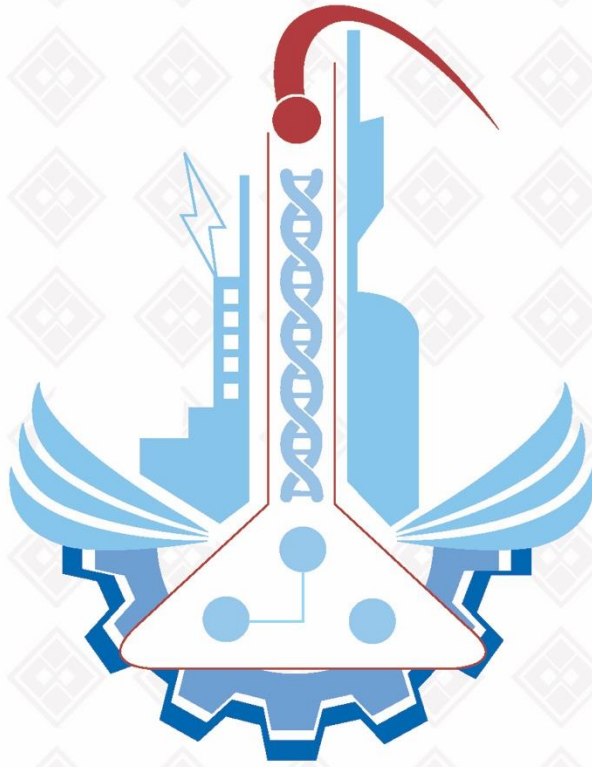


ISSN: 1308-9072

Cilt: 31 / Sayı: 2 / Yıl: 2019

FIRAT ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ



F ı r a t Ü n i v e r s i t e s i
Mühendislik Bilimleri Dergisi (MBD)
Cilt:31, Sayı:2, Yıl: 2019
ISSN: 1308 - 9072

İ l e t i Ő i m

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
23119, ELAZIĞ

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

Baskı: Fırat Üniversitesi Matbaası

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

<http://dergipark.gov.tr/fumbd>

Fırat Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi (MBD)

Sahibi

Prof Dr. Kutbeddin DEMİRDAĞ
Fırat Üniversitesi Rektörü

Genel Yayın Yönetmeni

Prof. Dr. Soner ÖZGEN
F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Editör

Doç. Dr. Erkan TANYILDIZI
Fırat Üniversitesi Enstitüsü Müdür Yrd.

Editör

Dr. Öğr. Üyesi Sencer ÜNAL
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 EFEUGLU	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)
31-2, 2019

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

1. Kömür Zenginleştirmenin Piroлиз Ürün Verimlerine Etkisinin <i>Investigation of the Effect of Coal Enrichment on Pyrolysis Product Yields</i> Aydan AKSOĞAN KORKMAZ, İsmail BENTLİ	259-267
2. Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Portland Çimentosu, Silis Dumanı, Uçucu Kül Kombinezonlarının Basıncılı Su Geçirgenliğine Etkisi <i>Effect of Portland Cement, Silica Fume, Fly Ash Combinations On Pressurized Water</i> <i>Permeability of Self-Compacting Mortars</i> Paki TURĞUT, Kazım TÜRK, Nuray KARADAŞ.....	269-276
3. Yanıt Yüzey Yöntemi ve Genetik Algoritma ile Tufal ilaveli Harçların Basıncı Dayanımın Optimizasyonu <i>The Density Variation of Metal Matrix Al₂O₃ / Al-Mg Composite Depend on Production</i> <i>Parameters</i> Erdoğan ARICI, Oğuzhan KELEŞTEMUR	277-287
4. Bir Fazlı Paralel Aktif Güç Filtresi Modeli ve Denetimi <i>Modelling and Control of Single Phase Parallel Active Power Filter</i> Zeynep Bala DURANAY, Hanifi GÜLDEMİR	289-299
5. Ahlat – Malazgirt Yapı Taşlarının Isıl ve Mekanik Özellikleri <i>Thermal and Mechanical Properties of the Building Stones from Ahlat and Malazgirt</i> Ayşe BİÇER	301-307
6. Kapalı Çıkmalı Betonarme Binaların Deprem Davranışının Değerlendirilmesi <i>Evaluation of Earthquake Behavior of Reinforced Concrete Buildings with Heavy Overhang</i> Emrah MERAL	309-318
7. Mikrobiyal Yakıt Hücresinde Grafen Kaplı Nikel-Titanyum (NiTi) Alaşımının Anot Elektrotu Olarak Kullanılması <i>The Usage of Graphene Coated Nickel-titanium (NiTi) Alloy in Microbial Fuel Cell as Anode</i> <i>Electrode</i> Ergin Taşkan, Selman Bulak, Banu Taşkan, Merivan Şaşmaz, Engin Gürtekin, Ali Bayrı	319-326
8. Niğde İlinde Güneş Enerjisi Santrallerinin Yaygınlaştırılması ve Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasının Potansiyeli <i>Dissemination of Solar Power Plants in Niğde Province and Potential for Reducing Greenhouse</i> <i>Gas Emissions</i> Tufan SAK, Çağdaş GÖNEN, Emine Erman KARA	327-335
9. Taşkın Tehlike Alanlarının Oluşturulması: Trabzon İli Vakfıkebir İlçesi Kirazlı Deresi Örneği <i>Determination of the Flood Risk Areas: Case Study - Kirazlı Creek (Trabzon – Vakfıkebir))</i> Esra ERTÜRK, Nihat KAYA	337-344
10. Deformasyon Tahmininde Gri Model Uygulaması: Keban Barajı Örneği <i>Application of Gray Model in Estimation of Deformation: The Case of Keban Dam</i> Erkan TANYILDIZI, Kürşat KAYA	345-352
11. Değişken Odaklı Optik Görüntüleme Sistemi Tasarımı ve Üretimi <i>Design and Production of Variable Focus Optical Imaging System</i> Mehmet POLAT, Ebru GENÇ.....	353-369
12. Katı Yakıtlı Bir Kazanda Isı Transferi İyileştirmeleri ve Basıncı Farkının Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi <i>Heat Transfer Improvements in a Solid Fueled Boiler and Modeling of Pressure Differences by</i> <i>Artificial Neural Network</i> Aydın ÇITLAK, Ahmet Beyzade DEMİRPOLAT, Mehmet DAŞ	371-380

13. Sosyal Etkileşim Alanı Olarak Üniversite Kampüsünde Tasarlanan Kafeterya; Green House <i>A Cafeteria Designed as a Field of Social Interaction in the University Campus; Green house</i> Hasan POLAT, Nihal Arda AKYILDIZ.....	381-390
14. Meme Kanseri Histopatolojik Görüntülerinin Evrimsel Sinir Ağları ile Sınıflandırılması <i>Classification of Histopathological Breast Cancer Images using Convolutional Neural Networks</i> Muhammed TALO	391-398
15. Zemin Taşıma Gücünün Rijit ve Esnek Üstyapıların Kalınlıklarına ve Maliyetlerine Etkisi <i>Effect of Bearing Capacity of Soil on the Thickness and Cost of Rigid and Flexible Superstructures</i> Tacettin GEÇKİL, Mehmet Mahmut TANYILDIZI	399-406
16. Faz Değiştiren Madde Olarak Nano Katkılı Stearik Asit ve Palmitik Asidin Termofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi <i>Determination of the Thermal Properties of Nano Doped Stearic Acid and Palmitic Acid as Phase Change Material</i> Taylan Gazi ÜREGEN, Gamzepelin AKSOY, Ahmet KOCA	407-413
17. Sabit Yataklı Kolonda Şeftali Çekirdeği Kabuğu Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Basic Yellow 51'in Giderimi <i>Removal of Basic Yellow 51 from Aqueous Solutions Using Peach Stone Shell in Fixed Bed Column</i> İbrahim POLAT, Ramazan ORHAN	415-422
18. Gelir Getirmeyen Su Oranının Azaltılması İçin Optimum Sayaç Değiştirme Süresinin Hesaplanması <i>Determination of Optimum Water Meter Replacement Period for Reducing the Non-revenue Water</i> Salih YILMAZ, Özgür ÖZDEMİR, Mahmut FIRAT	423-430
19. Reaktif Güç Desteği için Kullanılan Üç Seviyeli H-Köprü Evirici Tabanlı D-STATKOM'un dq-Eksen Akımlarının Bulanık Oransal İntegral Denetleyici ile Denetimi <i>dq-axis Current Control of D-STATCOM Based Three Level H-Bridge Used for Reactive Power Support via Fuzzy Proportional Integral Controller</i> Hakan AÇIKGÖZ, Resul ÇÖTELİ	431-442
20. EMG Sinyallerinin Kısa Zamanlı Fourier Dönüşüm Özellikleri Kullanılarak Yapay Sinir Ağları ile Sınıflandırılması <i>Classification of EMG Signals by Artificial Neural Networks Using Short-Time Fourier Transform Features</i> Ali ARI, Furkan AYZ, Davut HANBAY.....	443-451
21. Dairesel Kesitli Türbülans Üreticilerinin Etkinlik ve Ekserji Analizi <i>Efficiency and Exergy Analysis of a Circular Cross-Section Turbulence Generators</i> Emre TURGUT	453-461
22. Giyilebilir Yürüyüş Analiz Sensörü ile Kişi Sınıflandırmasının Öznitelik Seçme Algoritmaları ile İyileştirilmesi <i>Improvement of Wearable Gait Analysis Sensor based Human Classification using Feature Selection Algorithms</i> Abdülkadir GÜMÜŞÇÜ	463-471
23. AISI 4140 Çelik Yüzeyinde Termoreaktif Difüzyon Yöntemiyle Elde Edilen TiC Kaplamasının Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi <i>Investigation of microstructural properties of TiC coating obtained by termoreactive diffusion process on AISI4140 steel</i> Soner BUYTOZ, Burhan YILMAZ	473-480

24. HVOF Yöntemi ile Gerçekleştirilen Stellite-1 Kaplamaların Aşınma Kayıplarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini <i>Prediction of Wear Losses of Stellite-1 Coatings Performed by HVOF Method with Artificial Neural Networks</i> Turan GÜRGENÇ	481-488
25. İnsan-Robot Etkileşiminde İnsan Güvenliği için Çok Kanallı İletişim Kullanarak Evrişimli Sinir Ağı Tabanlı Bir Yazılımın Geliştirilmesi ve Uygulaması <i>Development and Implementation of a Convolutional Neural Network Based Software Using Multichannel Communication for Human Security in Human-Robot Interaction</i> Mustafa Can BINGOL, Ömür AYDOĞMUŞ	489-495
26. EVA Bazlı Reçine Modifiyeli Bitümlü Karışımların Mekanik Özellikler Bakımından SBS Modifikasyonu ile Karşılaştırılması <i>The Comparison of the EVA Based Resin Modified Bituminous Mixtures to SBS Modification in Terms of Mechanical Properties</i> Beyza FURTANA, Erkut YALÇIN, Baha Vural KÖK, Mehmet YILMAZ	497-506
27. Tek Serbestlik Dereceli Bir Teleoperasyon Sisteminde Kontrol Yöntemlerinin Performans Karşılaştırılması <i>Performance Comparison of Control Methods in a Single Degree of Freedom Teleoperation System</i> Tayfun ABUT, Servet SOYGÜDER	507-517
28. Orta Toroslarda Karbonatlı Kayaçlar ile İlişkili Sarıveliler (Karaman) Floritlerinin Nadir Toprak Element Jeokimyası <i>Rare Earth Element Geochemistry Of Sarıveliler (Karaman) Fluorites Related To Carbonate Rocks in Middle Taurus</i> Yusuf URAS, Cihan YALÇIN, Yaşar İNCEDİŞ, Muhittin KARAMAN	517-528
29. Farklı Bağlantı Şekillerinin Panel Radyatörlerin Verimleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi <i>Investigation of the Effect of Different Connection Types on the Efficiency of Panel Radiators</i> Gökhan ÖMEROĞLU	529-534
30. AISI 1010 Malzemesinin Sürtünmeli Delinmesinde Optimum Parametrelerin Gri İlişkisel Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi <i>Determination of Optimum Parameters in Friction Drilling of AISI 1010 steel by Grey Relational Analysis</i> Latif ÖZLER	535-544
31. Mikroçoğaltımla Üretilmiş Fesleğenin (Ocimum basilicum L.) Tepsili Kurutucuda Kuruma Karakteristiğinin Belirlenmesi <i>Determination of Drying Characteristics of Basil (Ocimum basilicum L.) Produced by Micropropagation in Tray Dryer</i> Aykut TOPDEMİR	545-550
32. Renk Momentleri ve Destek Vektör Makineleri Kullanarak Haploid Mısır Tohumlarının Tanımlanmasında Renk Uzaylarının Sınıflandırma Performansına Etkisinin Karşılaştırılması <i>Comparison of the Effect of Color Spaces on Classification Performance in Identification of Haploid Maize Seeds Using Color Moments and Support Vector Machines</i> Yahya ALTUNTAŞ, Adnan Fatih KOCAMAZ	551-560

33. Kompozit Yama ile Tamir Edilmiş V-Çentikli Levhaların Burkulma Davranışı: Üç Boyutlu Sayısal Yaklaşım <i>Buckling Behavior of V-Notched Plates with Composite Patch: Three-Dimensional Numerical Approach</i> Ahmet SAYLIK, Mete Onur KAMAN	561-570
34. Derin Öğrenme ile Resim ve Videolarda Nesnelerin Tanınması ve Takibi <i>Recognition and Tracking of Objects in Pictures and Videos Using Deep Learning</i> Resul DAŞ, Berna POLAT, Gürkan TUNA	571-581
35. Alt Uzay k-NN ile Eritmato-Skuamöz Hastalık Türlerinin Sınıflandırılması <i>Classification of Erythmato-Squamous Disease Types with Subspace k-NN</i> Duygu KAYA	507-517

M. B. D.

Kömür Zenginleştirmenin Piroliz Ürün Verimlerine Etkisinin Araştırılması

Aydan AKSOĞAN KORKMAZ^{1*}, İsmail BENTLİ²

¹ Maden Teknolojisi Bölümü, Malatya MYO, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

² Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

*¹ aydan.korkmaz@inonu.edu.tr, ² ismailbentli@gmail.com

(Geliş/Received: 19/12/2018;

Kabul/Accepted: 02/04/2019)

Öz: Bu çalışmada Sivas-Kangal linyiti kullanılarak; öncelikle tüvenan, daha sonra ise Reichert spirali ile zenginleştirilen kömürün pirolizi gerçekleştirilmiştir. Piroliz sonucunda elde edilen katı, sıvı ve gaz ürün verimleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Optimum piroliz şartlarını belirlemek amacıyla 200 ml/dk N₂ gazı akışı ve 3°C/dk ısıtma hızı sabit tutularak; farklı tane boyutu, sıcaklık ve piroliz süreleri ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Belirlenen optimum şartlarda, lavenin de pirolizi yapılmıştır. Deneyler sonucunda tüvenan kömüre göre, zenginleştirilmiş kömürün (lave) çar veriminin %14,26 azaldığı, buna karşılık sıvı ürün veriminin %11,97 ve gaz ürün veriminin ise %2,29 arttığı hesaplanmıştır. Lave kömürün çarında kül içeriği azalırken, sabit karbon içeriği ve kalorifik değerinin arttığı belirlenmiştir. Zenginleştirme işleminin sıvı ürün verimi ve çar ürünün kalitesini olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Linyit, piroliz, zenginleştirme, çar, semi-kok.

Investigation of the Effect of Coal Enrichment on Pyrolysis Product Yields

Abstract: In this study; the pyrolysis of coal which is firstly raw and then enriched by Reichert spiral was carried out using Sivas-Kangal lignite. The solid, liquid and gas product yields obtained as a result of pyrolysis have been calculated and compared. In order to determine optimum conditions in pyrolysis studies 200 ml/min N₂ gas flow and 3°C/min heating rate have been kept constant and different particle size, temperature and pyrolysis times have been tried. In the optimum conditions, clean coal was also pyrolyzed. As a result of the pyrolysis of clean coal, the char yield has decreased compared to the raw coal by 14.26%, while the liquid yield and gas yield have increased by 11.97%, 2.29%, respectively. It has been determined that while the ash content of the clean coal has reduced, the fixed carbon content and calorific value have increased. As a result, it has been concluded that the enrichment has a positive effect on the liquid yield and char product quality.

Key words: Lignite, pyrolysis, enrichment, char, semi-coke.

1. Giriş

Piroliz, oksijensiz ortamda ısıtma yoluyla özellikle kömür gibi fosil yakıtlardan gaz, sıvı ve katı ürünler üretme prosesinin genel adıdır. Bu proses, aynı zamanda karbonizasyon olarak da isimlendirilmektedir [1]. Piroliz, genellikle hava veya diğer bazı gazların varlığında kömürün termal bozunması olarak tanımlanmaktadır [2]. Kullanılan sıcaklığa bağlı olarak 500°C-600°C düşük sıcaklık pirolizi veya semi-karbonizasyon, 900°C-1100°C ise yüksek sıcaklık pirolizi veya koklaşma olarak adlandırılmaktadır. Yüksek sıcaklık karbonizasyonunun temel amacı metalürjik kok üretmektir. Düşük sıcaklık karbonizasyonu ise, sokakların aydınlatılmasında, kimya sanayinde (hammadde), yerel ve endüstriyel amaçlı dumansız yakıt eldesinde kullanılmaktadır [3,4].

Piroliz yüksek kaliteli katı ürün (çar) veya bir takım gaz ve sıvı ürünler elde edebilmek için yapılan önemli termal dönüşüm proseslerinden biridir [1]. Karbonizasyonla sıvı ve gaz yakıt üretilerek, içten yanmalı motorlar için sentetik yakıt elde edilebilmekte, katı yakıtlardaki kükürten oluşan çevre kirliliği de önenebilmektedir. Karbonizasyon işlemi ayrıca kok üretimi ve briketleme amaçları için de uygulanmaktadır [5].

