.
- [33] Corticeiro SC, Lima AIG, Figueira EMdAP. The importance of glutathione in oxidative status of *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* under Cd exposure. *Enzyme Microb Technol* 2006; 40: 132-137.
- [34] Zwolak I. The role of selenium in arsenic and cadmium toxicity: an updated review of scientific literature. *Biol Trace Elem Res* 2020; 193: 44-63.

Makine Öğrenmesi Metotları Kullanarak Krom III Kaplama Banyosunun Örtme Gücünün Tahmin Edilmesi

Ramazan Katirci^{1*}, Hidayet Takçı²

¹ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Sivas, Turkey

² Bilgisayar Mühendisliği, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Turkey

*¹ ramazankatirci@sivas.edu.tr, ² htakci@cumhuriyet.edu.tr

(Geliş/Received: 10/06/2021;

Kabul/Accepted: 23/08/2021)

Öz: Bu çalışmada krom kaplamanın örtme gücünü tahmin etmek ve örtme gücüne etki eden öznelikleri belirlemek için makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Bu amaçla GP (Gaussian Process), KNN (K-Nearest Neighbors), RF (Random Forest), SVR (Support Vector Regressor) ve XGB (eXtreme Gradient Boosting) algoritmaları seçilmiş ve bu algoritmaların hiper parametreleri optimize edilmiştir. En yüksek R2 ve en düşük MSE değerlerini veren şartlar belirlenmiştir. Çapraz doğrulama için LOO (Leave-One-Out) metodu kullanılmıştır. En iyi sonuç, SVR metodu ile elde edilmiştir. R2, MSE ve MAPE değeri sırasıyla 0,80, 0,26 ve 18,29 dur. Kaplamanın örtme gücüne etki eden en önemli iki öznelik borik asit (H_3BO_3) ve A kimyasalıdır. Bu kimyasalların yüksek seviyeleri kaplamanın örtme gücünü artırmıştır. Tüm algoritmaların hiper parametreleri ızgara tarama yöntemi ile 2 veya daha fazla seviyede optimize edilmiştir. SVR metodunda en etkin iki hiper parametre kernel ve C parametresidir. Kernel ve C hiper parametreleri sırasıyla "rbf" ve 1 olduğu durumda en yüksek R2 değeri elde edilmiştir. Bu çalışma makine öğrenmesi algoritmalarını elektrokaplama sahasına uygulayan ilk çalışmalardandır. Bu yönüyle öncü olma niteliği taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Makine öğrenmesi, Cr(III) Elektrokaplama, Destek Vektör Regresyonu (SVR), Rassal Orman (RF), K-En Yakın Komşu Algoritması (KNN)

Prediction of Covering Power of Chromium III Plating Bath Using Machine Learning Methods

Abstract: In this study, machine learning algorithms were used to predict the covering power of chrome plating and to determine the features that affect the covering power. For this purpose, GP (Gaussian Process), KNN (K-Nearest Neighbors), RF (Random Forest), SVR (Support Vector Regressor) and XGB (eXtreme Gradient Boosting) algorithms were selected and their hyper-parameters were optimized. Conditions giving the highest R2 and lowest MSE values were acquired. The LOO (Leave One Out) method was used for cross validation. The best results were obtained using the SVR method. The R2, MSE and MAPE scores are 0.80, 0.26 and 18.29, respectively. The two most important features affecting the the covering power of the coating are boric acid (H_3BO_3) and chemical A. High levels of these chemicals increased the covering power of the coating. The hyper-parameters of all algorithms were optimized at 2 or more levels by the grid scan method. The two most effective hyper-parameters in the SVR method are the kernel and the C parameters. The highest R2 value was obtained when the Kernel and C hyper-parameters were "rbf" and 1, respectively. This study is one of the first studies to apply machine learning algorithms to the electroplating field.

Key words: Machine learning, Cr(III) Electroplating, Support Vector Regression (SVR), Random Forest (RF), K-Nearest Neighbor Algorithm (KNN)

1. Giriş

Krom kaplama, aşınmaya dayanıklı, korozyon direnci yüksek ve parlak yüzey kaplamalar elde etmek için endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Krom III ve krom VI (+3 ve +6 değerlikli krom iyonu) tuzlarından elde edilebilmektedir [2]. Krom VI toksik olduğu için hem dünyada hem de ülkemizde yasalarla sınırlandırılmıştır [3]. Krom VI banyosunun bakımı ve işletimi krom III banyosuna göre çok daha kolaydır. Bu yüzden endüstride en fazla krom VI banyosu kullanılmaktadır. Ayrıca krom III banyosunun kararlılığı krom VI ya göre daha düşüktür [4]. Krom III banyosunun sıcaklık, organik katkılar ve metalik kirliliklere karşı duyarlılığı yüksek iken, krom VI banyosunun düşüktür [5–7]. Krom III banyosunun yaygınlaştırılabilmesi için bu dezavantajlarının giderilmesi önemlidir. Krom III banyosunun bakımı ve işletim zorlukları yapay zekâ yöntemleri kullanılarak azaltılabilir. Kaplama banyosunun, kaplama kalitesini tahmin etmek için en sık kullanılan yöntem Hull-hücresinde yapılan kaplamadır [8]. Hull-hücresinde, düşük akım ve yüksek akım yoğunluğu bölgelerinde kaplamanın özellikleri aynı

* Sorumlu Yazar: ramazankatirci@sivas.edu.tr. Yazarların ORCID numaraları: : ¹ 0000-0003-2448-011X, ² 0000-0002-4448-4284

anda incelenebilmektedir [9]. Bir teknisyen Hull-hücresinde kapladığı plakaya bakarak banyodaki eksiklikleri tahmin edebilmektedir [10]. Aynı tahmini yapay zeka algoritmaları kullanılarak yapmak mümkündür. Lenz ve arkadaşları, 2020 yılında kaplama yapışma gücünü CNN algoritmaları kullanarak tahmin etmişlerdir. Bu test yönteminde kaplama üzerine DIN EN ISO 20502:2016-11 standardına göre farklı yükler uygulanarak çizik atılmış ve oluşan çizigin derinliğinden ve genişliğinden yapışma gücünü tahmin etmişlerdir [11]. Bu amaçla AlexNet [12], Inception-v3 [13], Resnet-101 [14] ve VGG-19 [15] CNN algoritmaları araştırılmış, VGG-19 modelinin insan tahminine en yakın sonuç verdiği belirtilmiştir. Ayrıca benzer çalışma, Wang ve ekibi tarafından CNN algoritmaları kullanılarak, plazma spray kaplama yönteminde kontrol parametrelerini tahmin etmişlerdir [16]. Katırcı ve ekibi 2021 yılında, çinko-nikel banyosu içeriğinden kaplama kalınlığını ve nikel alaşım oranlarını makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak tahmin etmişlerdir. En yüksek R kare (R^2) değerini (kalınlık için $r^2=0,87$, % Ni için $r^2=0,81$) XGBoost makine öğrenmesi metodu kullanarak bulmuşlardır [17].

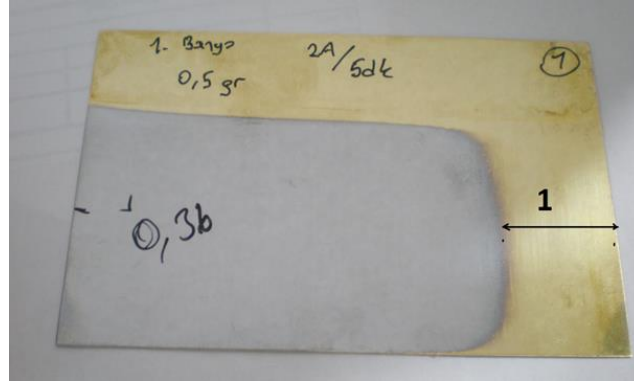
Bu çalışmada, krom III elektrokaplama banyosu içeriğinden kaplamanın örtme gücü tahmin edilmiştir. Krom kaplama banyosunun örtme gücü, nikel, bakır ve çinko gibi elektrokaplama banyolarına göre çok daha düşüktür ve kontrol edilmesi önemlidir. Elektrokaplama banyosunda örtme gücü, kaplamanın parça üzerinde derin bölgelere girebilme gücünü göstermektedir. Eğer krom elektrokaplama banyosu yeterince örtme gücüne sahip değilse, parçaların iç ve derin bölgeleri kaplama almamakta ve bu bölgeler korozyona maruz kalmaktadır. Ayrıca kaplamanın görselliği bozulmaktadır. Krom kaplama genellikle bakır/nikel üzerine ya da sadece nikel kaplama üzerine uygulanmaktadır. Krom III elektrokaplama banyosunun örtme gücünü tahmin etmek için GP [18], KNN [19], RF [20], SVR [21] ve XGB [22] makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Her bir makine öğrenmesi algoritmasının hiper parametreleri ızgara tarama yöntemi kullanılarak optimize edilmiştir. Hiper parametreler, modeli optimize etmek için değeri kullanıcı değiştirilebilen model parametreleridir. Algoritmaların doğruluğu LOO [23] yöntemi kullanılarak test edilmiştir. Ayrıca özniteliklerin (girdilerin) ağırlıklarını tespit etmek için XGB ve RF makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmış ve bulunan sonuçlar kıyaslanmıştır.

2. Deneysel Yöntem

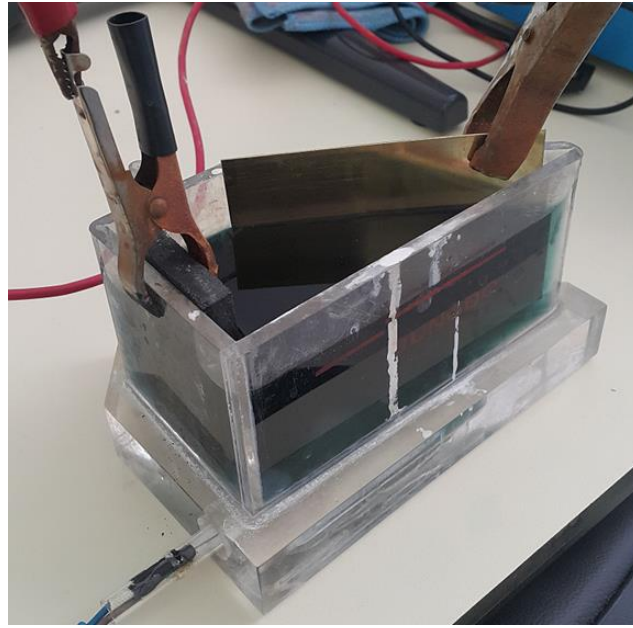
Krom kaplama, Thurlby 30V1A-model DC model doğru akım kaynağı kullanılarak yapılmıştır. Deney deseni 1/16 kesirli deneysel tasarım metodu [24] kullanılarak hazırlanmıştır. Deney deseninde Tablo 1'deki değerler kullanılmıştır. Toplam 16 farklı elektrokaplama banyosu hazırlanmış ve her bir banyoda ardı ardına 3 plaka kaplanmıştır. Toplamda 48 kaplanmış plaka elde edilmiştir. Kaplamanın örtme gücü Şekil 1'deki "1" mesafesi ölçülerek elde edilmiştir. "1" mesafesi değeri ne kadar düşüğe kaplamanın örtme gücü o kadar iyi anlamına gelmektedir. H_3BO_3 , pH'ı dengede tutmak için sodyum sülfat (Na_2SO_4) ise çözeltinin elektriksel iletkenliğini arttırmak için kullanılmıştır. Diğer organik ve inorganik katkı maddeleri ticari sebeplerden dolayı A, B, C, D, E olarak kodlanmıştır. Tüm kaplamalar Hull hücresinde gerçekleştirilmiştir. Krom kaplama için Şekil 2'deki Hull hücresi kullanılmıştır.

Tablo 1. Deneysel tasarım metodunda kullanılan kimyasallar ve miktarları.

Kimyasallar	Seviye 1	Seviye 2
A	100 ml/L	200 ml/L
B	20 ml/L	40 ml/L
C	0	3 g/L
D	0	1 g/L
E	0	12,5 ml/L
pH	3	3,5
Sodyum sülfat (Na_2SO_4)	100 g/L	150 g/L
Borik asit (H_3BO_3)	40 g/L	60 g/L



Şekil 1. Cr kaplı pirinç plaka: 1 mesafesi kaplamanın örtme gücünü gösteren bölgedir.



Şekil 2. Cr (III) elektrokaplama düzeneği (Hull-hücresi).

3. Öğrenme Algoritmaları

Makine öğrenmesi metotları son yıllarda mühendislik alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [25-27]. Hem regresyon hem de sınıflandırma verilerinde tercih edilmektedir. Çalışmamızda, veriler sürekli yapıda olduğundan regresyon algoritmaları kullanılmıştır. Verisetindeki örnek sayısı az olduğundan çapraz doğrulama olarak LOO yöntemi tercih edilmiştir [28]. Bu yöntemin en önemli avantajlarından biri test hata değerinin her zaman her aynı değeri vermesidir. Diğer yöntemlerde “eğitim” ve “test” verisetlerindeki örnekler rastgele seçildiğinden test hata değerleri değişmektedir. LOO yönteminde her bir veri hem test hem de eğitim verisi olarak kullanılmaktadır. Birinci model eğitimi için toplam 48 veriden birincisi test verisi olarak ayrılır, diğer geri kalan 47 veri eğitime tabi tutulur. Eğitim bittikten sonra test olarak ayrılan veri tahmin edilir. İkinci model eğitiminde ise ikinci veri, test verisi olarak ayrılır diğer geri kalan veri eğitime tabi tutulur. Eğitim sonrası test verisi tahmin edilir. Toplam 48 veri için 48 model eğitilir ve 48 veri tahmin edilir. Dolayısı veri sırasının rastgele seçilmesi test hata değerini etkilemez. Eğitim ve tahmin için GP, KNN, RF, SVR ve XGB makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmış, her bir algoritmanın hiper parametreleri optimize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar en küçük kareler (R^2) ve ortalama kare hata (MSE) yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir [29]. R^2 ve MSE değerleri Eşitlik 1 ve 2 ye göre hesaplanmıştır.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 - \sum_{i=1}^n e_i^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

Y_i : Y gerçek değerlerini göstermektedir.

\bar{Y} : Y_i değerlerinin ortalama değerlerini göstermektedir.

e_i : Y gerçek değerleri ile tahmin değerleri arasındaki farkı göstermektedir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_j^2 \quad (2)$$

MSE (Mean Square Error): Ortalama kare hata

e_j : Gerçek değerle tahmin değeri arasındaki farkı göstermektedir.

n : Örnek sayısına karşılık gelmektedir.

GP

GP makine öğrenimi alanında, parametrik olmayan, Bayesian yaklaşımını kullanan bir metottur. GP küçük veri kümeleri üzerinde iyi çalışması ve tahminler üzerinde belirsizlik ölçümleri sağlama becerisine sahip olması önemli avantajlarından [18].

KNN

KNN algoritması, gözetimli öğrenme algoritmalarındandır. Hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Bu yöntem 1967 yılında T.M. Cover ve P.E. Hart tarafından önerilmiştir. Algoritma, herhangi bir verinin hangi sınıfa dahil edileceğini k sayıda yakın komşunun mesafesine bakarak bulur [19].

RF

2001 yılında Leo Breiman tarafından önerilmiştir. Hızlı çalışır. Hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde kullanılabilir. Birden fazla karar ağacı üretmek doğruluk değerini yükseltmeyi amaçlayan algoritmadır. Bu modelin diğer özelliklerinden birisi de özneliklerin sonuca ne kadar katkı sağladığını belirtmesidir [20].

SVR

Destek Vektör Regresyonu (SVR), Vapnik tarafından 1995 yılında önerilen bir algoritmadır. Sürekli yapıya sahip veriler için uygun bir modeldir. Belirli parametreler dikkate alınarak regresyon eğrisi oluşturulmaktadır. Örnek olarak regresyona dahil edilecek verilerin belirli epsilon uzaklıkta olması gerekmektedir [21].

XGB

Tianqi Chen ve Carlos Guestrin, 2016 yılında "A Scalable Tree Boosting System" başlıklı makale ile bu yöntemi duyurmuşlardır. Bu yöntemin en önemli avantajları yüksek tahmin gücüne sahip olması, aşırı öğrenmeyi engellemesi ve boş verilerle çalışabilmesidir. Yazılım ve donanım optimizasyon teknikleri uygulandığından daha hızlı çalışabilmektedir. Hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde tercih edilmektedir. Ayrıca özneliklerin ağırlığını tespit etmek için kullanılabilir [22].

4. Sonuçlar ve tartışma

Eğitim için kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarının hiper parametreleri optimize edildikten sonra en yüksek R^2 ve en düşük MSE değerleri tespit edilmiştir. Sonuçlar Tablo 2 de sunulmuştur. Sonuçların güvenilirliğini ve doğruluğunu belirlemek için iki metot kullanılmıştır. Birincisinde verilerin tamamı eğitime dahil edilmiştir. İkincisinde ise LOO çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Hesaplanan R^2 ve MSE değerleri

yorumlanmıştır. Tablo 2'ye göre en iyi sonuç veren makine öğrenmesi algoritması SVR dir. Ancak diğer algoritmalar da (RF, KNN) yakın değerler vermiştir. R2-FULL değeri ile R2-LOO değeri arasındaki fark bize modelin veriyi ne kadar iyi temsil ettiği hakkında bilgi vermektedir. R2-FULL'de tüm veriler eğitime dahil edilmektedir. Eğitim için kullanılan veriler algoritma tarafından tahmin edilmektedir. Dolayısıyla tüm veriler eğitime dahil edildiği için R2 değerleri yüksek çıkmaktadır. R2-LOO'da ise toplam veriden, biri çıkartılmaktadır ve çıkartılan veri algoritma tarafından tahmin edilmektedir. Tüm veriler için aynı durum tekrarlanmaktadır. Buradaki R2 değeri ise her zaman R2-FULL den düşüktür. R2-LOO'da tahmin edilen değer gerçek değere ne kadar yakınsa, eğitilen model, sistemi o kadar iyi temsil ediyor demektir [29]. Yani sistem öğrenmiş, ezber yapmamış demektir. Bu yöntemde tahmin edilen verilerin gerçek değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

Eğitilen modelin tahmin etme gücünü anlamamanın diğer bir yolu da R2-FULL ve R2-LOO değerlerinin karşılaştırılmasıdır. R2-FULL de eğitime dahil edilen veriler tahmin edildiği için, eğitime dahil edilmeyen verileri tahmin etme gücü bilinmemektedir. Bu yüzden R2-LOO değerleri hesaplanarak eğitime dahil edilmeyen veriler tahmin edilmektedir. R2-LOO dan elde edilen R2 değeri ve R2-FULL den elde edilen R2 değerine ne kadar yakınsa, eğitilen modelin bilinmeyen verileri tahmin etme gücü o kadar yüksektir denir. Bu açıdan Tablo 2 yeniden incelendiğinde SVR algoritmasının en iyi öğrenmeyi gerçekleştiren model olduğu görülmektedir.

MAPE değerleri Eşitlik 3' göre hesaplanmıştır. Ortalama mutlak yüzde hata (MAPE), istatistikte bir tahmin yönteminin doğruluğunun bir ölçüsüdür. %10'a kadar olan değerleri çok iyi, %10-20 arasındaki MAPE değerleri iyi, %20-50 arasındaki değerler kabul edilebilir, %50'nin üzerindeki ortalama mutlak yüzde hata değerleri ise yanlış veya hatalı olarak kabul edilmektedir [30]. Bu kapsamda Tablo 2 incelendiğinde GP modeli hariç diğer modellerin MAPE değerleri %10-20 arasında çıkmıştır. Dolayısıyla elde edilen sonuçların doğruluk değeri iyi olarak sınıflandırılabilir.

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_j^n \frac{|e_j|}{|A_j|} \quad (3)$$

e_j : Gerçek değerle tahmin değeri arasındaki farkı göstermektedir.

A_j : Gerçek değerleri göstermektedir.

n : Örnek sayısına karşılık gelmektedir.

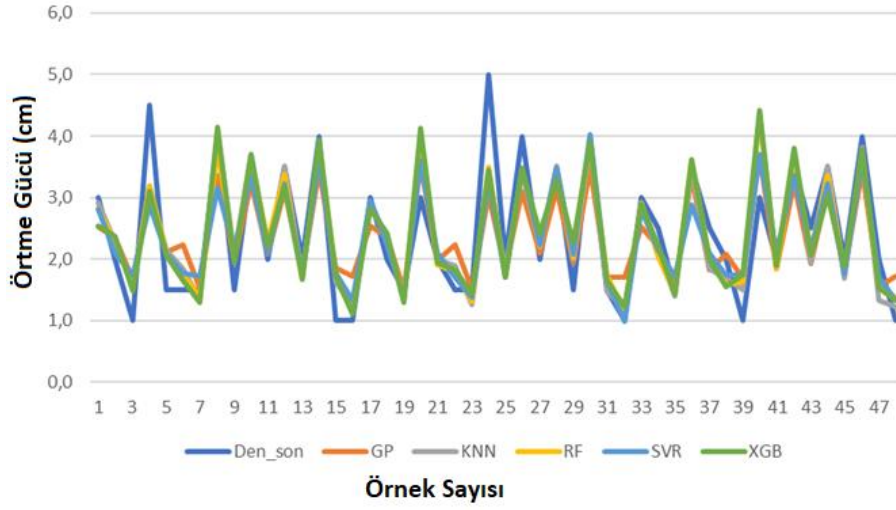
Tablo 2. Makine öğrenmesi algoritmalarının R2 ve MSE değerleri.

Öğrenme Algoritmaları	R2-FULL	MSE-FULL	R2-LOO	MSE-LOO	MAPE-LOO
GP	0.89	0.19	0.75	0.35	23.17
KNN	1	0	0.78	0.25	17.41
RF	0.92	0.10	0.79	0.24	17.98
SVR	0.92	0.12	0.80	0.26	18.29
XGB	0.95	0.06	0.76	0.28	19.06

R2-FULL ve MSE-FULL: R2 ve MSE değerleri hesaplanırken, tahmin edilen veri, eğitime dahil edilmiştir.

R2-LOO ve MSE-LOO: R2 ve MSE değerleri hesaplanırken, tahmin edilen veri, eğitime dahil edilmemiştir.

Şekil 3 deneysel sonuçlarla tahmin sonuçlarının karşılaştırmasını göstermektedir. Deneysel verilerdeki ani değişimleri hiçbir model doğru tahmin edememiştir. Özellikle 5. ve 24. verilerde bu net şekilde görülmektedir. Ancak bu veriler dışındaki diğer verilerde yüksek uyum gözlenmektedir.



Şekil 3. DeneySEL sonuçlarla makine öğrenmesi algoritmalarından elde edilen tahmin sonuçları (LOO çapraz doğrulama metodu gösterilmektedir).

Krom kaplamanın örtme gücünü belirlemede kullanılan faktörlerin (özniteliklerin) ağırlıklarını belirlemek için XGBoost ve RF algoritmaları kullanılmıştır. Bu sayede girdilerden hangilerinin sonuca daha fazla katkı sağladığı ve ne yönde katkı sağladığı belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 3 de gösterilmiştir. Özniteliklerin ağırlıkları ve sırası her iki yöntemde de birbirine yakın çıkmıştır. PNO, aynı banyoda ardı ardına çekilen 3 plakayı göstermektedir. Elektrokaplama banyosunun kararlılığı hakkında bilgi verir. En düşük ağırlığa sahiptir. Bu bize banyo kararlılığının yüksek olduğunu göstermektedir. Örtme gücünü en çok etkileyen özniteliklerin H_3BO_3 ve A malzemesi olduğu görülmektedir. A malzemesi Cr (III) iyonları içermektedir. Banyo içindeki Cr (III) iyonları miktarı arttıkça kaplamanın örtme gücünde ilerlemektedir. Aynı durum H_3BO_3 kimyasalı içinde gözlenmiştir. C, D ve E kimyasalları krom +3 iyonlarının krom metaline daha kolay indirgenebilmesi için kullanılan kompleksleyici ajanlardır. Bunların miktarının da krom kaplamanın örtme gücünü önemli ölçüde etkilediği gözlenmiştir. C ve E kimyasalları D kimyasalına göre daha etkindir.

Tablo 3. Özniteliklerin ağırlıkları

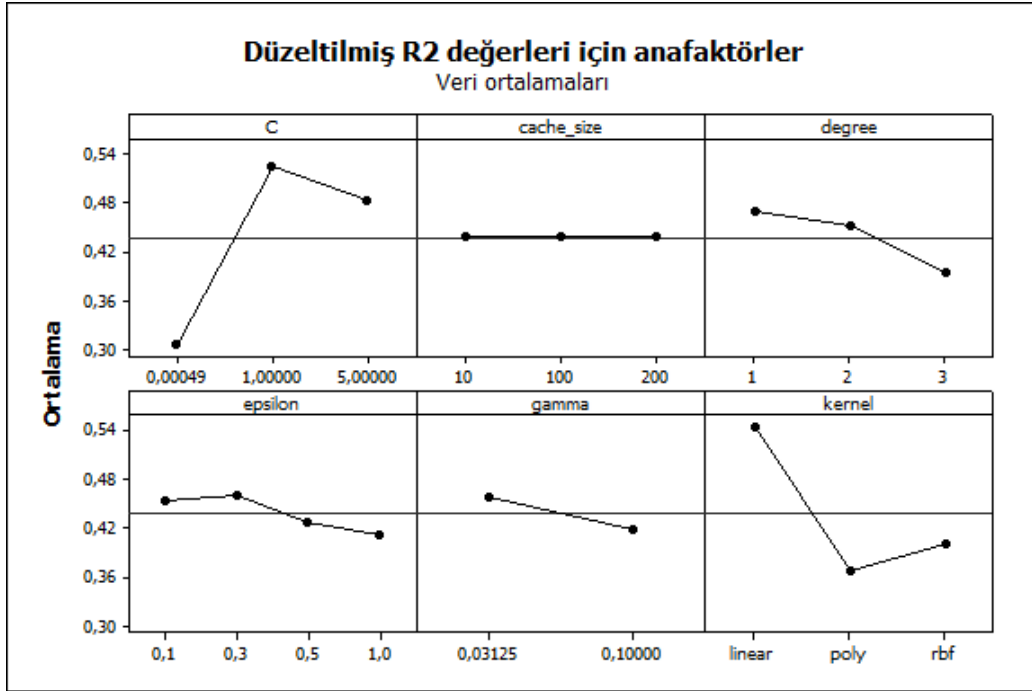
Öznitelikler	XGB	RF
PNO	0,03	0,01
A	0,23	0,26
B	0,05	0,06
C	0,11	0,11
D	0,05	0,05
E	0,10	0,11
pH	0,08	0,07
Na_2SO_4	0,05	0,04
H_3BO_3	0,29	0,29

Bu çalışmada tüm algoritmaların hiper parametreleri en yüksek R2 ve en düşük MSE değerini verecek şekilde optimize edilmiştir. SVR metodu en yüksek R2 değerini verdiği için bu bölümde SVR algoritmasının hiper parametreleri tartışılmıştır. Optimize edilmiş hiper parametreler ve değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Hiper parametrelerin etkinliği ve birbiriyle etkileşimi Şekil 4-7'de gösterilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde R2'yi etkileyen en etkin hiper parametrelerin kernel ve C olduğu görülmektedir. C bir düzeltme parametresidir. Kernel ise uygulanacak optimizasyon algoritması tipini göstermektedir. R2 değerinin en yüksek olduğu kernel yapısı linear

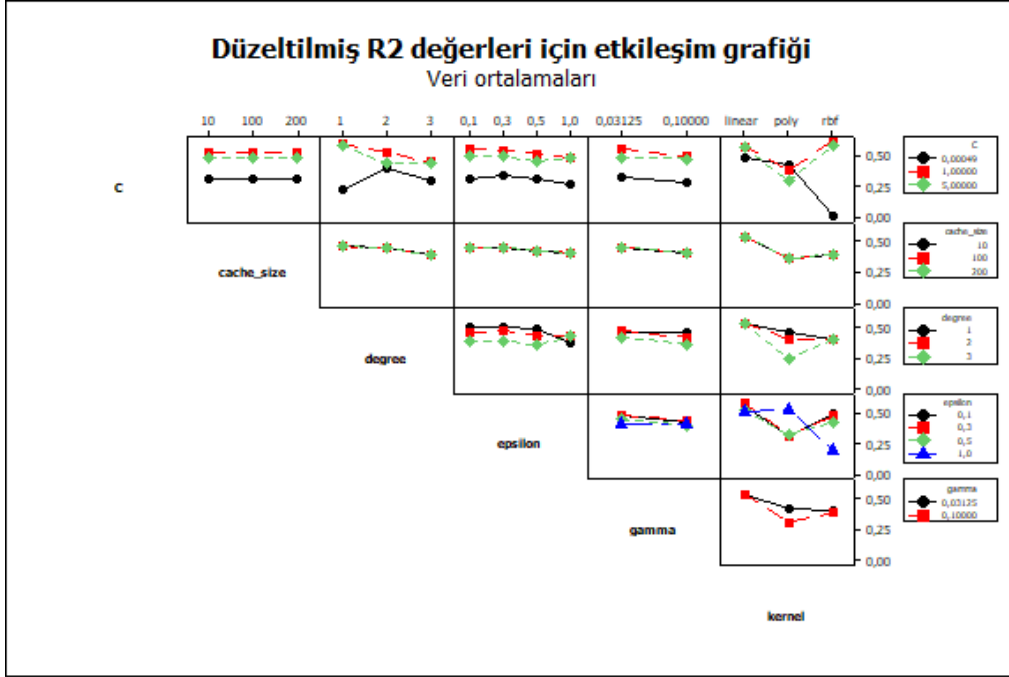
(linear) olarak görülmektedir. Ancak Tablo 4 incelendiğinde en yüksek R2 değeri kernelin rbf (radial basis function)[30] olduğu durumda gözlenmiştir. Bu çelişki bize kernel ile diğer bir hiper parametre arasında etkileşim olduğunu göstermektedir. Bunun için Şekil 5'in incelenmesi önemlidir. Şekil 5 de kernelin C parametresi ile etkileşim halinde olduğu görülmektedir. C parametresi 0 ve 5 olduğunda rbf kerneli en düşük R2 değerini, 1 olduğunda ise "rbf" parametresi en yüksek R2 değerini vermektedir. Degree parametre değeri yükseldikçe R2 değeri düşmektedir. Degree parametresi sadece kernel in poly (polynomial) seçildiği durumda geçerlidir. Diğer durumlarda degree parametresi ihmal edilmektedir. Bu yüzden rbf kernel inde degree parametresinin bir anlamı yoktur. Cach_size hiper parametresinin optimizasyon aşamasında hiçbir etkinliği görülmemiştir. Gamma parametresi düşük değerlerde daha yüksek R2 değeri vermiştir. Bu parametre kernel katsayısını ifade etmektedir.