Pirolizde önemli proses değişkenlerinden biri sıcaklıktır. En yüksek katran veriminin elde edildiği sıcaklık, kömürün rankına ve oluşan katranın kararlılığına bağlı olarak değişmektedir. Bu sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklarda da, gaz tepkimeye girmeye devam etmekte ve toplam uçucu bileşik verimi de artan sıcaklığa paralel olarak artmaktadır. Piroliz sıcaklığı, uçucu maddenin miktar ve bileşimini etkileyen önemli bir parametredir. Sıvı, gaz ve katı miktarları piroliz sıcaklığı ile değişmekte ve bunların kimyasal bileşimleri de oldukça farklı olmaktadır [6].

* Sorumlu yazar: aydan.korkmaz@inonu.edu.tr Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-3309-9719, ² 0000-0003-3775-7341

Bir diğer önemli değişken piroliz süresidir. Piroliz süresi, piroliz işlemi sırasında oluşan buhar fazdaki ürünlerin piroliz ortamında tutulma süresidir. Eğer piroliz işleminde hedeflenen ürün katı ürün ise, atık yavaş piroliz (karbonizasyon) işlemine tabi tutulmalıdır. Uzun piroliz sürelerinde, uçucu ürünlerin bozunduğu ve karbon içeren atığın tekrar gazlaştığı gözlenmektedir. Kısa alıkonna zamanlarında yapılan piroliz işlemlerinde ise, işlem sıcaklığı ile kimyasal bileşim arasında bir bağlantı olduğu görülmektedir. Sıcaklık arttıkça, maddenin yapısındaki oksijen içeriği ve H/C oranı azalmaktadır [6, 7].

Kömürün tane büyüklüğü de pirolizi etkileyen önemli bir faktördür. Parçacık boyutunun artması ile pirolizle oluşan uçucuların gaz atmosferine geçiş yolu uzamaktadır. Diğer bir ifadeyle, kütle transferi sınırlaması söz konusu olmaktadır. Bu nedenle, uçucular yüzeyle daha uzun süre temas etmektedirler ve bu da ikincil reaksiyonların oluşmasına ve diğer ürünlere dönüşüme neden olmaktadır. Bunların başlıcaları; uçucuların çeşitli yüzey etkileşimi sonucu koklaşma reaksiyonlarına girip, yeniden polimerize olmaları veya sıcak katı yüzeylerde çeşitli parçalanma reaksiyonlarına uğramalarıdır. Koklaşma tüm piroliz verimini düşürürken, yüzeyde parçalanma reaksiyonları sıvı verimini azaltıp, gaz verimini artırma yönünde etki etmektedir. Ayrıca piroliz ortamında sürükleyici gaz kullanarak kütle transferi sınırlamasını ortadan kaldırmak mümkündür [7].

Literatürde, zenginleştirmenin karbonizasyon/piroliz ürün verimlerine etkisiyle ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, linyitin pirolizi sonucunda oluşan çar (semi-kok), katran (sıvı) ve gaz ürünlerin verimleri hesaplanmıştır. Daha sonra, zenginleştirme sonucunda ürün verimlerinin değişimine bakılmıştır. Bu bağlamda, çalışma alanında bir ilk olma özelliği taşımaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılan Kangal linyiti, draglaynın döküm basamağından ve ocak içinden muhtelif damarlardan belirli periyotlarla yeteri kadar alınmıştır. Havada kurutulan linyit örnekleri, konileme-dörtleme yöntemiyle azaltılmış ve Jones Riffle örnek bölücüyle yaklaşık 2,5 kg'lık kısımlara ayrıldıktan sonra deneylerde kullanılmak üzere kapalı naylon poşetlere konulmuştur. Tüm analizler ve deneyler havada kuru bazda gerçekleştirilmiştir.

Karakterizasyon çalışmaları için linyit örnekleri, laboratuvar tip tek istinat kollu çeneli kırıcıyla 30 mm altına kırıldıktan sonra Fritsch marka çekiçli kırıcı ile 3 mm altına kırılmış, yatay döndürmeli çelik bilyalı değirmen ve Retsch marka halkalı değirmen ile öğütülerek 38 µm boyutunun altına indirilmiştir [8].

Linyit örneğinin yüzey nemi ASTM D1412'ye göre, oda sıcaklığında sabit tartıma gelene kadar bekletilerek hesaplanmıştır. Bünye rutubeti içeriği ASTM D3173'e göre, 0,25 mm'nin altına öğütülmüş havada kuru kömür numunesinin, sıcaklığı iyi kontrol edilebilen ve içinde kuru hava sirkülasyonu olan bir etüvde 104-110°C'de, 1 saat süreyle bekletildikten sonra, uğradığı ağırlık kaybından yararlanılarak saptanmıştır. Kül analizi ASTM D3174'e göre, 0,25 mm'nin altına öğütülmüş 1 g'lık kömür numunesinin, yavaş yavaş 700-750°C'ye çıkarılan hava sirkülasyonlu bir fırında ısıtılarak, ağırlığı sabit kalana kadar ($\pm 0,001$ g) bekletilmesiyle yapılmıştır. Kül miktarı, kalan kütle tartılması sonucu saptanmıştır. Uçucu madde içeriği ASTM D3175'e göre, 1g'lık kömür numunesinin kapaklı bir platin krozede, dikey bir boru fırında 950 \pm 20°C'de 7 dakika tutulduktan sonra uğradığı ağırlık kaybından saptanmıştır. Kömür örneklerinin sabit karbon içerikleri ise; nem, kül ve uçucu madde içerikleri toplamının 100'den çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Toplam kükürt miktarı elementel analiz yönteminde kullanılan LECO marka CHNS-932 cihazıyla, kalorifik değeri ise IKA C1 marka kalorimetre bombasıyla belirlenmiştir.

XRD, FTIR ve elementel analizleri İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi'nde (İBTAM), termal analizler (DTA-TGA) ise İnönü Üniversitesi Kimya Bölümü Laboratuvarında yapılmıştır. XRD analizi için Rigaku D Max 2B cihazı, FTIR analizi için Varian 1000 FT-IR cihazı ve termal karakteristiklerini belirlemek amacıyla da SHIMADZU Differential Thermal Analyser DTA-50 ve SHIMADZU Thermogravimetric Analyser TGA-50 model cihazlar kullanılmıştır.

Zenginleştirme çalışmalarında kül ve kükürt uzaklaştırması amacıyla, Denver HG-7D model Reichert spirali kullanılmıştır. Spiral deneyleri için linyit örnekleri ilk aşamada çeneli kırıcıyla 30 mm altına, ikinci aşamada çekiçli kırıcı ile 3 mm altına kırıldıktan sonra -3,35+2 mm, -2+1,18 mm ve -1,18+0,15 mm olmak üzere 3 boyut grubuna ayrılmıştır. -0,15 mm boyutu ise şlam oluşturmasını önlemek ve yüksek kül içerdiğinden dolayı deneye alınmamıştır. Hazırlanan 3 farklı boyut grubu ile, pülpte katı oranı (%7,5, %15, %25 ve %35) ve ayırma bıçak konumu (90°, 120°ve 150°) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda kül ve kükürt içeriğinin en az olduğu zenginleştirme ürünü (en temiz lave), piroliz deneylerinde kullanılmıştır [8].

Piroliz deneyleri için linyit örnekleri çeneli kırıcıyla 30 mm altına indirildikten sonra Vommak marka merdaneli kırıcıdan kırılarak kapalı devre halinde tamamı 4,75 mm, 3,35 mm ve 1,18 mm altına indirilene kadar geçirilmiştir. Piroliz çalışmalarında Şekil 1'de verilen Protherm PZF model çok zonlu tüp fırın kullanılarak, 200

ml/dk N₂ gazı akışı ve 3°C/dk ısıtma hızı sabit tutularak optimum tane boyutu, sıcaklık ve piroliz süresi belirlenmiştir. Optimum tane boyutunu belirlemek amacıyla numunelerin tamamı 4,75 mm, 3,35 mm ve 1,18 mm tane boyutlarının altına indirilerek, 500°C’de 30 dakika süreyle piroliz deneyleri yapılmıştır. Optimum sıcaklığı belirlemek amacıyla belirlenen tane boyutunda 30 dakika süreyle, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C ve 800°C sıcaklıklarda piroliz deneylerine devam edilmiştir. Son aşamada ise belirlenen tane boyutu ve sıcaklıkta 15, 30, 45 ve 60 dakika piroliz süreleri deneyleri gerçekleştirilmiştir [8].



Şekil 1. Piroliz deneylerinde kullanılan tüp fırın

Çar (katı kalıntı), sıvı, gaz verimleri ve toplam dönüşüm oranlarının hesaplanmasında kullanılan eşitlikler (1)-(4)’de verilmiştir;

Katı (Çar) verimi:

$$\%Katı = \frac{\text{Katı miktarı (g)}}{\text{Toplam örnek miktarı (g)}} \times 100 \quad (1)$$

Sıvı verimi:

$$\%Sıvı = \frac{\text{Sıvı miktarı (g)}}{\text{Toplam örnek miktarı (g)}} \times 100 \quad (2)$$

Gaz verimi:

$$\%Gaz = \frac{\text{Toplam örnek miktarı (g)} - [\text{Katı miktarı (g)} + \text{Sıvı miktarı (g)}]}{\text{Toplam örnek miktarı (g)}} \times 100 \quad (3)$$

Toplam dönüşüm oranı:

$$\%Toplam Dönüşüm = \frac{\text{Toplam örnek miktarı (g)} - \text{Katı miktarı (g)}}{\text{Toplam örnek miktarı (g)}} \times 100 \quad (4)$$

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

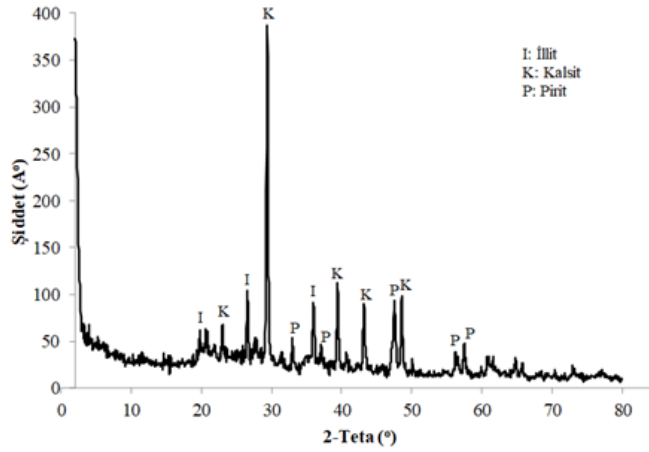
Kangal linyitinin havada kuru bazda gerçekleştirilen kısa analiz ve elementel analiz sonuçlarına göre hesaplanan orijinal, kuru ve kuru-külsüz baz değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Orijinal nem oranı %45,91 olan Kangal linyiti yumuşak linyit sınıfına girmektedir. Ayrıca Kangal linyitinin orijinal bazda kaba nem miktarının %42,56 ve külünün %25,08 olması genç linyit olduğunun diğer göstergeleridir [9]. Kangal linyiti için hesaplanan baz değerleri literatür ile uyumludur [10, 11]. Kangal linyit örneğinin XRD analizi sonucu (Şekil 2) incelendiğinde, linyit yapısında illit (kil minerali) (K, H₃O/H₂O) Al₂ [(OH)₂ / AlSi₃O₁₀], kalsit (CaCO₃) ve pirit (FeS₂) minerallerine ait pikler belirlenmiştir.

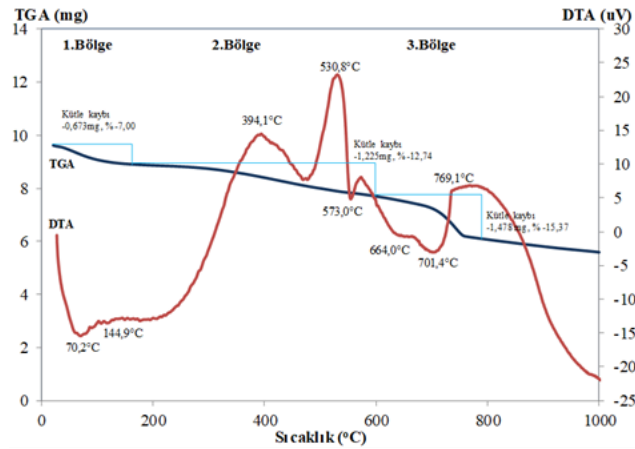
Piroliz deneyleri azot (N₂) gazı ortamında gerçekleştirildiğinden, Kangal linyitinin azot ortamında DTA-TGA değişimi Şekil 3’de verilmiştir. DTA eğrisinde 3 bölge görülmektedir. Termogram eğrisinde yaklaşık 70°C ve 145°C’lerde görülen kaba nem ve bünye nemine bağlı olan pikler 1.bölgeyi, 394°C’de başlayan ve 664°C civarında biten uçucu madde çıkışı 2.bölgeyi, karbonat parçalanma başlangıç sıcaklığı olan 701°C’deki pik 3.bölgeyi göstermektedir.

Tablo 1. Kangal linyitinin kısa ve elementel analiz sonuçları

Kısa analiz	Orijinal baz	Havada kuru baz	Kuru baz	Kuru-külsüz baz
Kaba nem (%)	42,56	-	-	-
Nem (%)	45,91	5,83	0	-
Kül (%)	25,08	43,66	46,36	-
Uçucu madde (%)	18,03	31,91	33,89	63,18
Sabit C (%) (fark ile)	10,98	18,60	19,75	36,82
Toplam S (%)	1,69	2,94	3,12	-
AID (kcal/kg)	1387	2860	3074	5662
C (%)	-	22,81	24,22	45,16
H (%)	-	2,8	2,97	5,54
N (%)	-	0,36	0,38	0,71
S (%)	-	2,95	3,13	5,84
O (%) (fark ile)	-	71,08	69,30	42,75

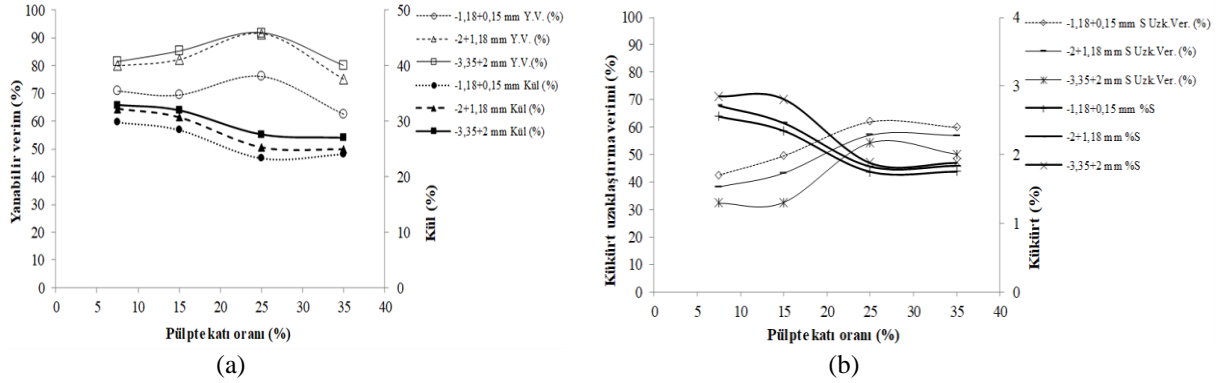


Şekil 2. Kangal linyitinin XRD analiz sonucu



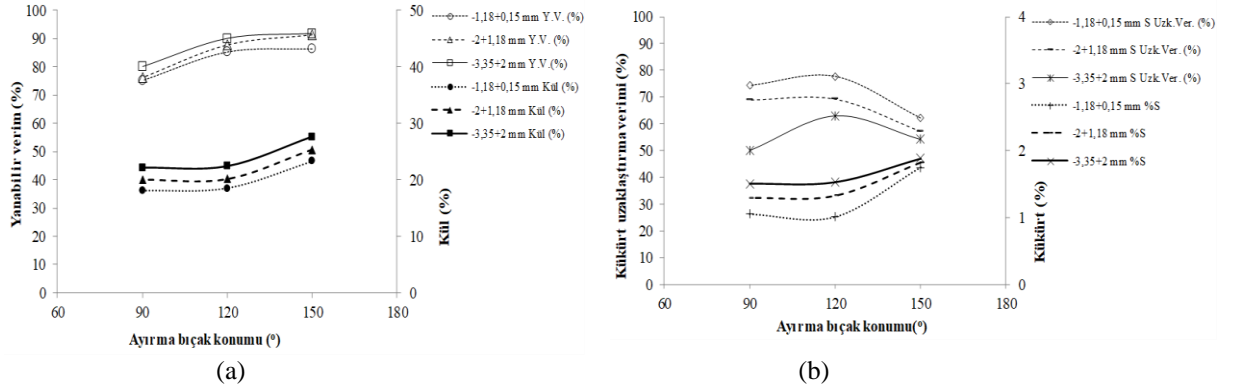
Şekil 3. Kangal linyitinin azot atmosferinde sıcaklığa bağlı olarak termal gravimetri değişimi

Tüm tane boyutlarındaki örnekler için bıçak açıklığı sabit tutularak, pülpte katı oranı değiştirilmiş ve elde edilen Reichert spiral sonuçları Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4a'dan Reichert spirali ile gerçekleştirilen tüm boyut gruplarında, katı oranına bağlı olarak kül ve yanabilir verim değişimlerinin benzer eğilim gösterdiği görülmüştür. Tüm tane boyutlarında %25 katı oranında en düşük lave külleri ve en yüksek yanabilir verimler elde edilmiştir. Şekil 4b'den tane boyutunun azaltılmasına ve piritik kükürt serbestleşmesine bağlı olarak hem lave kükürdünde azalma, hem de toplam kükürt uzaklaştırma veriminde artış olduğu belirlenmiştir. Tane boyutlarına ait lavelerin birleştirilmesiyle, %2,94 S içeren besleme linyitinden %57,6 kükürt uzaklaştırma verimiyle %1,82 S içeren lave kazanılmıştır. Deneyler sonucunda %25 katı oranının optimum katı oranı olarak seçilmesine karar verilmiştir. Seçilen katı oranı literatür ile uyumludur [12, 13].