Tablo 4. SVR metodunda optimize edilen hiper parametreler.

Hiper parametreler	Değerler
C	1
cache_size	10
degree	1
epsilon	0,1
gamma	0,1
kernel	'rbf'

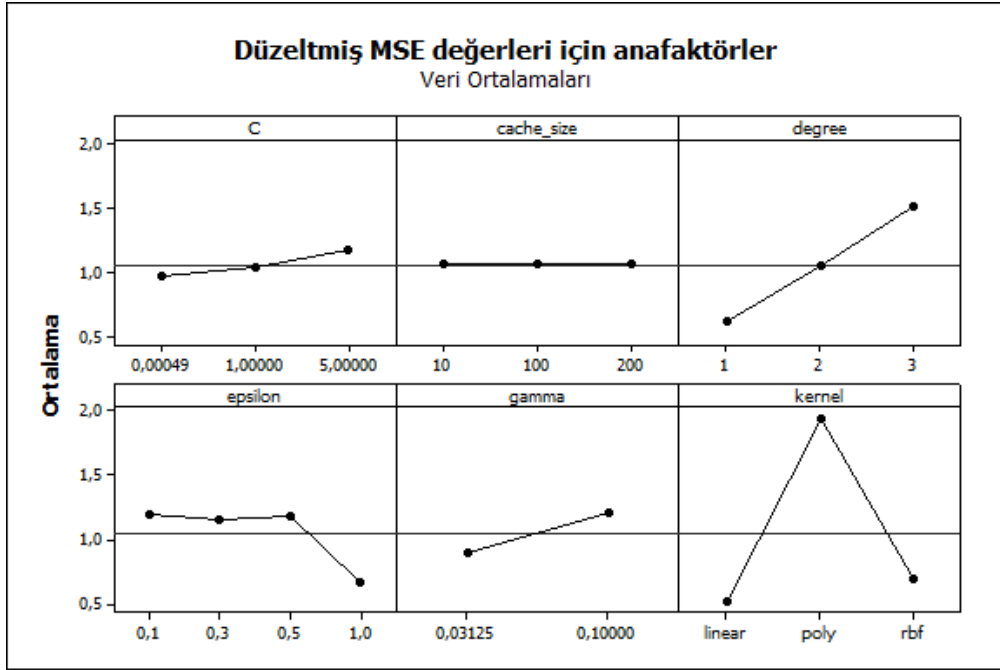


Şekil 4. Hiper parametrelerin R2 değerine etkisi (Dikey eksen ortalama R2 değerlerini, yatay eksen ise hiper parametrelerin aldığı değerleri göstermektedir).

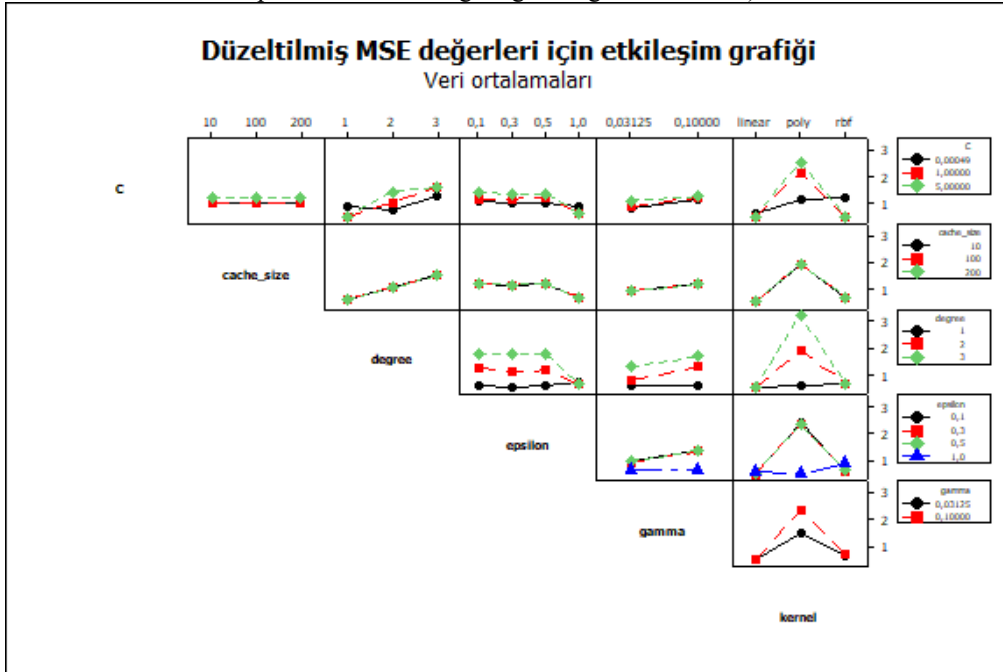


Şekil 5. Hiper parametrelerin R2 değerine etkisini gösteren ikili etkileşim grafiği (Dikey eksen ortalama R2 değerlerini, yatay eksen ise hiper parametrelerin aldığı değerleri göstermektedir).

MSE değerini düşüren en etkin hiper parametreler ise şekil 6'da gösterilmiştir. Epsilon, kernel ve degree hiper parametreleri en etkin hiper parametreler olarak görülmektedir. Şekil 6'ya göre epsilon değeri 1 olduğu durumda en düşük MSE değeri elde edilmiştir. Ancak Tablo 4'e göre en optimum değer 0.1 olduğu durumda elde edilmiştir. Bu sonuç bize epsilon değeri ile başka bir hiper parametrenin etkileşim yaptığını göstermektedir. Şekil 7 bize rbf kernel inde ve epsilon 1 değerinde MSE değerinin en yüksek değere sahip olduğunu göstermektedir. Epsilon 0,1 değerinde ise en düşük MSE değeri görülmektedir. Gamma hiper parametresi düşük değerde daha düşük MSE ve daha yüksek R2 değeri vermesine rağmen Tablo 4'te yüksek değer tercih edilmiştir. Bunun sebebini anlamak için Şekil 7'deki etkileşim grafiğine bakmak gerekir. Şekil incelendiğinde gamma hiper parametresinin rbf kernel inde en düşük MSE değeri verdiği görülmektedir.



Şekil 6. Hiper parametrelerin MSE değerine etkisi (Dikey eksen ortalama MSE değerlerini, yatay eksen ise hiper parametrelerin aldığı değerleri göstermektedir).



Şekil 7. Hiper parametrelerin MSE değerine etkisini gösteren ikili etkileşim grafiği (Dikey eksen ortalama MSE değerlerini, yatay eksen ise hiper parametrelerin aldığı değerleri göstermektedir).

5. Değerlendirme

Sonuç olarak, bu çalışmada makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak Cr (III) kaplama banyosunun örtme gücü araştırılmıştır. Farklı kompozisyonlarda Cr (III) kaplama banyosu hazırlanarak pirinç üzerine krom kaplamalar yapılmıştır. Elde edilen kaplamalardan, kaplama banyolarının örtme gücü tahminlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla 5 makine öğrenmesi algoritması kullanılmıştır. Bunlar GP, KNN, RF, SVR ve XGB dir. En iyi sonuç veren algoritma SVR'dir. R2 ve MSE değerleri sırasıyla 0,80 ve 0,26'dır. En yakın sonuç veren diğer makine

öğrenmesi algoritması ise RF'dir. MAPE değerleri %20'nin altında olduğu için elde edilen sonuçlar güvenilir olarak değerlendirilmiştir.

XGB ve RF algoritmaları kullanılarak öznelik ağırlıkları hesaplanmıştır. Her iki yöntemle de A kimyasalı ve H_3BO_3 en önemli iki öznelik olarak bulunmuştur. H_3BO_3 40 ve 60 gr/L olarak iki farklı seviyede kullanılmıştır. Yüksek miktarda kullanıldığında kaplama banyosunun örtme gücünün daha iyi olduğu görülmüştür. A kimyasalı Cr (III) iyonları içermektedir. Cr (III) iyonu miktarı arttıkça örtme gücünün arttığı gözlenmiştir. Bu beklenen bir durumdur. En etkin kompleksan ajanları ise C ve E kimyasallarıdır.

En yüksek R2 ve en düşük MSE değerlerini bulabilmek için hiper parametrelerin optimizasyonu önemlidir. Bunun için her bir parametre 2 veya daha fazla seviyede denenmiş ve en optimum değeri veren hiper parametreler belirlenmiştir. Tüm algoritmaların optimum değerleri burada verilmemiş, sadece en yüksek R2 değerini veren SVR metodunun optimum değerleri sunulmuştur. Kernel ve C parametresi en önemli iki hiper parametre olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu iki hiper parametre birbiriyle etkileşim yapmaktadır. Bu yüzden anafaktör ve etkileşim grafiği birlikte incelenmelidir.

Bu çalışmanın temel amacı, makine öğrenmesi algoritmalarını elektrokaplama proseslerine uygulamak ve daha kararlı, sürdürülebilir kaliteli kaplamalar elde etmektir. Elektrokaplama banyolarının kontrolü ve takibi oldukça zordur. Çok fazla kontrol edilmesi gereken parametre mevcuttur. Bunlardan bazıları ölçülebilir (sıcaklık, akım vs.) bazıları da ölçülemezdir. Özellikle çalışan banyolarda şartlar çok dinamik olduğu için banyo içinde kompozisyonlar sürekli değişmektedir. Yeni tür organik ve inorganik safsızlıklar oluşmaktadır. Bunlar kaplamanın hem örtme gücünü hem de kalitesini düşürmektedir. Yapay zekâ yöntemleri bu parametreleri kontrol etmek için önemli bir araç olarak görülmektedir. Bu çalışma ileriki çalışmalar için yol gösterici olacaktır. Mevcut durumda teknisyenler tarafından, kaplanmış hull plakalarına bakılarak banyo içindeki eksiklikler tahmin edilebilmektedir. Aynı tahminleme işlemi CNN ve RCNN algoritmaları gibi görüntü işleyen algoritmalar tarafından da yapılabilmesi mümkündür.

Teşekkür

Bu çalışmada yer alan kısmi nümerik hesaplamalar TÜBİTAK ULAKBİM, Yüksek Başarım ve Grid Hesaplama Merkezi'nde (TRUBA kaynaklarında) gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Z. Zeng, Y. Sun, J. Zhang, The electrochemical reduction mechanism of trivalent chromium in the presence of formic acid, *Electrochem. Commun.* 11 (2009) 331–334. <https://doi.org/10.1016/J.ELECOM.2008.11.055>.
- [2] S. Surviliene, O. Nivinskiene, A. Češuniene, A. Selskis, Effect of Cr(III) solution chemistry on electrodeposition of chromium, *J. Appl. Electrochem.* 36 (2006) 649–654. <https://doi.org/10.1007/s10800-005-9105-8>.
- [3] J.-Y. Lee, M. Kim, S.-C. Kwon, Effect of polyethylene glycol on electrochemically deposited trivalent chromium layers, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China.* 19 (2009) 819–823. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(08\)60357-X](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(08)60357-X).
- [4] S.L. Handy, C.F. Oduoza, T. Pearson, Theoretical aspects of electrodeposition of decorative chromium from trivalent electrolytes and corrosion rate study of different nickel/chromium coatings, *Trans. Inst. Met. Finish.* 84 (2006) 300–308. <https://doi.org/10.1179/174591906X162946>.
- [5] X. Ren, Y. Song, A. Liu, J. Zhang, G. Yuan, P. Yang, J. Zhang, M. An, D. Matera, G. Wu, Computational Chemistry and Electrochemical Studies of Adsorption Behavior of Organic Additives during Gold Deposition in Cyanide-free Electrolytes, *Electrochim. Acta.* 176 (2015) 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.06.147>.
- [6] Z. Feng, A. Liu, L. Ren, J. Zhang, P. Yang, M. An, Computational Chemistry and Electrochemical Mechanism Studies of Auxiliary Complexing Agents Used for Zn-Ni Electroplating in the 5-5'-Diethylhydantoin Electrolyte, *J. Electrochem. Soc.* 163 (2016) D764–D773. <https://doi.org/10.1149/2.0591614jes>.
- [7] R. Katırcı, E. Sezer, B. Ustamehmetoğlu, Statistical optimisation of organic additives for maximum brightness and brightener analysis in a nickel electroplating bath, *Trans. IMF.* 93 (2015) 89–96. <https://doi.org/10.1179/0020296714Z.000000000219>.
- [8] K. Sasaki, G.C. Kabushiki, C. Abstracts, P.E.E. Waddell, United States Patent [191, (1976) 575–585.
- [9] R. Katırcı, A chrome coating from a trivalent chromium bath containing extremely low concentration of Cr³⁺ ions, *Int. J. Surf. Sci. Eng.* 10 (2016) 73. <https://doi.org/10.1504/IJSURFSE.2016.075318>.
- [10] H.B. Muralidhara, Y. Arthoba Naik, Electrochemical deposition of nanocrystalline zinc on steel substrate from acid zincate bath, *Surf. Coatings Technol.* 202 (2008) 3403–3412. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.12.012>.
- [11] B. Lenz, H. Hasselbruch, H. Großmann, A. Mehner, Application of CNN networks for an automatic determination of critical loads in scratch tests on a-C:H:W coatings, *Surf. Coatings Technol.* 393 (2020) 125764. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125764>.
- [12] A. Krizhevsky, I. Sutskever, G.E. Hinton, ImageNet classification with deep convolutional neural networks, *Commun. ACM.* 60 (2017) 84–90. <https://doi.org/10.1145/3065386>.

- [13] C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens, Z. Wojna, Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision, Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. 2016-Decem (2016) 2818–2826. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.308>.
- [14] K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun, Deep residual learning for image recognition, Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. 2016-Decem (2016) 770–778. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>.
- [15] K. Simonyan, A. Zisserman, Very deep convolutional networks for large-scale image recognition, 3rd Int. Conf. Learn. Represent. ICLR 2015 - Conf. Track Proc. (2015) 1–14.
- [16] J. Zhu, X. Wang, L. Kou, L. Zheng, H. Zhang, Prediction of control parameters corresponding to in-flight particles in atmospheric plasma spray employing convolutional neural networks, Surf. Coatings Technol. 394 (2020) 125862. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125862>.
- [17] R. Katirci, H. Aktas, M. Zontul, The prediction of the ZnNi thickness and Ni % of ZnNi alloy electroplating using a machine learning method, Trans. Inst. Met. Finish. 99 (2021) 162–168. <https://doi.org/10.1080/00202967.2021.1898183>.
- [18] C.E. Rasmussen, C.K.I. Williams, Gaussian Processes for Machine Learning (Adaptive Computation and Machine Learning), The MIT Press, 2005.
- [19] L. Peterson, K-nearest neighbor, Scholarpedia. 4 (2009) 1883. <https://doi.org/10.4249/scholarpedia.1883>.
- [20] Y.L. Pavlov, Random forests, Random For. (2019) 1–122. <https://doi.org/10.1201/9780429469275-8>.
- [21] C. Cortes, V. Vapnik, Support-vector networks, Mach. Learn. 20 (1995) 273–297. <https://doi.org/10.1007/BF00994018>.
- [22] T. Chen, C. Guestrin, XGBoost, in: Proc. 22nd ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discov. Data Min., ACM, New York, NY, USA, 2016: pp. 785–794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>.
- [23] G.I. Webb, C. Sammut, C. Perlich, T. Horváth, S. Wrobel, K.B. Korb, W.S. Noble, C. Leslie, M.G. Lagoudakis, N. Quadrianto, W.L. Buntine, N. Quadrianto, W.L. Buntine, L. Getoor, G. Namata, L. Getoor, J. Han, Xin Jin, J.-A. Ting, S. Vijayakumar, S. Schaal, L. De Raedt, Leave-One-Out Cross-Validation, in: Encycl. Mach. Learn., Springer US, Boston, MA, 2011: pp. 600–601. https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8_469.
- [24] C.W. Holland, D.W. Cravens, Fractional Factorial Experimental Designs in Marketing Research, J. Mark. Res. 10 (1973) 270. <https://doi.org/10.2307/3149694>.
- [25] C. Qi, J. Diao, L. Qiu, IEEE Access, 2019, DOI:10.1109/ACCESS.2019.2892062.
- [26] J. Caicedo-Acosta, G. A. Castaño, C. Acosta-Medina, A. Alvarez-Meza, G. Castellanos-Dominguez, Sensors, 2021, DOI:10.3390/s21061932.
- [27] X. Yang, L. Li, Q. Tao, W. Lu, M. Li, Comput. Mater. Sci., 2021, DOI:10.1016/j.commatsci.2021.110528.
- [28] G. C. Cawley, "Leave-One-Out Cross-Validation Based Model Selection Criteria for Weighted LS-SVMs," The 2006 IEEE International Joint Conference on Neural Network Proceedings, 2006, pp. 1661-1668, doi: 10.1109/IJCNN.2006.246634.
- [29] Hawkins, D. M. (2004). The Problem of Overfitting. Journal of Chemical Information and Computer Sciences, 44(1), 1–12. <https://doi.org/10.1021/ci0342472>
- [30] Qi, C., Diao, J., & Qiu, L. (2019). On Estimating Model in Feature Selection with Cross-Validation. IEEE Access, 7, 33454–33463. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2892062>
- [31] Tan, X., Bi, W., Hou, X., & Wang, W. (2011). Reliability analysis using radial basis function networks and support vector machines. Computers and Geotechnics, 38(2), 178–186. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2010.11.002>

Global Optimizasyon için Yeni Bir Hibrit Yöntem: Kaya Kartalı Optimizasyonu-Tanjant Arama Algoritması

Sinem AKYOL^{1*}

¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

*¹ sakyol@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 22/06/2021;

Kabul/Accepted: 12/08/2021)

Öz: Optimizasyon, belirli koşullarda bir problem için tüm çözümler arasından en iyisini bulma, en iyileme anlamına gelmektedir. Birçok doğrusal optimizasyon modellerinde klasik optimizasyonun yetersiz kalmasından dolayı metasezgisel algoritmalar önerilmiştir. Metasezgisel algoritmalar, kesin çözümü bulma işleminin tanımlanamadığı durumlarda, kesin çözüme en yakın çözümleri bulmak için kullanılmaktadır. Tüm problemler için en iyi çözümü veren bir algoritma bulunmadığından, yeni metasezgisel algoritmalar önerilmeye veya var olan algoritmalar geliştirilmeye devam edilmektedir. Metasezgisel algoritmaların sahip olduğu keşif ve sömürü yetenekleri dengeli bir şekilde çalışmalıdır. Bazı metasezgisel algoritmalarda bu iki yetenekten biri iyi çalışmaktayken diğeri yetersiz kalabilmektedir. Algoritmaların hibritleştirilmesi ile iki algoritmanın güçlü yanları birleştirilerek daha etkin bir algoritma elde edilebilmektedir. Bu çalışmada Kaya Kartalı Optimizasyonu (KKO)'nun sömürü kabiliyetini arttırmak için daraltılmış keşif aşaması yerine, Tanjant Arama Algoritması (TAA)'nın yoğunlaştırma aşaması uygulanarak yeni bir hibrit yöntem olan Kaya Kartalı Optimizasyonu-Tanjant Arama Algoritması (KKO-TAA) önerilmiştir. KKO-TAA, KKO ve TAA'nın performanslarını karşılaştırmak için, altı adet kalite testi fonksiyonu kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar hibrit KKO-TAA'nın, KKO ve TAA'ya göre daha iyi sonuçlar verdiğini ve global optimizasyon için etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Hibrit Kaya Kartalı Optimizasyonu-Tanjant Arama Algoritması, Kaya Kartalı Optimizasyonu, Tanjant Arama Algoritması

A Novel Hybrid Method for Global Optimization: Aquila Optimizer - Tangent Search Algorithm

Abstract: Optimization means finding the best among all solutions for a problem under certain conditions. Because of the inadequacy of classical optimization in many linear optimization models, metaheuristic algorithms have been proposed. Metaheuristic algorithms are used to find the closest solutions to the optimum solution when the optimum solution cannot be defined. Since there is no algorithm that gives the best solution for all problems, new metaheuristic algorithms continue to be proposed or existing algorithms are developed. The exploration and exploitation capabilities of metaheuristic algorithms should work in a balanced way. In some metaheuristic algorithms, one of these two capabilities may work well while the other may be insufficient. By hybridizing the algorithms, a more efficient algorithm can be obtained by combining the strengths of the two algorithms. In this study, a new hybrid method, the Aquila Optimizer-Tangent Search Algorithm has been proposed by applying the intensification search of the Tangent Search Algorithm instead of the narrowed exploration stage in order to increase the exploitation capability of the Aquila Optimizer. Six benchmark test functions are used to compare the performances of Aquila Optimizer-Tangent Search Algorithm, Aquila Optimizer, and Tangent Search Algorithm. Experimental results show that hybrid Aquila Optimizer-Tangent Search Algorithm gives better results than the other two algorithms and is an effective method for global optimization.

Key words: Aquila Optimizer-Tangent Search Algorithm, Aquila Optimizer, Tangent Search Algorithm.

1. Giriş

En iyileme anlamına gelen optimizasyon, belirli koşullarda bir problem için tüm çözümler arasından en iyisini bulma işidir. Optimizasyon problemi, belirli kısıtlamaları sağlamak şartıyla, bilinmeyen değişken değerlerinin bulunmasını hedefleyen herhangi bir problem olarak ifade edilebilmektedir [1]. Birçok optimizasyon algoritması, amaç fonksiyonu ve sistem modeli için matematiksel modellere ihtiyaç duymaktadır ve matematiksel modellerin kurulması genellikle zor olmaktadır ya da yüksek maliyetli olduğundan dolayı kullanılamamaktadır [2]. Doğrusal olmayan ve büyük ölçekli tümleşik problemlerde ve tamsayı ya da ayrık karar parametrelerinin kullanıldığı birçok doğrusal optimizasyon modellerinde klasik optimizasyon yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle klasik optimizasyon algoritmaları, verilen bir probleme çözüm uyarlamada etkin olamamaktadır [3].

Çözüm yöntemi, klasik optimizasyon algoritmalarında daha çok problemi modellemede kullanılan değişkenlerin tipine (tamsayı, gerçel), amaç ve sınırlayıcıların tipine (doğrusal, doğrusal olmayan vb.) bağlı

* Sorumlu yazar: sakyol@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 00000-0001-9308-3500

olurken, etkin olması da benzer şekilde problem modellemede çözüm uzayı (içbükey, dışbükey vb.), karar değişken sayısı ve sınırlayıcı sayısına bağlı olmaktadır. Diğer önemli bir eksiklik ise; farklı tipte karar değişkenleri, amaç ve sınırlayıcıların olması durumunda problem formülasyonlarına uygulanabilecek genel çözüm stratejileri sunmamalarıdır. Yani çoğu algoritma belirli tipteki amaç fonksiyonu ya da sınırlayıcıların olduğu modelleri çözmektedir. Ancak çoğu yönetim bilimi, bilgisayar, mühendislik gibi bir çok farklı alandaki optimizasyon problemleri eşzamanlı olarak formülasyonlarında farklı tipteki karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıları gerektirir. Bu yüzden klasik ve genel amaçlı metasezgisel optimizasyon algoritmaları önerilmiştir. Bu yöntemlerin hesaplama gücünün iyi ve dönüşümlerinin kolay olmasından dolayı, son yıllarda oldukça popüler yöntemler haline gelmiştir. Örneğin, tek amaç fonksiyonlu bir problem için yazılmış bir metasezgisel program, kolaylıkla çok amaçlı bir probleme ya da farklı bir probleme uyarlanabilmektedir [3-5].

Gerçek yaşam problemlerinin çoğunda problemin çözüm uzayı sonsuz veya tüm çözümlerin değerlendirilemeyeceği kadar büyük olur. Bunun için kabul edilebilir bir sürede çözümlerin değerlendirilerek iyi bir çözümün bulunması gerekmektedir. Böyle problemler için kabul edilebilir bir sürede çözümlerin değerlendirilmesiyle aslında tüm çözüm uzayında “bazı çözümlerin” değerlendirilmesi aynı anlama gelmektedir. Bazı çözümlerin neye göre ve nasıl seçileceği metasezgisel tekniğe göre değişmektedir. Değerlendirmeye dahil olan çözümlerin içerisinde optimal çözümün yer alması garanti edilememektedir. Bu sebeple de metasezgisel tekniklerin bir optimizasyon problemine önerdiği çözüm, optimal değil iyi çözüm olarak algılanmalıdır [6, 7].

Genel amaçlı metasezgisel yöntemler; biyoloji tabanlı, fizik tabanlı, sürü tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı, kimya tabanlı, spor tabanlı ve matematik üzere sekiz farklı grupta değerlendirilebilmektedir. Ayrıca bunların birleşimi olan melez yöntemler de vardır [3-5]. Genetik Algoritma (GA) [8], Diferansiyel Gelişim Algoritması (DEA) [9] ve Karınca Koloni Algoritması (ACO) [10] biyolojik tabanlı; Emperyalist Yarışmacı Algoritma (ICA) [11] ve Parlamenter Optimizasyon Algoritması (POA) [12] sosyal tabanlı; Yapay Kimyasal Reaksiyon Algoritması (ACROA) [13] kimya tabanlı; Armoni Arama Algoritması (HS) [14] müzik tabanlı; Yerçekimsel Arama Algoritması (GSA) [15] ve Zeki Su Damlacıkları Algoritması (IWD) [16] fizik tabanlı, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) [17], Kedi Sürüsü Optimizasyonu (CSO) [18] sürü tabanlı, Lig Şampiyonası Algoritması (LCA) [19] spor tabanlı ve Baz Optimizasyon Algoritması [20] ile Matheuristics [21] Matematik Tabanlı Algoritma ve modellerdir. Kültürel Algoritma [22] da hem biyoloji hem de sosyal tabanlı algoritma olarak sınıflandırılabilir [3-5, 23]. Bazı çalışmalarda ise bitki zekasından esinlenerek geliştirilen algoritmaları, bitki tabanlı yöntemler olarak ayrı bir grupta incelenmiştir [24].

Metasezgisel algoritmaların keşif ve sömürü yeteneklerine sahip olması gerekmektedir. Bu iki yetenek dengeli bir şekilde çalışmalıdır. Bazı metasezgisel algoritmalarda sömürü yeteneği iyi çalışırken keşif yeteneği eksik kalabilmektedir ya da keşif yeteneğinde iyi çalışmaktayken sömürü yeteneğinde yeterli olamamaktadır. Algoritmaların hibritleştirilmesi ile iki algoritmanın güçlü yanları birleştirilerek daha etkin bir algoritma elde edilebilmektedir. Bu makalede yeni bir hibrit algoritma olan KKO-TAA önerilmiştir. KKO yönteminde keşif aşaması iterasyon sayısının 2/3 oranında uygulanırken, sömürü aşaması yetersiz kalmıştır. Sömürü kabiliyetine daha fazla yer vermek için TAA'nın etkili olan yoğunlaştırma aşaması KKO'nun daraltılmış keşif aşaması yerine uygulanmıştır. Önerilen hibrit algoritmanın, KKO ve TAA'ya göre daha erken sürede daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, KKO ve TAA detaylı olarak açıklanmıştır ve akış diyagramları verilmiştir. Üçüncü bölümde, hibrit KKO-TAA algoritması anlatılarak, akış diyagramında iki algoritmanın nasıl birleştirildiği gösterilmiştir. Dördüncü bölümde KKO, TAA ve KKO-TAA algoritmalarının performansları, kalite testi fonksiyonları kullanılarak elde edilen deneysel sonuçlar karşılaştırılarak sunulmuştur.

2. Standart KKO ve TAA

Bu bölümde kaya kartallarının avlanma becerisinden esinlenerek geliştirilen KKO [25] ve matematiksel tanjant fonksiyonuna dayanan TAA [26] detaylıca açıklanarak akış diyagramları verilmiştir.

2.1. Kaya kartalı optimizasyonu

Kartalların en yaygın türü olan kaya kartalları, Kuzey Yarımküre'deki en popüler yırtıcı kuşlardandır. Kaya kartalları tarafından kullanılan dört avlanma yöntemi şu şekilde ifade edilmektedir:

İlk yöntem olan dikey eğimli yüksek uçmayı, kaya kartalı yerden yüksek bir seviyede yükseldiği uçuş sırasında kuşları avlamak için kullanmaktadır. Avını keşfettikten sonra ve avına daha da yaklaştıkça, kanatlar hızla yükselen uzun ve düşük açılı bir süzülüşe girmektedir. Kaya kartalı, bu yöntemin başarısı için avının üzerinde bir yükseklik özelliğine ihtiyaç duymaktadır. Avına yönelmeden hemen önce, bir gök gürültüsü gibi görünmesini

sağlamak için, kanatlar ile kuyruk açılmaktadır ve ayaklar, avı yakalamak için öne doğru itilmektedir [27]. İkinci yöntem olan kısa süzülme atağıyla kontur uçuşu, kaya kartalının yerden düşük bir seviyede yükseldiği uçuştur. Bu kartallar tarafından en sık kullanılan yöntem olarak kabul edilmektedir. Av, ister koşuyor ister uçuyor olsun, yakından takip edilmektedir. Bu yöntem, yer sincaplarını, orman tavuğunu veya deniz kuşlarını avlamak için kullanılmaktadır [25, 28].

Üçüncü yöntem, yavaş bir alçalma saldırısı ile uçuş hareketidir. Bu yöntemde kaya kartalı yere inmektedir ve aşamalı olarak avına saldırmaktadır. Kaya kartalı kurbanını seçmekte ve avının boynuna ve sırtına konmaya çalışmaktadır. Bu av yöntemi, çingiraklı yılanlar, kirpi, tilki ve kaplumbağa gibi yavaş avlar veya kaçış tepkisi olmayan herhangi bir av için kullanılmaktadır [29]. Dördüncü yöntem, kaya kartalının karada yürüdüğü ve avını çekmeye çalıştığı avlanma türü olan, yürüme ve avı yakalamadır. Geyik veya koyun gibi hayvanların daha genç olanlarını kapsama alanından çıkarmak için kullanılmaktadır [30]. KKO algoritması kaya kartallarının, bu dört avlanma yönteminden esinlenerek geliştirilmiştir.