Şekil 4. Reichert spiralinde, 150° bıçak açıklığında tane boyutlarına göre, pülpte katı oranına bağlı olarak kül ve yanabilir verim değişimi/ kükürt ve kükürt uzaklaştırma verim değişimi

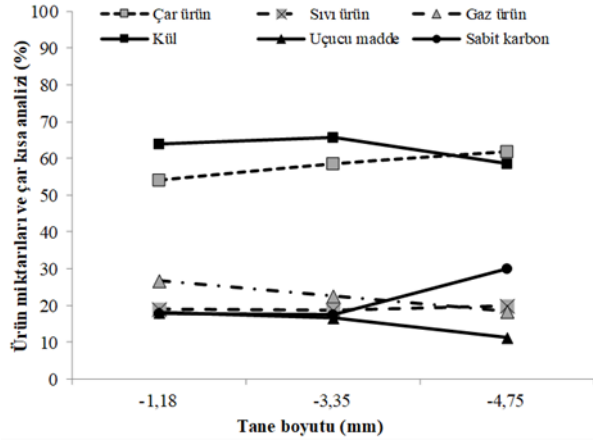
Pülpte katı oranı belirlendikten sonra, lave bıçak ayarları 90° ve 120° olacak şekilde değiştirilerek deneylere devam edilmiştir. Bıçak ayarlarının değişimine göre elde edilen deney sonuçları Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Reichert spiralinde, %25 katı oranında tane boyutlarına göre, bıçak konumuna bağlı olarak kül ve yanabilir verim değişimi/ kükürt ve kükürt uzaklaştırma verim değişimi

Şekil 5a'dan görüldüğü gibi tüm tane boyutlarında en düşük lave kül değerleri 90°'lik bıçak konumunda olmasına rağmen, düşük yanabilir verimlerinden dolayı 120° bıçak açıklığının seçilmesinin uygun olduğuna karar verilmiştir. Şekil 5b'den ayırıcı bıçağın 90° ve 120° konumlarında tüm boyutlarda kükürt içeriği birbirine yakınken, kükürt uzaklaştırma verimlerinin 120°'de daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bundan dolayı 120° bıçak açıklığı tercih edilmiştir. Deneyler sonucunda %43,66 kül içeren besleme linyitinden, %87,75 yanabilir verimle %20,41 küllü lave elde edilmiştir. Beslemede %2,94 olan kükürt içeriğinin lavede %1,29 olduğu, dolayısıyla kükürdün yaklaşık %70'nin giderildiği belirlenmiştir. Elde edilen bu lave, daha sonra piroliz deneylerinde kullanılmıştır.

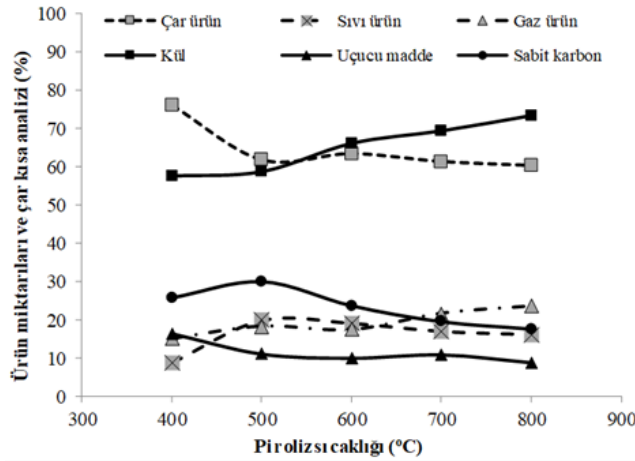
Piroliz deneylerinde çalışılacak tane boyutunu belirleyebilmek amacıyla, -4,75 mm, -3,35 mm ve -1,18 mm boyutlu kömür numuneleri ile, 200 ml/dk N₂ gazı akışında, 3°C/dk ısıtma hızıyla, 500°C'de 30 dakika süreyle piroliz deneyleri yapılmıştır. Kangal linyitinin piroliz deneylerinin tane boyutuna göre ürün verimi değişimleri ve kısa analiz sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. 500°C sıcaklık ve 30 dakika piroliz süresinde farklı tane boyutlarında ürün verimleri ve çar kısa analiz değişimi

Şekil 6 incelendiğinde linyit için en uygun tane boyutunun -4,75 mm olduğu görülmüştür. Bu boyutta %61,70 çar, %19,92 sıvı ve %18,38 gaz verimi elde edilmiştir. Beslemenin sabit karbonu %18,60'dan %30,13'e yükselmiştir. Bundan sonraki aşamalarda piroliz tane boyutu olarak 4,75 mm altı kullanılmıştır.

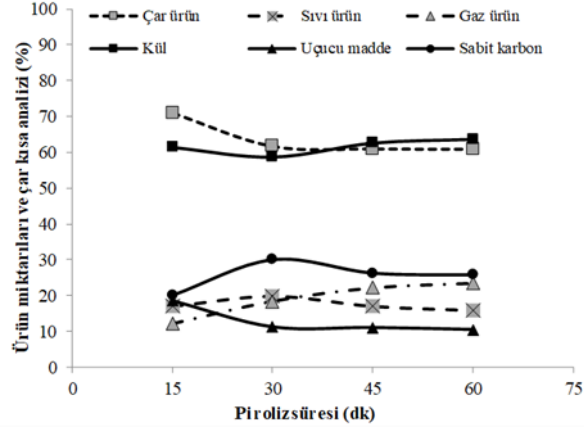
-4,75 mm tane boyutunda 400°C, 500°C, 600°C, 700°C ve 800°C'de piroliz deneyleri gerçekleştirilmiştir. Piroliz sıcaklığına ait deney sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7'den görüldüğü gibi literatüre uygun olarak piroliz sıcaklığı arttıkça, çar ürün verimi azalırken sıvı ve gaz ürün verimleri artış göstermiştir [14-17]. Çar veriminin ve buna bağlı olan sabit karbon içeriğinin yüksek ve nispeten çar külünün az olduğu 500°C'nin piroliz sıcaklığı olarak alınmasına karar verilmiştir.



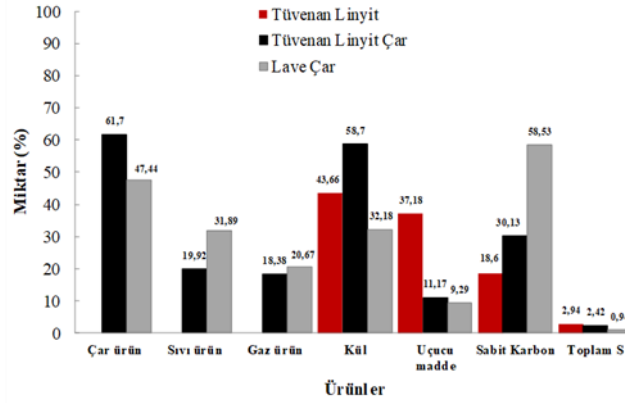
Şekil 7. -4,75 mm tane boyutu ve 30 dakika piroliz süresinde farklı sıcaklıklarda ürün verimleri ve çar kısa analizi değişimi

Fırın 500°C'ye ulaştıktan sonra 15, 30, 45 ve 60 dakika süreyle bekletilen numunelerin piroliz deney sonuçları Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8'den, Kangal linyitinin 500°C'de piroliz süresinin 30 dakika seçilmesinin uygun olduğu düşünülmüştür.

Piroliz deneyleri sonucunda, Kangal linyiti için -4,75 mm tane boyutu, 500°C piroliz sıcaklığı ve 30 dakika piroliz süresinin optimum piroliz şartları olarak seçilmesine karar verilmiştir. Bundan sonra çalışmanın esasını oluşturan zenginleştirme yönteminin piroliz ürünlerine etkisini belirlemek amacıyla, Reichert spiralinden elde edilmiş lavenin, belirlenen optimum çalışma şartlarında piroliz deneyleri gerçekleştirilmiştir. Piroliz deneylerinin tüvenan linyite göre karşılaştırılması Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 8. -4,75 mm tane boyutunda ve 500°C sıcaklıkta farklı piroliz sürelerinde ürün verimleri ve çar kısa analiz değişimi



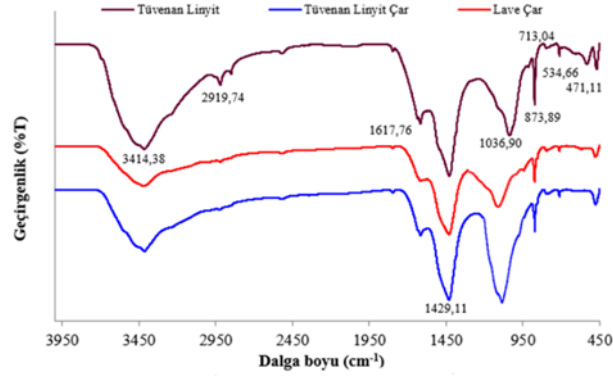
Şekil 9. Tüvenan linyit, tüvenan çar ve lave çarın piroliz ürün verimleri ve kısa analiz değişimleri

Şekil 9 incelendiğinde, Kangal linyitinin Reichert spirali zenginleştirilmesiyle yapılan piroliz deneylerinde, tüvenan Kangal linyite göre çar üründe %14,26 azalma, sıvı üründe %11,97 ve gaz üründe ise %2,29 artış olduğu tespit edilmiştir. Çar ürünün kısa analizinde kül içeriği %58,70’ten %32,18’e azalırken, sabit karbonun içeriği %30,13’den %58,53’e yükselmiştir. Linyitin pirolizi sonucunda elde edilen çar ürünün kalorifik değeri kuru-külsüz bazda 8820 kcal/kg iken, lave ürünün pirolizi sonucunda kalorifik değer 9240 kcal/kg’ye yükselmiştir. Bu durumda kalori değerinde yaklaşık 420 kcal/kg’lik bir artış olduğu belirlenmiştir. Linyitin tüvenan ve lave halde piroliz edilmesiyle çar üründe sırasıyla %2,42 S ve %0,94 S elde edilmiştir. Bu sonuç ve kısa analiz sonuçları, piroliz ürünlerinden çarın kullanılmasını teorik olarak mümkün hale getirmiştir.

Piroliz deneylerinin sonuçlarının daha iyi açıklanabilmesi amacıyla, Kangal linyitine ait tüvenan linyit, tüvenan piroliz ve lave pirolizinden elde edilen çar ürünlerin FTIR analiz sonuçları Şekil 10’da gösterilmiştir.

Şekil 10’da görülen 3414 cm⁻¹ dalga boyundaki pik, sudaki OH⁻ gruplarına ve linyitin yapısında bulunan kil minerallerine ait olan piktir. Beklendiği gibi, piroliz sonucunda bu pikin şiddeti çar ürünlerde tüvenan linyite oranla azalmıştır. Numuneler havada kuru olduğu için, çar numunelerde görülen 3414 cm⁻¹ pikinin numunedeki kil mineralinin adsorbe ettiği suyun sonucu olabileceği düşünülmüştür. Hidrokarbon türlerine bağlı olarak ortaya

çıkan ve alifatik yapıyı gösteren C-H titreşim bandı ise 2920 cm^{-1} değerinde görülmektedir. Bu pikin çar ürünlerde neredeyse kaybolduğu belirlenmiştir. Bu durum piroliz işlemi sırasında birçok C-C bağı bozularak parçalandığına işaret etmektedir. Piklerin şiddetindeki azalmanın uçucu madde çıkışına bağlı olarak gerçekleştiği düşünülmektedir. 1618 cm^{-1} de görülen pik aromatik yapıdaki C=C ve C=O karbonil gerilmelerini gösteren piktir. 1430 cm^{-1} piki ise yapı içerisindeki metal (Ca, Mg, Na, K) iyonlarına ait karboksilat gruplarını göstermektedir. Bu pikte azalma görülmesi, çar ürünlerin, tüvenan linyitten daha aromatik yapıda olduğunu belirtmektedir. 1037 cm^{-1} piki yapıdaki kül ve külün inorganik yapısındaki Si-O-Al/Fe/Ca/Mg vb. gerilmelere aittir. Lave çarda bu pikin şiddetinde bir azalma olduğu belirlenmiştir. Bu pik, yapı içerisindeki silisli ve inorganik maddeleri gösterdiği için, zenginleştirme işleminin başarılı olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 10. Kangal linyitine ait tüvenan, tüvenan piroliz ve lave piroliz çar ürünlerinin FTIR analiz sonuçları

4. Sonuçlar

- Zenginleştirme işlemleri, tüvenan linyitin kül ve kükürt içeriğini azaltarak daha kaliteli teknolojik ürün elde edilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Reichert spirali kullanılarak yapılan deneyler sonucunda, tüvenan kömüre göre kül içeriği yaklaşık %23, kükürt içeriği ise %1,7 azaltılmış olan temiz lave elde edilmiştir. Temiz kömürün kalorifik değerinde 1130 kcal/kg 'lık bir artış olduğu hesaplanmıştır.
- Tüvenan Kangal linyiti için yapılan tüm piroliz çalışmalarının sonucunda optimum şartlar; $-4,75\text{ mm}$ tane boyutu, 500°C piroliz sıcaklığı ve 30 dakika piroliz süresi olarak seçilmiştir. Belirlenen bu şartlarda lavenin de pirolizi gerçekleştirmiştir. Zenginleştirme işlemi ile, tüvenan kömüre göre çar veriminde azalma (%14,26), buna karşılık sıvı ürün (%11,97) ve gaz ürün verimlerinde (%2,29) ise artış olduğu görülmüştür. Lave çarın kül içeriği azalırken, sabit karbon içeriği ve buna bağlı olarak kalorifik değerinin arttığı belirlenmiştir.
- Tüvenan linyit, tüvenan çar ve lave çarının her 1000 kcal başına düşen kükürt oranları sırasıyla %0,52, %0,27 ve %0,10 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, linyitin yıkanması gerektiğini ve kükürt açısından çevre kirliliğini en aza indirecek yakıtın elde edilebileceğinin teorik olarak mümkün olduğunu göstermiştir.
- Zenginleştirme ve piroliz çalışmaları, Kangal linyitinden kükürt uzaklaştırmanın başarılı olarak yapılabileceğini göstermiştir. Çar ürünlerin kısa analizi karşılaştırıldığında, kül ve kükürt giderimi açısından kömür yıkamanın faydalı olduğu açıkça görülmüştür. Çalışma sonuçlarından, zenginleştirme işleminin piroliz ürünlerinden çar ürünün kalitesi üzerine belirgin bir şekilde olumlu yönde katkı sağladığı anlaşılmıştır.
- Tüm bu çalışmaların sonucunda, zenginleştirme yöntemi ve piroliz ürünlerinden çar ve sıvı ürün üzerine daha ayrıntılı araştırmaların yapılmasının uygun olacağı kanaati oluşmuştur.

Teşekkür

Bu yayında sunulan araştırma, BAP-2015/34 sayılı proje kapsamında İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Altun N.E, Hiçyılmaz C, Kök M.V. Effect of particle size and heating rate on the pyrolysis of Silopi asphaltite. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 2003; 67: 369-379.
- [2] Zhang D. Thermal decomposition of coal. *Encyclopedia of Life Supp. Systems (EOLSS)*, 2005, 261-267.
- [3] Sychkov P.A, Jirnov B.S, Khajbullin A.A. Not fuel using of brown coal. *Oil and Gas Business*, 2009, 1-10.
- [4] Miller B.G. *Coal Energy Systems*. San Diego, USA: Elsevier Academic Press, 2005.
- [5] Ballice L. Classification of volatile products evolved from temperature-programmed pyrolysis of Soma-lignite and Şirnak-asphaltite from Turkey. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 2002; 63: 267-281.
- [6] Özdoğan S, Karaosmanoğlu F. Kömürün pirolizi, Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri. Kural O. İstanbul: Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş, 1998; 497-509.
- [7] Ekinci E, Okutan H. 1991. Piroliz-düşük sıcaklık karbonizasyonu, Kömür. Kural O. İstanbul: Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş, 1991; 632.
- [8] Aksoğan Korkmaz A. Zenginleştirme yöntemlerinin değişik linyitlerin piroliz ürün verimleri üzerine etkisi. Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye, 2017.
- [9] Kemal M, Arslan V. Kömür Teknolojisi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 2010.
- [10] Toprak S, Yalçın Erik N. Petrographical properties and unusual features of Kangal coals, Sivas-Turkey. *International Journal of Coal Geology* 2011; 86: 297-305.
- [11] Karayığit A.İ, Gayer R.A, Ortac F.E, Goldsmith S. Trace elements in the Lower Pliocene fossiliferous Kangal lignites, Sivas, Turkey. *International Journal of Coal Geology* 2001; 47: 73-89.
- [12] Altun N.E, Hiçyılmaz C. Alpagut-Dodurga atık kömürlerinin değerlendirilmesi. Türkiye 13. Kömür Kongresi; 29-31 Mayıs 2002; Zonguldak. syf. 113-123.
- [13] Öney Ö, Tanrıverdi M, Çiçek T. Zonguldak ince kömürlerinin spiral ayırıcı ile zenginleştirilmesi. Türkiye 19. Kömür Kongresi; ;1-23 Mayıs 2014, Zonguldak. syf. 217-225.
- [14] Wei Q, Qiang X, Yuyi H, Jiatao D, Kaidi S, Qian Y, Jincao W. Combustion characteristics of semicokes derived from pyrolysis of low rank bituminous coal. *International Journal of Mining Science and Technology* 2012; 22: 645-650.
- [15] He Q, Wan K, Hoadley A, Yeasmin H, Miao Z. TG-GC-MS study of volatile products from Shengli lignite pyrolysis. *Fuel* 2015; 156: 121-128.
- [16] Lievens C, Ci D, Bai Y, Ma L, Zhang R, Chen Y.J, Gai Q, Long Y, Guo X. A study of slow pyrolysis of one low rank coal via pyrolysis-GC/MS. *Fuel Processing Technology* 2013; 116: 85-93.
- [17] Li X, Xue Y, Feng J, Yi Q, Li W, Guo X, Liu K. Co-pyrolysis of lignite and Shendong coal direct liquefaction residue. *Fuel* 2015; 144: 342-348.

Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Portland Çimentosu, Silis Dumanı, Uçucu Kül Kombinezonlarının Basınçlı Su Geçirgenliğine Etkisi

Paki TURĞUT^{1*}, Kazım TÜRK², Nuray KARADAŞ³

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

³ Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi, Şanlıurfa, Türkiye

*¹ pakiturgut@inonu.edu.tr, ² kazim.turk@inonu.edu.tr, nuraycekilmez63@gmail.com

(Geliş/Received: 08/02/2019;

Kabul/Accepted: 23/03/2019)

Öz: Su depolarında, baraj yapılarında, bazı endüstriyel binaların yapımında ve onarımında kullanılan beton ve harçların, basınçlı su geçirgenliği değeri dayanıklılık bakımından büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, Portland çimentosu, silis dumanı ve uçucu kül içeren ikili ve üçlü kendiliğinden yerleşen harçlarda ve bunların kombinezonlarından oluşan numunelerde basınçlı su geçirgenliği araştırılmıştır. Bu örneklerde basınçlı su işleme derinliği belirlenmiştir. Portland çimentosu ve %10 silis dumanı içeren ikili numunede, Portland çimentosu, %10 silis dumanı ve %35 uçucu kül içeren üçlü numunede basınçlı su geçirgenliği değerleri azaltılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kendiliğinden yerleşen harç, silis dumanı, uçucu kül, basınçlı su geçirgenliği.

Effect of Portland Cement, Silica Fume, Fly Ash Combinations On Pressurized Water Permeability of Self-Compacting Mortars

Abstract: The water permeability has great importance with respect to durability for concrete structures subjected to pressure and mortars used in construction and repair of water tanks, dam structures, and some industrial buildings. In this work, the water permeability under pressure was investigated in binary and ternary self-compacting mortars with Portland cement, silica fume and fly ash, and at their combinations. Water penetration depths were determined in these samples. The water penetration depths were decreased in the binary sample containing Portland cement and 10% silica fume, and the ternary sample containing Portland cement, 10% silica fume and 35% fly ash.

Key words: Self-compacted mortar, silica fume, fly ash, pressurized water penetration.

1. Giriş

Bir yapının dayanıklılığı, söz konusu yapının hizmet ömrüyle aynı anlama gelmekte ve çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Bir yapının herhangi bir çevre koşulundaki dayanıklılığı, bir başka çevre koşulundaki dayanıklılığını ifade etmemektedir. Bağlayıcı olarak Portland çimentosu kullanılmış betonun dayanıklılığı, bu betonun ufalanmaya, kimyasal saldırıya, aşınmaya ve diğer bozulma etkilerine karşı direnci olarak tanımlanmaktadır [1]. Bir başka deyişle, bulunduğu çevrenin zararlı etkilerine maruz kaldığında, gerçek yapısını ve kalitesini hizmet süresince kaybetmeyen beton olarak isimlendirilmektedir. Gerçekte, yapılarda kullanılan malzemelerin hiçbirisi kalıtsal olarak dayanıklı değildir. Zararlı çevrenin etkisiyle mikro-yapıları ve bazı özellikleri zamanla değişebilmektedir. Kullanım koşulları göz önüne alınarak tasarlanmış bir malzemenin tahribata uğraması, bu malzemenin kullanıldığı yapıda güvensizlik ve masraf oluşturuyorsa, o malzemenin hizmet ömrünü tamamladığı kabul edilmektedir [2]. Bu nedenle, yapı malzemelerinin mekanik özellikleri ve üretim maliyetlerinin yanında, dayanıklılığı da mutlaka dikkate alınmalıdır. Yapılarda kullanılan malzemelerde meydana gelen tahribatlardan dolayı yapılacak bir onarım, başlangıçta hesaplanan toplam yapı maliyetini etkilemektedir.

Yapı malzemelerinin içinde bulunduğu zararlı çevre koşulları değişkenlik gösterebilir. Bu zararlı çevre koşullarından birisi, yapı malzemesinin temas ettiği sudur. Yaşam için zorunlu olan su, aynı zamanda birçok doğal malzemenin bozulmasında da önemli rol oynamaktadır. Betonun dayanıklılığında da birçok problemler ortaya çıkarmaktadır. Boşluklu katılara etki eden su, hem fiziksel hem de kimyasal bozulmanın birçok aşamasında yer almaktadır. Boşluklu katılar içerisinde suyun dolaşımıyla oluşan fiziko-kimyasal olaylar,

* Sorumlu yazar: paki.turgut@inonu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-3711-4605, ² 0000-0002-9488-1587, ³ 0000-0003-3164-0724

katılarda su geçirgenliğinin artmasıyla meydana gelmektedir. Betondaki kimyasal bozulma, kimyasal etkiye maruz kalan betonun ya yüzeyiyle sınırlı kalmakta ya da betonun iç kısımlarında oluşmaktadır. Yapı malzemesindeki tahribatın hızı, betonu oluşturan bileşenlerin özelliklerinin yanında su içerisindeki iyonların yoğunluğuna ve tipine de bağlı olmaktadır.

Deniz, yeraltı, nehir, göl, buz ve su buharı yeryüzünde bulunan en bol sulardır. Suyun molekül boyutu oldukça küçük olduğundan, küçük boşluklara ve çatlaklara kolayca girebilmektedir. Suyun çözme özelliği diğer sıvılardan oldukça yüksektir. Bazı durumlarda suyun içerisinde değişik iyonlar ve gazların bulunması, katılmış çimento hamurunun kimyasal çözünmesine neden olmaktadır. Mehta ve Gerwick [3], betondaki kimyasal bozulmayı üç gruba ayırmıştır; Birincisi, çimento hamuru bileşenlerinin yumuşak suyla hidrolizidir. İkincisi, zararlı kimyasal sıvılar ile çimento hamuru arasında katyon değişimidir. Sonuncusu ise, betonda genişlemeye sebep olan sülfat saldırısı, alkali-agrega reaksiyonu ve donatının paslanmasıdır. Fiziksel veya kimyasal tahribatlardan herhangi birinin başlaması, bunlardan herhangi birisinin işini daha da kolaylaştırmaktadır. Örneğin, betonun yüzeyine yakın kısmının fiziksel olarak hasar görmesi, eğer söz konusu beton kimyasal olarak zararlı bir ortamdaysa kimyasal tahribatı hızlandırmaktadır. Böylece, kimyasal etkiden kaynaklanan bozulma da, fiziksel bozulma ortaya çıkarmaktadır. Örneğin, sertleşmiş çimento hamurundaki bileşenlerin yumuşak suyla veya asidik sıvılarıyla dışarıya salınımı, betonun içindeki boşluk miktarını artırmaktadır. Böylece, beton aşınma etkilerine de dayanıksız olmaktadır.

Betonun dayanıklılığını etkileyen önemli faktörlerin en başında, sıvıların sertleşmiş çimento hamurunun içerisinde geçirgenliği gelmektedir. Düşük su geçirgenliğine sahip betonların, yüksek dayanım ve dayanıklılık sağladığı bilinmektedir. Geçirgenliği düşük olan betonların kimyasal saldırılara karşı direnci daha yüksek olmaktadır. Betonun içerisine basınç etkisiyle ya da normal veya kılcal yolla su geçtiğinde, klor iyonları içeren çözünebilir tuzlar da beton içerisine taşınmaktadır. Bu tuzlar donatının korozyonuna ve hidratasyon ürünlerinin değişerek bozulmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla, genellikle düşük sıvı geçirgenliğine sahip olan betonların dayanıklılığı yüksek olmaktadır [4]. Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, betonun basınç etkisindeki su geçirgenliğinin incelenmesi ve gerekli önlemlerin betonun tasarım aşamasında dikkate alınması önem kazanmaktadır. Hidratasyon olayının tamamen gerçekleştiği Portland çimentosu hamurunda oluşan kalsiyum silikat hidrat (*CSH*), kalsiyum hidroksit (*CH*) ve kalsiyum alüminat-silikat hidrat (*CASH*) çözünmez hidratasyon ürünleri, bu ürünlerin içerisindeki veya etrafındaki boşluk sıvısının pH değerinin yüksek olması durumunda denge halindedir. Boşluk sıvısı içerisindeki Na^+ , K^+ ve OH^- iyonlarının miktarına bağlı olan sertleşmiş Portland çimentosu hamurunun pH değerleri 12.5 ile 13.5 arasında değişmektedir. Sertleşmiş Portland çimentosu hamuru içerisindeki bu kimyasal denge, sertleşmiş çimento hamuru içerisine sızan suların ortamın pH değerini düşürmesiyle bozulmaktadır. Sertleşmiş çimento hamuru içerisindeki boşluk sıvısının pH değerinin 12.5'den daha düşük olması, bazı hidratasyon ürünleri içerisindeki bazı atomların iyon olarak salınımına neden olmaktadır. Yumuşak su içerisindeki karbondioksit, deniz sularındaki sülfat ve klor iyonları, yeraltı suları ve endüstriyel atık sularda bulunan hidrojen iyonları, suyun pH değerini 6'dan daha düşük bir değere düşürebilmektedir. Bu durum sertleşmiş çimento hamuru için oldukça zararlıdır. Yoğuşma ve sisten meydana gelen ya da buz veya yağmurdan gelen yumuşak sular içerisinde çok az miktarda veya hemen hemen hiç Ca^{2+} iyonu bulunmaz. Bu tür suların sertleşmiş çimento hamuru ile temas etmesi durumunda, bazı hidratasyon ürünleri içerisindeki Ca^{2+} iyonları çözünmeye başlar. Sertleşmiş çimento hamurundan bu tür suların basınçlı bir şekilde akışı durumunda, sertleşmiş çimento hamurunun bozulması çok daha hızlı olmaktadır. Sertleşmiş çimento hamuru içerisindeki Ca^{2+} iyonunun salınımı, çoğunlukla hidratasyon ürünlerinden birisi olan *CH'*de meydana gelmektedir. Sertleşmiş çimento hamuru içerisindeki Ca^{2+} iyonlarının salınımı dayanım azalmasına neden olmaktadır. Örneğin, sertleşmiş çimento hamuru içerisindeki Ca^{2+} iyonlarının üçte birinin ayrılması, basınç dayanımı değerinin yarıya düşmesine neden olmaktadır. Bu durum, basınçlı saf su etkisine maruz kalan baraj ve akarsu yapılarında büyük problemler ortaya çıkarmaktadır. Baraj yapılarının boşluklu ya da çatlaklı betonlarının içerisindeki *CH'*nin sertleşmiş çimento hamuru içerinden ayrılması çok hızlı olmaktadır. Sertleşmiş çimento hamuru içerisindeki *CH'*nin salınım miktarı, toplam kireç miktarının %50'sine kadar ulaşabilmektedir [5].

Betonun bazı özelliklerini iyileştirmede bazı mineral katkıları Portland çimentosuyla birlikte kullanılmaktadır. Puzolanik özelliklere sahip olan silis dumanı (SD) ve uçucu kül (UK), betonda yaygın bir şekilde kullanılan mineral katılardır. SD ve F sınıfı UK'nin betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini bildiren birçok çalışma yapılmıştır. Portland çimentosu klinkerinin ana bileşenleri C_3S , C_2S , C_3A and C_4AF 'dir. Bağlantılar çimento kimyasındaki kısaltma harflerle verilmiştir. Bu ana bileşenlerin hidratasyon ürünleri aşağıda verilmiştir [6].





SD ve F sınıfı UK'nin, C_3S ve C_2S ana bileşenlerinin hidrasyonu sonucu meydana gelen CH ve ana bileşenlerden C_3S ile reaksiyonları sonucunda aşağıda verilen CSH ürünleri oluşur.



Portland çimentosu ve puzolanik reaksiyon sonucunda oluşan CSH ürünleri birbirinin benzeridir. Ancak Portland çimentosunun hidrasyonu sonucu oluşan CSH ürünündeki C/S oranı, puzolanik reaksiyon sonucunda oluşan CSH 'nin C/S oranından biraz daha büyüktür. Puzolanik reaksiyondan oluşan CSH ürünündeki C/S oranı 1 olmasına karşın, C_3S ve C_2S ana bileşenlerinin hidrasyonu sonucunda meydana gelen CSH 'nin C/S oranı 1.7'dir. C/S oranının azalması, Portland çimentosunun hidrasyonu sonucunda oluşan CSH üzerinde ikincil bir puzolanik reaksiyonun meydana geldiğini gösterir. [6]. SD ve F sınıfı UK'nin puzolanik reaksiyonu sonucunda oluşan CSH ürününden dolayı, boşluk çözeltilisinin kompozisyonu değişmektedir. SD ve F sınıfı UK'nin puzolanik reaksiyonundan dolayı, boşluk çözeltilisindeki Ca^{2+} iyonları azalmaktadır. Böylece, Portland çimentosu hamurunun boşluk miktarı da değişmektedir. Boşluk miktarındaki değişimin nedeni şudur; Kullanılan Portland çimentosu miktarı sabit olmasına karşın, SD ve F sınıfı UK kullanıldığından daha fazla CSH üretilir. CSH 'in hacmi, SD ve CH 'in toplam hacminden daha büyüktür. Çünkü oluşan CSH ürünü su içermektedir. Dolayısıyla, sertleşmiş hamurdaki boşluk etkili bir şekilde azalmaktadır.

Bu çalışmada, Portland çimentosu yerine, SD ve F sınıfı UK'nin ikili ve üçlü kombinezonlarından oluşan kendiliğinden yerleşen harçların basınçlı su geçirgenliği (BSG) incelenmiştir. SD ve UK mineral katkılarının, betonun BSG üzerine etkileriyle ilgili çalışmalar aşağıda verilmiştir. Ramezianpour ve ark. [4] kendiliğinden yerleşen 56 günlük betonlardaki BSG derinliğinin, Portland çimentosu ile UK'nin ağırlıkça %50'ye kadar olan yer değiştirmesinde önemli olmadığını belirtmişlerdir. Ancak %70'lik bir yer değiştirmede ise, su işleme derinliğinin arttığını rapor etmişlerdir. Falaschini ve ark. [7], Portland çimentosu ile UK'nin ağırlıkça %20 yer değiştirdiği normal betonlarda, su işleme derinliğinin salt Portland çimentosuyla üretilmiş kontrol numunesine kıyasla daha büyük olduğunu ileri sürmüşlerdir. Elrahman ve Hillemeier [8], yüksek performanslı betonlarda, SD ve UK'nin BSG derinliğine etkisini araştırmışlardır. Portland çimentosu ile UK'nin ağırlıkça %30 yer değiştirmesi durumunda, su işleme derinliğinin kontrol numunesiyle (Portland çimentosu) aynı olduğunu bulmuşlardır. Portland çimentosu ile SD'nin %10 yer değiştirmesi durumunda ise, BSG değerinin azaldığını ileri sürmüşlerdir. Borosnyoi [9], Portland çimentosu ile SD'nin ağırlıkça %3, 5, 10 ve 15 yer değiştirmelerinin su geçirgenliğine etkisini incelemiştir. %5 SD kullanıldığında, su işleme derinliğinin azaldığını ancak %3, 10 ve 15 yer değiştirme durumlarında arttığını ileri sürmüşlerdir. Ziari ve ark. [10], Portland çimentosu ile SD'nin %8 yer değiştirdiği kendiliğinden yerleşen betonlarda su işleme derinliğinin kontrol numunesine kıyasla azaldığını belirtmişlerdir. %20 UK içeren betonlarda da, su işleme derinliğinin azaldığı belirtilmiştir. Rostami ve Behfarnia [11], alkali aktiviteli granüle cüruf betonlarında, Portland çimentosu ile SD'nin %5, 10 ve 15 yer değiştirmelerini incelemiş ve SD miktarı arttıkça, su işleme derinliğinin kontrol betonuna kıyasla azaldığını iddia etmişlerdir. Görüldüğü gibi, UK ve SD'nin birlikte kullanılmasıyla ilgili olarak, su işleme derinliği üzerine literatürde bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca, mineral katkı olarak UK veya SD kullanılan betonlarda, UK veya SD'nin BSG değerine etkileriyle ilgili olarak literatürdeki sonuçlar birbirinden oldukça farklıdır.

2. Deneysel Çalışma

2.1. Numunelerin hazırlanması

Bu çalışmada, Türk [12] tarafından hazırlanan numuneler kullanılmış ve bu numunelerin özellikleri Türk [12] tarafından detaylı bir şekilde verilmiştir. Harç numune karışımlarında, Portland çimentosu (PÇ), F sınıfı UK ve SD kullanılmıştır. Bu malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Bileşenler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl ⁻	LOI	Yoğunluk	Özgül yüzey (cm ² /g)
PÇ	20.2	5.8	3.23	64.1	-	2.66	0.006	2.58	3.1	3484
UK	58.82	19.65	10.67	2.18	3.92	0.48	-	0.91	2.08	3812
SD	91	0.58	0.24	0.71	0.33	-	-	1.84	2.2	96.5%<45µm

Harç numunelerin karışımında kullanılan malzemelerin miktarları da Tablo 2 ve 3'te verildi. Kontrol karışımında bağlayıcı olarak sadece PÇ kullanılmıştır. Diğer karışımlarda ise, ikili (PÇ+UK, PÇ+SD) ve üçlü (PÇ+UK+SD) bağlayıcılar kullanılmıştır. Mineral katkı içeren karışımlarda, PÇ miktarı azaltılmış ve azaltılan bu PÇ miktarı yerine mineral katkı kullanılmıştır. Kontrol karışımında 640 kg/m³ PÇ kullanılmıştır. F sınıfı UK'nın PÇ ile yer değiştirmeleri ağırlıkça %25, 30 ve 35 ve SD'nin %5, 10, 15 ve 20'dir [12]. Örneğin, SD5UK25 numunesinde, PÇ ile SD ve UK'ün toplam yer değiştirmesi ağırlıkça %30'dur. Yani, ağırlıkça %5 SD ve %25 UK toplamıyla PÇ ağırlığı yer değiştirmiştir. Kendiliğinden yerleşen harç numunelerinin hazırlanması işleminde ASTM C109 [13] standardı takip edilmiş ve taze karışım testleri ise, EFNARC [14]'a göre yapılmıştır. EFNARC [14] 'ta istenilen taze karışım özellikleri, karışımların su/bağlayıcı oranı (W/B) ya da süper akışkanlaştırıcı (SA) miktarları değiştirilerek deneme-yanılma yöntemiyle sağlanmıştır. Karışımlarda dere kumu kullanılmış olup, en büyük tane çapı 2 mm'dir. EFNARC [14]'ın belirttiği özellikleri sağlayan taze harç karışımları, 50 mm'lik küp kalıplar içerisine kendiliğinden yerleşmiştir. Numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmış ve 90 gün boyunca su içerisinde kür edilmiştir. Bu süre sonunda, numuneler 105 °C sıcaklıktaki etüv içerisinde değişmez ağırlığa gelinceye kadar, 24 saat süreyle kurutulmuştur. Hazırlanan bu numuneler üzerinde BSG testi yapılmıştır.