Popülasyon tabanlı bir yöntem olan KKO'da, optimizasyon kuralı, üst sınır (UB) ve alt sınır (LB) arasında stokastik olarak üretilen aday çözümlerin (X) popülasyonu ile başlamaktadır. Şimdiye kadar elde edilen en iyi çözüm, yaklaşık olarak her yinelemede en uygun çözüm olarak belirlenmektedir. X , Denklem (1) kullanılarak rastgele üretilen bir dizi aday çözümden oluşmaktadır. X_i , i . çözümün karar değerlerini (konumlarını), N ise aday çözümlerin (popülasyon) toplam sayısını ve D problemin boyutunu ifade etmektedir. $rand$ rasgele bir sayı, LB_j , j . alt sınır ve UB_j ise j . üst sınırdır [25].

$$X_{ij} = rand * (UB_j - LB_j) + LB_j, i = 1, 2, \dots, N \quad j = 1, 2, \dots, D \quad (1)$$

KKO algoritması, kaya kartalının avlanma sırasındaki dört farklı davranışını simüle etmektedir. Bu nedenle, KKO algoritmasının optimizasyon prosedürleri dört yöntemde temsil edilmektedir: Dikey eğimle yüksekten süzülerek arama alanını seçme, kısa süzülme saldırısı ve sınır çizgisi ile farklı bir arama alanı içinde keşif yapma, yavaş inişli saldırıyla bir yakınsama arama alanı içinde alçak uçuşla sömürme ve yürüyerek avı yakalama. KKO algoritmasında, T maksimum iterasyon sayısı ve t mevcut iterasyon sayısı olmak üzere, $t \leq \left(\frac{2}{3}\right) * T$ koşulunun sağlandığı durumlarda keşif adımları uygulanmaktadır, aksi durumlarda ise sömürü adımlarına geçilmektedir.

Kaya kartallarının davranışlarını matematiksel bir optimizasyon paradigması olarak modellenmiştir ve bu, belirli kısıtlamalara göre en iyi çözümü belirlemektedir [25].

2.1.1. Adım 1: Genişletilmiş keşif (X_1)

İlk yöntemde (X_1), kaya kartalı av bölgesini tanıy ve dikey eğimde yüksek süzülme ile en iyi avlanma alanını seçmektedir. Burada, KKO, avın bulunduğu arama alanını belirlemek için yüksekten uçarak geniş çapta keşifler yapmaktadır. Bu davranış matematiksel olarak Denklem (2)'de olduğu gibi sunulmuştur.

$$X_1(t+1) = X_{best}(t) * \left(1 - \frac{t}{T}\right) + (X_M(t) - X_{best}(t) * rand) \quad (2)$$

Burada, $X_1(t+1)$, ilk arama yöntemi (X_1) tarafından üretilen $t+1$. iterasyonun çözümüdür. $X_{best}(t)$, t . iterasyona kadar elde edilen en iyi çözümdür ve bu avın yaklaşık yerini yansıtmaktadır. $\left(1 - \frac{t}{T}\right)$ denklemi, iterasyonların sayısı aracılığıyla genişletilmiş aramayı (keşif) kontrol etmek için kullanılmaktadır. $X_M(t)$, Denklem (3) kullanılarak hesaplanan, t . iterasyondaki mevcut çözümlerin konumlarının ortalama değerini belirtmektedir. $rand$, 0 ile 1 arasında rastgele bir değerdir [25].

$$X_M(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i(t), \forall j = 1, 2, \dots, D \quad (3)$$

2.1.2. Adım 2: Daraltılmış keşif (X_2)

İkinci yöntemde (X_2), av alanı yüksekten uçularak bulunmaktadır. Kaya kartalı hedef avın üzerinde daireler çizmekte, av bölgesini hazırlamakta ve ardından saldırmaktadır. Bu yöntemde kısa bir süzülme saldırısıyla kontur uçuşu denmektedir. Burada KKO, saldırıya hazırlanırken hedef avın seçilen bölgesini dar bir şekilde araştırmaktadır. Bu davranış matematiksel olarak Denklem (4)'te olduğu gibi sunulmuştur.

$$X_2(t+1) = X_{best}(t) * Levy(D) + X_R(t) + (y - x) * rand \quad (4)$$

$X_2(t+1)$, ikinci arama yöntemi (X_2) tarafından üretilen $t+1$. iterasyonun çözümüdür. $Levy(D)$, Denklem (5) kullanılarak hesaplanan Levy uçuş dağılımı fonksiyonudur. $X_R(t)$ t . iterasyonda $[1 N]$ aralığında alınan rastgele bir çözümdür [25].

$$Levy(D) = s * \frac{u * \sigma}{|v|^{\beta}} \quad (5)$$

Burada, s değeri 0.01 olan bir sabittir. u ve v , 0 ile 1 arasında rasgele sayılardır. σ Denklem (6) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\sigma = \left(\frac{\Gamma(1+\beta) * \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1+\beta}{2}\right) * \beta * 2^{\left(\frac{\beta-1}{2}\right)}} \right) \quad (6)$$

Burada, β değeri 1.5 olan bir sabittir. Denklem (4)'te x ve y aramadaki spiral şekli sunmak için kullanılmaktadır ve Denklem (7), (8), (9), (10) ve (11) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$y = r * \cos(\theta) \quad (7)$$

$$x = r * \sin(\theta) \quad (8)$$

$$r = r_1 + U * D_1 \quad (9)$$

$$\theta = -\omega * D_1 + \theta_1 \quad (10)$$

$$\theta_1 = \frac{3 * \pi}{2} \quad (11)$$

r_1 , arama döngülerinin sayısını belirlemek için 1 ile 20 arasında bir değer alır ve U , değeri 0.00565 olan bir sabittir. D_1 , 1'den arama alanının uzunluğuna (D) kadar olan tam sayılardır ve ω değeri 0.005 olan küçük bir sabittir [25].

2.1.3. Adım 3: Genişletilmiş sömürü (X_3)

Üçüncü yöntemde (X_3), av alanı doğru bir şekilde belirlendiğinde ve kaya kartalı iniş ile saldırı için hazır olduğunda, av reaksiyonunu keşfetmek için bir ön saldırı ile dikey olarak aşağı inmektedir. Bu yöneme yavaş iniş saldırısı ile alçak uçuş denmektedir. Burada KKO, hedefin seçilen bölgesini avına yaklaşmak ve saldırmak için kullanılmaktadır. Bu davranış matematiksel olarak Denklem (12)'de olduğu gibi sunulmaktadır.

$$X_3(t+1) = (X_{best}(t) - X_M(t)) * \alpha - rand + ((UB - LB) * rand + LB) * \delta \quad (12)$$

$X_3(t+1)$, üçüncü arama yöntemi (X_3) tarafından üretilen $t+1$. iterasyonun çözümüdür. α ve δ 0.1 gibi küçük bir değere sabitlenmiş sömürü ayarlama parametreleridir [25].

2.1.4. Adım 4: Daraltılmış sömürü (X_4)

Dördüncü yöntemde (X_4), kaya kartalı avına yaklaştığında, stokastik hareketlerine göre karada saldırmaktadır. Bu adıma yürüyüş ve av yakalama adı verilmektedir. Burada ve nihayetinde, KKO ava son konumda saldırmaktadır. Bu davranış matematiksel olarak Denklem (13)'te olduğu gibi sunulmaktadır.

$$X_4(t+1) = QF * X_{best}(t) - (G_1 * X(t) * rand) - G_2 * Levy(D) + rand * G_1 \quad (13)$$

$X_4(t+1)$, dördüncü arama yöntemi (X_4) tarafından üretilen $t+1$. iterasyonun çözümüdür. QF , Denklem (14) kullanılarak hesaplanmaktadır ve arama stratejilerini dengelemek için kullanılan bir kalite fonksiyonunu ifade

etmektedir. Denklem (15) kullanılarak hesaplanan G_1 , kaçırma sırasında avı izlemek için kullanılan, KKO'nun çeşitli hareketlerini belirtmektedir. Denklem (16) kullanılarak hesaplanan G_2 , ilk konumdan (1) son konuma (t) kaçırma sırasında avı takip etmek için kullanılan KKO'nun uçuş eğimini ifade eden, 2'den 0'a azalan bir değerdir. $X(t)$, t . yinelemedeki mevcut çözümdür [25].

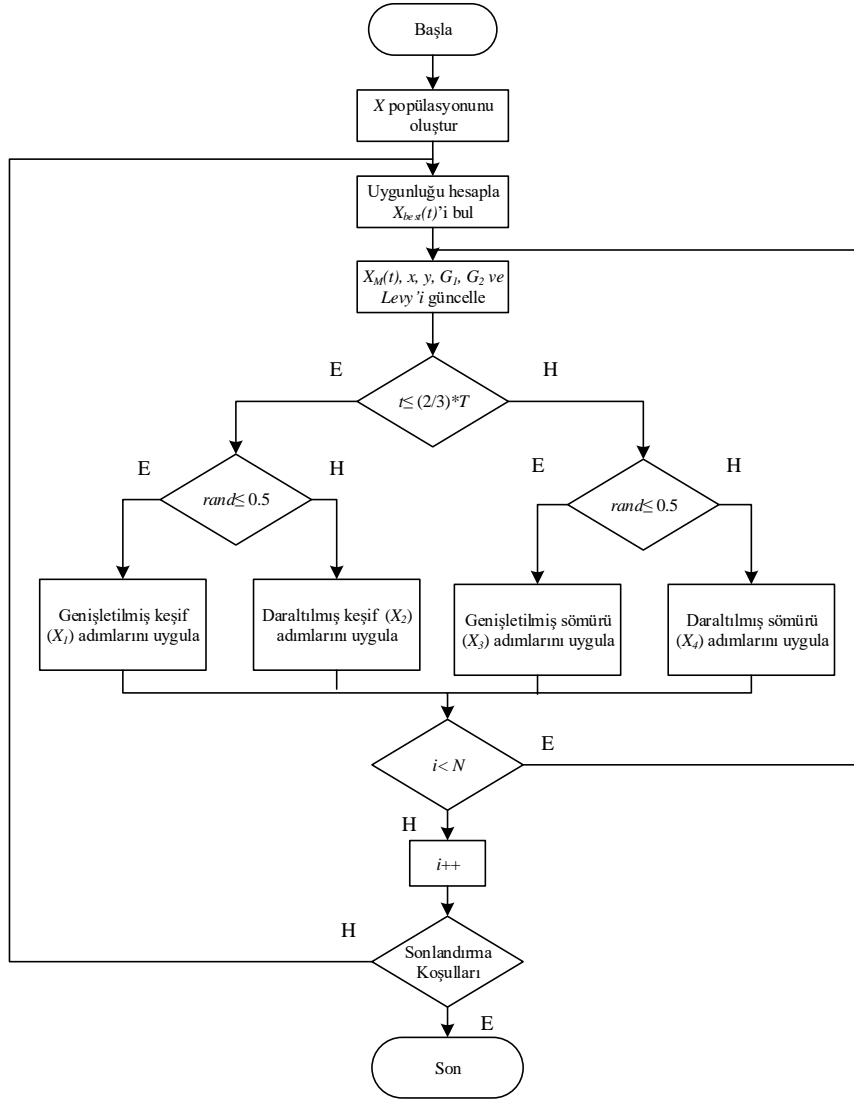
$$QF(t) = t^{\frac{2 * rand() - 1}{(1-T)^2}} \quad (14)$$

$$G_1 = 2 * rand() - 1 \quad (15)$$

$$G_2 = 2 * (1 - \frac{t}{T}) \quad (16)$$

$QF(t)$, t . iterasyonun kalite fonksiyonu değeridir.

Özetlemek gerekirse, KKO'nun arama stratejileri (yani keşif ve sömürü) arasındaki dengeyi vurgulamak için, keşif ve sömürü için dört farklı arama stratejisi (genişletilmiş keşif, daraltılmış keşif, genişletilmiş sömürü ve daraltılmış sömürü) sunulmaktadır [25]. KKO'nun akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. KKO'nun akış diyagramı

2.2. Tanjant arama algoritması

Tanjant Arama Algoritması, tanjant fonksiyonu olan basit bir matematiksel fonksiyona dayanmaktadır. Bu fonksiyon, arama alanını iyi keşfetmek için büyük bir kapasite sunmaktadır. Bu fonksiyonun $-\infty$ ve $+\infty$ arasındaki varyasyonu ve bu fonksiyonun periyodikliği, keşif ve sömürü arasında iyi bir denge sağlamaya yardımcı olmaktadır. TAA algoritmasında, tüm hareket denklemleri, " $(\theta)step * \tan(\theta)$ " formundaki küresel bir adım tarafından yönetilmektedir. Burada tanjant fonksiyonu, Levy uçuş fonksiyonunda olduğu gibi uçuş fonksiyonunun bir rolünü sergilemektedir, bu nedenle buna tanjant uçuşu denmektedir.

Başarılı bir optimizasyon algoritması, sömürü ve keşif arasında daha iyi bir dengeye sahip olmalıdır; çok yoğunlaştırma, algoritmaların hızlı bir şekilde yerel minimuma yakınsamasına neden olmaktadır ve çok fazla keşif, algoritmayı çok yavaşlatmaktadır ve bazen farklılaştırmaktadır. Keşif ve yoğunlaştırma arasındaki dengeye ulaşmak için, TAA üç ana bileşenden oluşturulmuştur: Yoğunlaştırma, keşif ve yerel minimum bileşenlerden kaçış. Son olarak, yerel minimumda tuzağa düşmekten kaçınmak için rasgele bir arama bireyi (çözüm) üzerinde her yinelemede, yerel minimumdan kaçış prosedürü uygulanmaktadır. Diğer popülasyon tabanlı algoritmalarda olduğu gibi, TAA'da ilk popülasyonda bireyler çözüm uzayının sınırları içinde eşit olarak dağıtılmak üzere, Denklem (1) kullanılarak hesaplanmaktadır [26].

2.2.1. Yoğunlaştırma aşaması

Yoğunlaştırma aşamasında TAA, önce aşağıdaki Denklem (17) tarafından yönlendirilen rasgele bir yerel yürüyüş yapmaktadır. Daha sonra elde edilen çözümün bazı değişkenleri, Denklem (18) kullanılarak, mevcut optimal çözümde karşılık gelen değişkenin değerleri ile değiştirilmektedir. Değiştirilen değişkenlerin oranı, boyutu 4'ten büyük bir problem için %20'ye ve 4'e eşit veya daha az değişkene sahip problemler için %50'ye eşit olmaktadır.

$$X_i(t + 1) = X_i(t) + step * \tan(\theta) * (X_i(t) - X_{best}(t)) \quad (17)$$

$$X_i(t + 1) = X_{best}(t), \text{ eğer } i \text{ değeri seçilmişse} \quad (18)$$

Sonuç olarak, elde edilen çözüm $X_i(t + 1)$, mevcut çözümün yerel olarak geliştirilmesine yardımcı olan mevcut en iyi çözüm ile %50'nin altında bir benzerlik oranına sahiptir. Elde edilen her çözüm X , eğer değerleri problemin LB ve UB sınırlarını aşarsa, Denklem (19) ile düzeltilmektedir [26].

$$X = rand * (UB - LB) + LB \quad (19)$$

2.2.2. Keşif aşaması

Yerel arama yöntemlerinin aksine, global rasgele yürüyüş sayesinde büyük bir keşif kapasitesine sahiptir. Bu algoritma, global rasgele yürüyüş için tanjant uçuşunu ve değişken adım boyutunu kullanmaktadır. Tanjant fonksiyonu, arama alanını verimli bir şekilde keşfetmeye yardımcı olmaktadır. Aslında, θ 'nın $\pi/2$ 'ye yakın olması tanjant değerini büyütecek ve elde edilen çözüm mevcut çözümden uzak olacaktır. θ 'nın 0'a yakın olması tanjant fonksiyonuna küçük değerler vermektedir ve elde edilen çözüm mevcut çözüme yakın olacaktır. Bu nedenle, keşif aşamasına ait olan Denklem (20), genel ve yerel rasgele yürüyüş arasında birleşmektedir. Keşif arama denklemleri her değişkene $1/D$ olasılıkla uygulanmaktadır [26].

$$X_i(t + 1) = X_i(t) + step * \tan(\theta) \quad (20)$$

2.2.3. Yerel minimumdan kaçış

TAA, yerel minimum durgunluk problemlerinden kaçmak için, belirli bir prosedürü kullanan bir mekanizma içermektedir. Prosedür, *Pesc* olasılık değeri ile yürütülen iki bölümden oluşmaktadır. Her yinelemede rastgele bir ajan araması seçilir ve ardından Denklem (21) ve Denklem (22)'den biri kullanılmaktadır. Ayrıca, yeni rastgele çözüm, en kötü çözümü 0.01 olasılıkla değiştirebilmektedir [26].

$$X = X + R.* (best - rand * (best - X)) \quad (21)$$

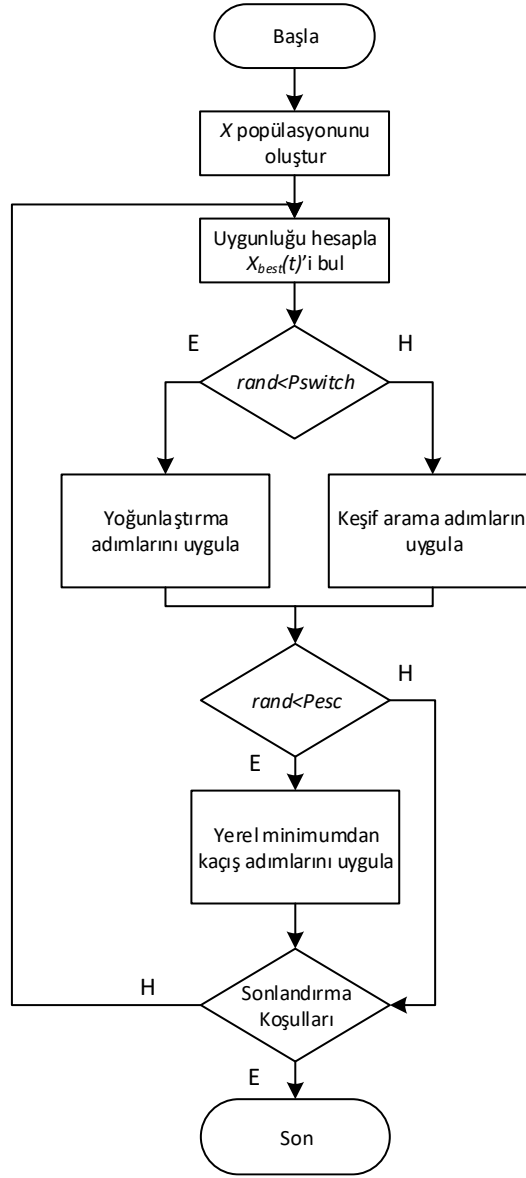
$$X = X + \tan(\theta) * (UB - LB) \quad (22)$$

TAA, birçok optimizasyon algoritmasına kıyasla daha az parametre kullanmaktadır. *Pswitch*, *Pesc*, *step*, θ , yoğunlaştırma ve keşif aramasını vurgulamak için kullanılan ana parametrelerdir. Yerel ve global rasgele yürüyüşler arasındaki denge, *Pswitch* $\in [0,1]$ anahtarlama parametresi tarafından kontrol edilmektedir, ikinci parametre, kaçış prosedürü olasılığı olan *Pesc* $\in [0,1]$ 'dir. *step* parametresi, arama sürecinin sömürülmesini ve keşfini yönlendirmek ve vurgulamak için kullanılmaktadır. TAA, en iyi çözüme iyi bir şekilde yaklaşmak ve hassasiyet eksikliğini önlemek için değişken bir adım boyutu kullanmaktadır. Erken aşamada, TAA, arama sürecinin ilerlemesi ile büyük bir adım boyutu benimsemektedir ve adım boyutu yinelemeden yinelemeye doğrusal olmayan bir şekilde azalmaktadır. Bu uyarlanabilir boyut davranışı, TAA'nın keşif ve yoğunlaştırma arasında iyi bir denge sağlamasına yardımcı olmaktadır. Tanjant uçuşun adım boyutu üzerinde büyük etkisi olmasının yanı sıra, ona sınımlı ve periyodik davranış kazandırmaktadır. Keşif ve yoğunlaştırma arama sürecini uyarlamak için TAA, logaritma işlevine dayalı olarak uyarlanabilir adım boyutu için doğrusal olmayan bir azaltma şeması kullanır. Logaritma işlevi, ince bir yakınsamayı sürdürmeye yardımcı olan yavaş bir işlevdir. Öte yandan, aynı algorithmada farklı adım boyutu fonksiyonlarının kullanılmasının özellikle sert yakınsama olan fonksiyonlar için daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu nedenle, daha verimli olması açısından, TAA adım boyutunun iki çeşidini kullanmaktadır. İlk adım boyutu varyantı yoğunlaştırma aramasında kullanılır ve Denklem (23)'te verildiği gibi hesaplanmaktadır. İkinci adım boyutu ise keşif aramasında Denklem (24) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$step1 = 10 * sign(rand - 0.5) * norm(best) * \log(1 + 10 * d/t) \quad (23)$$

$$step2 = 1 * sign(rand - 0.5) * norm(best - X) / \log(20 + t) \quad (24)$$

Burada: *norm()* belirli bir matematiksel normdur. *sign(-, +)* bileşeni, keşif ve yoğunlaştırma aşamasının yönünü kontrol etmektedir [26]. TAA'nın akış diyagramı Şekil 2'de gösterilmektedir.



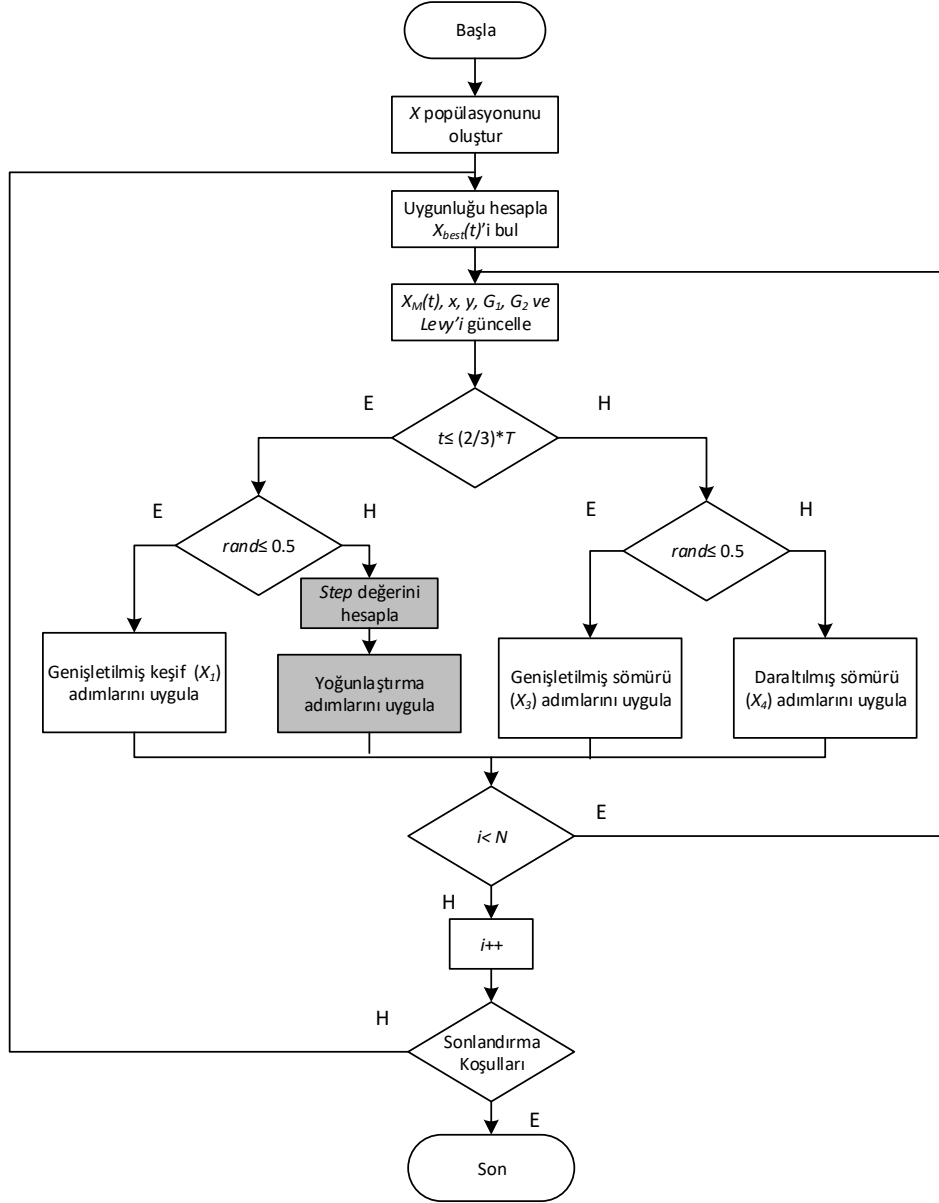
Şekil 2. TAA'nın akış diyagramı

3. Hibrit Kaya Kartalı-Tanjant Arama Algoritması

Metasezgisel algoritmaların yüksek keşif ve sömürü yeteneklerine sahip olması gerekmektedir. Keşif aşamasının amacı, arama alanını iyi keşfetmek ve en umut verici adayları bulmaktır. Sömürü aşaması ise arama sürecini popülasyondaki en iyi mevcut çözüme yönlendirmek için kullanılmaktadır. Bir metasezgisel yöntemin doğruluğu ve yakınsama hızı, kullanım ve keşif performansını uygun şekilde dengeleyerek geliştirilebilir. Sömürü yeteneği güçlü ancak keşif yeteneği zayıf olan bir algoritmayla, keşif yeteneği güçlü ancak sömürü yeteneği zayıf olan bir algoritmayı hibritleştirerek, bu iki algoritmadan daha güçlü yeni bir hibrit algoritma elde edilebilir. İlk algoritmanın güçlü sömürü yeteneği ile ikinci algoritmanın güçlü keşif yeteneği birleştirilerek daha güçlü yeni bir algoritma hedeflenmektedir. Böylece, iki yöntemin hibridizasyonu, her bir yöntemin gücünü tek bir yaklaşımda birleştirmek ve her bir yöntemin dezavantajlarını ortadan kaldırarak avantajlarından yararlanmak için kullanılabilir.

KKO yönteminde keşif aşaması iterasyonun 2/3 oranında uygulanırken, sömürü aşaması yetersiz kalmıştır. Sömürü kabiliyetine daha fazla yer vermek için TAA'nın etkili olan yoğunlaştırma aşaması KKO'nun daraltılmış

keşif aşaması yerine uygulanmıştır. Dolayısıyla hibrit KKO-TAA'nın sömürü aşaması güçlendirilerek optimum çözüme daha erken ulaşması hedeflenmektedir. Bu nedenle bu makalede, KKO'nun daraltılmış keşif aşamasına TAA'nın yoğunlaştırma adımları entegre edilerek hibrit KKO-TAA önerilmiştir. Önerilen bu hibrit algoritma, sömürü ile keşif aşamasını uygun şekilde dengeleyerek, yerel optimuma takılıp kalmadan global çözümü daha hızlı bulmaktadır. Hibrit KKO-TAA'nın akış diyagramı Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Hibrit KKO-TAA'nın akış diyagramı

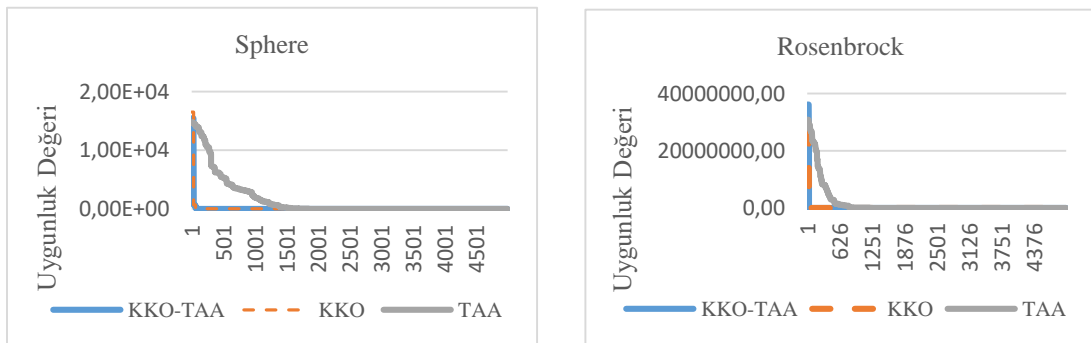
4. Deneysel Sonuçlar

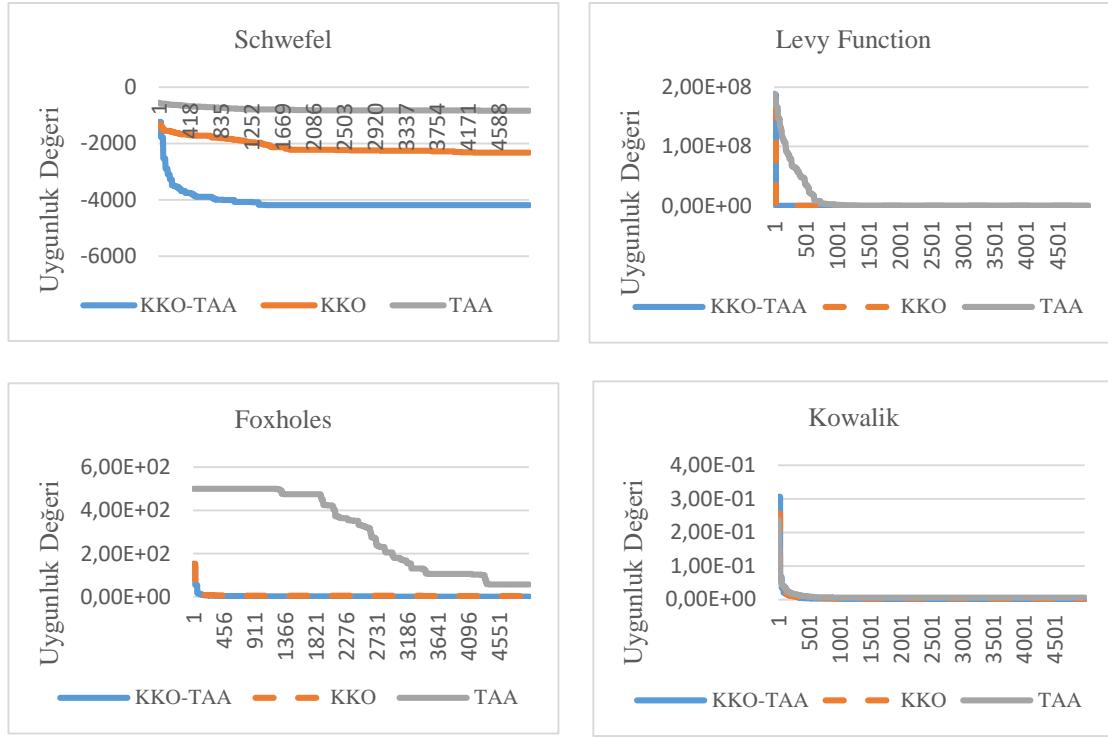
KKO, TAA ve KKO-TAA algoritmalarının performanslarını karşılaştırmak için, kalite testi fonksiyonlarından iki tane unimodal (Sphere ve Rosenbrock), iki tane multimodal (Schwefel ve Levy Function) ve iki tane de fixed-dimension multimodal (Foxholes ve Kowalik) kullanılmıştır. Kullanılan kalite testi fonksiyonlarında problem boyutu Sphere, Rosenbrock Schwefel ve Levy Function'da 10, Foxholes'da 2 ve Kowalik'te ise 4 olarak seçilmiştir. Bu altı adet test fonksiyonunun denklemleri ile parametre ve minimum değerleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Test fonksiyonları

Adı	Fonksiyon Denklemi	Parametreler	MİN
Sphere	$f(x) = \sum_{i=1}^N x_i^2$	$-100 < x_i < 100$	0
Rosenbrock	$f(x) = \sum_{i=1}^{N-1} [100(x_i^2 - x_{i+1})^2 + (1 - x_i)^2]$	$-30 < x_i < 30$	0
Schwefel	$f(x) = \sum_{i=1}^N (-x_i \sin(\sqrt{ x_i }))$	$-500 < x_i < 500$	$-418.9829 * N$
Levy Function	$f(x) = 0.1 \left(\sin^2(3\pi x_1) + \sum_{i=1}^N (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_i + 1)] + (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(2\pi x_i)] \right) + \sum_{i=1}^N u(x_i, 5, 100, 4)$	$-50 < x_i < 50$	0
Foxholes	$f(x) = \left(\frac{1}{500} + \sum_{j=1}^{25} \frac{1}{j + \sum_{i=1}^{25} (x_i - a_{i,j})^6} \right)^{-1}$	$-65.536 < x_i < 65.536$	1
Kowalik	$f(x) = \sum_{i=1}^{11} \left[a_i - \frac{x_1(b_i^2 + b_i x_2)}{b_i^2 + b_i x_3 + x_4} \right]^2$	$-5 < x_i < 5$	0.00030

Bu çalışmada tüm deneyler için, kullanılan algoritmaların başlangıç popülasyon boyutu 30 olarak alınmıştır. Algoritmaların sonlandırma şartı olarak fonksiyon değerlendirme sayısı kullanılmıştır. Buna göre fonksiyon değerlendirme sayısı 5000'e ulaşıncaya algoritma sonlandırılmaktadır. Her algoritma her bir test fonksiyonu için 20 defa çalıştırılmıştır ve elde edilen ortalama sonuçlar sunulmuştur. Şekil 4'te Hibrit KKO-TAA, KKO ve TAA'nın Sphere, Rosenbrock, Schwefel, Levy Function, Foxholes ve Kowalik test fonksiyonlarındaki deney sonuçlarının ortalama uygunluk değeri/fonksiyon değerlendirme sayısı değişimi görülmektedir.





Şekil 4. Fonksiyon değerlendirme sayısına göre uygunluk değerinin değişimi

Tablo 2. Tüm deneyler için istatistiksel sonuçlar

		KKO-TAA	KKO	TAA	
Unimodal	Sphere	En İyi	7.90361E-82	1.68053E-76	5.36E-16
		En Kötü	8.14708E-72	1.05325E-16	3.85E-07
		Ortalama	4.15992E-73	5.26623E-18	3.80E-08
		Std. Sapma	1.77377E-72	2.2955E-17	9.43E-08
	Rosenbrock	En İyi	0.000089	0.000187	0.093677
		En Kötü	0.034303	0.086325	134.753997
		Ortalama	0.007296	0.008634	16.691922
		Std. Sapma	0.010006039	0.018418326	31.22474037
Multimodal	Schwefel	En İyi	-4189.828869	-3005.438440	-837.965775
		En Kötü	-4186.338211	-1888.326106	-837.953101
		Ortalama	-4189.536068	-2329.271288	-837.964062
		Std. Sapma	0.75282628	445.8335264	0.00357791
	Levy Function	En İyi	1.7788E-07	5.75208E-07	4.61E-07
		En Kötü	7.80114E-05	0.000129198	4.40E-02
		Ortalama	1.05E-05	2.98795E-05	1.58E-02
		Std. Sapma	1.96522E-05	3.41083E-05	1.35E-02
Fixed-Dimension Multimodal	Foxholes	En İyi	0.998003879	0.998008573	9.98E-01
		En Kötü	2.982165788	12.67050581	5.00E+02
		Ortalama	1.32E+00	4.198826196	5.77E+01
		Std. Sapma	0.514987142	4.163971672	1.48E+02
	Kowalik	En İyi	3.39E-04	4.38E-04	6.32E-04
		En Kötü	8.28E-04	1.22E-02	2.04E-02
		Ortalama	5.27E-04	2.38E-03	5.75E-03
		Std. Sapma	0.000145119	2.83E-03	8.44E-03

Şekil 4 incelendiğinde, Sphere ve Rosenbrock unimodal test fonksiyonları için, hibrit KKO-TAA ile KKO'nun yakınsama hızlarının birbirine yakın oldukları ve en iyi çözüme TAA'ya göre çok daha erken ulaştıkları görülmektedir. Schwefel için grafiğe bakıldığında, yakınsama hızları üç algoritma için de benzerdir, fakat KKO-TAA'nın, KKO ve TAA'ya göre oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Levy Function ve Foxholes test fonksiyonları için bakıldığında, KKO-TAA ile KKO optimum çözüme daha erken ulaşırken TAA ise daha geç ulaşmaktadır. Kowalik test fonksiyonunda ise üç algoritmanın da yakınsama hızları birbirine yakındır.

KKO-TAA, KKO ve TAA'nın her bir test fonksiyonu için 20'şer defa çalıştırılıp ortalaması alındıktan sonra elde edilen en iyi, en kötü, ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 2'de gösterilmektedir. Tabloya bakıldığında, bütün test fonksiyonları için en iyi sonuçları KKO-TAA algoritması vermektedir. En kötü sonuçlar ise TAA'dan elde edilmiştir. Bütün test fonksiyonları için ortalama değerine bakılacak olunursa, en iyi ortalama değerleri hibrit KKO-TAA'dan elde edilmiştir. Standart sapma değerleri incelendiğinde, kullanılan altı test fonksiyonu için de minimum değeri veren KKO-TAA olmuştur.

5. Sonuçlar

Metasezgisel algoritmalar, hesaplama gücünün iyi ve dönüşümlerinin kolay olmasından dolayı, son yıllarda oldukça popüler yöntemler haline gelmiştir. Ancak tüm problemler için en iyi çözümü veren bir algoritma bulunmamaktadır. Bu nedenle, yeni metasezgisel algoritmalar önerilmeye veya var olan algoritmalar geliştirilmeye devam edilmektedir. Metasezgisel algoritmalar keşif ve sömürü yeteneklerine sahip olmaktadır. Bazı metasezgisel algoritmalarda bu iki yetenektan biri çok iyi çalışabilmekteyken diğeri yetersiz kalabilmektedir. İki metasezgisel algoritmanın güçlü yanları birleştirilerek daha etkin yeni bir hibrit algoritma elde edilebilmektedir. Bu çalışmada KKO'nun sömürü kabiliyetini arttırmak için daraltılmış keşif aşaması yerine, TAA'nın yoğunlaştırma aşaması entegre edilerek yeni bir hibrit yöntem olan KKO-TAA önerilmiştir.

KKO-TAA, KKO ve TAA'nın performanslarını karşılaştırmak için, iki tane unimodal, iki tane multimodal ve iki tane de fixed-dimension multimodal kalite testi fonksiyonları kullanılmıştır. 20'şer defa çalıştırılarak elde edilen ortalama sonuçlar incelendiğinde; hibrit KKO-TAA'nın, KKO ve TAA'ya göre daha erken iyi çözümlere ulaştığı görülmüştür. Tüm test fonksiyonlarında En İyi, Ortalama ve Standart Sapma kriterleri için en iyi değerler KKO-TAA tarafından bulunmuştur. Deneysel sonuçlar hibrit KKO-TAA'nın global optimizasyon için etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. İleriki çalışmalarda, bu algoritmanın farklı versiyonlarının önerilip çok amaçlı hale getirilerek gerçek dünya problemlerinde kullanılması planlanmaktadır. Hibrit KKO-TAA'nın doğruluğunu ve arama gücünü arttırmak için farklı arama yöntemleri önerilebilir. Ayrıca gelecekteki çalışmalar için bu algoritmanın dağıtık ve paralel versiyonları da geliştirilebilir.

Kaynaklar

- [1] Murty KG. Optimization Models for Decision Making. Internet Edition, Chapter 1: Models for Decision Making, 2003; 1-18.
- [2] Güden H, Vakvak B, Özkan BE, Altıparmak F ve Dengiz B. Genel Amaçlı Arama Algoritmaları ile Benzetim Eniyilemesi: En İyi Kanban Sayısının Bulunması. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 2005; 16: 2-15.
- [3] Akyol S. Güncel Akıllı Optimizasyon Algoritmalarıyla Duygu Sınıflandırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2018.
- [4] Akyol S. Güncel Sürü Zekâsı Algoritmalarıyla Sınıflandırma Kurallarının Keşfi. Yüksek Lisans Tezi, Tunceli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tunceli, 2013.
- [5] Alataş B. Kaotik Haritalı Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmaları Geliştirme. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2007.
- [6] Cura T. Modern Sezgisel Teknikler ve Uygulamaları. Papatya Yayıncılık Eğitim, 2008.
- [7] Karaboğa D. Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları. Nobel Yayın Dağıtım, 2011.
- [8] Holland JH. Adaption in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 1975.
- [9] Storn R. and Price K. Differential Evolution: A Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization over Continuous Spaces. Technical Report TR-95-012, International Computer Science Institute, Berkeley, 1995.
- [10] Dorigo M, Maniezzo V, and Colomi A. The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process. Tech. Rep. No. 91-016, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy, 1991.
- [11] Atashpaz-Gargari E and Lucas C. Imperialist Competitive Algorithm: An Algorithm for Optimization Inspired by Imperialistic Competition. IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2007; 2007; 4661-4667.
- [12] Borji A. A New Global Optimization Algorithm Inspired by Parliament Political Competitions. Lecture Notes in Computer Science, 2007; 4827/2007: 61-71.
- [13] Alataş B. ACROA: Artificial Chemical Reaction Optimization Algorithm for Global Optimization. Expert Systems with Applications, 2011; 38(10): 13170-13180.

- [14] Geem ZW, Kim JH and Loganathan GV. A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search. *Simulation*, 2001; 76, 60-68.
- [15] Rashedi E, Nezamabadi-pour H and Saryazdi S. GSA: A Gravitational Search Algorithm. *IEEE Congress on Information Sciences*; 2009; 179: 2232-2248.
- [16] Shah-Hosseini H. The Intelligent Water Drops Algorithm: A Nature-Inspired Swarm-Based Optimization Algorithm. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 2009; 1: 71-79.
- [17] Kennedy J and Eberhart RC. Particle Swarm Optimization. *IEEE International Conference on Neural Networks*; 1995; Piscataway, NJ, 1942-1948.
- [18] Chu SC, Tsai PW and Pan JS. Cat Swarm Optimization. *9th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence, LNAI*; 2006. 4099: 854-858.
- [19] Kashan AH. League Championship Algorithm: A New Algorithm For Numerical Function Optimization. *IEEE International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPAR)*; 2009. 43-48.
- [20] Salem SA. BOA: A Novel Optimization Algorithm. *IEEE 2012 International Conference on Engineering and Technology (ICET)*; 2012. 1(5).
- [21] Maniezzo V, Stützle T and Voß S. *Matheuristics: Hybridizing Metaheuristics and Mathematical Programming*. 10, Springer, New York, 2009.
- [22] Jin X, Reynolds RG. Using knowledge-based evolutionary computation to solve nonlinear constraint optimization problems: a cultural algorithm approach. *1999 congress on evolutionary computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406)*; 1999, July. 1672-1678. IEEE.
- [23] Akyol S, Alatas B. Sentiment classification within online social media using whale optimization algorithm and social impact theory based optimization. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2020; 540: 123094.
- [24] Akyol S, Alatas B. Plant intelligence based metaheuristic optimization algorithms. *Artificial Intelligence Review*, 2017; 47(4): 417-462.
- [25] Abualigah L, Yousri D, Abd Elaziz M, Ewees AA, Al-qaness MA, and Gandomi AH. Aquila Optimizer: A Novel Meta-Heuristic Optimization Algorithm, *Computers & Industrial Engineering*, 2021; 157: 107250.
- [26] Layeb A. The Tangent Search Algorithm for Solving Optimization Problems. *arXiv preprint arXiv:2104.02559*, 2021.
- [27] Carnie SK. Food Habits of Nesting Golden Eagles in The Coast Ranges of California, *The Condor*, 1954; 56 (1): 3-12.
- [28] Meinertzhagen R. How Do Larger Raptorial Birds Hunt Their Prey. *Ibis*, 1940; 4 (3): 530-535.
- [29] Dekker D. Hunting Behavior of Golden Eagles, *Aquila-Chrysaetos*, Migrating in Southwestern Alberta, 1985.
- [30] Watson J. *The Golden Eagle*. Bloomsbury Publishing, 2010.

Yüz İmgelerinden Göz Bölgelerinin Tespitinde ESA Tabanlı Alternatif Bir Yaklaşım

Kenan DONUK^{1*}, Ali ARI², Davut HANBAY³

¹Bilgisayar Programcılığı Bölümü, Şırnak Üniversitesi, Cizre Meslek Yüksekokulu, Şırnak, Türkiye

²Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

³Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

*¹kenandonuk@sirnak.edu.tr, ²ali.ari@inonu.edu.tr, ³davut.hanbay@inonu.edu.tr

(Geliş/Received: 22/06/2021;

Kabul/Accepted: 05/08/2021)

Öz: Artan işlemci hızlarıyla beraber kullanımı yaygınlaşan derin sinir ağları birçok farklı alanda gösterdiği başarılarla etkinliğini ispatlamıştır. Bu çalışmada bir imge seçici yardımıyla yüz üzerinden örnekler toplanarak elde edilen imgelerin derin sinir ağlarının örüntü tanımada etkili bir algoritması olan evrimsel sinir ağı modeline verilmesiyle yüz resimlerinden gözlerin tespiti gerçekleştirilmiştir. Geçmişten günümüze önerilen birçok göz algılama yöntemi mevcuttur. Fakat bu yöntemlerin birçoğunda aydınlatma koşulları, duruş pozisyonları, düşük çözünürlükteki görüntüler, kapalı göz, gözlük, gözlerin algılanmasında önemli bir sorun olmuştur. Önerilen yöntemin evrimsel sinir ağı modeli ile göz tespitinde zorluk çıkaran durumların model tarafından birçok örnek veri ile öğrenilmesiyle üstesinden gelinmiştir. Önerilen yöntemin performansı günümüzde göz tespitinde yaygın olarak kullanılan Viola-Jones algoritmasının XML tabanlı yüz ve göz tanıma uygulaması ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonunda önerilen yöntemin gözlerin algılanmasında zorluk çıkaran yüz resimlerinde daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Doğruluk (%98,99), F1-skor (%98,99), Matthews korelasyon katsayısı (%97,99) ve R-kare (%95,98) gibi yaygın kullanılan ölçütler ile önerilen yöntemin başarısı ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Derin öğrenme, evrimsel sinir ağları, viola-jones, göz algılama, nesne algılama

An Alternative Approach Based On CNN for Detecting Eye Areas from Facial Images

Abstract: Deep neural networks, which are becoming widespread with increasing processor speeds, have proven their effectiveness with their success in many different areas. In this study, by collecting the samples over a hundred with the help of an image selector, the deep neural networks of the obtained images were given to the convolutional neural network model, which is an effective algorithm in pattern recognition, and the eyes were detected from the face images. There are many eye detection methods proposed from the past to the present. However, in many of these methods, lighting conditions, posture positions, low resolution images, closed eyes, glasses, and eyes have been an important problem in perception. With the convolutional neural network model of the proposed method, the situations that cause difficulties in eye detection have been overcome by learning by the model with many sample data. The performance of the proposed method was compared with the XML-based face and eye recognition application of the Viola-Jones algorithm, which is widely used in eye detection today. The success of the proposed method has been demonstrated by commonly used criteria such as accuracy (98.99%), F1-score (98.99%), Matthews correlation coefficient (97.99%) and R-squared (95.98%).

Key words: Deep learning, convolutional neural networks, viola-jones, eye detection, object detection

1. Giriş

Göz tespiti, sürücü davranış analizi, yüz tanıma, psikolojik analiz, adli bilişim ve bakış takibi gibi birçok alanda sistem girdisi olarak kullanılmaktadır [1-6]. Gözlerin tespit edilmesi yüz tespitinden sonraki ilk aşamadır. Göz tespitinde yapılan çalışmaların çoğunda aydınlatma, çözünürlük, duruş pozisyonları gibi birçok dış faktörün etkisi ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Bu dış faktörler gözlerin doğru bir şekilde tespit edilmesini zorlaştırmaktadır. Konu ile ilgili literatürde bulunan çalışmalar şu şekilde sıralanabilir. Viola P. vd. xml tabanlı başarılı bir nesne algılama algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritmanın başarılı olmasında Haar-like özellikler, İmge integrali, Adaboost, Basamaklı sınıflandırıcı gibi bileşenler etkili olmuştur. Bu algoritma daha çok yüz ve göz tespitinde kullanılmaktadır [7]. Zhang K. vd. yüz ve yüzdeki dönüm noktalarını tahmin eden üç aşamalı derin evrimsel ağlara sahip basamaklı bir yapı (MTCNN) geliştirmişlerdir. Önerilen yapıda ilk olarak, yüz dönüm noktaları için aday pencereler hızlı bir şekilde P-Net ile üretilir. Bir sonraki aşamada bu aday pencereler bir R-Net aracılığıyla iyileştirilir ve son aşamada O-Net aracılığıyla son sınırlayıcı kutu ve yüz işaretlerinin konumunu üretir. Bu yapı kullanılarak imgedeki yüz, göz, ağız, burun gibi tüm dönüm noktaları algılanır [8]. Kazemi V. vd. HELEN

* Sorumlu yazar: kenandonuk@sirnak.edu.tr. ¹ 0000-0002-7421-5587, ² 0000-0002-5071-6790, ³ 0000-0003-2271-7865

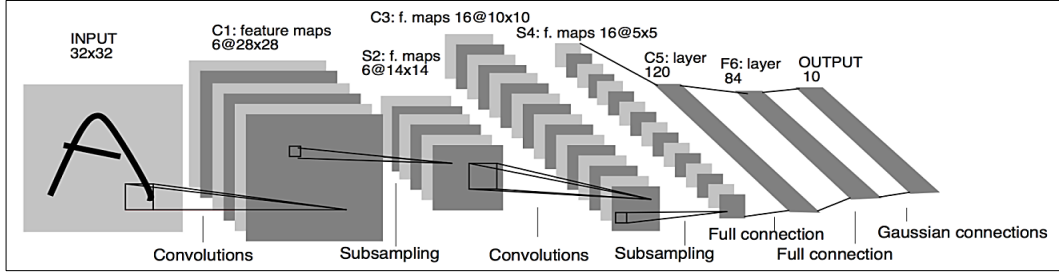
veri kümesi ile eğitilen, yüzün dönüm noktası konumlarını (yüz, göz, burun, ağız) tahmin etmek ve yüksek kaliteli tahminlerle süper gerçek zamanlı performans elde etmek için regresyon ağaçları topluluğunu kullanmışlardır. Çalışmalarında gradyan arttırmaya dayalı bir öğrenim yöntemi uygulamışlardır [9]. Soetedjo A. yaptığı çalışmada gözün tespiti için 3 adımdan oluşan bir yöntem kullanmıştır. Viola-Jones algoritmasıyla elde edilen yüz bölgesine ilk olarak dikey gradyan uygulanarak kaba bir göz bölgesi elde edilir, ikinci adımda gözdeki beyaz sklerayı çıkarmak için beyaz renk eşiği uygulanır ve son olarak gözün elips şekline uyacak bir elips oturtma yöntemiyle göz bölgesi tespit edilmiştir. Bu çalışmada gözün sınırı %91 oranında başarı ile tespit edilmiştir [10]. Majumder G. vd. yaptıkları çalışmada gri tonlamalı görüntüler üzerinde kontrast artırma uygulayarak aydınlatma etkisinin ortadan kaldırılmasıyla elde ettikleri görüntüleri Hızlı Köşe Dedektörü adı verilen bir özellik algılama tekniği uygulamışlardır. Önerilen yöntemin doğruluğu, rastgele seçilen görüntüler üzerindeki manuel olarak belirlenmiş göz konumları ile önerilen yöntemin tespit ettiği göz konumları karşılaştırılarak ortaya konmuştur [11]. Knapik M. vd. sürücü yorgunluğunun izlenmesi amacıyla aydınlatma koşullarından kaynaklı zorlukların üstesinden gelmek için göz tespitinde termal görüntüler kullanmışlardır. Termal görüntülerin kontrastını arttırmak için yeni sanal yüksek dinamik aralık prosedürü ile bir ön işleme önermiştir. Önerilen yöntem hızı ve doğruluğu YOLOv3 derin sinir ağı tabanlı nesne dedektörü ile karşılaştırılarak ortaya konmuştur [12]. Gou C. vd. yaptıkları çalışmada önce göz algılamayı daha sonra algılanan gözün durumunu tahmin eden kademeli bir regresyon çerçevesi sunmuşlardır. Eğitiminde gerçek ve sentetik görüntülerin kullanıldığı kademeli regresyon çerçevesi hem göz algılama hem de göz durumu (açık-kapalı) tahmini için son teknoloji metotlara kıyasla üstün performans göstermiştir [13]. Yu M. vd. gri yoğunluk Varyans Filtresine (VF) ve Destek Vektör Makinelerine (DVM) dayalı bir hibrit göz algılama yöntemi önermişlerdir. VF ile göz olmayan bölgeler kaldırılırken, eğitilmiş DVM aracılığıyla da iki göz bölgesi kolayca belirlenmiştir [14]. Ghazali K. H. vd. yaptıkları çalışmada yeni bir göz algılama ve izleme algoritması geliştirmişlerdir. Göz algılaması için arka plan ve ten rengi gibi kısıtlamalar olmaksızın gözün yerini etkili ve doğru bir şekilde tespit edebilen eğitilmiş göz filtresi kullanmışlardır. Göz tespit performansını Gabor filtresi ve OpenCV Cascade sınıflandırıcı ile karşılaştırmıştır. 11,5 ms'lik çalışma zamanı performansıyla daha iyi sonuç elde etmiştir [15]. Turan B. vd. yaptıkları çalışmada dizüstü bilgisayar kullanıcılarının göz bölgesi özelliklerini gerçek dünya koşulları altında ortaya çıkarmaya çalışmışlardır. Gözlerin tespiti için bilgisayarın dahili kamerası kullanılarak 107 kullanıcı görüntüsü kullanılarak bir Yapay Sinir Ağı (YSA) eğitilmiştir. Eğitilen YSA ile kullanıcıların göz bölgeleri yüksek bir doğrulukla tespit edilmiştir [16].

Yapılan bu çalışmada yüz görüntülerinden gözlerin tespit edilebilmesi için Evrişimsel Sinir Ağı (ESA) tabanlı bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemin ESA modelinde eğitim ve test aşamasında toplamda 260 bin göz ve göz olmayan veri ile çalışılmıştır. Bu veriler "Large-scale CelebFaces Attributes (CelebA)" ve "Closed Eyes In The Wild (CEW)" veri setlerindeki yüz resimlerinden elde edilmiştir [17,18]. Bu veri setleri yeterli miktarda sağa ve sola dönük yüz, düşük çözünürlüklü yüz, farklı aydınlatmalar altındaki yüz ve gözlüklü yüzler içerdiğinden tercih edilmiştir. Verilerin %80'i eğitim aşamasında geri kalanı ise test aşamasında kullanılmıştır. Önerilen yöntem test aşamasında %97,97 gibi bir başarıya sahiptir. Önerilen yöntem Viola-Jones algoritmasının XML tabanlı yüz ve göz tespit uygulaması ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonunda önerilen yöntem, göz tespiti süresi açısından Viola-Jones algoritmasının gerisinde kalırken göz tespitinin doğruluğu açısından yaklaşık %13 gibi daha iyi başarıyı sergilemiştir.

2. Evrişimsel Sinir Ağları (ESA)

Derin sinir ağları veya derin öğrenme yapay sinir ağlarında katmanların derinleşmesiyle birlikte ortaya çıkmıştır. Örnekte tanımda etkili bir makine öğrenimi olan derin öğrenmenin Evrişimsel Sinir ağları, Derin Otomatik Kodlayıcılar, Uzun Kısa Süreli Bellek Ağları, Derin Boltzmann Makineleri ve Tekrarlayan Sinir Ağları gibi farklı algoritmaları mevcuttur [19-23]. Bu algortimalardan biri olan ve günümüzde de nesne tanıma başta olmak üzere birçok farklı alanda etkinliğini ispatlayan ESA, ilk olarak hayvanların görsel korteksinden esinlenilerek ortaya çıkmıştır [24]. İlk ESA mimarisi 1988 yılında LeCun tarafından geliştirilen LeNet ağıdır [19]. 1998 yılında LeCun ve arkadaşları tarafından geliştirilen LeNet-5 mimarisi ESA'nın gelişiminde bir milat olmuştur. Bu mimari ile MINST veri tabanındaki el yazması rakamlar yüksek bir doğrulukta tahmin edilmiştir [25]. LeNet-5 ağı Şekil 1'de gösterilmiştir. LeNet ile başlayan ESA tabanlı mimarilerin gelişimi 2012 yılında ImageNet ILSVRC-2012 yarışmasında AlexNet, ILSVRC-2014 yarışmasında GoogLeNet ve VGG(16) mimarileriyle büyük ivme kazanmıştır. ILSVRC-2015 ImageNet yarışmasında Microsoft ResNet mimarisi görüntü sınıflandırmada %3,6'lık bir hata oranıyla insan doğruluk hatasını geride bırakmıştır [26]. ESA yapısı geleneksel yapay sinir ağlarından farklı olarak evrişimsel katman ve havuzlama katmanına sahiptir. ESA

yapısında genel olarak ilk evrişim katmanlarında giriş görüntüsünden konumsal bilgiler çıkarılırken sonraki evrişim katmanlarında daha çok anlamsal bilgiler çıkarılmaktadır [27].



Şekil 1. LeNet-5 ESA tabanlı mimari [25].

3. Materyal ve Metod

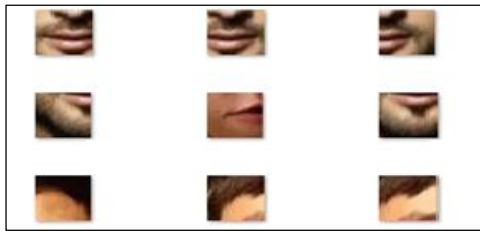
3.1. Veri seti

Önerilen yöntemde tasarlanan ESA modelinin eğitimi için veri setinin büyük bir kısmı 200K dan fazla ünlü resmi içeren “Large-scale CelebFaces Attributes (CelebA)” veri setinden karşılandı [17]. Veri setindeki yüz bin adet resimden göz bölgeleri dlib yüz işaretçisi kullanılarak alınmıştır. Dlib kütüphanesi, Kazemi ve Sullivan'ın 2014 yılındaki “Regresyon Ağaçları Topluluğu ile Bir Milisaniyelik Yüz Hizalama” makalesinin bir uygulaması olan ve iBUG 300-W veri kümesi ile eğitilen yüz ve yüz işaret detektörüdür [9,28,29]. Elde edilen yaklaşık iki yüz bine yakın 30x30 piksellik sağ ve sol göz görüntülerinden işlemci kaynakları göz önünde bulundurularak 150 bin adet kullanılmıştır. Bu görüntülerin içinde gözlüklü, gözlüksüz, farklı duruş pozisyonu, farklı parlaklık ve çözünürlüğe sahip göz görüntüleri mevcuttur. Yapılan kırpma işlemine ait örnek görüntüler Şekil 2’de verilmiştir.

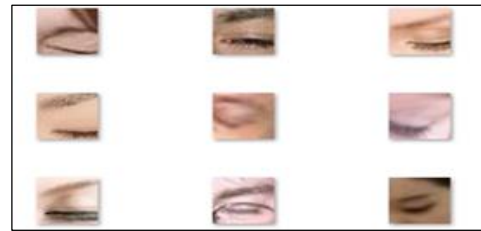


Şekil 2. Kırpılmış göz görüntüleri.

Yine aynı veri setinden yüzde göz olmayan bölgeler 30x30 piksellik 100 bin adet görüntü toplanmıştır. Şekil 3’te göz olmayan kırpılmış görüntüler verilmiştir. Bunun yanında “Closed Eyes In The Wild (CEW)” veri setinde yer alan 1192 resimden 30x30 piksellik sağ ve sol olmak üzere yaklaşık 1600 kapalı göz görüntüsü elde edilmiştir [18]. Bu veri setindeki bazı yüzler dlib yüz dedektörü tarafından tespit edilemediğinden bu yüzlere ait kapalı gözler eğitime dahil edilememiştir. Şekil 4’te kapalı gözler için görsel verilmiştir.