Tablo 2. İkili numunelerdeki malzemelerin karışım miktarları.

Karışımlar	W/B (%)	PC (%)	UK (%)	SD (%)	Binder (kg/m ³)	Kum (kg/m ³)	SA (kg/m ³)
Kontrol	0.45	100	0	0	640	1227	6.75
UK25	0.43	75	25	0	640	1194	6.75
UK30	0.43	70	30	0	640	1181	6.75
UK35	0.43	65	35	0	640	1168	6.75
SD5	0.44	95	0	5	640	1230	8
SD10	0.45	90	0	10	640	1203	8
SD15	0.47	85	0	15	640	1159	8
SD20	0.50	80	0	20	640	1106	8

Tablo 3. Üçlü numunelerdeki malzemelerin karışım miktarları.

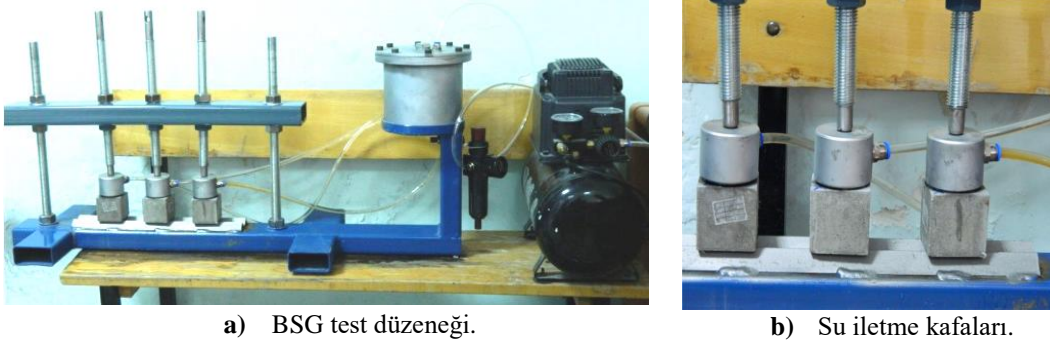
Karışımlar	W/B (%)	PC (%)	UK (%)	SD (%)	Binder (kg/m ³)	Kum (kg/m ³)	SA (kg/m ³)
SD5UK25	0.43	70	25	5	640	1174	8
SD5UK30	0.41	65	30	5	640	1193	8
SD5UK35	0.41	60	35	5	640	1185	8
SD10UK25	0.43	65	25	10	640	1169	8
SD10UK30	0.42	60	30	10	640	1174	8
SD10UK35	0.41	55	35	10	640	1166	8
SD15UK25	0.44	60	25	15	640	1148	8
SD15UK30	0.43	55	30	15	640	1143	8
SD15UK35	0.43	50	35	15	640	1140	8
SD20UK25	0.48	55	25	20	640	1072	8
SD20UK30	0.47	50	30	20	640	1069	8
SD20UK35	0.47	45	35	20	640	1061	8

2.2. Basıncı su geçirgenliği (BSG) testi

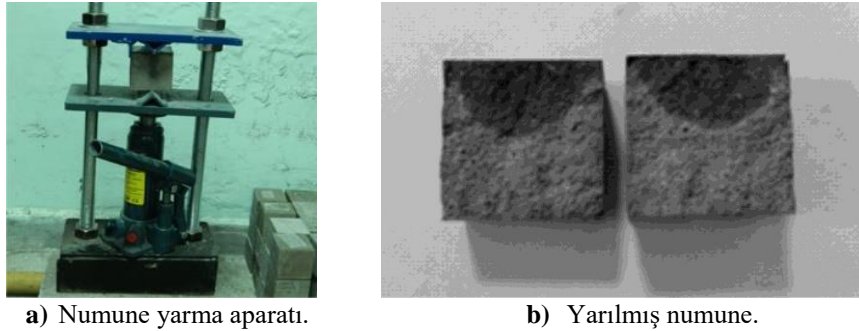
Portland çimentosu yerine ikili ve üçlü sistem mineral katkı kullanılarak elde edilen karışımlardan üretilmiş olan sertleşmiş harç numuneler üzerinde gerçekleştirilen BSG testi, TS EN 12390-8 [15] standardına göre yapılmıştır. TS EN 12390-8 [15] standardında belirtilen 150 mm'lik küp numune ve bu çalışmada kullanılan numune için de uygun olarak tasarlanmış olan BSG düzeneği kullanılmıştır. Bu çalışmada, sertleşmiş harç numuneler kullanıldığından, numunelerin boyutu standartta belirtilen 150 mm'den farklı olarak 50 mm seçilmiştir. Böylece, TS EN 12390-8 [15]'de tarif edilen numune boyutları ve basınçlı suyun temas edeceği yüzey 1/3 oranında küçültülmüştür. 90 günlük deney numuneleri, 105 °C sıcaklığa sahip etüvde 24 saat kurutulduktan sonra kullanılmıştır.

50 mm'lik küp numunelerde, BSG testi yapmak için, Şekil 1a'de gösterilen mini BSG düzeneği tasarlanmış ve imal edilmiştir. BSG testi düzeneği dört ana kısımdan oluşmuştur. Bu kısımlar; 1-Hava kompresörü, 2-Basınç ayarlayıcı, 3-Su deposu ve Şekil 1b'de gösterilen basınçlı su iletme kafalarıdır. Su iletme kafalarının numune ile temas eden kısımlarında su sızdırmazlığı sağlamak için, lifli lastik contalar kullanılmıştır. Numunenin su ile temas eden yüzey çapı 25 mm'dir.

Basıncı su 90 dakika süreyle numune üzerine uygulanmıştır. Bu sürenin sonunda, numuneler cihazdan çıkarılmış ve Şekil 2a'da gösterilen aparat yardımıyla yarılmıştır. Şekil 2b'de gösterilen yarılmış numunedeki, basınçlı su işleme derinliği 0.5 mm hassasiyetinde ölçülmüştür.



Şekil 1. BSG test düzeneği.



Şekil 2. Yarma aparatı ve numune.

3. Bulgular ve Tartışmalar

Şekil 3'te, numunelerin BSG değerleri mm olarak gösterilmiştir. PÇ ve UK içeren numunelerin BSG değerleri, sadece PÇ içeren kontrol numunesinden daha büyük olmuştur. UK25 numunesindeki BSG değeri en büyük olurken, UK30 ve UK35 numunelerinde azalmıştır. Şekil 3'te görüldüğü gibi, UK numuneleri üzerinden bir karşılaştırma yapıldığında, UK miktarı arttıkça BSG değerlerinin doğrusal olarak azalmıştır. Maleşev ve ark. [16] tarafından yapılan bir çalışmada da beton içerisinde F sınıfı UK kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada, PÇ ile UK ağırlıkça %23 yer değiştirdiğinde, kontrol numunesine kıyasla BSG değeri artmış, ancak artan UK

miktarlarında BSG değerinin azaldığı ileri sürülmüştür. Bu durumun, karışımda kullanılan değişik UK oranlarının, sertleşmiş PÇ hamurunun mikro yapısında değişik etkiler yapmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

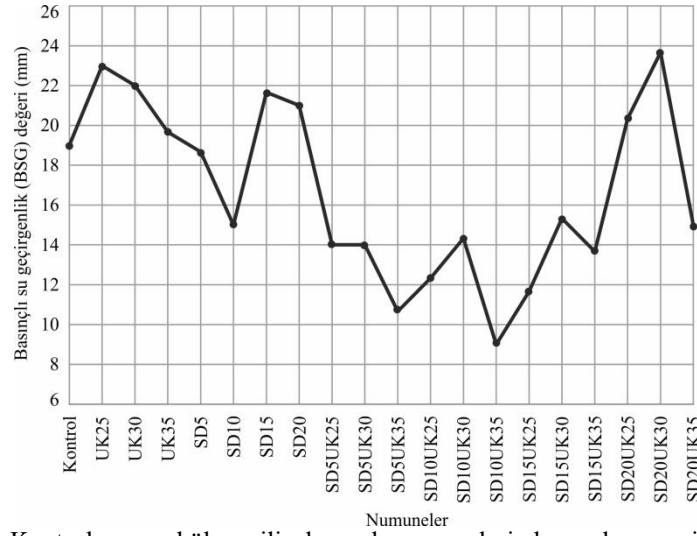
SD numunelerinin BSG değerlerinin, farklı PÇ ve SD yer değiştirmelerinde farklılıklar gösterdiği gözlenmiştir. %5 SD kullanılması durumunda, BSG değeri yaklaşık olarak kontrol numunesine eşit olurken, %10 SD durumunda en düşük ve kontrol numunesinden de daha az olmuştur. Ancak %15 ve 20 SD durumlarında BSG değerleri artmıştır. PÇ ile SD'nin ağırlıkça %10 yer değiştirmesi durumunda, BSG değerinin kontrol numunesine kıyasla azaldığı Elrahman ve Hillemeier [8] tarafından da bulunmuştur. Ziari ve ark. [10], PÇ ile SD'nin %8 yer değiştirdiği kendiliğinden yerleşen betonlarda BSG değerinin kontrol numunesine kıyasla azaldığını ileri sürmüşlerdir. Borosnyoi [9] tarafından yapılan bir çalışmada ise, PÇ ile SD'nin ağırlıkça %5 yer değiştirmesi durumunda BSG derinliğinin azaldığını, ancak %3, 10 ve 15 SD durumunda da arttığını bulmuştur. PÇ ile SD'nin %5, 10 ve 15 yer değiştirmeleri durumunda, SD miktarı arttıkça BSG değerinin kontrol betonuna kıyasla azaldığı da ileri sürülmüştür [11]. Muhit ve ark. [17], yüksek performanslı betonlarda SD'nin BSG değerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında, PÇ ile SD'nin ağırlıkça yer değiştirme miktarlarını %2.5, 5, 7.5, 10, 15 ve 20 olarak almışlardır. %10 SD'nin altındaki ve üstündeki miktarların BSG değerini artırdığını, ancak %10 SD değerinde BSG değerinin etkili bir şekilde azaldığını ileri sürmüşlerdir. Yukarıdaki çalışmalar dikkate alındığında, kullanılan SD miktarlarına bağlı olarak, BSG değerleri de değişmektedir. Fakat bu çalışmada bulunan %10 SD miktarında BSG değerinin azalması sonucu, literatürdeki çalışmaların büyük çoğunluğu tarafından desteklenmiştir. %5 SD miktarının PÇ hamurunu SiO₂ bakımından doyuramadığı ve böylece mikro yapısını değiştirmede etkisiz kaldığı düşünülmüştür [18]. SD'nin miktarının %10'dan daha fazla olması durumunda ise, PÇ hamuru içerisinde daha yoğun bir ürün oluştuğu, ancak sertleşmiş hamur içerisindeki mikro boşlukların miktarının artmasına bağlı olarak BSG değerinin de arttığı düşünülmektedir [19].

UK, SD ve PÇ'nin değişik kombinezonlarından oluşan numunelerin BSG değerleri de Şekil 5'te gösterilmiştir. SD5UK25, SD5UK30 ve SD5UK35 numunelerinin BSG değerleri, kontrol numunesi, PÇ-UK ve PÇ-SD karışımı içeren numunelerden daha az olmuştur. UK ve SD'nin birlikte kullanılmasının, UK ve SD'nin tek başlarına kullanılmasıyla kıyaslandığında BSG değerini daha etkili bir şekilde azalttığı görülmüştür.

SD10UK25, SD10UK30 ve SD10UK35 numunelerinin BSG değerleri incelendiğinde, SD10UK35 numunesinin BSG değeri en küçük olmuştur. Bulunan bu sonuç oldukça ilginçtir. Çünkü tekli olarak kullanılan mineral katkılar içerisinde, %10 SD durumunda BSG değeri en küçük olmuştur. Ayrıca, UK miktarı arttıkça da, PÇ-UK'li numunelerde BSG değerlerinde azalma meydana gelmişti. BSG deneylerinden elde edilen sonuçlar şunu göstermiştir ki, hem PÇ-SD'li numunelerde hem de PÇ-SD-UK içeren numunelerde en uygun SD değeri %10 olmuştur. SD10UK35 numunesinin BSG değeri, kontrol numunesine kıyasla yaklaşık iki kat daha az olmuştur. Bu durum şöyle izah edilebilir; SD'nin tane büyüklüğü, UK'nin tane büyüklüğünden daha küçüktür. Muhtemelen, sertleşmiş hamur içerisindeki UK tanelerinin arasına SD taneleri etkili bir şekilde yerleşerek boşlukları tıkamış ve böylece BSG değeri azalmıştır.

SD15UK25, SD15UK30 ve SD15UK35 numunelerinin BSG değerleri de, kontrol numunesinden daha küçük olmuş ancak SD10UK35 numunesinden daha büyüktür. SD20UK25 ve SD20UK30 numunelerinin BSG değerleri kontrol numunesinden daha büyük olmasına rağmen, SD20UK35 numunesinin daha az olmuştur. Bu numunelerin de BSG değerleri SD10UK35 numunesinden daha büyük olmuştur.

Shaikh ve Supit [20] tarafından yapılan bir çalışmada, PÇ ile ağırlıkça %40 F sınıfı UK'nin yer değiştirilerek üretildiği betonlardaki su geçiren boşlukların azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi, PÇ-UK numunelerinde ve PÇ-SD-UK numunelerinde, %25 ve 30 UK değerleriyle kıyaslandığında, %35 UK durumunda BSG değerinin azaldığı gözlenmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmadaki %35 UK'den elde edilen sonuç ile Shaikh ve Supit [20] tarafından %40 UK durumu için bulunan sonuçlar benzer olmuştur.



Şekil 3. Kontrol, uçucu kül ve silis dumanlı numunelerin basınçlı su geçirirmliliği.

4. Sonuçlar ve Öneriler

UK ve SD'li ikili harç karışımlarında, kullanılan UK ve SD miktarlarına göre BSG değerleri değişmektedir. Ağırlıkça %25, 30 ve 35 UK'nin PÇ ile birlikte kullanılması, kontrol numunesine kıyasla BSG'yi artırmıştır. Ağırlıkça %25 UK'de BSG değeri en büyük olmuştur. Ağırlıkça %30 ve 35 UK'deki BSG değerleri, %25 UK'ye kıyasla azalmışlardır. UK'li numunelerin BSG durumuyla ilgili en önemli sonuç şudur ki, PÇ-UK'li numunelerde %35'e kadar olan oranlarda UK kullanımı BSG'ni olumsuz yönde etkilemektedir.

PÇ ile SD'nin ağırlıkça %10 yer değiştirmesi durumunda, BSG değeri etkili bir şekilde azalmıştır. Ancak bu değerlerin altında ve üstündeki SD oranlarında BSG değerleri artmıştır.

PÇ, UK ve SD üçlü karışımlarında, %10 SD ve %35 UK oranlarında, BSG en az olmuştur. Ağırlıkça %5, 10 ve 15 SD oranları ile %25, 30 ve 35 UK oranları kullanılarak üretilen üçlü karışım numunelerinin BSG değerleri, kontrol numunesine kıyasla azalmış ancak %20 SD ile %25 ve %30 UK oranlarında artmıştır. %35 UK oranında ise, tekrar azalmıştır.

BSG'nin önemli olduğu yapı uygulamalarında, PÇ ve SD'li ikili karışımlarda ağırlıkça %10 SD kullanılması önerilmektedir. PÇ, SD ve UK üçlü karışımlarda ise, ağırlıkça %10 SD ve %35 UK kullanılması BSG değeri önemli derecede düşürmektedir ve özellikle su yapılarında bu oranların kullanılması önerilmektedir.

SD ve UK'nin değişik oranlarının, BSG davranışında niçin değişkenlikler gösterdiği durumunun bilimsel olarak daha detaylı bir şekilde izah edilebilmesi için, sertleşmiş hamurlar üzerinde mikro yapı incelemelerinin yapılması yararlı olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırmaları Destekleme Birimi (HÜBAK) tarafından, 16197 numaralı proje ile desteklenmiştir. Katkılarından dolayı HÜBAK'na teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Hill RL, Boyd AJ, Dongell JE, Hichborn G, Neal RE, Nmai CK, Leming ML. Guide to durable concrete: Reported by ACI Committee 201, 2008.
- [2] Mehta PK and Monteiro PJ. Concrete: Structure, Properties, and Materials. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1993.
- [3] Mehta PK and Gerwick BC. Cracking-corrosion interaction in concrete exposed to marine environment. Concr Int 1982; 4(10): 45-51.
- [4] Ramezani-pour AA, Pilvar A, Mahdikhani M, Moodi F. Practical evaluation of relationship between concrete resistivity, water penetration, rapid chloride penetration and compressive strength. Constr Build Mater 2011; 25(5): 2472-2479.
- [5] Hewlett P. Lea's chemistry of cement and concrete. Elsevier, 2003.
- [6] Mindess S, Young JF, Darwin D. Concrete. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2003.

- [7] Faleschini F, Zanini MA, Brunelli K, Pellegrino C. Valorization of co-combustion fly ash in concrete production. *Mater Design* 2015; 85: 687-694.
- [8] Elrahman MA, Hillemeier B. Combined effect of fine fly ash and packing density on the properties of high performance concrete: An experimental approach. *Constr Build Mater* 2014; 58: 225-233.
- [9] Borosnyói A. Long term durability performance and mechanical properties of high performance concretes with combined use of supplementary cementing materials. *Constr Build Mater* 2016; 112: 307-324.
- [10] Ziari H, Hayati P, Sobhani J. Airfield self-consolidating concrete pavements (ASCCP): Mechanical and durability properties. *Constr Build Mater* 2014; 72: 174-181.
- [11] Rostami M and Behfarnia K. The effect of silica fume on durability of alkali activated slag concrete. *Constr Build Mater* 2017; 134: 262-268.
- [12] Turk K. Viscosity and hardened properties of self-compacting mortars with binary and ternary cementitious blends of fly ash and silica fume. *Constr Build Mater* 2012; 37: 326-334.
- [13] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars. ASTM International, 2013.
- [14] EFNARC (2005). The European guidelines for self-compacting concrete: Specification, production and use.
- [15] TS EN 12390-8 Beton - sertleşmiş beton deneyleri - bölüm 8: basınç altında su işleme derinliğinin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [16] Malešev, M, Malešev M, Radonjanin V, Draganić S, Šupić S, Laban M. Influence of fly ash and decreasing water-powder ratio on performance of recycled aggregate concrete. *Gradevinar* 2017; 69(09): 811-820.
- [17] Muhit IB, Ahmed SS, Amin MM, Raihan MT. Effects of Silica fume and Fly ash as partial replacement of cement on water permeability and strength of high performance concrete. In 4th International Conference on Advances in Civil Engineering;2013; AETACE, Association of Civil and Environmental Engineers. 108-115.
- [18] Mitchell DRG, Hinczak I, Day RA. Interaction of silica fume with calcium hydroxide solutions and hydrated cement pastes. *Cem Concr Res* 1998; 28(11): 1571-1584.
- [19] Monteny J, De Belie N, Taerwe L. Resistance of different types of concrete mixtures to sulfuric acid. *Mater Struct* 2003; 36(4): 242-249.
- [20] Shaikh FU, Supit, SW. Compressive strength and durability properties of high volume fly ash (HVFA) concretes containing ultrafine fly ash (UFFA). *Constr Build Mater* 2015; 82: 192-205.