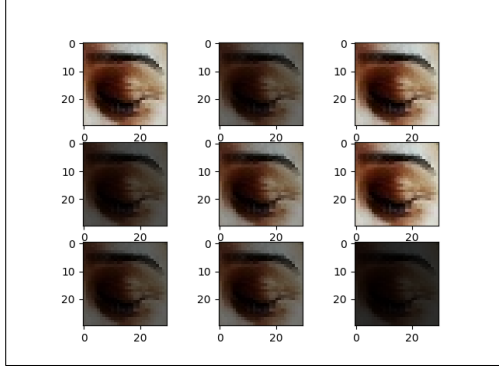


Şekil 3. Göz olmayan görüntüler.

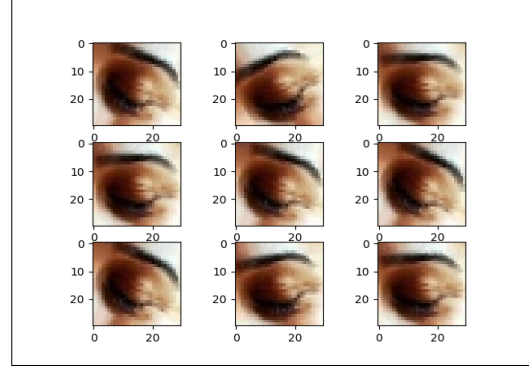


Şekil 4. Kapalı göz görüntüleri.

Kapalı göz görüntülerinin eğitim aşamasında model tarafından daha iyi öğrenilmesi için yaklaşık 1600 kapalı göz görüntüsü üzerine rastgele parlaklık ve rotasyon ile veri artırma yöntemi uygulanarak kapalı göz görüntüsü sayısı 10 bine çıkarılmıştır. Veri artırımına ait görsel Şekil 5 ve Şekil 6’de verilmiştir. Kapalı gözlerde dahil olmak üzere toplamda 260 bin adet eğitim verisinde, açık-kapalı göz görüntüleri için “1”, göz olmayan görüntüler için “0” etiketi kullanılarak ESA modeli ile eğitilmiştir.



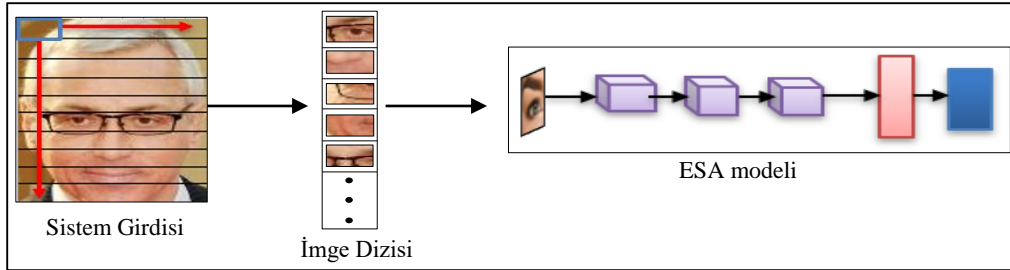
Şekil 5. Rastgele parlaklık.



Şekil 6. Rastgele rotasyon.

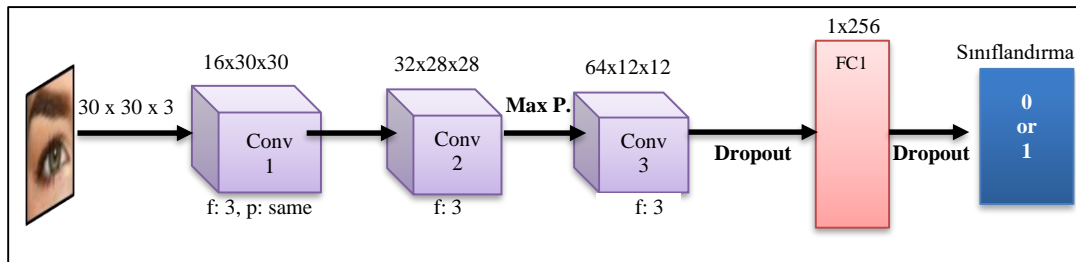
3.2. Önerilen ESA tabanlı sistem akış şeması

Önerilen yöntemde göz tespitinin yapılabilmesi için girdi olarak verilen yüz resmi üzerinde 30x30’luk uzamsal boyuttaki kare imge seçici belirli bir oranda soldan sağa ve yukarıdan aşağıya kaydırılarak resimden örnekler toplamaktadır. Bir dizi değişkeniyle toplanan 30x30’luk imgeler sınıflandırılmak üzere eğitilen ESA’ya verilir. ESA bu imgeleri “göz” veya “göz değil” olarak sınıflandırmaktadır. Önerilen yöntemle ait görsel Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Önerilen ESA tabanlı yöntem.

Önerilen yöntemle ait ESA modelinde 30x30x3 piksel ve kanala sahip göz görüntüsüne 2 evrişim katmanından geçtikten sonra max pooling (maksimum havuzlama) uygulanmıştır. Daha sonra tekrar evrişim katmanına girdikten sonra dropout (atma) uygulanmıştır. Sonra düzleştirilip tam bağlantı katmanına iletilmiştir. 256 nöronluk tam bağlantı katmanından sonra tekrar dropout uygulanarak sınıflandırma katmanına iletilmiştir. Son katmanda ikili sınıflandırma için softmax, diğer tüm katmanlarda ReLU aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 8’de tasarlanan ESA modeli verilmiştir.

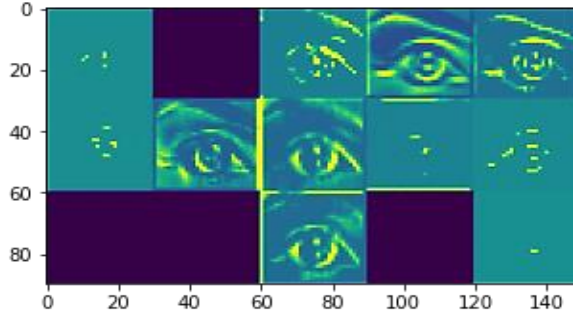


Şekil 8. Tasarlanan ESA modeli.

Şekil 8'de verilen Conv1, Conv2, Conv3 evrişim katmanları 30x30x3 uzamsal boyuta sahip matris formundaki giriş görüntüsüne sırasıyla uygulanmaktadır. 3x3x3 uzamsal boyutta ve 0, 1, -1'den oluşan filtreler giriş matrisi üzerinden adım adım kaydırılarak evrişim işlemi gerçekleştirilmektedir. Evrişim işlemi sonunda filtrenin uzamsal boyutuna bağlı olarak çıktının uzamsal boyutu değişmektedir. Evrişim işleminden sonra elde edilen çıktılar bir sonraki evrişim katmanı için girdi olacaktır. Görüntüye uygulanan evrişim işleminin formülü Denklem 1'de verilmiştir [30].

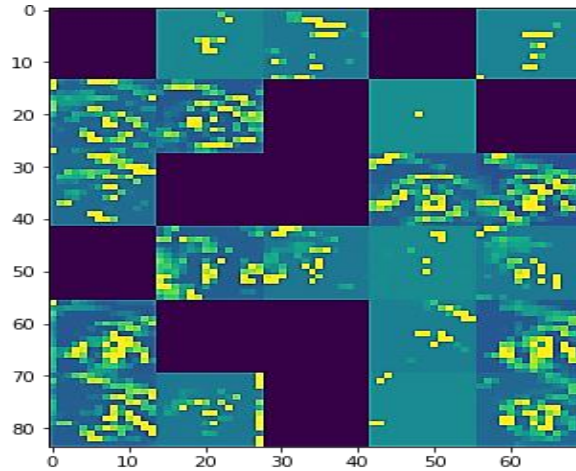
$$F_c = \text{conv}(i, j) = (I \otimes K)(i, j) = \sum_m \sum_n I(m, n)k(i - m, j - n) \quad (1)$$

Denklem 1'de verilen F_c evrişim çıktısını, \otimes işlevi evrişim işlemi, m ve n ise görüntü uzamsal boyutunu ifade etmektedir. I elemanı girdi görüntüsünü K elemanı ise filtre (çekirdek)'yi ifade etmektedir. K filtresi I görüntüsü üzerinde soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru kaydırılarak girdi matrisinin her bir elemanı çekirdeğin her bir elemanı ile çarpılır. RGB görüntü matrislerinde ise evrişim işlemi her bir katman için yapılır ve evrişim çıktısı oluşturmak için birleştirilir [30]. Tasarlanan ESA modelinin ilk evrişim katmanı çıktısı Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Conv1 katmanı evrişim çıktıları.

Ağda uygulanan hiper parametrelerden Max pooling, giriş verilerine (2x2)'lik bir filtre uygulanmasıyla verideki maksimum değerler dikkate alınarak uzamsal bir alt boyut elde edilir. Böylelikle hesaplama kolaylığı ve önemli özelliklerin çıkarılmasında rol oynar [31]. Tasarlanan modelin Max pooling layer (Maksimum havuzlama katmanı) çıktıları Şekil 10'da veri görselleştirme yöntemiyle verilmiştir. Bir diğer parametre olan Dropout, katmanlarda yer alan özellik dedektörlerinin (nöron) belirlenen oranda rastgele atılmasıyla gerçekleşir. Sinir ağının eğitimi sırasında, ağın veri setini aşırı öğrenme (overfitting)'sinin önüne geçmek ve yeni veriler için ağın genelleme gücünü arttırmak için kullanılır [32,33].



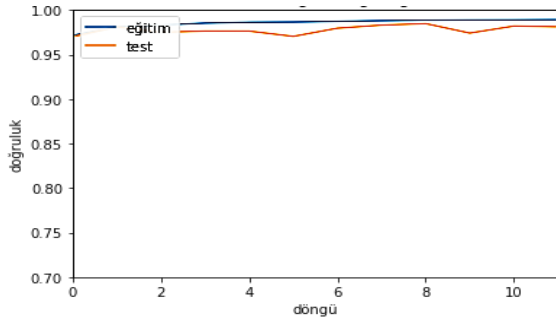
Şekil 10. Maksimum havuzlama katmanı çıktısı.

3.3. Sistem parametreleri

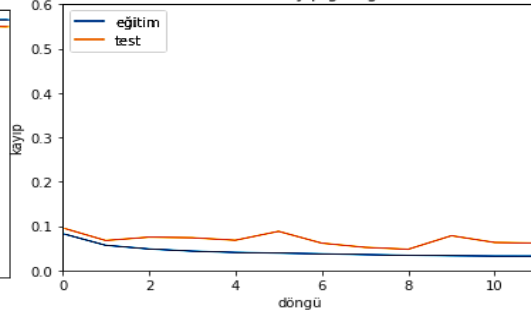
Açık-kapalı göz, yüzde göz olmayan imgeler ile toplamda 260 bin veri üzerinde eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Eğitim aşaması %99 ve test aşaması %97,97 doğruluk oranıyla sonuçlanmıştır. Bu sonuçlar ağın doğru bir şekilde eğitildiğini göstermektedir. Tasarlanan ESA modeli verileri Tablo 1’de verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere eğitim aşamasında 260K verinin %80’i eğitimde geriye kalan veride test aşamasında kullanılmıştır. Eğitim aşaması 15 döngüde gerçekleştirilmiştir. Her döngüde veri seti 32 imgelik toplu parçalar halinde eğitilmiştir. Kayıp fonksiyonu olarak categorical crossentropy ve ağın optimizasyonu için ise “Adam” optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Şekil 11 ve 12’de sırasıyla model doğruluk ve model kayıp grafiği verilmiştir.

Tablo 1. Tasarlanan ESA model verileri.

Veri seti (Data set)	260.000
Eğitim verisi (Training data)	%80
Test verisi (Test data)	%20
Giriş verileri (Input data)	Açık + Kapalı göz imgeleri (150.000 + 10.000) Yüzde göz olmayan imgeler (100.000)
Kayıp fonksiyonu (Loss fonk.)	Categorical crossentropy
Optimizasyon (optimization)	Adam
Parti boyutu (Batch size)	32
Eğitim döngü sayısı (Epoch)	15
Doğruluk (Eğitim)% (Training accuracy)	99.00
Doğruluk (Test)% (Test accuracy)	97.97



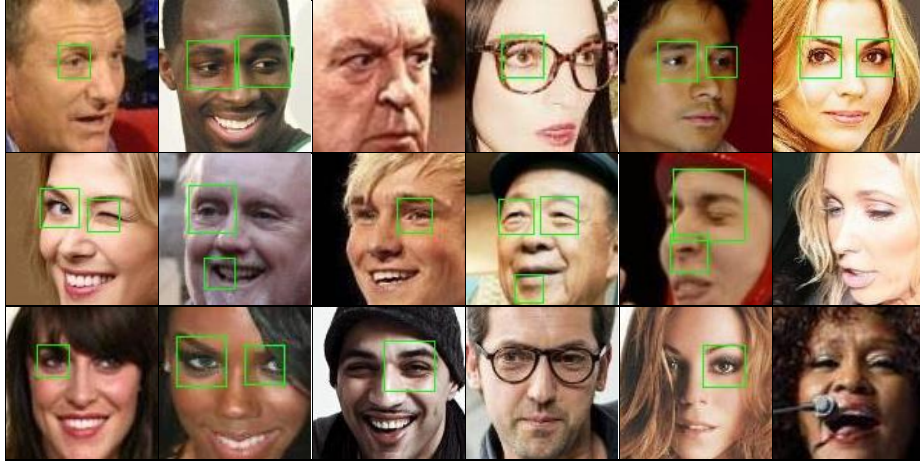
Şekil 11. Model doğruluk grafiği.



Şekil 12. Model kayıp grafiği.

4. Sonuçlar ve Tartışmalar

Önerilen yöntem girdi olarak verilen resimden toplanan imgeler ESA modeline verildikten sonra model tarafından yapılan sınıflandırma sonucunda imgeler softmax aktivasyon fonksiyonu sayesinde 0 ile 1 arasında tahmin değerlerine sahip olmaktadır. 1’e yakın değer alan imgeler “göz”, 0’a yakın değer alan imgeler ise “göz değil” olarak kabul edilmiştir. Göz olarak kabul edilen imgeler ikiden fazla olabilmektedir. Çünkü yüz üzerinde imge toplama işlemi gerçekleştirilirken kayma miktarına bağlı olarak göz bölgesinden birden fazla örnek alınmaktadır. Dolayısıyla en yüksek tahmin skoruna sahip imgeler göz olarak kabul edilmektedir. Şekil 13 ve Şekil 14’te sırasıyla Viola Jones algoritması ve önerilen ESA tabanlı sistemin CelebA veri setinde yer alan ve eğitimde kullanılmayan resimlere uygulanması sonucu elde edilen sonuçların bir kısmı verilmiştir. Resimlerin seçiminde sağa, sola ve öne bakan resimlerin kullanılmasına dikkat edilmiştir. Viola Jones algoritmasının uygulanmasında kullanılan opencv kütüphanesinin detectMultiScale fonksiyonundaki göz tespit parametrelerinden scaleFactor=1,2 ve minNeighbors=3 alınmıştır [34].



Şekil 13. Viola-Jones algoritması uygulanan resimler.



Şekil 14. Önerilen yöntemin uygulandığı resimler.

Önerilen yöntemin Viola-Jones algoritması ile karşılaştırılması için eğitim aşamasında kullanılmayan 600 resim seçilmiştir. Seçilen resimlerde farklı duruş pozisyonları ve gözlüklü resimlerin de mevcut olmasına dikkat edilmiştir. İki yöntemin kıyaslamasında 600 resim üzerinde tespit edilen sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir. Tablo 2’de, önerilen yöntemin 600 resimde de en az bir göz tespiti yaptığı görülmüştür. Önerilen yöntem iki göz tespitinde %98,2’lik bir başarı sağlamıştır. Viola-Jones algoritmasında bu oran %84,5’tir.

Tablo 2. 600 resim üzerinde karşılaştırma.

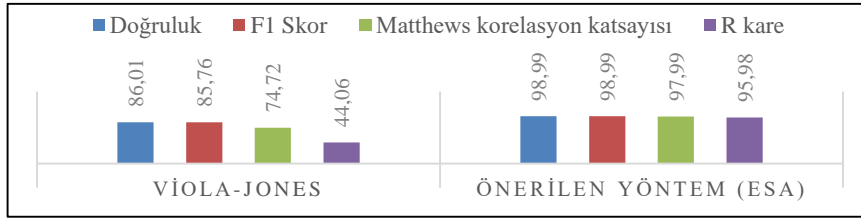
Viola-Jones ve Önerilen yöntem				
Algoritmalar	Tek Göz	İki Göz	Hiçbiri	Toplam resim
Viola-Jones	61	507	32	600
Önerilen yöntem	11	589	0	600

Önerilen yöntem doğruluk testlerinden de başarıyla geçmiştir. Doğruluk testlerinin yapılabilmesi için eğitimde kullanılmamış 10 bin göz görüntüsü ve 10 bin yüzde göz olmayan görüntü olmak üzere toplamda 20 bin görüntü Doğruluk, F1 skor, Matthews korelasyon ve R kare ölçütlerine tabi tutulmuştur. Bu ölçütlerin

uygulanmasında python sklearn kütüphanesi fonksiyonları kullanılmıştır [35]. Sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. Ayrıca Tablo 3 sonuçları grafiksel olarak ta Şekil 15'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Doğruluk ölçütleri.

Algoritmalar	Doğruluk (Accuracy) %	Kesinlik (Precision) %	Çağrışım (Recall) %	F1 Skor (F1 Score) %	Matthews korelasyon katsayısı (MCC) %	R kare (R squared) %
Viola-Jones Algoritması	86.01	99.00	72.70	85.76	74.72	44.06
Önerilen yöntem	98.99	98.69	99.30	98.99	97.99	95.98



Şekil 15. Viola-Jones ve Önerilen yöntem doğruluk karşılaştırması.

Önerilen yöntem sınırlandırılmış yüz görüntüleri üzerinde 30x30 boyutlarında göz araması yapmaktadır. Dolayısıyla bu durum Viola-Jones algoritmasına göre dezavantajlı görünmektedir. Çünkü Viola-Jones algoritması farklı boyutlardaki göz görüntülerini de bulabilmektedir. Önerilen yöntemin farklı boyutlardaki yüz görüntülerinde de göz tespiti yapılabilmesi için girdi olarak verilecek yüz görüntülerinin uzamsal boyutlarının görüntü işleme teknikleri ile azaltılması veya artırılması ile yine 30x30'luk bir göz arama tespiti gerçekleştirilerek bu sorunun üstesinden gelinbilir.

5. Öneriler

Yapılan bu çalışmada ESA'nın örüntü tanımadaki gücünden faydalanılarak bir göz tespit yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemin göz tespitindeki başarısı Viola-Jones algoritması ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Önerilen yöntem Viola-Jones algoritması ile karşılaştırıldığında önerilen yöntemin daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Fakat gözlerin algılanmasında çalışma zamanı performansı Viola-Jones algoritması ile karşılaştırıldığında önerilen yöntemin göz algılama süresi, resim üzerinde imgelerin toplanması sırasında kaybedilen süreden dolayı daha uzundur. Resim üzerindeki imgeler toplanırken belirlenen kayma miktarının artırılması ile bu süre düşürülebilmektedir. Sürenin düşürülmesine karşılık doğrulukta bir miktarda düşmektedir. Geliştirilecek bir algortima ile yüzün spesifik özelliklerinden faydalanarak yüzün tamamı üzerinde yapılacak imge toplama işlemi yerine gözlerin bulunduğu lokasyonda imge toplama işlemi yapılarak önerilen yöntemin hızı büyük ölçüde artırılabilir. Ayrıca önerilen yöntemin daha hızlı işlemcilerde kullanılmasıyla gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılması uygundur.

Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından FDK-2020-2110 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Noble AM, Miles M, Perez MA, Guo F, Klauer SG. Evaluating driver eye glance behavior and secondary task engagement while using driving automation systems. Accident Analysis and Prevention 2021; 151.
- [2] Rakhmatulin I, Duchowski AT. Deep neural networks for low-cost eye tracking. Procedia Computer Science 2020; 176: 685–694.

- [3] Alghamdi J, Alharthi R, Alghamdi R, Alsubaie W, Alsubaie R, Alqahtani D, Ramadan RA, Alqarni L, Alshammari R. A Survey on Face Recognition Algorithms. ICCAIS 2020 - 3rd International Conference on Computer Applications and Information Security 2020; 1–5.
- [4] Tarnowski P, Kołodziej M, Majkowski A, Rak RJ. Eye-Tracking Analysis for Emotion Recognition. Computational Intelligence and Neuroscience 2020; 1–13.
- [5] Thiyaneswaran B, Padma S. Iris Recognition using Left and Right Iris Feature of the Human Eye for Biometric Security System. International Journal of Computer Applications 2012; 50(12): 37–41.
- [6] Turan B, Eskikurt HI, Can MS. An Application Based on Artificial Neural Network for Determining Viewpoint Coordinates on a Screen. Elektronika ir Elektrotechnika 2016; 22(2): 86–91.
- [7] Viola P, Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2001; 1: 511–518.
- [8] Zhang K, Zhang Z, Li Z, Qiao Y. Joint Face Detection and Alignment Using Multitask Cascaded Convolutional Networks. IEEE Signal Processing Letters 2016; 23(10): 1499–1503.
- [9] Kazemi V, Sullivan J. One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2014.
- [10] Soetedjo A. Eye Detection Based-on Color and Shape Features. International Journal of Advanced Computer Science and Applications 2012; 3(5).
- [11] Majumder G, Bhowmik MK, Bhattacharjee D. Automatic Eye Detection Using Fast Corner Detector of North East Indian (NEI) Face Images. Procedia Technology 2013; 10:646–653.
- [12] Knapik M, Cyganek B. Fast eyes detection in thermal images. Multimedia Tools and Applications 2020; 80(3):3601–3621.
- [13] Gou C, Wu Y, Wang K, Wang K, Wang FY, Ji Q. A joint cascaded framework for simultaneous eye detection and eye state estimation. Pattern Recognition 2017; 67:23–31.
- [14] Yu M, Lin Y, Wang X. An efficient hybrid eye detection method. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences 2016; 24(3):1586–1603.
- [15] Ghazali KH, Jadin MS, Jie M, Xiao R. Novel automatic eye detection and tracking algorithm. Optics and Lasers in Engineering 2015; 67: 49–56.
- [16] Turan B, Eskikurt HI. Iris and eye corner detection by processing internal webcam images. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences 2016; 24(4): 3036–3048.
- [17] Liu Z, Luo P, Wang X, Tang X. Deep learning face attributes in the wild. In ICCV 2015; 3730–3738.
- [18] Song F, Tan X, Liu X, Chen S. Eyes closeness detection from still images with multi-scale histograms of principal oriented gradients. Pattern Recognition 2014; 47(9): 2825–2838.
- [19] Cun YL, Guyon I, Jackel LD, Henderson D, Boser B, Howard RE, Denker JS, Hubbard W, Graf HP. Handwritten Digit Recognition: Applications of Neural Network Chips and Automatic Learning. IEEE Communications Magazine 1989; 27(11): 41–46.
- [20] Vincent P, Larochelle H, Bengio Y, Manzagol PA. Extracting and composing robust features with denoising autoencoders. Proceedings of the 25th International Conference on Machine Learning 2008; 1096–1103.
- [21] Hochreiter S, Schmidhuber J. Long Short-Term Memory. Neural Computation 1997; 9(8): 1735–1780.
- [22] Salakhutdinov R, Hinton G. Deep Boltzmann Machines. 2009;5(2).
- [23] Martens J, Ca IU. Learning Recurrent Neural Networks with Hessian-Free Optimization Ilya Sutskever. Proceedings of the 28th International Conference on Machine Learning (ICML) 2011.
- [24] Hubel DH, Wiesel TN. Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. The Journal of Physiology 1968; 195(1): 215–243.
- [25] LeCun Y, Bottou L, Bengio Y, Haffner P. Gradient-based learning applied to document recognition. Proceedings of the IEEE 1998; 86(11): 2278–2323.
- [26] Ajit A, Acharya K, Samanta A. A Review of Convolutional Neural Networks. International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (Ic-ETITE) 2020; 1-5.
- [27] Li W, Liu K, Yan L, Cheng F, Lv YQ, Zhang LZ. FRD-CNN: Object detection based on small-scale convolutional neural networks and feature reuse. Scientific Reports 2019; 9(1).
- [28] dlib C++ Library. <http://dlib.net/>, (23.09.2020).
- [29] i'bug-resources-Facial point annotations. <https://ibug.doc.ic.ac.uk/resources/facial-point-annotations/>, (23.09.2020).
- [30] Sahu M, Dash R. A survey on deep learning: Convolution neural network (cnn). Smart Innovation, Systems and Technologies 2021; 153: 317–325.
- [31] Rachapudi V, Lavanya Devi G. Improved convolutional neural network based histopathological image classification. Evolutionary Intelligence 2020; 1–7.
- [32] Hinton GE, Srivastava N, Krizhevsky A, Sutskever I, Salakhutdinov RR. Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors, 2012.
- [33] Hahn S, Choi H. Understanding dropout as an optimization trick. Neurocomputing 2020; 398: 64–70.
- [34] Home-OpenCV. <https://opencv.org/>, (30.12.2020).
- [35] Pedregosa Fabianpedregosa F, Michel V, Grisel Oliviergrisel O, Blondel M, Prettenhofer P, Weiss R, Vanderplas J, Cournapeau D, ve diğerleri. Scikit-learn: Machine learning in Python. In Journal of Machine Learning Research 2011; 12(85): 2825-2830.

Çevrimiçi Sosyal Ağlarda Nefret Söylemi Tespiti için Yapay Zeka Temelli Algoritmaların Performans Değerlendirmesi

Cem BAYDOĞAN¹, Bilal ALATAŞ^{2*}

¹ Yazılım Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Yazılım Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

¹ vcbaydogan@firat.edu.tr, ² balatas@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 24/08/2021;

Kabul/Accepted: 31/08/2021)

Öz: Çevrimiçi sosyal medya araçlarının kullanımının artması Nefret Söylemi (NS) başta olmak üzere birçok sosyal ağ problemini beraberinde getirdi. Sosyal ağlarda hızla yayılan NS içeren yazı, resim, kışkırtıcı karikatür, tweet, post vb. iletiler ifade özgürlüğünün ötesine geçmektedir. Dahası bir olayı, rejimi, etnik kökeni, cinsiyet ayrımcılığını, krizi, gündemi vb. durumları hedef alan ve kontrolsüz bir şekilde yayılan bu içerikler insanlar arasında korku ve endişeye sebep olmaktadır. Bu problemlerin çözümü için çalışmada önerilen NS tespit sisteminin geliştirilmesi son derece kritiktir. Önerilen NS tespit sisteminde, sosyal ağlar üzerinde paylaşılan NS tweetlerin otomatik tespiti için yapay sinir ağları ve makine öğrenmesi yöntemlerinden oluşan yapay zeka temelli algoritmalar kullanıldı. Çalışmanın ilk adımında seçilen veri seti üzerinde temel doğal dil işleme teknikleri uygulandı. Ardından, veri setinin temsili için kelime çantası (BoW), terim frekansı (TF) ve terim doküman matris (t-DM) gibi özellik çıkarım teknikleri gerçekleştirildi. Naive Bayes, Destek Vektör Makinesi, iki farklı Karar Ağacı ve Çok Katmanlı Algılayıcı olmak üzere beş farklı yapay zeka temelli algoritma ile NS tespit sistemi tamamlandı. Önerilen sistemin güvenilirliğini kanıtlamak için farklı eğitim ve test teknikleri kullanılarak performans değerlendirme metrikleri hesaplandı. Farklı test teknikleriyle en yüksek doğruluk değeri Karar Ağaçları ve Çok Katmanlı Algılayıcılar tarafından %80 olarak elde edildi. Önerilen NS tespit sistemine ait diğer tüm deney sonuçları tablo ve grafiklerle ayrıntılı bir şekilde Bölüm 4'de sunulmuştur. Ulaşılan umut verici sonuçlar birçok farklı sosyal ağ problemlerinin çözümü için önerilen otomatik tespit sisteminin kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Doğal Dil İşleme, Makine Öğrenmesi, Nefret Söylemi Tespiti, Sosyal Medya, Yapay Zekâ.

Performance Assessment of Artificial Intelligence-Based Algorithms for Hate Speech Detection in Online Social Networks

Abstract: The increase in the use of online social media platforms caused many social network problems, especially Hate Speech (NS). Shares such as contexts, pictures, provocative cartoons, tweets, posts, etc. containing NS, which spread rapidly on social networks, have violated freedom of expression. Moreover, these shares, which target an event, regime, ethnic origin, gender discrimination, crisis, agenda, etc. and spread uncontrollably, have given rise to fear and anxiety among people. To solve these problems, it is extremely critical to develop the proposed NS detection system in the study. In the proposed NS detection system, artificial intelligence-based algorithms consisting of artificial neural networks and machine learning methods were used for automatic detection of NS tweets shared on social networks. In the first step of the study, basic natural language processing techniques were applied on the selected data set. Then, feature extraction techniques such as bag of words (BoW), term frequency (TF) and term-document matrix (t-DM) were performed to represent the data set. The NS detection system was completed with five different artificial intelligence-based algorithms: naive bayes, support vector machine, two different decision trees and multi-layer perceptron. Performance evaluation metrics were calculated using different training and testing techniques to prove the reliability of the proposed system. With different test techniques, the highest accuracy value was obtained by Decision Tree and Multilayer Perceptron's as 80%. All other test results of the proposed NS detection system are presented in Chapter 4 with tables and graphics in detail. The promising results show that the proposed automatic detection system can be used to solve many different social network problems.

Key words: Natural Language Processing, Machine Learning, Hate Speech Detection, Social Media, Artificial Intelligence.

1. Giriş

Gelişen dijital çağla birlikte, insanlar kendilerini internet aracılığıyla özellikle de sosyal medya platformları üzerinden ifade etme konusunda uzman hale getirdiler. Sosyal medyanın hızlı büyümesiyle birlikte, kullanıcılar başta yetişkinler olmak üzere, başkalarıyla bağlantı kurmak, bilgi paylaşmak ve ortak ilgi alanlarını sürdürmek için çeşitli çevrimiçi sosyal ağ sitelerinde önemli miktarda zaman harcamaktadırlar. Sosyal ağların bu derece

* Sorumlu yazar: balatas@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-6125-2442, ² 0000-0002-3513-0329

yoğun kullanımı beraberinde NS gibi birçok sosyal ağ problemlerini ortaya çıkarmıştır [1]. NS'nin genel bir tanımı olmamakla birlikte, sosyal medya kullanıcılarının bilerek veya bilmeyerek bir bireyi ve/veya toplumun bir kesimini aşağılayıcı olabilecek ileti veya yorum yapabileceği senaryoların tamamında görülen suç teşebbüsü sayılabilecek sosyal medya problemidir [2].

NS'nin demokrasinin temel taşlarından biri olarak kabul edilen ve aynı zamanda en çok tartışılan insan haklarından biri olarak kabul edilen ifade özgürlüğü ile karıştırılmaması gerekmektedir. Sosyal medya kullanımı açısından bakıldığı zaman, ifade ve basın özgürlüğünün mutlak olması gerekir. Ancak sosyal ağlarda şiddete teşvik içerikle paylaşımlar yasa dışı olarak değerlendirilir [3]. Aynı zamanda bu paylaşımların yayılmasının engellenmesi gerekir. Sosyal medya iletileri kavga, küfür, hakaret, aşağılama, ayrımcılık vb. düzeyine yükselmediği veya gerçek bir şiddet tehdidi oluşturmadığı sürece ifade özgürlüğü garantisini ile korunmaktadır [4, 5]. Sosyal medyada NS'ni engellemek için birçok ülke tarafından katı yasalar çıkarılmıştır. NS paylaşımlarının ardında daha çok taraftar kazanma, dikkat çekme ve para kazanma gibi çeşitli hilelerinde olduğu söylenebilir. Birçok sosyal medya platformu kullanıcılarına kullanım sözleşmesinde ulusal, ırksal, dini, nefreti ve hoşgörüsüzlüğü alevlendirmeyi, şiddete ve savaşa teşviki içeren NS paylaşımlarının durdurulacağını ve hesaplarının askıya alınacağını garanti eden mektuplar imzalatır. Ayrıca sosyal medyada NS paylaşımlarının yayılmasının önlenmesi için her geçen gün yeni tedbirler alınmaktadır [6].

Sosyal medya platformları genel olarak kendileriyle benzer düşünen veya ortak ilgi alanlarına sahip insanlar arasında hızlı iletişim sağlamalarına imkân tanır [7]. Bununla birlikte, kültürel ve kişisel yatkınlığımız nedeniyle, herhangi birisi tarafından normal ya da eğlenceli olarak algılanabilen paylaşımlar, bir başkası için rahatsız edici olabilir. İlerleyen durumlarda bu paylaşımlar yerini sözlü tacizlere, hakaretlere veya küfürlü dil kullanımına bırakabilir. Buda kullanıcılar arasında uyumsuzluk, rahatsızlık, korku ve paniğe neden olur. Ayrıca bu durum sosyal medya kullanıcılarının zihninde olumsuz bir algı oluşturur ve ileride bu etkinliklere katılımını kısıtlayabilir [8]. Çünkü sosyal medyanın genel kullanımından uzaklaşarak, yararlı bilgiler ararken bu aşağılayıcı imaları bulmak, kullanıcının cesaretini kırabilir ve hayal kırıklığına neden olur.

NS problemini çözmek için akla gelen ilk çözüm, sosyal medya paylaşımlarını insan kontrolünde gözlemleyen yöneticiler belirlemektir [9]. Ancak sosyal medya üzerinden paylaşılan verilerin sayısı göz önüne alındığında bu durum insan gözetiminde yapılması zaman ve maliyet açısından imkânsızdır. Ayrıca insan gözetiminde yapılsa bile hata payı hiçbir zaman sıfır olmayacaktır. Başka bir yöntem de NS sözlüğü oluşturmak olabilir [10]. Bir ileti veya yorum sözlükten kelimeler içeriyorsa, onu hakaret olarak tespit edecektir. Ancak bu yöntemde kelimelerin esnek kullanımından dolayı etkili olmayacağı aşikârdır. Diğer en etkili alternatif ise çalışmada önerilen, yorumları ve paylaşımları otomatik sınıflandıran bir NS tespit sisteminin oluşturulmasıdır [11]. Bu çalışmanın en büyük amacı sosyal medya platformlarından paylaşılan NS içeriklerinin tespitini yapay zeka temelli algoritmalarla hızlı, etkili ve otomatik bir şekilde tanımlayabilmektir. Böylelikle bir kullanıcı hakaret, küfür, aşağılama, taciz vb. içeren bir ileti paylaşırsa, bu paylaşımın yayınlaması durdurulabilir veya bu tür davranışların tekrarlanması engellenebilir. En önemlisi ise otomatik NS tespit sistemi ile öngörülmeyen hata payı azaltılacak, zaman ve maliyet verimliliği sağlanmış olacaktır.

Bu çalışmada, NS otomatik tespit sistemi geliştirmek için 40.623 sentetik metinden oluşturulan veri seti kullanılmıştır. Dinamik olarak üretilen bu metinler 'hate' ve 'nothate' olmak üzere iki etiketle sınıflandırılmıştır. Bu yöntemle sosyal ağ çalışmalarının en önemli problemlerinden olan biri olan veri sayısı yetersizliğinin önüne geçilmiştir. Ardından noktalama işaretlerinin temizlenmesi, sayısal ifadelerin silinmesi, belirli karakterden az sayıda kelimelerin silinmesi, büyük-küçük harf dönüşümü vb. temel metin ön işleme adımları uygulanarak veri seti NS tespit sistemi için uygun formatta hazırlanmıştır. Bir sonraki adımda veri setini temsil edecek özelliklerin çıkarılması için BoW, TF ve t-DM teknikleri uygulanmıştır. Artık NS bir sınıflandırma problemi haline gelmiştir. Seçilen yapay zeka temelli sınıflandırıcılar kullanılarak 'hate' ve 'nothate' tespiti sağlanmıştır. Sistemin güvenilirliğini garanti etmek için çeşitli eğitim ve test teknikleri kullanılmıştır. Sistemin başarımını ölçmek için performans değerlendirme metrikleri hesaplanmıştır. Elde edilen tüm deney sonuçları tablo ve grafiklerle analiz edilmiştir. Geliştirilen sistemde elde edilen tatminkar çıktılar diğer sosyal ağ problemlerinin çözümü içinde önerilen bu yöntemlerin uygulanmasının yolunu açacağı öngörülmektedir.

Çalışmanın devam eden bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde NS ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. NS tespiti için kullanılan yöntemler elde edilen başarımlar ve eksiklikler analiz edilmiştir. Üçüncü bölümünde çalışmada kullanılan veri setinin karakteristiği, doğal dil işleme teknikleri, özellik çıkarım yöntemleri ve yapay zeka algoritmalarının özellikleri sıralanmıştır. Dördüncü bölümde performans değerlendirme için yapılan farklı test teknikleri ve elde edilen çıktılar analiz edilmiştir. Algoritmaların farklı değerlendirme kriterleri karşısındaki başarımları değerlendirilmiştir. Son bölümde bu çalışmanın gelecek

çalışmalar açısından önemi vurgulanmıştır. Ayrıca çalışmanın yaygın etkisi, literatüre katkısı, eksileri ve gelecek çalışmalar için gerekli yönlendirmeler yapılmıştır.

2. İlgili Çalışmalar

Sosyal ağların NS'nin yayılmasındaki rolü göz önüne alındığında literatürdeki araştırmaların sayısının her geçen gün arttığı görülmektedir. NS tespit çalışmalarında literatürde birçok farklı yöntem ve veri setleri kullanılmıştır. Bu bölümde NS ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

Abro ve arkadaşları yürüttükleri çalışmalarında NS tespiti için makine öğrenmesi yöntemlerini önermişlerdir. Çalışmada araştırmacılar üç farklı sınıf etiketine sahip halka açık bir veri setinde performanslarını değerlendirmek için üç özellik mühendisliği tekniğini ve sekiz makine öğrenme algoritmasını karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri deney sonucunda, destek vektörü makine sınıflandırıcısı ve bi-gram özellik mühendisliği tekniği ile %79 oranında doğruluk değeriyle en iyi performansın yakalandığı görülmüştür [12]. Yine bu çalışmada %77 hassasiyet değeri bi-gram ve destek vektörü makine sınıflandırıcısı tarafından elde edilmiştir. Daha yüksek başarımlar elde edebilmeleri için gelecek çalışmalarında farklı özellik mühendisliği teknikleri ve yapay zeka algoritmaları kullanacaklarını ayrıca vurgulamışlardır.

Pathak ve ekibi Malayalam ve Tamilce dillerinde NS tespit çalışması yapmışlardır. Toplam 8 bin veriden oluşan veri seti üzerinde farklı makine öğrenmesi algoritmaları ile çalışmışlardır. Twitter verilerinden oluşan bu veri seti 'saldırgan' ve 'saldırgan olmayan' etiketleriyle iki sınıfa ayrılmıştır. TF-IDF ve n-gram özellik çıkarım yöntemlerini kullanan araştırmacılar Malayalam ve Tamilce veri setleri için sırasıyla %77 ve %87 f-skor değerleri elde etmişlerdir. Araştırmacılar yapılan çalışmanın konuşmadan NS tespit sistemi şeklinde geliştirilmesi için teşebbüslerinin olduklarını vurgulamışlardır [13]. Literatürde farklı diller için makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak geliştirilen çeşitli NS tespit çalışmaları da bulunmaktadır [14-17].

Yapılan incelemeler sonucunda NS tespiti için derin öğrenme yaklaşımları ile yapılan çalışmalarda literatürde yer almaktadır [18-21]. Tripathy ve arkadaşları Derin Evrişimli Sinir Ağı (DCNN) kullanılarak otomatik bir NS tespit sistemi geliştirilmiştir. Önerilen DCNN modeli sırasıyla %97 hassasiyet, %88 duyarlılık ve %92 f-skoru performansı gösterdi. Araştırmacılar özellik çıkarım aşamasında yaklaşık 32 bin tweetten oluşan veri setinde GLoVe yönteminden faydalanmışlardır [22]. Yalnızca İngilizce dilindeki tweetler üzerinde önerilen sistemin ilerleyen aşamalarında farklı diller içinde hizmet verebilmesini hedeflemişlerdir.

Emmanuel-Ayo ve takımı makine öğrenmesi yöntemleri ile geçmişten günümüze NS tespit sistemi çalışmalarını analiz etmişlerdir [23]. Güncel bir araştırma makalesi yayınlayan ekip tekli ve hibrit makine öğrenimi yöntemlerinin artılarını ve eksilerini sunmuşlardır. Araştırılan makine öğrenimi yöntemleri için performans değerlendirmesinin özeti de ayrıca sunulmuştur. Kendilerinin önerdikleri kural tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile %97'lik AUC değerine sahip NS tespit sistemi geliştirmişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçların istatistiksel doğrulamasını yapan ekip, geliştirilen sistemin verimliliğine dikkat çekmişlerdir. Son olarak bu sonuçlar, geliştirilen NS sisteminin otomatik konu tespiti ve diğer sınıflandırma problemlerinin çözümü için uygun olduğunu da göstermiştir.

Sosyal ağlarda en çok NS paylaşımlarının yayınlandığı bir başka önemli konu göç ve mültecilere karşı saldırgan içeriklerdir. [24] nolu çalışmada araştırmacılar bu konuya dikkat çekmiş ve yaklaşık 8 bin tweet'e sahip veri seti üzerinde çalışmalarını tamamlamışlardır. Makine öğrenmesi algoritmalarını kullanan araştırmacılar Lojistik regresyon algoritması ve n-gram yöntemiyle %84 f-skor değerine ulaşmışlardır. Araştırmacılar farklı diller için NS tespit sistemleri geliştirmeyi amaçlamaktadırlar. Ayrıca model doğruluğunu artırmak için veri setini genişletmeyi ve derin öğrenme yaklaşımlarını kullanmayı hedeflemektedirler.

Garain ve Basu yürüttükleri NS tespit çalışmasında Twitter'da kadınları ve mültecileri konu alan tweetlerden oluşan veri seti üzerinde bir analiz çalışması yapmışlardır [25]. 10 bin tweetten oluşan bu veri setinde Bi-LSTM derin öğrenme yöntemi kullanmışlardır. Araştırmacılar önerdikleri NS tespit sisteminde %82 doğruluk ve %70 f-skor değerlerine ulaşmışlardır. Sağlanan veri kümesi dışında herhangi bir harici veri kullanmaması önerilen NS tespit sisteminin en büyük dezavantajıdır. Gelecek çalışmalarla ilgili veri sayılarını artırmayı hedefleyen araştırmacılar ayrıca farklı ön işlem adımları uygulayarak model başarımlarını arttırabileceklerini belirtmişlerdir. Diğer bir dezavantaj olarak önerilen sistemde yalnızca bir sınıflandırıcı kullanılmış olmasıdır. Farklı derin öğrenme mimarileri kullanarak sistem daha güçlü bir yapıya getirilebilir. Ayrıca önerilen Bi-LSTM modelinde parametre optimizasyonu yapılarak iyileştirme sağlanabilir.

Sosyal medya platformlarının çok yoğun kullanımı ve bilgi paylaşımının önüne geçilememesi, NS tespit sistemlerinin sürekli güncellenmesi, iyileştirilmesi ve daha hassas çalışmaları için gerekli adaptasyonların yapılmasına duyulan ihtiyacı da artırmaktadır. Bu çalışmada önerilen otomatik NS tespit sistemi sayesinde duyulan

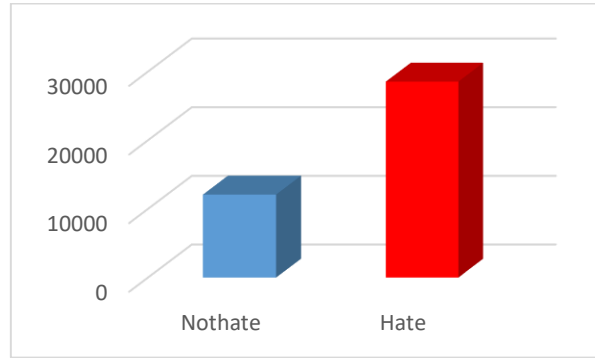
bu ihtiyacı karşılamak için yapay zeka temelli algoritmalar ile tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Bir sonraki bölümde NS tespit sisteminde kullanılan materyal ve yöntemler detaylıca açıklanmıştır.

3. Metodolojiler

Bu bölümde otomatik NS tespiti için geliştirilen sistemde kullanılan materyal ve yöntemler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. İlk önce üzerinde çalışılan veri seti tanımlanmış, ardından metin ön işleme adımları sıralanmıştır. Özellik çıkarımı için veri setine uygulanan NLP (Doğal Dil İşleme - Natural Language Processing) teknikleri sunulmuştur. NS tespit sisteminde tweetlerin doğru sınıflandırılması aşamasında seçilen yapay zeka temelli algoritmalar ve özellikleri açıklanmıştır.

3.1. Veri Setinin Karakteristiği

Çalışmada 40.623 tweetten oluşan Kaggle platformunda paylaşılan açık erişimli bir veri seti kullanılmıştır [26]. Bu veri setinde dinamik bir şekilde üretilen tweetler yer almaktadır. Sentetik veriler olarak adlandırılan bu veriler, genel sosyal ağ problemlerinin çözümünde karşılaşılan engellerden biri olan veri sayısının az olması sorununu ortadan kaldırmıştır. Verilerin sınıflara göre dağılımını Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan verilerin dağılımı.

Bu veri setinde İngilizce dilinde 28.540 adet ‘hate - nefret’ etiketine sahip veri varken, 12.083 adet ‘nothate – nefret olmayan’ etikete sahip tweet vardır. Dengesiz bir dağılıma sahip veri setinin olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 1’de her iki sınıfa ait veri setinde yer alan tweetlerden bazı örnekler listelenmiştir. Listelenen örneklerden anlaşılacağı üzere tweetler ırkçı, cinsiyetçi ve etnik kökeni hedef alan NS ifadelerinden oluşmaktadır.

Tablo 1. Veri setinde sınıflara ait örnekler.

Orijinal Tweet	Etiketi
“dalits are deserves to be treated as lowlife”	hate
“Women just don't have the brainpower to compete with men”	hate
“Chinese should be banned from entering this country”	hate
“All women are rat snakes”	hate
“Black guys are always looking for trouble”	hate
⋮	⋮
“Short people are smart to some extent”	nothate
“I do not think that all gay people are scum”	nothate
“Women should even try to play football”	nothate
“Muslims don't eat food that contains maggots”	nothate
“discrimination against blacks is wrong and disgusting”	nothate

3.2. Veri Ön İşleme ve NLP Adımları

Veri seti üzerinde NS tespit çalışması yapabilmek ve model oluşturabilmek için ilk adım metin ön işleme adımlarının uygulanmasıdır. Bu çalışmada en yaygın kullanılan NLP adımları model eğitimi için kullanılmıştır. Metin ön işleme safhasında ilk olarak tweetlerde yer alan noktalama işaretleri temizlenmiştir. Ardından sayısal

ifadeler veri setindeki her bir tweetten silinmiştir. n -karakterden az harfe sahip tweetler içerisindeki kelimeler çıkarılmıştır ($n > 3$). Yine kelimelerin ortak bir şekilde tanımlanması için büyük-küçük harf dönüşümü yapılmıştır. Veri setinde yer alan tweetlerin içeriği küçük harfe dönüştürülmüştür. Tüm bu metin önışlem adımları model kurma için en yaygın kullanılan yöntemlerdir.

Özellik çıkarı için t-DM kullanılmıştır. t-DM oluşturulması için öncelikle veri setinde yer tüm kelimeler köklerine ayrılmıştır. Kökleri ayırma adımında İngilizce kök ayrıştırma için Snowball-Stemmer algoritması kullanılmıştır. Ardından her bir kök kelimenin tüm veri setinde kaç adet kullanıldığı terim frekans ağırlığı yardımıyla hesaplanmıştır. Ardından NS için hazırlanan veri setinde en çok geçen kelimelerin yer aldığı kelime çantası oluşturulmuştur. Son olarak metinleri temsil edecek özellik matrisi t-DM oluşturulmuştur. NS tespit sisteminde oluşturulan t-DM Tablo 2 ile tanımlanabilir.

Tablo 2. NS için önerilen t-DM yapısı.

	t_1	t_2	t_3	...	t_{k-2}	t_{k-1}	t_k
C_1	1	0	0		0	1	1
C_2	0	1	0		1	0	1
C_3	0	1	1		0	0	0
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
C_{n-2}	0	1	0		0	1	0
C_{n-1}	1	0	0		0	1	1
C_n	0	1	0		0	0	1

Tablo 2’de t veri seti için bir özelliği, C ise veri setinde yer alan her bir tweeti temsil etmektedir. k özellik sayısını n ise veri setindeki toplam tweet sayısını temsil etmektedir. C_{it_1} çıktısı 1 olduğu için C_i tweette t_i özellik var demektir. C_2 tweet için t_2 özellik olmadığı için ise 0 değerini almıştır. Bu şekilde tüm veri seti sayısal olarak temsil edilmiştir.

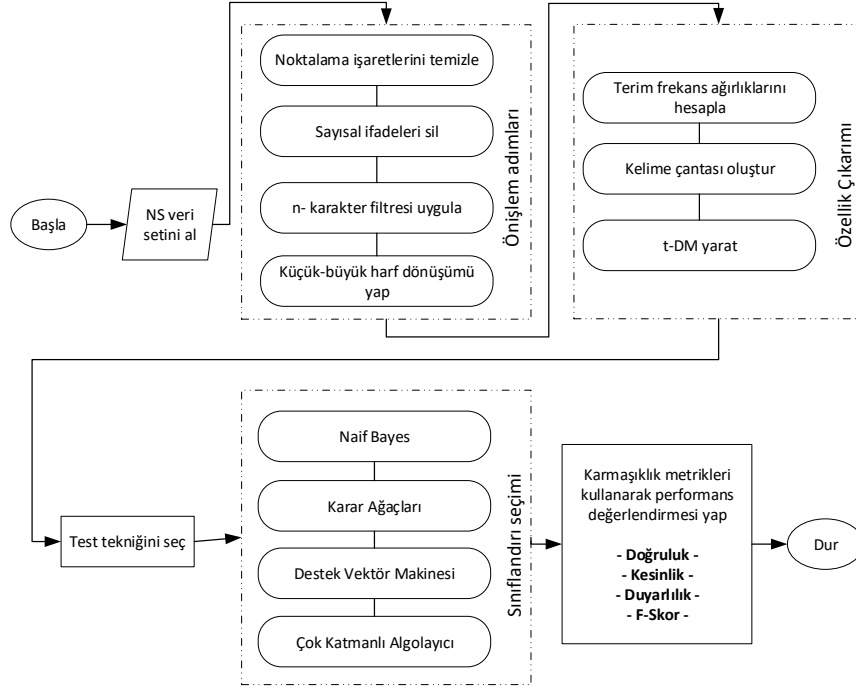
3.3. Yapay Zekaya Dayalı Algoritmaların Seçimi

Yapay zekaya dayalı algoritmalar için NS tespiti ve birçok sosyal medya problemini çözmek tipik görevlerden biridir. NS tespit sistemi için bu çalışmada beş farklı yapay zeka temelli algoritma kullanılmıştır. Bu algoritmaların parametrelerini ve özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz.

- **Multinomial Naive Bayes (MNB):** Metin sınıflandırma, spam filtreleme ve birçok sosyal ağ probleminin çözümünde etkili bir şekilde kullanılmaktadır [27]. MNB araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan Naive Bayes sınıflandırıcının başka bir versiyonudur. MNB için kullanılırken parametreler varsayılan olarak seçilmiştir.
- **Lib-Destek Vektör Makinesi (Lib-SVM):** Çok sınıflı sınıflandırmayı destekleyen SVM için geliştirilen bir kütüphanedir [28]. Metin sınıflandırma ve sosyal ağ problemlerinin çözümünde oldukça yaygın kullanılmaktadır. NS problemi için Lib-SVM çalıştırılırken başlangıç parametreleri varsayılan olarak ayarlanmıştır.
- **CVFDT (Concept Adapting Very Fast Decision Tree – Konsepte Uyarlanan Çok Hızlı Karar Ağacı):** Hoeffding Bound karar ağacında çalışan bir algoritmadır [29]. Hoeffding ağacı, karar ağacının oluşturulması ve analizi için örneklerin zaman içinde değişmediği varsayımıyla büyük veri akışlarında yüksek öğrenme yeteneğine sahiptir. CVFDT’nin başlangıç parametreleri varsayılan olarak sabit bırakılmıştır.
- **DT-Part (Decision Tree-Part – Ağaç Ağacı-Kısımlı):** Böl ve yönet yaklaşımıyla çalışan bir diğer karar ağacı algoritmasıdır [30]. Karar verme aşamasında kural tabanlı C4.5 yapısını kullanır. NS tespit sisteminde DT-Part algoritması uygulanırken parametreler varsayılan olarak seçilmiştir.
- **Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP):** Girdi, gizli ve çıkış katmanlarından oluşan temel bir sinir ağı ve denetimli öğrenme algoritmasıdır [31]. MLP özellikle NS ve sosyal ağ problemlerinde sınıflandırma ve tespit aşamasında etkin olarak çalışmaktadır. Öğrenme aşamasında geriye doğru yayılım tekniğini

kullanan bu algoritmanın gizli katmanında 20 nöron kullanılmıştır. Bu aşda aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonunu seçilmiştir. İterasyon sayısı 500 olarak ayarlanmıştır. Öğrenme oranı ve momentum katsayıları 0.3 ve 0.2 olarak sabit bırakılmıştır.

Yapay zekaya dayalı algoritmalar ile gerçekleştirilen otomatik NS tespit çalışmasının tüm adımlarını özetleyen akış diyagramı Şekil 2’de belirtilmiştir. Bir sonraki bölümde NS tespit sistemi için yapılan deneyler ve uygulanan algoritmaların performansları değerlendirilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın akış diyagramı.

4. Deneyle ve Sonuçları

Otomatik NS tespit sisteminde kullanılan veri seti üzerinde uygulanan NLP adımlarının ve seçilen yapay zeka temelli algoritmalarının başarısını değerlendirmek için çeşitli eğitim ve test teknikleri kullanılmıştır [32]. Uygulanan eğitim ve test tekniklerinde algoritmaların performansını değerlendirmek için karmaşıklık matrisi kullanılarak çeşitli performans değerlendirme metrikleri hesaplanmıştır. Tablo 3’te performans değerlendirme için hesaplanan karmaşıklık metrikleri ve matematiksel denklemleri ile birlikte sunulmuştur.

Tablo 3. Karmaşıklık metrikleri ve performans kriterleri.

Performans Kriterleri	Denklem	Karmaşıklık Metrikleri
Doğruluk	$= \frac{(DP + DN)}{(DP + DN + YP + YN)}$	DP: Doğru Pozitif, DN: Doğru Negatif YP: Yanlış Pozitif, YN: Yanlış Negatif
Kesinlik	$= \frac{(DP)}{(DP + YP)}$	
Duyarlılık	$= \frac{(DP)}{(DP + YN)}$	
F-skör	$= 2 \times \frac{(DP)}{(DP + YP + YN)}$	

NS tespit sisteminin güvenilirliğini garanti etmek için farklı 4 farklı eğitim ve test tekniği kullanılmıştır. Bunlar literatürde en çok kullanılan teknikler olarak bilinmektedir [33]. Böylelikle algoritmaların farklı sınıma teknikleri karşısında göstermiş oldukları performansları değerlendirilmiştir. Bu eğitim ve test tekniklerini şu şekilde sıralayabilir.

- Veri setinin %50'sinin eğitim %50'sinin test için ayrılması
- Veri setinin %70'inin eğitim %30'unun test için ayrılması
- 5-kat çapraz doğrulama
- 10-kat çapraz doğrulama

NS tespit sistemi için önerilen modeli eğitmek ve test etmek için ilk iki teknikte veri seti eğitim ve test verileri olarak farklı oranlarda ayrılmıştır. Son iki eğitim ve test tekniğinde ise önce 5-kat sonra 10-kat çapraz doğrulama teknikleri kullanılmıştır. Böylelikle otomatik NS sisteminin güvenilirliği garanti edilmiştir. Tablo 4'te ilk test tekniği için 5 farklı algoritmaların göstermiş olduğu performanslar sıralanmıştır.

Tablo 4. %50 eğitim-%50 test tekniğiyle elde edilen performans sonuçları.

	%50 eğitim-%50 test	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor	Mutlak Hata
Algoritmalar	MNB	0.7574	0.739	0.757	0.717	0.3419
	Lib-SVM	0.7728	0.771	0.773	0.73	0.2272
	CVFDT	0.8035	0.805	0.804	0.777	0.2839
	DT-Part	0.8033	0.805	0.803	0.777	0.2812
	MLP	0.7962	0.785	0.796	0.785	0.2966

Tablo 4 incelendiğinde bu deney için NS tespitinde veri setinin yarısı eğitim diğer yarısının ise test için kullanılmıştır. CVFDT, DT-Part ve MLP algoritmaları birbirine çok yakın değerler elde ederek yaklaşık %80 doğruluk oranına sahip performans göstermişlerdir. Sırasıyla bu algoritmaları %77 ve %76 doğruluk değerleriyle Lib-SVM ve MNB takip etmişlerdir. Kesinlik ve duyarlılık performans kriterleri içinde bu sıralama değişmemiştir. %79 en yüksek f-skor değeri MLP sinir ağı tarafından elde edilerek sıralamada birinci sıraya yerleşmiştir. Bu deney için hesaplanan mutlak hata en düşük Lib-SVM algoritması tarafından elde edilmiştir. MNB sınıflandırıcısı ilk deney için en kötü performans gösteren algoritma olmuştur. Tablo 5'te veri setinin %70'inin eğitim, %30'unun test için ayrılması sonucu elde edilen deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 5. %70 eğitim-%30 test tekniğiyle elde edilen performans sonuçları.

	%70 eğitim-%30 test	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor	Mutlak Hata
Algoritmalar	MNB	0.7553	0.739	0.755	0.714	0.3416
	Lib-SVM	0.7765	0.785	0.776	0.732	0.2235
	CVFDT	0.8004	0.813	0.8	0.768	0.2849
	DT-Part	0.7991	0.805	0.799	0.769	0.2816
	MLP	0.8006	0.803	0.801	0.773	0.262

İkinci deney için NS tespitinde veri setinin %70'ini eğitim geriye kalanı ise test için kullanılmıştır. CVFDT, DT-Part ve MLP algoritmaları birbirine çok yakın doğruluk değerleri elde etse de en yüksek doğruluk değerine MLP sinir ağı tarafından ulaşılmıştır. Sırasıyla bu algoritmaları %78 ve %76 doğruluk değerleriyle Lib-SVM ve MNB sınıflandırıcıları takip etmiştir. Kesinlik performansında CVFDT algoritması en yüksek değere ulaşmıştır. Ardından DT-Part algoritması ikinci en büyük kesinlik değerini elde etmiştir. MLP bu deney için çok az farkla üçüncü en yüksek kesinlik değerine sahip algoritma olmuştur. Duyarlılık performansında sıralamasıyla MLP, CVFDT, DT-Part, Lib-SVM ve MNB en yüksek değerlere ulaşmıştır. %77 en yüksek f-skor değeri yine MLP sinir ağı tarafından elde edilmiştir. DT-Part ve CVFDT algoritmaları çok az farkla MLP algoritmasını takip etmişlerdir. Dördüncü ve beşinci sırada ise sırasıyla Lib-SVM ve MNB algoritmaları yerini almıştır. İkinci deney için hesaplanan mutlak hata yine en düşük Lib-SVM algoritması tarafından elde edilmiştir. MNB sınıflandırıcısı ikinci deney için en kötü performans gösteren algoritma olmuştur.

NS tespit sisteminde kullanılan diğer bir yöntem olan 5-kat çapraz doğrulama tekniği kullanılarak elde edilen performans sonuçları Tablo 6'da listelenmiştir.

Tablo 6. 5-kat çapraz doğrulama ile elde edilen performans sonuçları.