Yanıt Yüzey Yöntemi ve Genetik Algoritma ile Tufal ilaveli Harçların Basınç Dayanımının Optimizasyonu

Erdoğan ARICI^{1*}, Oğuzhan KELEŞTEMUR²

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

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

*¹earici1@firat.edu.tr, ²okelestemur@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 04/03/2019;

Kabul/Accepted: 22/04/2019)

Öz: Bu çalışmada, yanıt yüzey yöntemi (YYY) ve genetik algoritma kullanılarak tufal ilaveli harçların basınç dayanımının optimizasyonu yapıldı. Deneysel serilerinin belirlenmesinde ve deneysel verilerin analizinde YYY kullanıldı. Farklı oranlarda tufal içeren 25 seri harç numunesi hazırlandı ve bunların basınç dayanımları belirlendi. Yanıt yüzey yöntemi ile deneysel verilerin analizleri yapılarak matematiksel bir model oluşturuldu. Genetik algoritma kullanılarak bu modelin optimizasyonu yapıldı ve optimum parametre değerleri belirlendi. Optimizasyon sonucu ile kıyaslamak için doğrulama deneyi yapıldı ve % 90'ın üstünde korelasyon olduğu gözlemlendi. Bu çalışma sonucunda, YYY ve genetik algoritmanın birlikte kullanılarak daha az deneysel veriyle güvenilir optimizasyon yapılabileceği görüldü.

Anahtar Kelimeler: Yanıt yüzey yöntemi, Genetik algoritma, ANOVA, Tufal, Harç, Basınç dayanımı

Optimization of Compressive Strength of Mortars with Steel Scale by Using Response Surface Method and Genetic Algorithm

Abstract: In this study, compressive strength of mortar specimens containing steel scale was optimized by using response surface method (RSM) and genetic algorithm. RSM was used in the determination of the experiment series and analysis of experimental data. 25 series mortar samples containing different ratios of steel scale were prepared and the compressive strength of these series was determined. A mathematical model was created by analyzing the experimental data with response surface method. This model was optimized by using genetic algorithm and optimum parameter values were determined. Confirmation test was done to compare with the optimization result and it was observed that the correlation was over 90%. As a result of this study, it was observed that it could be made reliable optimization with less experiment by using a combination of RSM and genetic algorithm.

Keywords: Response surface method, Genetic algorithm, ANOVA, Steel scale, Mortar, Compressive strength

1. Giriş

Su, çimento ve agreganın karışımından meydana gelen beton inşaat sektöründe farklı kullanım alanlarına sahiptir. Fakat betonun gevrek ve geçirgen yapıya sahip olması kullanım yerine bağlı olarak bazı olumsuzluklara sebep olmaktadır. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak veya azaltmak amacıyla farklı malzemeler veya katkıları beton karışımına ilave edilerek dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesi yoluna gidilir [1].

Beton ve harçlarda büyük miktarda ince agrega tüketir. Bu, nehir kumunun kontrolsüz bir şekilde kullanımına yol açmaktadır. İnşaat sektöründeki yoğun talep nedeniyle doğal kuma alternatif bulmak amacıyla özellikle atık malzemelerin kullanımı yoluna gidilmiştir [2].

Çevreyi atıklardan korumak insan, hayvan ve bitki sağlığı için çok önemlidir. Bu amaçla bilim insanları hem atıkları kullanmanın hem de doğal kaynakların tüketimini sınırlandırmanın alternatif yollarını araştırmaktadırlar. Son yıllarda sıvı yan ürünler veya atıklar çimento esaslı malzemelerde çimento veya agrega olarak kullanılmaktadır [3]. Beton ve harçlarda kullanımının araştırıldığı malzemelerden birisi çelik tufalıdır.

Demir cevherinin işlenmesi sonucu elde edilen çelik dünyada en yaygın kullanılan malzeme olarak kabul edilir. Sıcak haddeleme işlemi sırasında, çelik yüzeyinde tufal adı verilen bir oksit tabakası oluşur. Çevre üzerinde olumsuz etkilere de sahip olan çelik tufalı çelik üretim sürecince tonlarca oluşmaktadır [4].

Ayrıca, tehlikeli atıklar içerisinde en büyük hacme sahip sürekli dökümler ve sıcak haddehaneler su resirkülasyon tesislerinden açığa çıkan yağlı tufalın Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre bertarafının sağlanması için 50 mx100 m boyutlarında toprak dolgu tesisinin inşası gerekmektedir. Böylece, bu atıkların bertarafının, depolanmasının ya da geri kazanımının yasal platformda da yer aldığı gözlemlenmektedir [5].

* Sorumlu yazar: earici1@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numaraları: ¹ 0000-0002-6153-5805, ² 0000-0002-8498-7660

Tufal gibi atık malzemelerin hem ekonomiye kazandırılması hem de çevresel zararlarının azaltılması amacıyla farklı alanlarda çalışmalar yapılmıştır [6-8]. Bu amaca yönelik deneysel çalışmalarda en büyük zorluk yorum yapılabilmesi için fazlasıyla zaman ve deneysel veriye ihtiyaç duyulmasıdır. Daha kısa sürede ve daha az deneysel veriyle sonuçlara ulaşabilmek ve yorumlamanın yapılabilmesi için istatistiksel analiz yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Bu yöntemlerden biride Yanıt Yüzey Yöntemidir (YYY).

Yanıt yüzey yöntemi, deneysel tasarım ve elde edilen deneysel verilere ampirik modellerin uygunluğuna dayanan matematiksel ve istatistiksel tekniklerin bir kombinasyonunu içerir. Bu nedenle, parametre optimizasyonu için YYY metodolojisi önerilmiştir [9]. YYY'nin amacı, giriş parametreleri dikkate alınarak yanıtın (çıkış parametresi) optimizasyonudur. 1951 yılında Box ve Wilson tarafından önerilen YYY, ilk önce kimya alanında kullanıldı [10]. Fakat deneysel çalışmalara sağladığı büyük avantajlarından dolayı birçok alanda uygulanmıştır [11-13].

Genel olarak yanıt yüzey yöntemi 3 aşamadan (eleme denemeleri, bölge araştırması ve işlemin veya ürünün optimizasyonu) oluşmaktadır. Eleme denemeleri, daha az sayıda ve daha verimli esas deneme yapılmasına olanak sağlamaktadır. İkinci aşama olan bölge araştırmasında amaç, eleme denemeleri ile belirlenen bağımsız değişkenlerin sistemin yanıtında oluşturdukları değerlerin, optimum noktaya yakın sonuçlar verip vermediğini belirlemektir. Yanıt yüzey yönteminin üçüncü aşaması, işlem optimum noktaya yaklaştığında başlar. Gerçek yanıt fonksiyonu optimum nokta etrafında önemli bir eğrilik göstermektedir. Bu eğrilik tahmin edilirken; lineer olmayan modeller, genellikle ikinci dereceden polinomsal modeller, üssel modeller veya eksponensiyel modeller kullanılır. Uygun bir model elde edildikten sonra, bu model optimum noktanın araştırılmasında kullanılır [14]. Yanıt, bağımsız değişkenlerin doğrusal bir işlevi ile iyi bir şekilde modellenirse, Denklem 1'de verilen birinci dereceden denklemle modelleme yapılır [15].

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 \quad (1)$$

Birinci dereceden denklemle yapılan modellemede değişkenler birbirinden etkileniyorsa yanıt polinomu Denklem 2'de verilen denklemle modelleme yapılır.

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_1x_2 + \beta_5x_1x_3 + \beta_6x_2x_3 \quad (2)$$

Model yapısı doğrusal bir polinom ile yapılamıyorsa ikinci derece bir denklem ile modelleme yoluna gidilir. Bu modele ait temel formül Denklem 3'de verilmiştir [16].

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_1^2 + \beta_5x_2^2 + \beta_6x_3^2 + \beta_7x_1x_2 + \beta_8x_1x_3 + \beta_9x_2x_3 \quad (3)$$

Denklemlerde;

y = tahmin edilen yanıt (Basınç dayanımı),

x= parametreler,

β_0 = sabit katsayı,

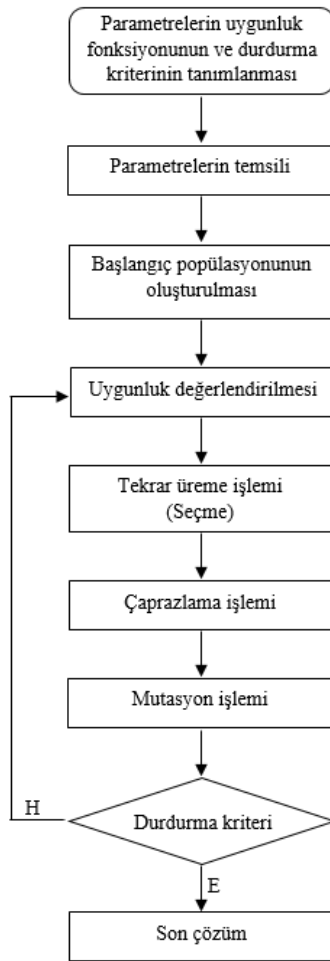
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = Parametrelerin katsayılarıdır.

Model denklem elde edildikten sonra genetik algoritma kullanılarak maksimum veya minimum yanıt değerine ulaşmak için parametrelerin optimum değerleri belirlenir. Genetik algoritma minimum hata ile optimum değerlere ulaşılabilme imkanı sağlamaktadır.

Genetik Algoritma tekniği, karmaşık mühendislik optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılır. Genetik Algoritmalar (GA) fikri ilk olarak 1975 yılında John Holland tarafından başlatılmıştır. Genetik algoritma, kimya, fizik, mekanik, aerodinamik, robotik, ağlar, mimarlık ve inşaat mühendisliği gibi birçok mühendislik alanında kullanılmaktadır [17].

GA'ları kör bir arama motoruna benzetebiliriz. GA'lar problemin yapısına bakmaksızın çok karmaşık optimizasyon problemleri için bile çözüm bulabilirler. Problemin karmaşıklığı GA'lar için hiç önemli değildir. GA'ların ihtiyaç duyduğu şey problemin karar değişkenlerinin uygun bir yöntemle kodlanması ve neyin iyi olduğunu GA'ya belirtmek üzere tasarlanan bir uygunluk (amaç) fonksiyonudur. GA'lar çözüm uzayını taramaya bir topluluk ile başladıkları için global optimum çözüme yaklaşmak diğer yöntemlere göre daha kolay olmaktadır. GA'lar bir topluluk (başlangıçta bu topluluk genelde rastgele oluşturulur) ile başlar ve bu topluluk üzerinde çaprazlama, seçme ve mutasyon gibi yöntemlerin uygulanmasıyla problemin her aşamasında en iyiye doğru bir gidiş sağlar [18].

Genetik algoritmanın başlangıcında parametrelerin, uygunluk fonksiyonunun ve durdurma kriterinin tanımlanması gerekir. Daha sonra, parametrelerin temsili, başlangıç popülasyonunun oluşturulması, uygunluk veya kalitenin değerlendirilmesi, tekrar üreme, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik işlemlerin yapılması gerekir. Durdurma kriteri sağlanınca optimum çözüm bulunmuş olur. Başlangıç yoğunluğunun üretilmesini takiben, her çözümün uygunluğu veya iyiliği, seçilen bir uygunluk fonksiyonu kullanılarak değerlendirilir. Uygunluk fonksiyonu, eldeki veriler dikkate alınarak belirlendiği için, bunun seçimi probleme bağlıdır. Uygunluk ölçekleme işlemi, bazen daha iyiyi seçmek için elde edilen iyi çözümlerden daha iyi çözümlere kadar devam ettirilen bir işlemdir. Seçme, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörler, elde edilen iyi çözümlerden denenmiş yeni çözümler üretmek için kullanılırlar. Bu iyileştirme işlemi, daha önceden belirlenen bir jenerasyon sayısına veya tatmin edici bir sonuca ulaşmaya kadar devam ettirilir. Çaprazlama operatörü, var olan iki çözümün uzantılarının belirli bir noktadan itibaren yer değiştirmesi ile denenmemiş yeni iki çözüm üretir. Mutasyon operatörü ise, var olan bir çözümün herhangi bir bitinin terslendirilmesi ile yeni bir çözüm üretir. Genetik algoritmanın işlem akış diyagramı Şekil 1’de gösterilmiştir [19].



Şekil 1. Genetik algoritma akış diyagramı.

Bu çalışmanın amacı; yanıt yüzey metodu kullanılarak tufal ilaveli harçların basınç dayanımının optimizasyonunu yapmaktır. Maksimum basınç dayanımının elde edilebileceği parametre seviyelerinin belirlenmesinde YYY ve genetik algoritma kullanıldı. YYY ile oluşturulan model denkleme genetik algoritma uygulanarak maksimum basınç dayanımının elde edilebileceği parametre seviyeleri belirlendi. Genetik algoritma sonucu belirlenen optimum parametre seviyelerine göre hazırlanan numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi yapıldı. Tahmini sonuç ile deney sonucu kıyaslanarak yorumlaması yapıldı. Bu çalışma, istatistiksel yöntemler

kullanılarak deneysel çalışmaların daha kısa sürede sonuçlanabileceğini ve daha sağlıklı olarak yorumlanabileceğini göstermesi açısından literatüre olumlu katkı sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

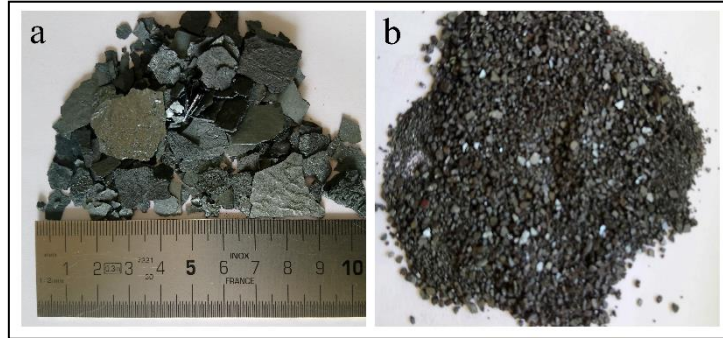
2.1. Materyal

Deney serilerinin hazırlanmasında maksimum agrega çapı 4 mm olan dere agregası kullanılmıştır. Kullanılan agreganın elek analiz değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Bağlayıcı malzeme olarak TS EN 197-1 standardına uygun CEM I 42.5 N tipi çimento kullanılmıştır [20].

Tablo 1. Agregada elek analizi değerleri

Elek çapı (mm)	Elekten geçen (%)
4	100
2	71
1	50
0.5	35
0.25	25

Agregada ile yer değiştirilecek olan çelik tufali Şekil 2a’da görüleceği üzere yassı şekilli olmasından dolayı karışım içerisine doğrudan katılamadı. Bu sebeple öğütülerek kullanılabilir duruma getirildi. Şekil 2b’de görülen tufal 0.25 mm’lik ve 1 mm’lik eleklerden elenerek ince ve iri tufal olmak üzere iki guruba ayrıldı.



Şekil 2. Doğal ve öğütülmüş tufal.

Deney serilerinin basınç dayanımları belirlenmesi için her seriden 50x50x50 mm boyutunda TS EN 196-1 de belirtilen harç karışım esaslarına uygun numuneler hazırlandı [21]. Hazırlanan numuneler 28 gün kirece doygün kür ortamında bekletildikten sonra basınç dayanımı deneyine tabii tutuldu.

2.2. Metot

Yanıt yüzey yönteminde ilk aşama deneysel tasarımıdır. İstatistiksel tasarım olarak bilinen bu aşamada, en az sayıda deneyle maksimum bilgi elde etmek için deneylerin nasıl planlanacağı ve yapılacağı belirlendiği bölümdür. Daha önce tasarım taraması yapılarak etkinliği araştırılan parametrelerin hangi seviyede kullanılacağı belirlendikten sonra, herhangi bir tasarım seçimi yapılmadan önce aşağıdaki sorular cevaplanmalıdır [22].

1. Parametrelerin etkisi ve yanıt değerleri nasıl ölçülecek?
2. Yanıt değeri üzerinde kaç tane parametre etkin olacak?
3. Kaç adet parametre eş zamanlı olarak dikkate alınacak?
4. Deneysel olarak kaç adet tekrara ihtiyaç olacak?
5. Hangi tip veri analizine ihtiyaç var?

Yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyon yapılabilmesi için ilk önce parametreler ve seviyeleri belirlendi. Yanıt değeri üzerinde etkili olacak ince tufal (0-0.25 mm), iri tufal (0.25-1 mm), Su/Çimento oranı (S/Ç) ve çimento dozajı olmak üzere Tablo 2’de verilen dört parametre esas alındı.

Tablo 2. Parametreler ve seviyeleri

Parametreler	Sembol	Birim	Seviyeler ve kodları				
			-2	-1	0	1	2
İnce tufal (0-0.25 mm)	A	%	0	5	10	15	20
İri tufal (0.25-1 mm)	B	%	0	5	10	15	20
Su/Çimento oranı	C			0.50	0.55	0.60	
Çimento Dozajı	D	(kg/m ³)		400	450	500	

Yanıt yüzey yöntemi ile analiz işleminin yapılabilmesi için ilk önce Tablo 3’de verilen deney deneysel tasarım planının belirlendi. Modelin güvenilirlik değerinin yüksek olabilmesi için deney tasarım planı belirlenirken yeterli sayıda veri girişi olmasına dikkat edildi.