5-kat çapraz doğrulama		Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor	Mutlak Hata
Algoritmalar	MNB	0.7553	0.737	0.755	0.714	0.342
	Lib-SVM	0.7807	0.784	0.781	0.742	0.2193
	CVFDT	0.8002	0.808	0.8	0.769	0.2845
	DT-Part	0.799	0.808	0.799	0.767	0.2806
	MLP	0.7947	0.785	0.795	0.776	0.2814

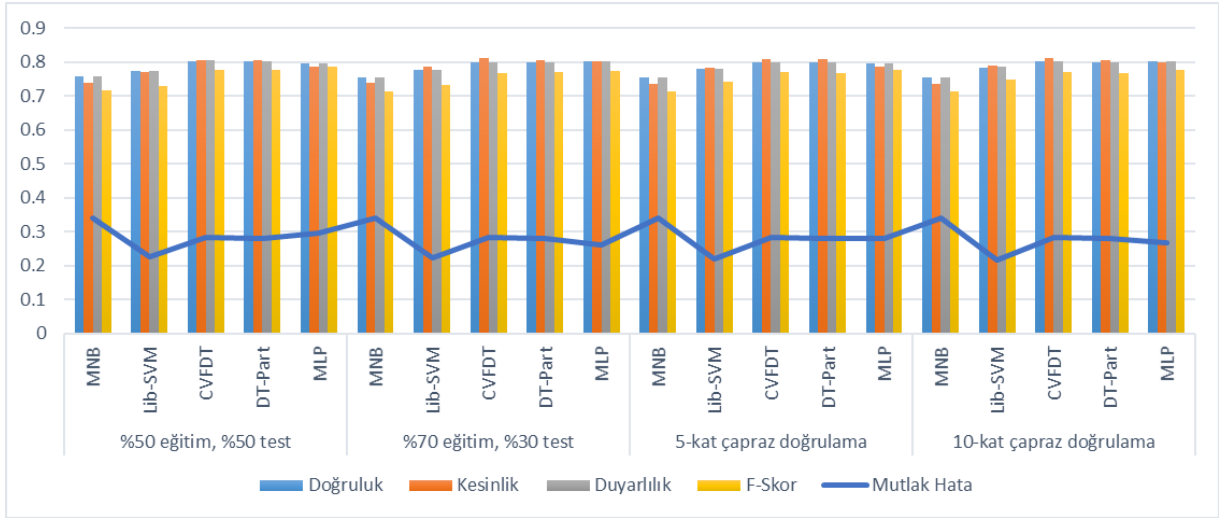
Tablo 6 incelendiğinde üçüncü deney için NS tespitinde 5-kat çapraz doğrulama tekniği kullanılmıştır. Üçüncü deney için CVFDT, DT-Part ve MLP algoritmaları birbirine çok yakın değerler elde ederek yaklaşık %80 doğruluk oranına sahip performans üretmişlerdir. Lib-SVM ve MNB sırasıyla bu algoritmaları %78 ve %76 doğruluk değerleriyle takip etmişlerdir. Kesinlik ve duyarlılık performans kriterleri içinde bu sıralama değişmemiştir. En yüksek %81 kesinlik değeri karar ağaçları ile elde edilmiştir. %78 en yüksek f-skor değeri ile MLP sinir ağı üçüncü deney için sıralamada birinci sıraya yerleşmiştir. Üçüncü deney için hesaplanan mutlak hata en düşük yine Lib-SVM algoritması tarafından elde edilmiştir. MNB sınıflandırıcısı ilk deney için en kötü performans gösteren algoritma olmuştur. MNB algoritması üçüncü deney için tekrar en kötü performans gösteren sınıflandırıcı olmuştur. Tablo 7’de 10-kat çapraz doğrulama tekniği kullanılarak elde edilen performans sonuçları sunulmuştur.

Tablo 7. 10-kat çapraz doğrulama ile elde edilen performans sonuçları.

10-kat çapraz doğrulama		Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F-Skor	Mutlak Hata
Algoritmalar	MNB	0.7553	0.737	0.755	0.714	0.342
	Lib-SVM	0.7847	0.789	0.785	0.748	0.2153
	CVFDT	0.8009	0.811	0.801	0.769	0.2826
	DT-Part	0.7987	0.805	0.799	0.768	0.2811
	MLP	0.8007	0.799	0.801	0.776	0.2687

Son deney için otomatik NS tespitinde 10-kat çapraz doğrulama tekniği kullanılmıştır. Sırasıyla CVFDT, MLP ve DT-Part algoritmaları birbirine çok yakın %80’lik doğruluk değerine sahiptirler. Bu algoritmaları son deneyde de %78 ve %76 doğruluk değerleriyle Lib-SVM ve MNB sınıflandırıcıları takip etmiştir. Kesinlik performansında CVFDT ve MLP algoritmaları eşit değere ulaşmıştır. Ardından DT-Part algoritması ikinci en büyük kesinlik değerini elde etmiştir. Kesinlik değerinde de en kötü iki algoritma Lib-SVM ve MNB olmuştur. Duyarlılık performansında algoritmalar sıralamasıyla MLP (%80), CVFDT (%80), DT-Part (%80), Lib-SVM (%79) ve MNB (%76) en yüksek değerlere ulaşmıştır. Son deney için %78 en yüksek f-skor değeri yine MLP sinir ağı tarafından elde edilmiştir. CVFDT ve DT-Part algoritmaları çok az farkla (%77) MLP algoritmasını takip etmişlerdir. Son deneyde dördüncü ve beşinci en yüksek Lib-SVM (%75) ve MNB (%71) f-skor değerleri ile algoritmalar son sıralarda yerlerini almıştır. Son deney için hesaplanan mutlak hata yine en düşük Lib-SVM algoritması tarafından elde edilmiştir. MNB sınıflandırıcısı dördüncü deney için tekrar en kötü performans gösteren algoritma olmuştur.

Tüm deney sonuçlarından elde edilen analizler ışığında %80 en yüksek doğruluk performans değeri CVFDT, DT-Part ve MLP algoritmaları tarafından elde edilmiştir. Tüm deney sonuçlarında %78 en yüksek f-skor performans değerine MLP sinir ağı ulaşmıştır. En yüksek kesinlik değerine CVFDT algoritması %81 değerliyle sahip olmuştur. CVFDT, DT-Part ve MLP algoritmaları %80 en yüksek duyarlılık değerlerine tüm deneylerde ulaşmışlardır. NS sistemi için önerilen modelde en düşük hata oranına Lib-SVM algoritması sabittir. MNB algoritması diğer algoritmaların gerisinde kalarak tüm deneylerde en kötü performans göstererek performans sıralamasında sonuncu olmuştur. Şekil 3’te tüm deney sonuçları çubuk grafiklerle özetlenmiştir.



Şekil 3. Tüm eğitim ve test tekniklerine ait performans değerlendirilmesi.

5. Sonuç

Çeşitli çevrimiçi sosyal medya ve paylaşım platformlarının kullanımının artmasıyla son yıllarda NS'nin yayılması önemli ölçüde artmıştır. Bir kişiyi, ulusu, devleti veya etnik kökeni hedef alan ve hız kesmeden yayılan NS, insanlar arasında kaos ve huzursuzluk yarattığı için bu içeriklerin tespiti ve yayılmasının engellenmesi son derece kritik bir görevdir. Bu çalışmada NS içeren metinsel ifadelerin sosyal ağlarda yayılmasını engellemek için yapay zeka temelli otomatik NS tespit sistemi önerilmiştir. NS'nin tespiti ve yayılmaması için kolluk kuvvetlerinin, yasama organlarının ve sosyal medya şirketlerinin milyonlarca yatırımına ve çabalarına rağmen, etkili yöntemin metin tabanlı otomatik semantik analize dayandığı yaygın olarak kabul edilmektedir. Bu doğrultuda önerilen NS tespit sisteminin gerekliliği bir kez daha anlaşılmaktadır.

Otomatik NS tespit sistemi geliştirmek için, 40.623 sentetik metinden oluşturulan veri seti kullanılmıştır. Kullanılan bu veri setiyle sosyal ağ çalışmalarının en önemli problemlerinden olan veri sayısı yetersizliğinin önüne geçilmiştir. Kullanılan veri seti üzerinde temel metin ön işleme ve NLP teknikleri kullanılarak özellik çıkarımı gerçekleştirilmiştir. 5 farklı yapay zeka tabanlı algoritma seçilerek güçlü bir NS sistemi önerilmiştir. Ardından önerilen NS tespit sisteminin güvenilirliğini garanti etmek için 4 farklı eğitim ve test teknikleri kullanılmıştır. Tüm deney sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda, en yüksek doğruluk performans değeri (%80) CVFDT, DT-Part ve MLP algoritmaları tarafından elde edilmiştir. En yüksek f-skor performans değerine (%78) MLP sinir ağı ulaşmıştır. En yüksek kesinlik değerine (%81) CVFDT algoritması sahip olmuştur. CVFDT, DT-Part ve MLP algoritmaları en yüksek duyarlılık değerine (%80) tüm deneylerde ulaşmışlardır. NS sistemi için önerilen modelde en düşük hata oranına Lib-SVM algoritmasının sahip olduğu görülmüştür. Bu derece büyük bir veri setinde elde edilen başarı oldukça dikkat çekicidir. Başarımı daha da artırmak için parametre optimizasyonu yapılabilir. Ayrıca farklı yapay zeka temelli algoritmalar kullanılarak kıyaslama çalışmaları geliştirilebilir.

Kaynaklar

- [1] Baydoğan C, Alatas B. Metaheuristic Ant Lion and Moth Flame Optimization-Based Novel Approach for Automatic Detection of Hate Speech in Online Social Networks. IEEE Access, 2021; Vol. 9: 110047-110062.
- [2] MacAvaney S, Yao HR, Yang E, Russell K, Goharian N, Frieder O. Hate speech detection: Challenges and solutions. PloS one, 2019; 14(8): e0221152.
- [3] Gitari ND, Zuping Z, Damien H, Long J. A lexicon-based approach for hate speech detection. International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2015; 10(4): 215-230.
- [4] Köffer S, Riehle DM, Höhenberger S, Becker J. Discussing the value of automatic hate speech detection in online debates. Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI 2018): Data Driven X-Turning Data in Value, 2018.
- [5] Waseem Z, Thorne J, Bingel J. Bridging the gaps: Multi task learning for domain transfer of hate speech detection. In Online harassment, Springer, Cham. 2018; 29-55.

- [6] Badjatiya P, Gupta M, Varma V. Stereotypical bias removal for hate speech detection task using knowledge-based generalizations. In The World Wide Web Conference, 2019; 49-59.
- [7] Mossie Z, Wang JH. Social network hate speech detection for Amharic language. Computer Science & Information Technology, 2018; 41-55.
- [8] Miok K, Škrlj B, Zaharie D, Robnik-Šikonja, M. To ban or not to ban: Bayesian attention networks for reliable hate speech detection. Cognitive Computation, 2021; 1-19.
- [9] Robinson D, Zhang Z, Tepper J. Hate speech detection on twitter: Feature engineering vs feature selection. In European Semantic Web Conference Springer, Cham, 2018; 46-49.
- [10] Korzeniowski R, Rolczyński R, Sadownik P, Korbak T, Mozejko M. Exploiting Unsupervised Pre-training and Automated Feature Engineering for Low-resource Hate Speech Detection in Polish. arXiv preprint, 2019; arXiv:1906.09325.
- [11] Ombui E, Muchemi L, Wagacha P. Hate speech detection in code-switched text messages. In 2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT - IEEE), 2019; 1-6.
- [12] Abro S, Shaikh ZS, Khan S, Mujtaba G, Khand ZH. Automatic Hate Speech Detection using Machine Learning: A Comparative Study. International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA), 2020; 10(6): 484-491.
- [13] Pathak V, Joshi M, Joshi P, Mundada M, Joshi T. KBCNMUJAL@ HASOC-Dravidian-CodeMix-FIRE2020: Using Machine Learning for Detection of Hate Speech and Offensive Code-Mixed Social Media text. arXiv preprint arXiv:2102.09866, 2021.
- [14] Omar A, Mahmoud TM, Abd-El-Hafeez T. Comparative performance of machine learning and deep learning algorithms for Arabic hate speech detection in osns. In: The International Conference on Artificial Intelligence and Computer Vision. Springer, Cham, 2020; 247-257.
- [15] Fauzi MA, Yuniarti A. Ensemble method for indonesian twitter hate speech detection. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2018; 11(1): 294-299.
- [16] Plaza-del-Arco FM, Molina-González MD, Ureña-López LA, Martín-Valdivia MT. Comparing pre-trained language models for Spanish hate speech detection. Expert Systems with Applications, 2021; 166: 114120.
- [17] Bohra A, Vijay D, Singh V, Akhtar SS, Shrivastava M. A dataset of hindi-english code-mixed social media text for hate speech detection. In Proceedings of the second workshop on computational modeling of people's opinions, personality, and emotions in social media, 2018; 36-41.
- [18] Alshalan R, Al-Khalifa H. A deep learning approach for automatic hate speech detection in the saudi twittersphere. Applied Sciences, 2020; 10(23): 8614.
- [19] Al-Makhadmeh Z, Tolba A. Automatic hate speech detection using killer natural language processing optimizing ensemble deep learning approach, Computing, 2020; 102(2): 501-522.
- [20] Zhou Y, Yang Y, Liu H, Liu X, Savage N. Deep learning based fusion approach for hate speech detection. IEEE Access, 2020; 8: 128923-128929.
- [21] Pitsilis GK, Ramampiaro H, Langseth H. Effective hate-speech detection in Twitter data using recurrent neural networks. Applied Intelligence, 2018; 48(12): 4730-4742.
- [22] Roy PK, Tripathy AK, Das TK, Gao XZ. A Framework for Hate Speech Detection Using Deep Convolutional Neural Network. IEEE Access, 2020; 8: 204951-204962.
- [23] Ayo FE, Folorunso O, Ibharalu FT, Osinuga IA. Machine learning techniques for hate speech classification of twitter data: State-of-the-art, future challenges and research directions. Computer Science Review, 2020; 38: 100311.
- [24] Pitropakis N, Kokot K, Gkatzia D, Ludwiniak R, Mylonas A, Kandias M. Monitoring Users' Behavior: Anti-Immigration Speech Detection on Twitter. Machine Learning and Knowledge Extraction, 2020; 2(3): 192-215.
- [25] Garain A, Basu A. The titans at SemEval-2019 task 5: Detection of hate speech against immigrants and women in twitter. In Proceedings of the 13th International Workshop on Semantic Evaluation, 2019; 494-497.
- [26] <https://www.kaggle.com/usharengaraju/dynamically-generated-hate-speech-dataset>.
- [27] Kibriya AM, Frank E, Pfahringer B, Holmes G. Multinomial Naive Bayes for Text Categorization Revisited. Advances in Artificial Intelligence. 2004; 3339: 488-499.
- [28] Chih-Chung C, Chih-Jen L. LIBSVM: a library for support vector machines. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 2011; 2(27):1-27.
- [29] Kumar A, Kaur P, Sharma P. A survey on Hoeffding tree stream data classification algorithms. CPUH-Res. J, 2015; 1(2): 28-32.
- [30] Frank E, Witten IH. Generating accurate rule sets without global optimization. In fifteenth international conference on machine learning, 1998; 144-151.
- [31] Roul RK, Asthana SR, Kumar G. Study on suitability and importance of multilayer extreme learning machine for classification of text data. Soft Computing, 2017; 21(15): 4239-4256.
- [32] Baydogan C, Alatas B. Detection of Customer Satisfaction on Unbalanced and Multi-Class Data Using Machine Learning Algorithms. In 2019 1st International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK - IEEE), 2019; 1-5.
- [33] Baydogan C, Alatas B. Sentiment analysis using Konstanz Information Miner in social networks. In 6th International Symposium on Digital Forensic and Security (ISDFS - IEEE), 2018; 1-5.

Elektrikli Araçlar İçin Lityum İyon Bataryaların Modellenmesi

Muhammed Sefa ÇETİN¹, Barış KARAKAYA^{2*}, Muhsin Tunay GENÇOĞLU³

¹ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

³ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

¹ 192113202@firat.edu.tr, ² bkarakaya@firat.edu.tr, ³ mtgencoglu@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 16/06/2021;

Kabul/Accepted: 27/08/2021)

Öz: Son yıllarda, içten yanmalı motorlu araçların neden olduğu çevresel sorunların oldukça artması nedeniyle elektrikli araç teknolojisindeki gelişmeler hız kazanmıştır. Ancak elektrikli araçlar henüz içten yanmalı motorlu araçların yerini tam olarak alamamıştır. Çünkü elektrikli araçların menzil ve şarj süresi sorunları bulunmaktadır. Bu iki sorun batarya parametresi ile ilgilidir. Bu yüzden elektrikli araçlarla ilgili çalışmalar batarya gruplarına yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada elektrikli araçlar ve batarya sistemleri incelenmiştir ve MATLAB/Simulink ortamında bir elektrikli araç için lityum iyon batarya paketi modellenmesi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Elektrikli araç, batarya, modelleme, lityum iyon.

Modelling of Lithium Ion Batteries for Electric Vehicles

Abstract: In recent years, developments in electric vehicle technology have accelerated due to the increase in environmental problems caused by internal combustion engine vehicles. However, electric vehicles have not yet completely replaced internal combustion engine vehicles. Because electric vehicles have range and charging time problems. These two problems are related to the battery unit. Therefore, studies on electric vehicles have focused on battery groups. In this study, electric vehicles and battery systems are examined. In addition, a lithium-ion battery pack modeling for an electric vehicle has been made in the MATLAB/Simulink environment.

Key words: Electric vehicle, battery, modelling, lithium ion.

1. Giriş

Çağımızdaki çevresel sorunlar ve içten yanmalı motorlu araçların bakım ve yakıtla ilgili sorunları, elektrikli araç teknolojisinin yaygınlaşmasını hızlandırmıştır. İlk olarak elektrik motoru ve içten yanmalı motorların birlikte kullanıldığı hibrit sistemlerle başlayan çalışmalar, batarya teknolojisindeki gelişmelerle birlikte araçların tamamen elektrikli olarak yani sadece elektrik motoru kullanılarak üretilmesine imkân tanımıştır.

Elektrikli araç sistemlerinde fosil yakıtlar kullanılmadığı ve yakıtın yanmasını sağlamak için içten yanmalı motora ihtiyaç duyulmadığı için bu sistemler hem daha ekonomik hem de daha çevrecidir. Ancak elektrikli araçların içten yanmalı motor teknolojisi kullanan araçlarla rekabet edebilmesi için düşük maliyet ve tam şarj menzili kriterlerinin istenen seviyeye gelmesi gerekmektedir. Ayrıca şarj esnasında şebekeden önemli miktarda güç çekildiği için, elektrikli araç sayısının artması şebeke üzerinde de olumsuz etki oluşturmaktadır [1].

Elektrikli araçların en önemli bileşenlerinden biri bataryadır. Çünkü bataryanın performansı doğrudan doğruya elektrikli aracın performansını etkilemektedir. Batarya tam şarj süresi, pil ömrü, menzil vb. kullanıcıların en önem verdiği kriterler doğrudan batarya sistemiyle ilgilidir. Elektrikli aracın hareketi için gerekli olan enerji, bataryada depolanan enerjiyle sağlanmaktadır. Bataryanın güvenli bir şekilde çalışması ve performansının zaman içinde kaybolmaması gerekmektedir. Bu nedenle elektrikli araçlarda bataryalar, batarya yönetim sistemi olarak adlandırılan sistemler ile yönetilmektedirler.

Elektrikli araçların yaygın kullanımının önündeki en büyük engellerden birisi üretim maliyetleridir. Bu nedenle elektrikli araçların maliyetini düşürme çalışmaları yapılmaktadır. Maliyeti oluşturan en önemli etkenlerden birisi batarya paketleridir. Bu yüzden elektrikli araçlar üzerine yapılan çalışmalar çoğunlukla batarya üzerine yoğunlaşmıştır. Batarya teknolojileri geliştirilmeye çalışılmakta ve elektrikli araçların batarya maliyeti sorunu ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır.

* Sorumlu yazar: bkarakaya@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-7995-3901, ² 0000-0001-5587-0001, ³ 0000-0002-1774-1986

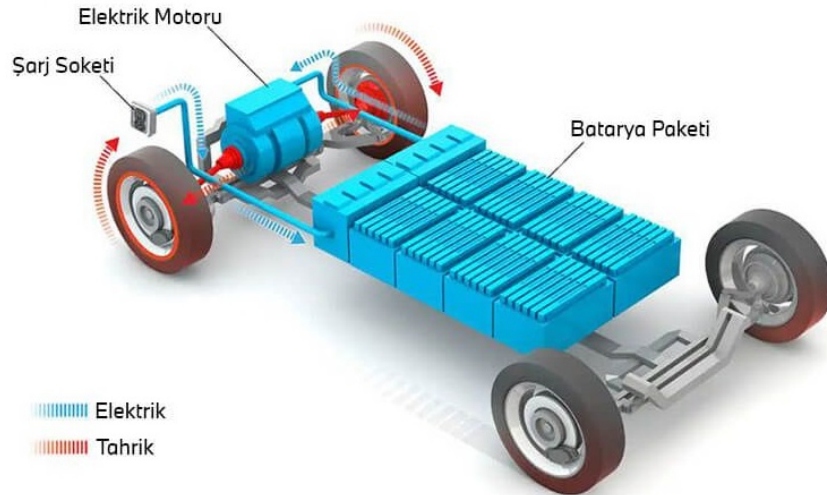
Bu çalışmada elektrikli araçlar ve elektrikli araçlarda kullanılan batarya sistemleri incelenmiş, elektrikli araçlar ile ilgili güncel bilgilere yer verilmiştir. Bataryalı elektrikli araçların çalışma prensipleri ve çeşitleri anlatılmıştır. Ayrıca elektrikli araçlarda kullanılan batarya sistemleri de detaylı olarak incelenmiştir. Elektrikli araçlarda kullanılan lityum iyon bataryaların MATLAB/Simulink ortamında modellenmesi yapılarak benzetim sonuçları elde edilmiştir.

2. Bataryalı Elektrikli Araçlar

Elektrikli araçlar, içten yanmalı motor kullanılmadan sadece elektrikli motor kullanılan araç türleridir. Bu araçlarda, araç hareketi ve motor tahriki pil paketlerinden (bataryalar) sağlanan elektrik enerjisiyle sağlanmaktadır [2]. Başlangıçta batarya maliyetlerinden ve düşük menzile sahip olmalarından dolayı geri plana atılan elektrikli araçlar, fosil yakıt rezervlerinin azalması ve petrolün bir küresel kriz haline dönüşüyor olmasından dolayı gündeme gelmiştir. İlk çalışmalar elektrikli araçların geleneksel içten yanmalı motorlu araçlarla rekabet edemeyeceğini göstermiştir. Ancak gelişen batarya teknolojisi sonucu, elektrikli araçlar içten yanmalı motorlu araçlarla rekabet edebilecek seviyeye gelmiştir. Özellikle hem çevresel hem de ekonomik ihtiyaçtan dolayı yoğunlaşan çalışmalar sonucu elektrikli araç kullanımını gittikçe yaygınlaştırmaktadır.

Ülkemizde batarya ve elektrik enerjisini depolama alanında birçok sorun vardır. Batarya maliyetinin yüksek olması, hücre ve hammadde tedarikinin zor olması, tam şarj dolun sürelerinin uzun olması, batarya test ve güvenlik merkezlerinin bulunmaması, batarya ömrünün kısa olması ve garanti süreci aşamalarının netleştirilmemiş olması bu sorunlardan bazılarıdır [3]. Ülkemizde batarya kaynaklı sorunların yanı sıra şarj istasyonları konusunda da sorunlar bulunmaktadır. Denetleme kuralları ve standardının olmaması ve yüksek yatırım maliyetleri bunlardan bazılarıdır [3].

Elektrikli araçlar, motor tahriki için yakıtı ihtiyaç duymadan, bataryada depolanan elektrik enerjisini kullanmaktadır. Bir elektrikli araç sadece elektrik motoru kullanır ve içten yanmalı motora ihtiyaç duymaz. Bataryadan alınan enerji elektrik motorunu tahrik eder. Motora verilecek akımın büyüklüğü ve yön kontrolü bir kontrol ünitesi kullanılarak gerçekleştirilir. Elektrikli motor, çıkış dönme hareketini diferansiyel kutusuna iletir. Bu kutu tekerleklerin dönüş hareketini sağlar. Elektrikli araçlar, çalışma prensibi en basit olan araçlardır [4]. Şekil 1’de bir elektrikli aracın yapısı görülmektedir.

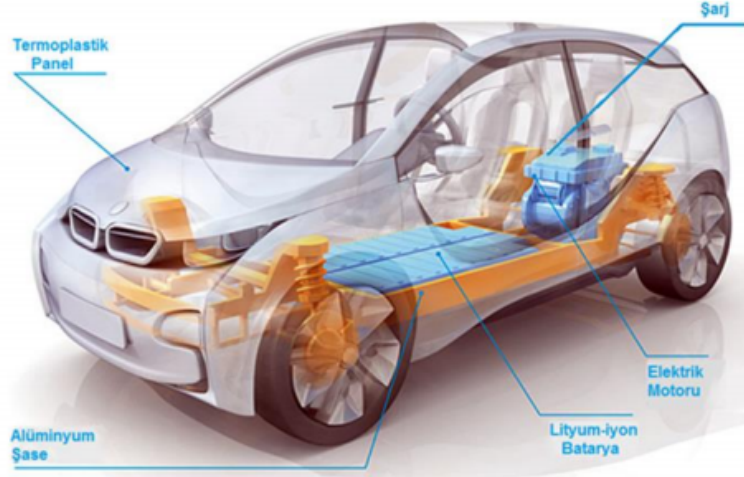


Şekil 1. Elektrikli aracın yapısı [5]

Elektrikli araçlarda çalışma prensibi gereği benzin, dizel veya diğer yakıtlar kullanılmadığından elektrikli araçlar fosil yakıt tüketmemekte ve emisyon da sebep olmamaktadırlar. Elektrikli araç bataryalarının şarjı esnasında tüketilen elektrik enerjisinin üretilmesinde oluşan zararlı emisyonlar, içten yanmalı motorlu araçlarla kıyaslandığında oldukça azdır [6].

3. Elektrikli Araçlarda Batarya Sistemleri

Bataryalar elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolayan birimlerdir ve elektrik enerjisinin depolanmasını gerektiren taşınabilir elektronik cihazlar, telekomünikasyon altyapıları, yenilenebilir enerji sistemleri ve elektrikli araçlar vb. birçok alanda kullanılmaktadırlar [7]. Şekil 2’de elektrikli araçta lityum iyon batarya ve diğer birimler gösterilmektedir.



Şekil 2. Elektrikli araçta lityum iyon batarya ve diğer birimler [6]

Bataryalar, elektrokimyasal redoks tepkimesi aracılığıyla depo ettikleri kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürebilen bir çalışma sistemine sahiplerdir [8]. Şarj edilebilir bir sistem söz konusu olduğunda batarya tam tersi bir işlem ile şarj edilir. Bu tür bir tepkime, kullanılan bir elektrik devresi aracılığıyla elektronların bir maddeden diğerine aktarılmasını kapsamaktadır. Paslanma veya yanma gibi tehlikelere sahip elektrokimyasal olmayan bir redoks tepkimesinde elektron aktarımı doğrudan yapılır. Bu nedenle bataryalar daha yüksek enerji dönüşüm verimliliğine sahiptir [1].

Basit olarak bir batarya sistemi, istenilen çıkış gerilimini ve kapasiteyi elde edebilmek için seri, paralel veya hem seri hem de paralel kompleks bir şekilde bağlanmış, bir veya daha çok hücreden meydana gelmektedir. Her bir hücre ise; anot veya negatif elektrot, katot veya pozitif elektrot ve elektrolit olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır [1].

Bataryaların karakteristik özellikleri, bataryalarda kullanılan hücrelerin türü, hücrelerin sayısı, hücrelerin seri-paralel bağlantı yapısı ve bataryalarda kullanılan hücrelerin dışındaki donanımsal elemanlar tarafından belirlenir. Bir bataryada hücreler bir araya gelerek modülleri, modüller de bir araya gelerek bataryanın kendisini oluşturur [9].

Bataryalar, şarj edilebilir bataryalar ve şarj edilemeyen bataryalar olarak ikiye ayrılırlar. Şarj edilemeyen bataryalar “birincil bataryalar” olarak isimlendirilirken, şarj edilebilen bataryalar ise “ikincil bataryalar” olarak isimlendirilirler.

Şarj edilebilir yani ikincil bataryalar, deşarj olduktan sonra tekrar tam şarj edilerek kullanılabilen batarya türleridir. Aynı zamanda depolama bataryaları ve akümülatörler olarak da adlandırılırlar [1]. İkincil bataryalar, yüksek güç yoğunluğu, yüksek deşarj oranı, düz deşarj eğrileri ve uygun düşük sıcaklık performansı ile karakterize edilirler [10]. Kurşun-Asit, Nikel Kadmiyum (Ni-Cd), Nikel Metal Hidrat (Ni-MH), Lityum İyon Polimer (LiPO) ve Lityum İyon (Li-ion) olarak sınıflandırılabilirler. Bu bataryaların en önemli özellikleri yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmalarıdır [11].

Bataryalı elektrikli araçların geleneksel içten yanmalı motorlu araçlarla rekabet edebilmesi ve ileride yerini içten yanmalı motorlu araçların yerini alabilmesi için gerekli olan en kritik bileşen batarya gruplarıdır. Bataryaların en önemli ve en belirleyici özellikleri, enerji yoğunluğu (ağırlık/kg), güç yoğunluğu (W/kg), fiyat ve kullanım ömrüdür. Güç yoğunluğu ve enerji yoğunluğu harici parametrelerdir. Bu nedenle tam şarj olma ve tam deşarj olma süreleri kısa olan bir bataryanın uygun enerji saklama kapasitesi olamaz. Kullanım ömrü de kullanım ve şarj etme tarzına bağlıdır [12].

Piyasada bulunan elektrikli araçların bataryaları farklı sayıda hücrenin bir araya getirilmesi ile farklı özellikler kazanmışlardır. Bu farklı özellikler elektrikli araç tasarımlarında farklı bataryaların kullanılmasına sebep olmuştur [8]. Elektrikli araç üreticisi firmalar, elektrikli araç kullanıcılarının talepleri doğrultusunda uygun bir batarya seçerek aracı tasarlamaya çalışırlar.

3.1. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Teknolojileri

Günümüzde farklı anma gerilimleri ve farklı enerji yoğunluklarına sahip çeşitli batarya teknolojileri mevcuttur. Elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan bazı pil teknolojileri Tablo 1’de verilmiştir [13].

Tablo 1. Elektrikli araçlarda kullanılan batarya teknolojileri [13]

Batarya Çeşitleri	Nominal Gerilim (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Çevrim Ömrü (#)	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı Aralığı (°C)
Pb-acid	2	35	1000	Yok	-15 - +50
NiCd	1.2	50-80	2000	Var	-20 - +50
NiMH	1.2	70-95	< 3000	Nadir	-20 - +60
Zebra	2.6	90-120	> 1200	Yok	+245 - +350
Li-ion	3.6	118-250	2000	Yok	-20 - +60
LiPo	3.7	130-225	> 1200	Yok	-20 - +60
LiFePO ₄	3.2	120	> 2000	Yok	-45 - +75
Zn-air	1.65	460	200	Yok	-10 - +55
Li-S	2.5	350-650	300	Yok	-60 - +60
Li-air	2.9	1300-2000	100	Yok	-10 - +70

Kurşun asit bataryaların yüksek deşarj akımı, hafıza etkisinin bulunmaması ve maliyetinin düşük olması gibi önemli avantajları bulunmaktadır. Ancak nominal gerilimi ve enerji yoğunlukları diğer batarya teknolojilerine göre düşüktür. Ayrıca kullanılmadıkları zaman batarya ömürleri düşmektedir [13]. Her bir kurşun asit batarya hücresi 2 V çıkış gerilimine sahiptir. Bu gerilim değeri hücre başına daha yüksek gerilim seviyesine sahip olan lityum iyon bataryalarla karşılaştırıldığında yetersiz kalmakta, aynı gerilim seviyesine sahip olmak için lityum iyon bataryalara göre daha çok sayıda kurşun asit batarya kullanımını gerektirmektedir [11].

Nikel kadmiyum bataryalar uzun süreli raf ömrüne sahiptir. Çevrim başına fiyat karşılaştırması yapıldığında en ekonomik batarya türüdür. Nikel kadmiyum bataryaların belki de en büyük avantajı, uzun ömürlü olmaları ve fiziksel ve kimyasal tepkilere karşı daha dayanıklı olmalarıdır [14]. Diğer batarya türleriyle kıyaslandığında enerji yoğunlukları düşüktür. Hafıza etkisinin bulunması da en büyük yetersizliğidir. Hafıza etkisi, başka bir deyişle tembel pil etkisi nikel kadmiyum ve nikel metal hidrat ikincil bataryalarında görülmekte ve bu bataryaların daha az şarj tutmalarına sebep olmaktadır. Hafıza etkisi, nikel kadmiyum bataryaların deşarj olduktan sonra tekrar şarj edildikçe maksimum enerji kapasitelerini yavaş yavaş kaybettikleri durumu ifade eder. Bu durum özetle, bataryanın daha küçük bir batarya kapasitesini hatırlaması olarak açıklanabilir. Ayrıca nikel kadmiyum bataryalar, çevresel olarak dezavantajlara sahiptir. Enerji yoğunluğu bakımından kurşun asit bataryalara göre daha pahalı olması ve kadmiyum içermesi gibi yetersizlikleri vardır [15].

Nikel metal hidrat bataryalar, kadmiyum, kurşun veya cıva gibi zararlı maddeler içermediğinden kurşun asit ve nikel kadmiyum bataryalara kıyasla çevreye daha az zarar vermektedirler. Ayrıca maliyet bakımından lityum iyon pillere kıyasla daha uygundur [16].

Lityum iyon polimer bataryaların iletkenlikleri azdır ve bu yüzden yüksek sıcaklıklarda daha iyi performans sağlamaktadırlar. Lityum iyon bataryalarla karşılaştırıldığı zaman enerji yoğunluğu daha düşük ve çevrim sayısı daha az olmaktadır. Ancak nikel kadmiyum ve nikel metal hidrat bataryalara göre enerji yoğunlukları fazla ve kullanım ömürleri daha uzundur. Lityum iyon polimer batarya hücrelerinde katı lityum negatif elektrot bulunmasından dolayı güvenlik problemleri vardır ve metaldeki bozulmalardan dolayı performans düşüşleri görülebilir. Bu sebeple bu tip bataryaların yerini büyük ölçüde lityum iyon bataryalar almıştır [17].

Lityum sülfür bataryalar, enerji yoğunlukları yüksek, yüksek çevrim oranına sahip ve güvenli bir kullanıma sahip bataryalardır. Ancak bu bataryaların yerini avantaj ve üstünlükleri daha fazla olan lityum iyon bataryalar almıştır [13].

Batarya çeşitleri arasında, elektrikli araçlarda en yaygın olarak kullanılan batarya çeşidi lityum iyon bataryalardır. Lityum iyon bataryaların diğer batarya teknolojilerine göre üstünlükleri vardır ve bu nedenle elektrikli araçlarda da yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

3.2. Lityum İyon Bataryalar

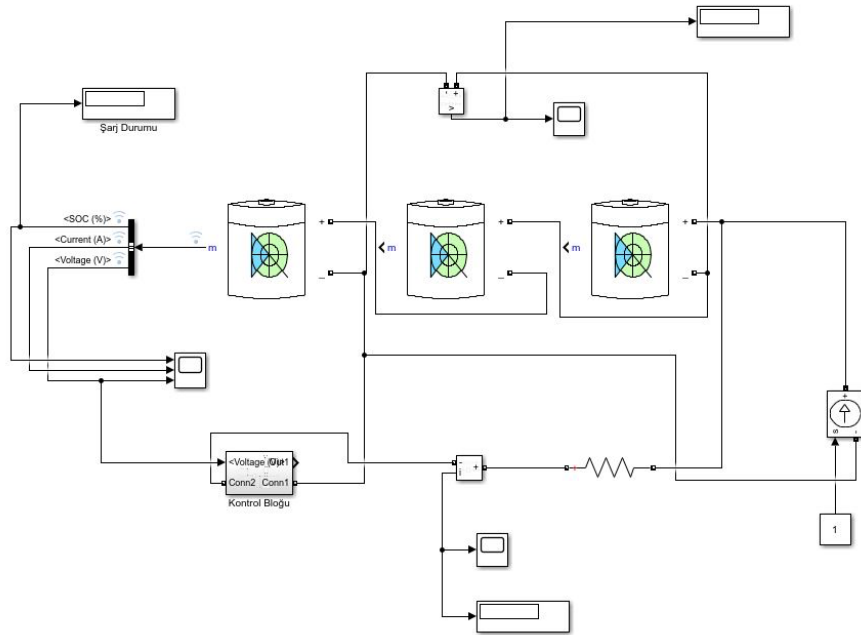
Lityum iyon bataryalar nikel tabanlı batarya gruplarıyla kıyaslandığında daha yüksek anma gerilim değerine ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir [13]. Lityum iyon bataryalar günümüzde başta elektrikli araç uygulamalarında olmak üzere, elektronik cihazlarda ve birçok taşınabilir sistemde en çok tercih edilen batarya türüdür. Günümüzdeki teknolojiyle birlikte birim hücre başına en yüksek hücre gerilimi ve birim kütle başına en yüksek enerji yoğunluğuna sahip olan batarya çeşidi Lityum iyon bataryalardır. Bu bataryalar, hafıza etkisinin olmaması, kendi kendilerine deşarj olmalarının çok düşük oranda olması ve çevrim ömürlerinin yüksek olması bakımından diğer batarya çeşitlerinden üstündür [11]. Ayrıca lityum iyon bataryalar fiziksel olarak daha dayanıklıdır ve ortalama ömürleri beş yıldır. Diğer batarya türleri ile kıyaslandığı zaman en yüksek şarj verimine sahip batarya çeşitlerinden birisidir. Bunların yanı sıra lityum iyon batarya en az bakım gerektiren batarya türüdür.

Lityum iyon bataryalar, taşınabilir elektrokimyasal enerji depolamada ilk akla gelen kaynak olduğundan, performansı artırma uygulamalarını büyük ölçüde genişletebilmekte ve enerji depolamasına bağlı olarak yeni teknolojiler sağlayabilmektedir. Yeni malzemeler ve yeni stratejiler bulundukça, lityum iyon bataryaların gelecek yıllarda yaşam koşulları üzerinde şüphesiz daha fazla etkisi olacaktır [3].

4. Modelleme ve Bulgular

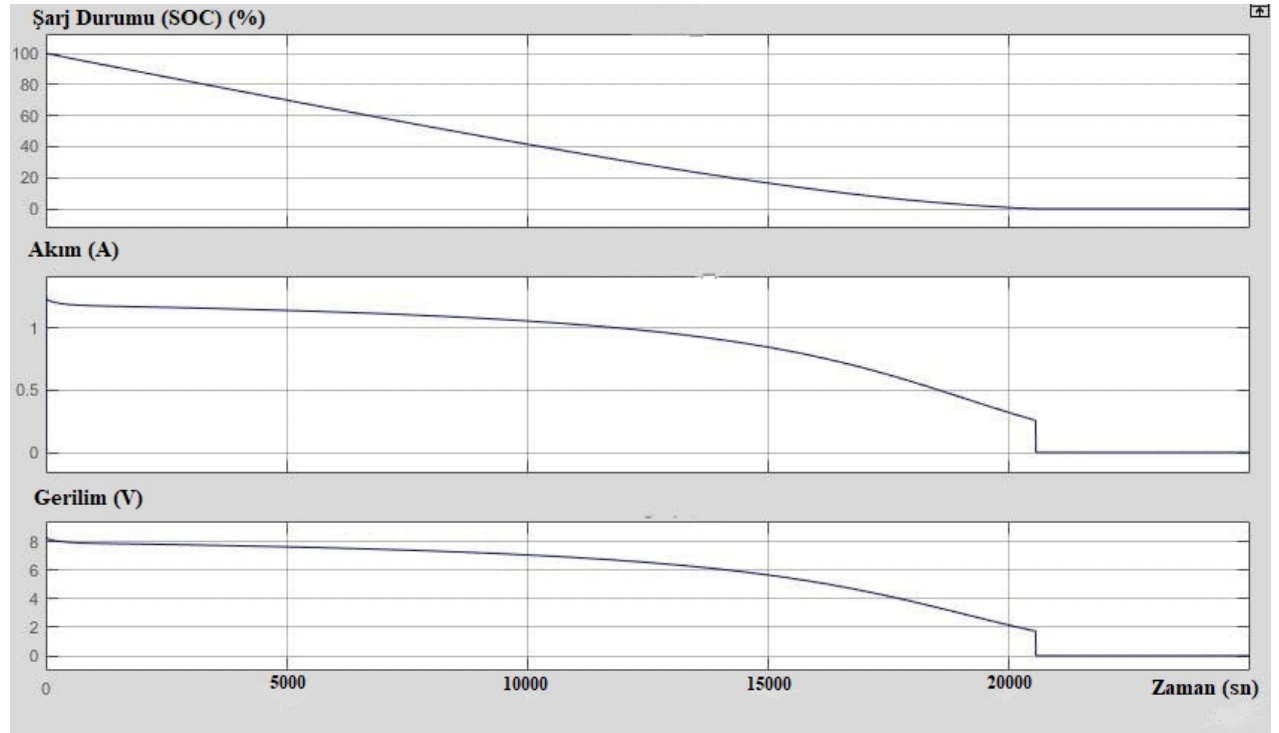
Benzetim çalışmaları, elektrikli araç sistemlerinin tasarımını kolaylaştırmaktadır. Benzetim yoluyla elektrikli aracın performansı ile ilgili tahminler yapılabilmektedir. Ayrıca elektrikli aracın prototipi üzerinde iyileştirme çalışması yapmaktan çok daha az maliyetli olacaktır [18].

Bu çalışmada, MATLAB/Simulink ortamında, elektrikli araçlarda kullanılan lityum iyon batarya modelinin benzetimi yapılmıştır. Şekil 3'te MATLAB/Simulink modeli gösterilmektedir. Lityum iyon bataryalar; birim hücre başına en yüksek gerilim, birim kütle başına en yüksek enerji yoğunluğu, en az bakım gerektirme, yüksek çevrim ömrü üstünlüklerinden dolayı elektrikli araçlarda en yaygın kullanılan batarya türüdür.



Şekil 3. Sistemin MATLAB/Simulink modeli

Bu çalışmada; her bir bataryanın nominal gerilimi 3.7 V olarak belirlenmiştir [19]. Batarya minimum deşarj gerilimi 1.7 V olarak seçilmiştir. Nominal deşarj akımı 2.3 A, nominal kapasitesi 4.8 Ah ve maksimum kapasitesi 5.4 Ah olan üç adet seri bağlı lityum iyon batarya kullanılmıştır. Batarya maksimum paket gerilimi 8.1 V'tur. Ayrıca akım, gerilim ve şarj durumu grafiklerinin sıfıra düştüğü anı tam olarak belirleyebilmek için bir güç elektroniği kontrol elemanı ve bataryanın deşarj süresi tahminini yapabilmek için seri bağlı yükler kullanılmıştır. Batarya paketinin şarjı için SASG (sabit akım-sabit gerilim) yöntemi kullanılmıştır. Deşarj olmadan önce batarya şarj durumu başlangıçta %100'dür. Öncelikle başlangıçta sabit bir omik yük değeri için bataryanın şarj durumu, akım ve gerilim grafikleri elde edilmiştir. Yük değeri artırıldığında batarya deşarj sürelerinin nasıl değiştiği gözlenmiştir. Daha sonra devreye indüktif yükler eklenerek omik-indüktif yük durumu için batarya şarj durumu, akım ve gerilim grafikleri elde edilmiştir. Batarya grubu sabit bir yük altındayken elde edilen sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. Yükün artırıldığı durumlar için elde edilen sonuçlar Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.

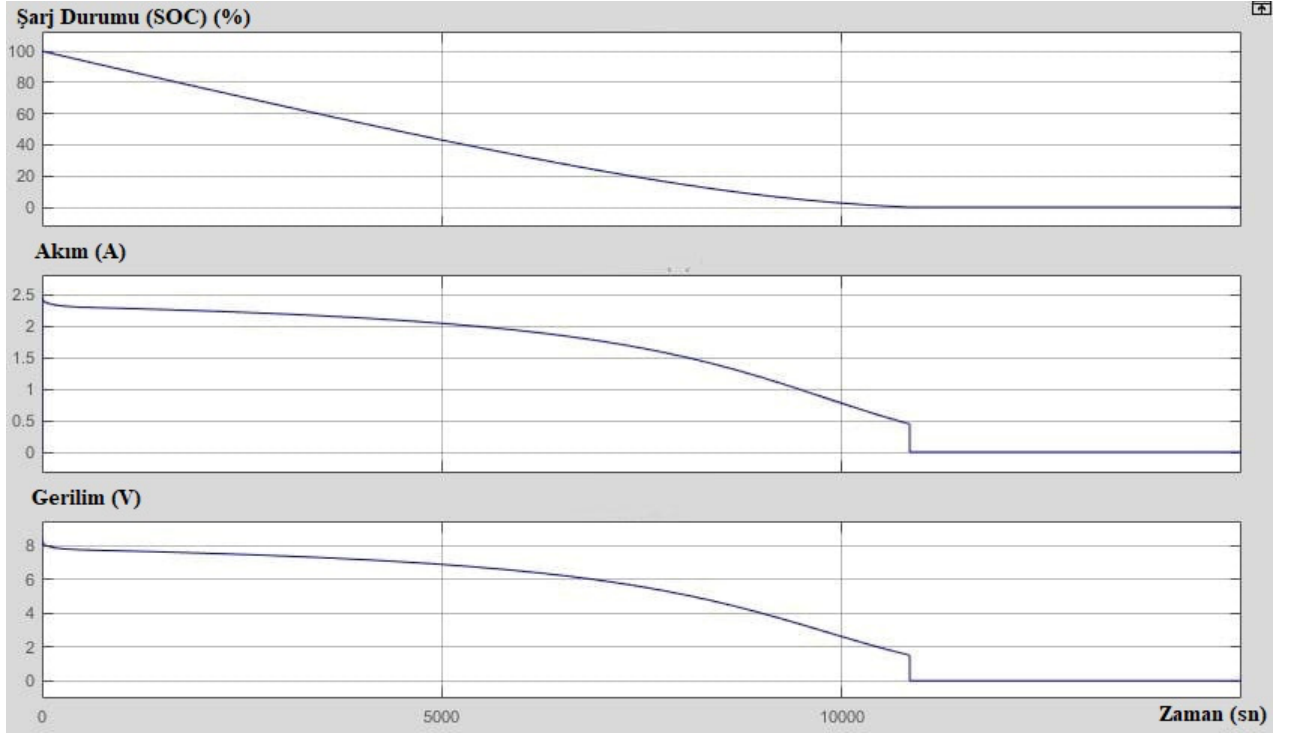


Şekil 4. Omik yük için akım, gerilim ve şarj durumu

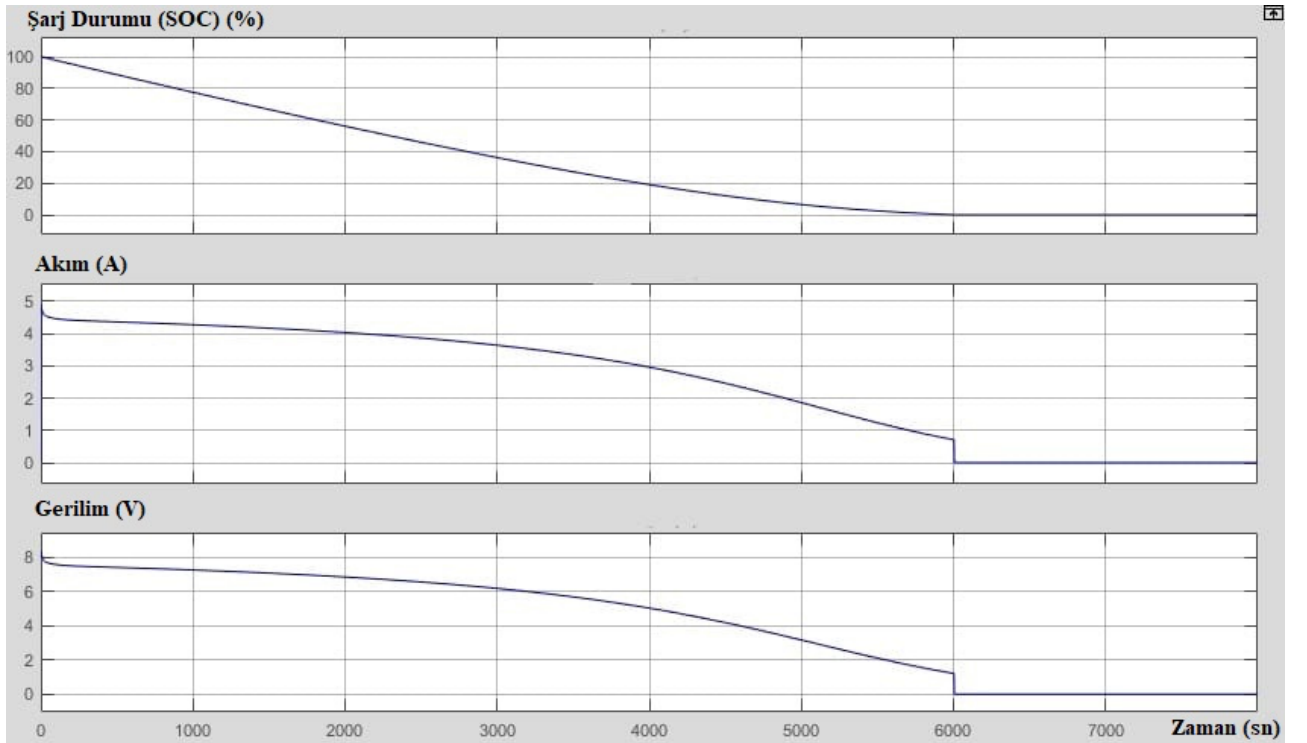
Benzetim yapılmadan önce, yük artırıldığı zaman bataryanın deşarj süresinin kısılacacağı öngörülmüştür. Benzetimle elde edilen SOC (şarj durumu) sonuçlarına bakıldığında da yük artırıldıkça bataryanın deşarj sürelerinin kısaldığı görülmüştür. Yani yük artırıldığı zaman bataryalar daha hızlı deşarj olmaktadır. Şekil 7'de devreye omik-indüktif yük bağlıyken batarya şarj durumu, akım ve gerilim grafikleri gösterilmektedir.

Şekil 4, sadece omik yük için elde edilen sonuçları gösterirken, Şekil 7 omik-indüktif bir yük için elde edilen sonuçları göstermektedir. Şekil 4 ve Şekil 7 elde edilirken kullanılan omik yük değerleri aynıdır. Batarya paketinin maksimum gerilimi 8.1 V'tur. Bu nedenle Şekil 4-7'de gerilim değerlerinin yaklaşık 8 V olduğu görülmektedir. İndüktif yükün şarj durumu, akım ve gerilime etkisinin incelenebilmesi amacıyla Şekil 4 ile Şekil 7 karşılaştırıldığında, SOC grafiğinden, devreye indüktif yük eklendiği zaman batarya deşarj süresinin neredeyse %50 azaldığı görülmektedir. Gerilim değeri sabit kalırken akım değeri yaklaşık iki katına çıkmıştır. Ayrıca gerilim değeri sıfıra düşmeden önce bir dalgalanma meydana gelmiştir ve omik yüklenme durumundan farklı olarak batarya tam deşarj olsa bile gerilim değeri tam olarak sıfır değerine ulaşmamıştır.

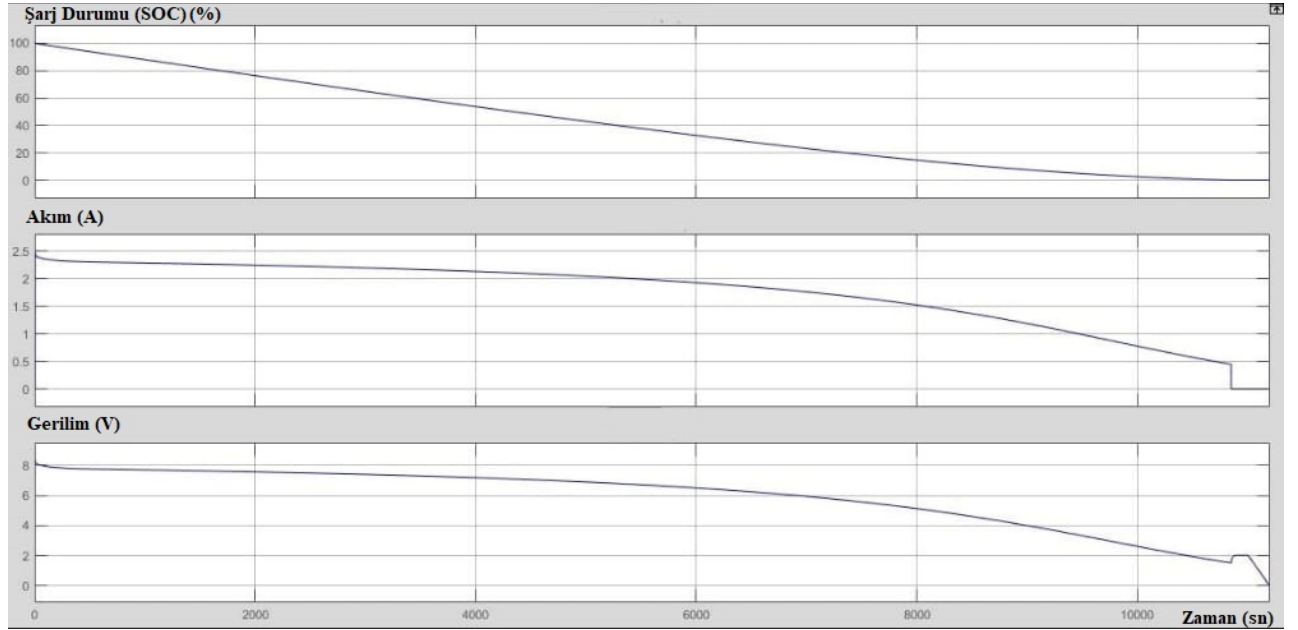
Şekil 4-7'den görüldüğü gibi, batarya minimum deşarj gerilimi olan 1.7 V değerinde deşarj sonlanmıştır. Böylece Lityum iyon bataryalarda minimum gerilimde deşarjın kesilmesi gerekliliği de sağlanmıştır. Ancak deşarj sonlanmasına rağmen benzetim devam ettiği için sonuçta Şekil 4-7'de gerilim değerinin sıfıra indiği görülmektedir. Böylece deşarj sonlandıktan sonraki durumların incelenebilmesi de mümkün olmuştur.



Şekil 5. Omik yük iki kat artırıldığında akım, gerilim ve şarj durumu



Şekil 6. Omik yük dört kat artırıldığında akım, gerilim ve şarj durumu



Şekil 7. Omik-indüktif yük için akım, gerilim ve şarj durumu

5. Sonuçlar

Elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlu araçların sebep olduğu problemlere çözüm getirebilecek potansiyele sahiptir. Ancak yaygınlaşma istenilen hızda değildir. Elektrikli araç teknolojisinin ilerlemesini yavaşlatan en büyük sorunlar batarya kaynaklıdır. Bu yüzden çalışmalar, elektrikli araçta batarya performansı üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Lityum iyon bataryalar; birim hücre başına en yüksek gerilim, birim kütle başına en yüksek enerji yoğunluğu, en az bakım gerektirme, yüksek çevrim ömrü özelliklerinden dolayı elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada elektrikli araçlarda kullanılan batarya sistemleri incelenmiş ve lityum iyon batarya paketi modellenmiştir. MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilen çalışmalarda bataryanın deşarj süresinin yüke bağlı değişimi incelenmiştir. Bataryaya bağlı yük artırıldığı zaman bataryanın deşarj olma süresinin kısaldığı görülmüştür.

Bu çalışmada yapılan modelleme, bir sonraki çalışmada daha büyük bir batarya paketinin modellenmesine imkân sağlayacaktır. Bunun yanı sıra, elektrikli araç için yapılan bu modelleme çalışması, hem zaman hem de maliyet tasarrufu sağlaması açısından önemlidir.

Teşekkür

Muhammed Sefa ÇETİN 100/2000 YÖK Doktora Bursu programı kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Bora Y. Elektrikli araç sistemlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2017.
- [2] Muratoğlu Y., Alkaya A. Elektrikli araç teknolojisi ve pil yönetim sistemi inceleme. Elektrik Mühendisliği 2016; (458): 10-14.
- [3] Rigan M. Batarya yönetim sistemi tasarımı. Yüksek Lisans, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye, 2020.
- [4] Tanrısever B. Geri dönülemez noktadayız. Elektrik Mühendisliği 2016; (458): 18-22.
- [5] www.bmw.com.tr/tr/topics/fascination-bmw/bmw-i-ve-e-mobilite/elektrikli-otomobil-turleri.html
- [6] Özbay H., Közkurt C., Dalcalı A., Tektaş M. Geleceğin ulaşım tercihi: Elektrikli araçlar. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları 2013; 3 (1): 34-50.
- [7] Avgın M.S. Batarya şarj doluluk durumu model parametresinin G.E.P. ile tahmin edilmesi. Yüksek Lisans, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye, 2012.
- [8] Chan By CC. The state of art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. Proceedings of the IEEE 2007; 95 (4): 704-718.

- [9] Gül H.S. Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi tasarımı. Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [10] Linden D., Reddy TB. Handbook of Batteries Third Edition. USA: McGraw-Hill, 2001.
- [11] Turğut M. Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi tasarımı ve geliştirilmesi. Yüksek Lisans, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2018.
- [12] Karabulut H. Elektrikli araçlar: İstanbul'da entegrasyon problemleri ve çözüm yolları. Yüksek Lisans, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [13] Jia Ying Y. A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2015; 49: 365-385.
- [14] Kuşunoğlu S. Atık çinko-karbon ve alkali pillerden çinko ve mangan geri kazanılması. Doktora, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2009.
- [15] Sayılıgan E. Kullanılmış pillerden çinko ve mangan metallerinin geri kazanımı ekonomik analiz ve matematik modelleme. Doktora, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2009.
- [16] Yu H., Xie T., Paszczynski S., Wilamowski B.M. Advantages of radial basis function networks for dynamic system design. IEEE Transactions on Industrial Electronics 2011; 58 (12): 5438-5450.
- [17] Larminie J., Lowry J. Electric Vehicle Technology Explained. UK: John Wiley&Sons, 2001.
- [18] Özbalcı Ü., Kılıç E. Elektrikli bir aracın batarya sisteminin modellenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi; (2): 64-69.
- [19] Ceylan M., Sarıkurt T., Balıkcı A. Elektrikli araçlarda kullanılan lityum-iyon bataryalar için model geliştirilmesi. In:5.Enerji Verimliliği ve Kalitesi Kongresi; 23-24 Mayıs 2013; Kocaeli, Türkiye. pp. 23-24.

Editör Düzeltme Notu

Düzeltme Yazısı / Erratum

2021 yılı 33. Cilt 1. Sayıda yayınlanan; “Köpeklerdeki Uzun Kemiklerin Evrimsel Sinir Ağları Kullanılarak Sınıflandırılması” başlıklı makalede yapılan düzeltmeler aşağıdaki gibidir.

Yayınlanmış olan:

"Ancak bahsi geçen uygulamaların neticesinde ulaşılan başarıların çok büyük bir çoğunluğu insandan alınan görüntülerle elde edilirken; hayvan anatomisinin derin öğrenme algoritmaları tarafından analizi, literatür taramasında tespit edilmemiştir."

Bildirilen Düzeltmiş Hali:

"Ancak bahsi geçen uygulamalar neticesinde ulaşılan başarıların çok büyük bir çoğunluğu insandan alınan görüntülerle elde edilirken hayvan görüntülerinin uygulama alanlarının oldukça dar olduğu görülmüştür."

Düzeltme Açıklaması:

Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi'nin 2021 yılı 33. Cilt 1. Sayısında yayımlanan makalenin Giriş kısmı, ilk paragraf, 8. Satırda "Ancak bahsi geçen uygulamaların neticesinde ulaşılan başarıların çok büyük bir çoğunluğu insandan alınan görüntülerle elde edilirken; hayvan anatomisinin derin öğrenme algoritmaları tarafından analizi, literatür taramasında tespit edilmemiştir." cümlesi yer almaktadır; ancak sonrasında 'hayvan anatomisi' alanında yapılmış başka bir çalışma olduğu fark edilmiştir.

Makale URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1173637>



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 yayımlandığına 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.