Tablo 3. Optimum deneysel tasarım planı ve sonuçları

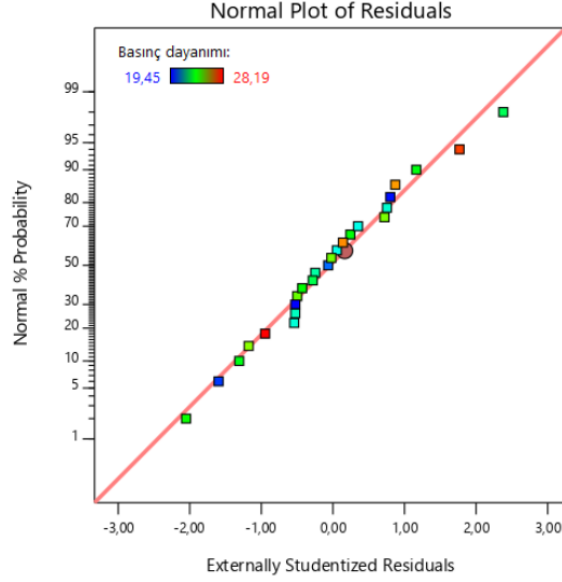
Deney No	Parametre seviyeleri								Basınç Dayanımı (MPa) (Yanıt)
	Kodlanmış değerler				Gerçek değerler				
	İnce tufal	İri tufal	S/Ç	Dozaj	İnce tufal (0-0.25mm)	İri tufal (0.25-1 mm)	S/Ç	Dozaj	
1	-1	-1	0	-1	5	5	0.55	400	23.08
2	2	-2	0	-1	20	0	0.55	400	23.78
3	2	-2	-1	1	20	0	0.50	500	28.19
4	0	0	1	0	10	10	0.60	450	22.42
5	-1	2	-1	-1	5	20	0.50	400	22.04
6	-2	2	0	1	0	20	0.55	500	21.83
7	-1	1	1	1	5	15	0.60	500	22.18
8	-2	2	1	0	0	20	0.60	450	19.57
9	-1	-2	1	1	5	0	0.60	500	23.70
10	-2	-2	-1	-1	0	0	0.50	400	21.70
11	-2	-2	0	1	0	0	0.55	500	23.16
12	2	-1	-1	0	20	5	0.50	450	26.87
13	-2	-1	1	-1	0	5	0.60	400	19.94
14	0	0	0	1	10	10	0.55	500	25.01
15	2	-2	1	1	20	0	0.60	500	24.80
16	1	1	-1	-1	15	15	0.50	400	23.87
17	2	2	-1	1	20	20	0.50	500	26.99
18	0	-2	0	0	10	0	0.55	450	23.89
19	1	2	1	-1	15	20	0.60	400	20.37
20	1	-2	-1	-1	15	0	0.50	400	24.70
21	-2	2	0	-1	0	20	0.55	400	19.45
22	-2	0	-1	1	0	10	0.50	500	23.82
23	0	-1	-1	1	10	5	0.50	500	27.65
24	2	0	0	0	20	10	0.55	450	24.88
25	-2	1	-1	0	0	15	0.50	450	21.98

3. Bulgular ve Tartışma

Deneysel tasarım planındaki verilere uygun olarak modelleme yapıldı. Bu basamakta kuadratik modelleme esas alındı. Elde edilen model Denklem 4’de verildi.

$$\begin{aligned}
 \text{Basınç dayanımı} = & 3.818 + 0.5 \times A + 0.095 \times B + 61.18 \times C + 0.008 \times D - 0.0004 \times A \times B - 0.756 \times \\
 & A \times C - 0.0005 \times A \times D - 0.195 \times B \times C + 0.00004 \times B \times D - 0.069 \times C \times D - 0.008 \times A^2 - 0.004 \times \\
 & B^2 - 43.729 \times C^2 + 0.00006 \times D^2
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Oluşturulan kuadratik modelin Şekil 3’de verilen hata dağılımları incelendiğinde sabit varyansla dağıldığı görülebilir. Bu durum oluşturulan modelin güvenilirliğini gösterir. Ayrıca modelin regresyon katsayısı R^2 değerinin 0.98 ve modeldeki değişim miktarı ölçümünü belirten düzeltilmiş regresyon katsayısı R^2_{adj} değerinin ise 0.96 olduğu görülür. Bu sonuç oluşturulan kuadratik modelin yanıtı uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. Hataların dağılım eğrisi.

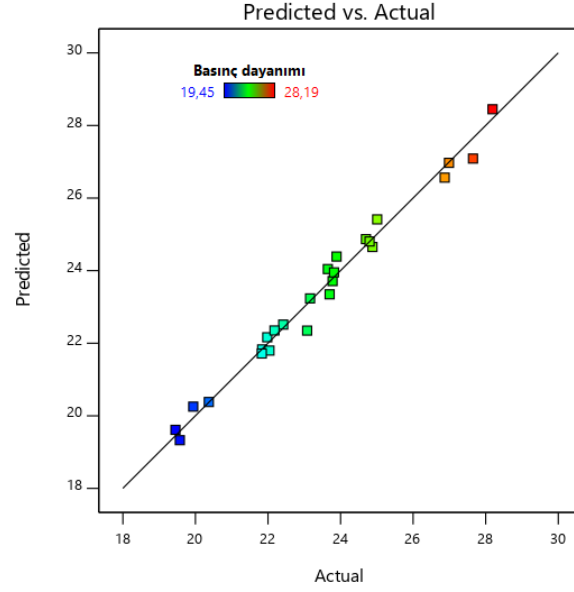
Elde edilen kuadratik modelin güvenilirliği ve istatistiksel olarak anlamlılığının belirlenmesi için Tablo 4’de verilen varyans analizi (ANOVA) yapıldı. Varyans analizi sonucunda elde edilen F oranı ve P değerleri, model ve yanıt üzerinde parametrelerin etkisi hakkında bilgi verebilir.

Tablo 4. Basınç dayanımı (Yanıt) için ANOVA değerleri

Kaynak	Karelerin toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler	F oranı	P değeri
Model	135.72	14	9.69	45.37	< 0.0001
A	25.74	1	25.74	120.47	< 0.0001
B	8.31	1	8.31	38.88	< 0.0001
C	27.23	1	27.23	127.46	< 0.0001
D	25.05	1	25.05	117.26	< 0.0001
AB	0.0115	1	0.0115	0.0540	0.8209
AC	1.20	1	1.20	5.64	0.0390
AD	0.5927	1	0.5927	2.77	0.1268
BC	0.0737	1	0.0737	0.3450	0.5700
BD	0.0046	1	0.0046	0.0213	0.8868
CD	0.2614	1	0.2614	1.22	0.2946
A ²	2.07	1	2.07	9.70	0.0110
B ²	0.5817	1	0.5817	2.72	0.1300
C ²	0.0556	1	0.0556	0.2602	0.6211
D ²	0.0723	1	0.0723	0.3384	0.5736
Residual	2.14	10	0.2137		
Hata					
Toplam	120.18	26			

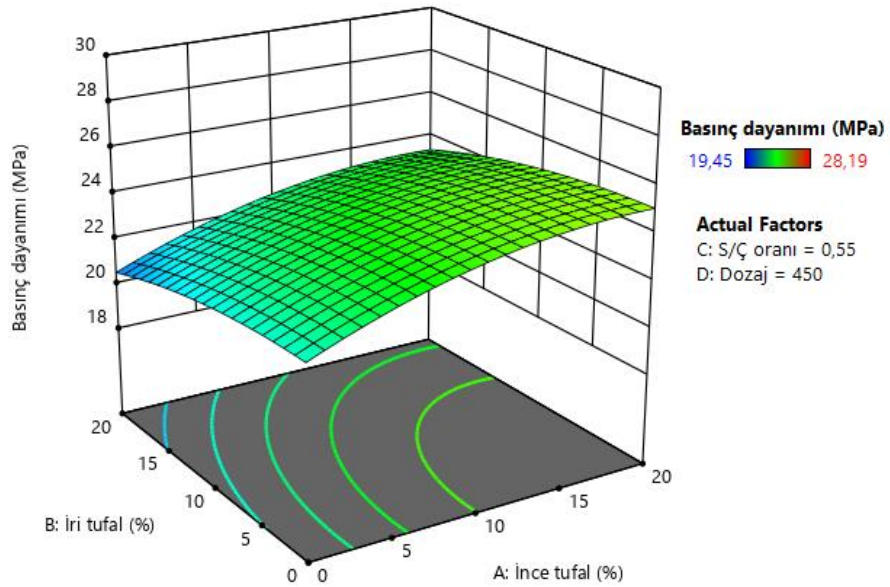
Tablo 4 incelendiğinde, modelin F oranının 45.37, P değerinin ise küçük olması (<0.0001) oluşturulan modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca A, B, C, D, AC ve A² nin P değerlerinin 0.05 den küçük olması oluşturulacak kuadratik modelin sonuçlarına en etkili değerler olduğunu göstermektedir.

Denklemlerde verilen kuadratik denklem modellemesinden elde edilen tahmini sonuçlar ile deney sonuçları (Gerçek değer) arasında farkın çok fazla olmaması gerekir. Analiz sonucunda basınç dayanımı (Yanıt) için tahmini değer ve gerçek değer grafiği Şekil 4’de verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde tahmini ve gerçek değer sonuçlarının tutarlı olduğu görülür. Bu durum modellemenin uyumlu olduğunu göstermektedir.

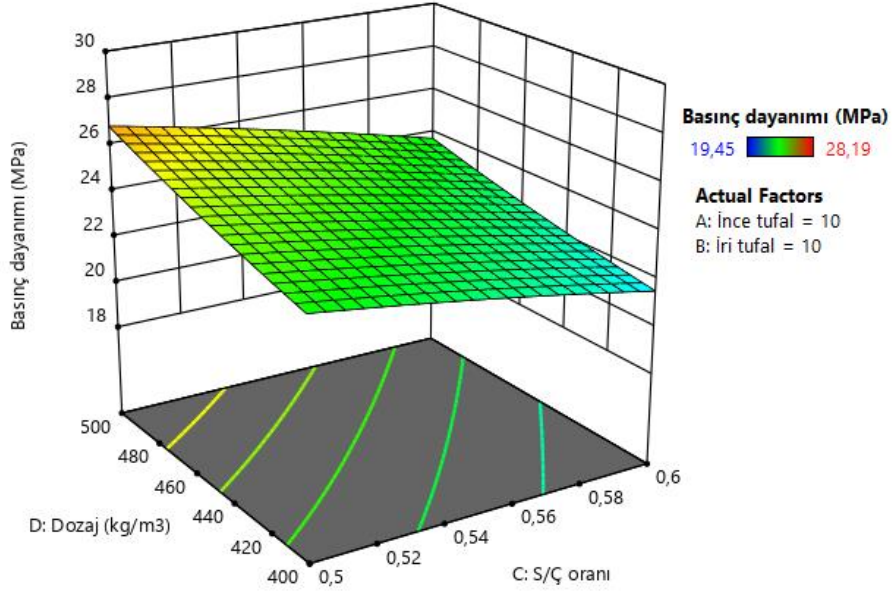


Şekil 4. Basınç dayanımı için tahmini değer-gerçek değer grafiği.

Kuadratik modellemeden faydalanılarak basınç dayanım değişim grafikleri hazırlanmıştır. Şekil 5 ve Şekil 6’da verilen grafikler oluşturulurken parametre merkez değerleri (A0B0C0D0) esas alınmıştır.



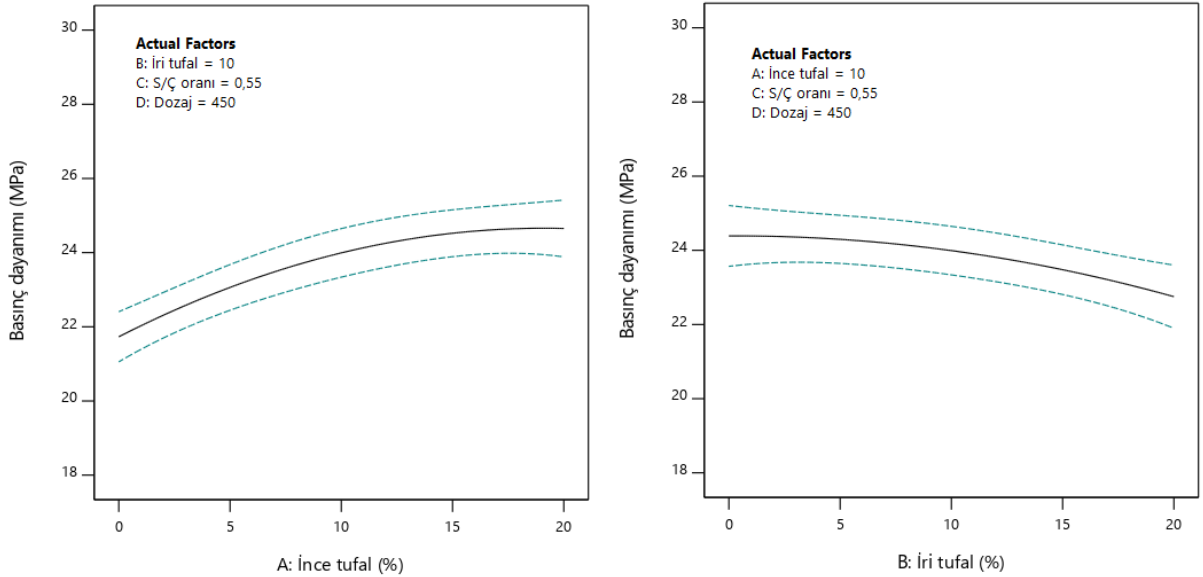
Şekil 5. Basınç dayanımı ile tufal oranı arasındaki ilişki.



Şekil 6. Basınç dayanımının S/Ç oranı ve dozaja göre değişimi.

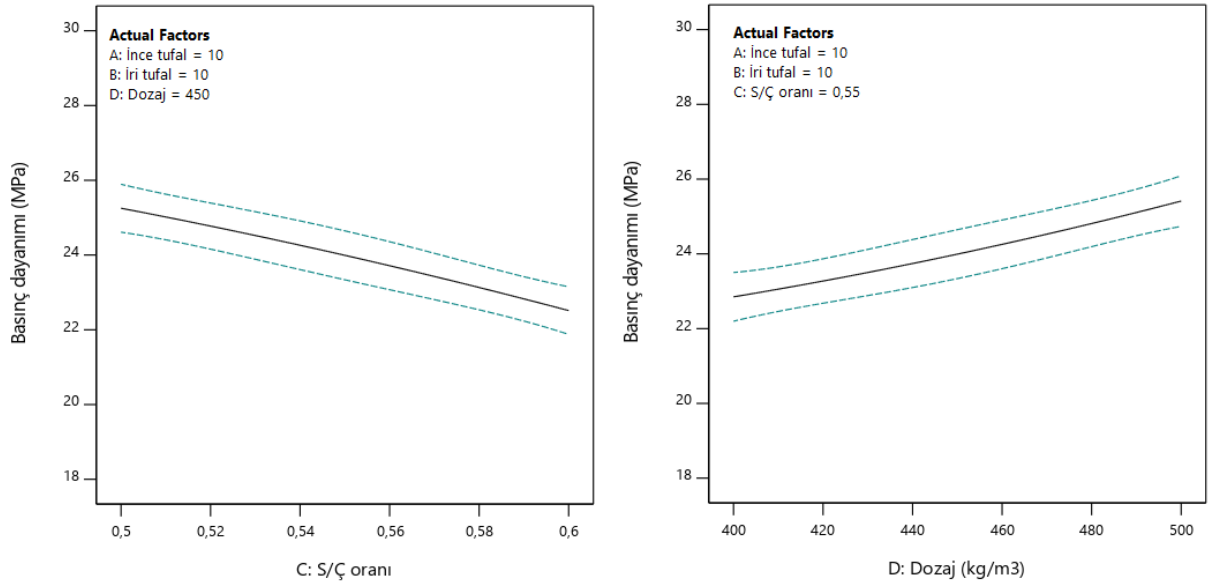
Şekil 5 ve Şekil 6 incelendiğinde, ince tufal oranındaki artış basınç dayanımını olumlu yönde etkilerken iri tufal oranındaki artış basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemiştir. Aynı şekilde, dozajdaki artışın basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği fakat S/Ç oranındaki artışın olumsuz etkilediği görüldü.

Her parametrenin basınç dayanımı üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi amacıyla model denklemden faydalanılarak grafikler hazırlandı. Bu grafikler hazırlanırken incelenen parametrenin alt ve üst sınır değerleri arasındaki değişim esas alınırken diğer üç parametrenin merkez nokta seviyesi sabit olarak alındı.



Şekil 7. İnce ve iri tufalin basınç dayanımına etkileri.

Tufalin basınç dayanımı üzerindeki etkisi Şekil 7'de verildi. Bu grafiklerden görüleceği üzere, karışım içindeki ince tufal oranı yaklaşık %15 e kadar dayanımda hızlı bir artış meydana getirirken %20 civarında bu artış hızı azalmıştır. İri tufal ilk başlarda az miktarda artışa sebep olurken özellikle %5'den sonra dayanımda düşüşe sebep olmuştur.



Şekil 8. S/Ç oranı ve dozajın basınç dayanımı üzerindeki etkileri.

S/Ç oranı ve dozajın etkisinin verildiği Şekil 8'den görüleceği üzere S/Ç oranındaki artış basınç dayanımını düşürmüştür, fakat dozajdaki artış basınç dayanımını artırmıştır.

Denklemler 4'de verilen model denkleminin genetik algoritma ile optimizasyon işlemi gerçekleştirildi. Optimizasyon sürecinde çaprazlama oranı 0,2, popülasyon 60 ve iterasyon sayısı 2000 olarak alındı. Bu işlem sonucunda Tablo 5'de verilen optimum parametre seviyeleri ve bunlara karşılık gelen maksimum basınç dayanımı değeri elde edildi.

Tablo 5. Optimizasyon sonuçları

Deney parametreleri	Parametre sembolü	Parametre değeri	Tahmin edilen maksimum basınç dayanımı (MPa)
İnce tufal (%)	A	19.68	29.41
İri tufal (%)	B	2.83	
Su/Çimento oranı	C	0.50	
Çimento Dozajı (kg/m ³)	D	500	

Genetik algoritma sonucunda elde edilen optimum parametre seviyeleri ve tahmini sonucun güvenilirliğinin belirlenebilmesi için Tablo 5'de verilen parametre seviyelerine göre doğrulama deneyi yapılarak kıyaslanmıştır. Tablo 6'da verilen doğrulama deneyi ve tahmini sonuç kıyaslandığında %97 benzerlik çıkmıştır. Bu değer oluşturulan modelin ve optimizasyon işleminin güvenilirliğini göstermektedir.

Tablo 6. Optimum parametre seviyeleri ve deney sonuçları

Optimum değer parametreleri				Basınç dayanımı (MPa)	
0-0,25 Tufal (%)	0,25-1 Tufal (%)	S/Ç (%)	Dozaj (kg)	Tahmini sonuç	Doğrulama deneyi sonucu
19.68	2.83	0.50	500	29.41	28.68

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, tufal ilaveli harçların YYY ve genetik algoritma ile basınç dayanımının optimizasyonu yapıldı. Yanıt değeri olarak basınç dayanımını verecek kuadratik model denklem oluşturuldu ve genetik algoritma ile

optimum parametre seviyeleri belirlendi. YYY analizleri ve genetik algoritma optimizasyonu neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Deneysel verilerin analizleri sonucunda, ince tufal oranı ve dozajdaki artış basınç dayanımını olumlu yönde etkilerken, S/Ç oranı ve iri tufal oranındaki artış ise olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.
2. Deneysel verilerden elde edilen kuadratik model incelendiğinde, $R^2 = 0.98$ ve $R^2_{adj} = 0.96$ olduğu görülür. Bu değerler modelden elde edilecek her yanıtın parametre yüzeyinde anlamlı bir karşılığının olduğunun ve güvenilir olduğunun göstergesidir.
3. Yapılan varyans analizi (ANOVA) sonucunda, oluşturulan kuadratik modelin F oranının 45.37 ve $P < 0.0001$ olması oluşturulan kuadratik denklemin anlamlı olmasını gösterir. Ayrıca R^2 ve R^2_{adj} değerlerinin de % 95 üstünde olması modelin güvenilirliğini ve modelden elde edilecek her değerinin parametrelerle tutarlı olarak açıklanabileceğinin göstergesidir.
4. Varyans analizi incelendiğinde; A, B, C, D, AC ve A^2 nin P değerlerinin 0.05'den küçük olduğu görülür. Bu durum model denklem sonucunda bu değerlerin daha fazla etkili olacağına bir göstergesidir.
5. Yanıt (Basınç dayanımı) üzerine tufalin etkisi incelendiğinde, ince tufal oranının % 15'e kadar dayanımı olumlu yönde etkilemesine karşın %15-20 aralığının da bu olumlu etkinin zayıfladığı görüldü. İri tufalin ise ilk başlarda dayanımı olumlu yönde etkilemesine karşın %5 lere yaklaştığı andan itibaren ters yönde etkilediği görüldü. Bu durum yaklaşık optimum değer açısından ince tufalin % 20, iri tufalin ise %1-3 oranlarında olduğunu gösterir.
6. S/Ç oranı ve dozajın yanıt üzerine etkileri incelendiğinde, S/Ç oranındaki artışın basınç dayanımına olumlu bir etkisinin olmadığı, dozajdaki artışın ise olumlu yönde etkilediği görüldü. Bu parametrelerin yaklaşık optimum değerleri S/Ç oranının 0.50, dozajın ise 500kg/m^3 olabileceği tahmin edilebilir.
7. Genetik algoritma yardımıyla yapılan optimizasyon sonucunda, ince tufal %19.68, iri tufal %2.83, S/Ç oranı 0.50 ve dozaj 500kg/m^3 optimum parametre değerleri belirlendi. Bu optimum değerlere göre tahmini maksimum basınç dayanımını ise 29.41 MPa olarak bulundu. Optimum parametre değerleri ile tahmin edilen değerlerin uyumlu olması yapılan genetik algoritmanın da güvenilir olduğunun göstergesidir.
8. Optimizasyon sonucu elde edilen parametre değerlerine uygun olarak harç numunesi hazırlanarak doğrulama deneyi yapıldı ve basınç dayanımı 28.68 MPa olarak belirlendi. Doğrulama deneyi sonucu ile optimizasyon sonucu olan 29.41 MPa tahmini basınç dayanımı değeri kıyaslandığında yaklaşık %98'lik benzerlik bulundu. Bu sonuç oluşturulan modelin doğruluğunu ve yapılan genetik algoritmanın güvenilir olduğunu gösterir.

Deneysel çalışma ve teoriksel analizler neticesinde; atık çelik tufalin harçlarda kullanımının hem ekonomik hem de çevresel faydalarının yanı sıra basınç dayanımı açısından da olumlu etkilerinin olduğu görüldü. Yanıt yüzey yöntemi ve genetik algoritmanın birlikte kullanımı neticesinde daha az deneysel veri ile sonuca ulaşılmasının mümkün olduğu yapılan bu çalışmada görüldü. Ayrıca, deney sonuçlarının ve parametrelerin sonuç üzerindeki etkilerinin yorumlanabilmesi açısından çok faydalı olduğu kanaatine varıldı.

5. Kaynaklar

- [1] Arıcı E, Keleştemur O. Tufal katkılı harçların basınç dayanımının taguchi metodu ile analizi. Fırat Üniv. Müh. Bil. dergisi 2018; 30(3): 145-151.
- [2] Gupta LK, Vyas AK. Impact on mechanical properties of cement sand mortar containing waste granite powder. Constr Build Mater 2018; 191: 155-164.
- [3] Sevim UK, Öztürk M, Öntürk S, Bankır MB. Utilization of boron waste borogypsum in mortar. Journal of Building Engineering 2019; 22: 496-503.
- [4] Sen R, Maan A, Goyal U, Birdhaniya A, Pandel U. In crucible reduction of mill scale by lean grade coal: Study of time, temperature and arrangement for optimum reduction conditions. Mater Today 2018; 5: 7256-7263.
- [5] Kayılı MT, Çelebi G, Gültaş A. Yapı sektöründe atık kullanımına ilişkin bir inceleme: demir- çelik üretim atıkları. Uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknolojisi Konferansı; 6-8 Nisan 2016; Nevşehir, Türkiye: IMSTEC'16.
- [6] Delil AD, Yıldırım D, Köleli N. Çelikhane cürufundan ve tufalinden bitki besin elementlerinin geri kazanımı ve bu elementlerin bitki büyümesine etkisi. Journal of Engineering and Science 2017; 5(1): 01-07.
- [7] El-Hussiny NA, Mohamed FM and Shalabi MEH. Recycling of Mill Scale in Sintering Process. SCI Sinter 2011; 43: 21-31.
- [8] Sekunowo OI, Durowaye SI, Lawal GI. Synthesis and characterisation of iron millscale particles reinforced ceramic matrix composite. Journal of King Saud University - Engineering Sciences 2019; 31(1): 78-85.
- [9] Rooholamini H, Hassani A, Aliha MRM. Evaluating the effect of macro-synthetic fibre on the mechanical properties of roller-compacted concrete pavement using response surface methodology. Constr Build Mater 2018; 159: 517-529.

- [10] Moodi Y, Mousavi SR, Ghavidel A, Sohrabi MR, Rashki M. Using Response Surface Methodology and providing a modified model using whale algorithm for estimating the compressive strength of columns confined with FRP sheets. *Constr Build Mater* 2018; 183: 163–170.
- [11] Ferdosian I, Camoes A. Eco-efficient ultra-high performance concrete development by means of response surface methodology. *Cement Concrete Comp* 2017; 84: 146-156.
- [12] Mohammed B.S, Khed VC, Muhd Fadhil Nuruddin MF. Rubbercrete mixture optimization using response surface methodology. *J Clean Prod* 2018; 171: 1605-1621.
- [13] Öztürk ZB, Ay N. Yanıt yüzey metodu ile porselen karo küçülmesinde ergiticilerin optimizasyonu. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2012; 25(2): 57-66.
- [14] Koç B, Kaymak F. Yanıt yüzey yöntemi ve gıda işleme uygulamaları. *Gıda* 2010; 35(1): 1-8.
- [15] Mohammed BS, Fang OF, Hossain KMA, Lachemi M. Mix proportioning of concrete containing paper mill residuals using response surface methodology. *Constr Build Mater* 2012; 35: 63–68.
- [16] Sönmez F, Başak H, Baday Ş. Haddemeleme işleminin yüzey yanıt yöntemi ile analizi. *GU J Sci, Part C* 2016; 4(4): 275-283.
- [17] Elrehim MZA, Eid MA, Sayed MG. Structural optimization of concrete arch bridges using genetic algorithms. *Ain Shams Engineering Journal* 2016; 10: 1-10.
- [18] Karahan AM, Özdağlar D. Su dağıtım sistemlerinin genetik algoritma ile optimizasyonu. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 2004; 6(3): 1-18.
- [19] Zorlu H., Sunca Ş., “Genetik algoritma kullanılarak ağırlıklandırılmış myriad filtrelerinin optimizasyonu”, *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies* 2017; 1(1): 9-14.
- [20] TS EN 197-1, Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Türkiye, 2012.
- [21] TS EN 196-1: Çimento Deney Metotları. Türk Standartları Enstitüsü, Türkiye, 2002.
- [22] Turan MD, Altundoğan HS. Hidrometalurjik araştırmalarda yanıt yüzey yöntemlerinin (YYY) kullanımı. *Madencilik* 2011; 50(3): 11-23.

Bir Fazlı Paralel Aktif Güç Filtresi Modeli ve Denetimi

Zeynep Bala DURANAY^{1*}, Hanifi GÜLDEMİR²

^{1,2} Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

^{*1} zbduranay@firat.edu.tr, ² hguldemir@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 04/03/2019;

Kabul/Accepted: 08/04/2019)

Öz: Şebekeden çekilen reaktif güç ve harmonikler güç kalitesi problemini oluşturmaktadır. Bu problemler aktif güç filtresi olarak bilinen güç elektroniği devrelerinin uygun algoritmalar kullanılarak denetlenmesiyle büyük oranda iyileştirilebilmektedir. Bu çalışmada bir fazlı paralel aktif güç filtresi modeli oluşturulmuştur. Bu paralel aktif güç filtresinin denetimi histerisiz bant akım denetim yöntemi kullanılan bir evirici ile yapılmıştır. Sistem p-q teorisi tabanlı olup bu teori bir fazlı sisteme göre uyarlanmıştır. Tüm sistem Matlab/Simulink' te oluşturulmuş olup hem paralel aktif güç filtresi devre dışı iken, hem de devreye alındıktan sonra elde edilen akım dalga şekilleri gösterilmiştir. Kullanılan paralel aktif güç filtresi ile harmoniklerin bastırıldığı ve güç kalitesindeki iyileşmenin açık olarak görüldüğü sonuçlar verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Aktif güç filtresi, harmonik bastırma, histerisiz akım denetleyici, reaktif güç kompanzasyonu.

Modelling and Control of Single Phase Parallel Active Power Filter

Abstract: Reactive power and harmonics drawn from the network cause the power quality problems. These problems can be greatly improved by controlling the power electronics circuits known as active power filters using appropriate algorithms. In this study, a single-phase parallel active power filter model is modelled. The control of this parallel active power filter is made by an inverter using the hysteresis band current control method. The system is based on the p-q theory and is adapted to the single-phase system. The whole system has been implemented in Matlab / Simulink and the current waveforms are presented both when the parallel active power filter is deactivated and after activated. Results clearly show that the parallel active power filter suppresses the harmonics of the supply current and also improves the power quality.

Key words: Active power filter, harmonic suppression, hysteresis current controller, reactive power compensation.

1. Giriş

Endüstride kullanılan doğrusal olmayan yükler elektrik şebekelerinde güç kalitesi problemlerini ortaya çıkarmıştır [1]. Güç kalitesi problemi alıcıların bozulmasına ya da yanlış çalışmasına sebep olan gerilim, akım veya frekans sapmalarıdır. Aydınlatma armatürleri, bilgisayarlar, kesintisiz güç kaynakları, doğrultucular ve değişken hızlı motor sürücüler gibi güç elektroniği içeren devreler güç kalitesi problemlerine sebep olan doğrusal olmayan yükler olarak verilebilmektedir.

Güç elektroniği devrelerinin doğrusal olmayan özelliğinin oluşturduğu bu güç kalitesi problemi için pasif filtreler, kondansatörler, faz kaydırıcılar gibi geleneksel yöntemler kullanılmış olup bu tekniklerin maliyetlerinin ucuz ve yapılarının basit olması gibi avantajlarının yanında, sabit kompanzasyon, hantallık ve elektromanyetik girişim gibi dezavantajları [2] araştırmacıları bu probleme yönelik yüksek performanslı ayarlanabilir ve dinamik çözümler geliştirmeye yöneltmiştir. Bu çözümlerden biri Aktif Güç Filtresi (AGF) kullanmaktır [3]. Bağlantı şekline göre AGF' ler Paralel Aktif Güç Filtresi (PAGF), Seri Aktif Güç Filtresi (SAGF) ve Hibrit (karma) Aktif Güç Filtresi (HAGF) olarak isimler almaktadır. Bu AGF' ler arasında yaygın olarak kullanılan PAGF' lerdir [4, 5].

PAGF doğrusal olmayan yüke paralel bağlı akım kontrollü bir gerilim kaynaklı evirici gibi çalışmaktadır. PAGF' ler geleneksel yöntemlerde olduğu gibi sadece belli frekanslardaki harmonikler için kullanılmazlar. Belli sınırlar dahilinde değişen işletme şartlarını karşılayabilmektedirler [6].

Uygun kontrol yöntemleri ile paralel aktif filtreler harmonik akımların bastırılması ve reaktif güç kompanzasyonu için kullanılabilir [7]. Aktif filtreler gerilim harmoniklerinin, ve dalgalanmalarının bastırılması, yük üzerindeki gerilimin regülasyonu, güç sistemi gerilim dengesi ve rezonans sönümü için kullanılabilir [8].

* Sorumlu yazar: zbduranay@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-2212-5544, ² 0000-0003-0491-8348

Bir PAGF güç devresi, ölçme devresi ve kontrol devrelerini içermektedir. Kontrol devresinin görevi, PAGF akımını istenilen şekilde elde edilmesini sağlamaktır. İyi bir filtre performansı için uygun bir referans akım elde edilmelidir. Bunun için farklı teknikler kullanılmakta olup bu çalışmada basit ve dayanıklı yapısı, kolay uygulanabilir olması ve hızlı dinamik cevabı gibi özelliklere sahip olmasından dolayı histerisiz bant akım denetleyici kullanılmıştır [9-11].

Aktif güç filtreleri üç fazlı ve bir fazlı sistemler için kullanılabilir. Endüstride genellikle büyük güçlü sistemler kullanıldığından üç fazlı ancak düşük güçlü uygulamalarda ise bir fazlı aktif filtreler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, basit bir yapıya sahip olan anlık reaktif güç teorisi (p-q teorisi) [12-14] kullanılarak PAGF akımının kontrolü için gerekli olan referans işaretler elde edilmiştir. Matlab/Simulink programlama ortamı kullanılarak PAGF modellenmiştir. Modelden elde edilen PAGF' nin dinamik performansını gösteren benzetim sonuçları verilmiştir. Sonuçlardan düşük toplam harmonik bozulmanın ve birim güç faktörü değerinin sağlandığı görülmüştür.

2. Paralel Aktif Güç Filtresi

Paralel aktif güç filtresinin temel görevi yükün ihtiyaç duyduğu reaktif gücü yerel olarak sağlayarak şebekede oluşan harmoniklerin bastırılmasıdır. Bu durumda kaynak sadece birim güç faktörlü dengeli sinüzoidal akımları sağlayacaktır. Bunu sağlamak için doğrusal olmayan yükün şebekeden çektiği akımdaki harmoniklerle aynı genlikte fakat ters fazda olan harmonikli bir akım şebekeye enjekte edilir [15]. Bu şekilde şebekeden çekilen akımdaki harmonikler yok edilerek akımın dalga şeklinin sinüzoidal formda olması sağlanmaktadır. Şekil 1' de PAGF prensip şeması ve Şekil 2' de ise akımların dalga şekilleri verilmiştir.

Aktif güç filtresi için gerekli akımlar, yük akımı, da bara gerilimi ve kaynak geriliminin algılanmasıyla tahmin edilmektedir [16, 17].

Şekil 3, PAGF' nin blok diyagramını göstermektedir. PAGF da kondansatöre sahip gerilim beslemeli evirici, filtre akımının şebekeye iletilmesi için bir bağlantı indüktansı ve filtrenin kompanzasyon akım işaretlerini üretebilmesi için bir denetleyici içermektedir.

Kaynaktan çekilen akım yani şebeke akımı i_s ;

$$i_s = i_L + i_f \quad (1)$$

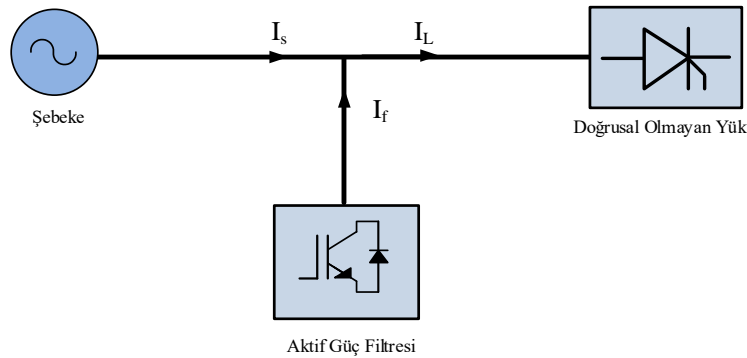
olmak üzere yükün kaynaktan çektiği akım i_L , ve filtre akımı i_f den oluşmaktadır. Yük akımı harmonik bileşenler de içerdiğinden,

$$i_L = i_{L1} + i_{Lh} \quad (2)$$

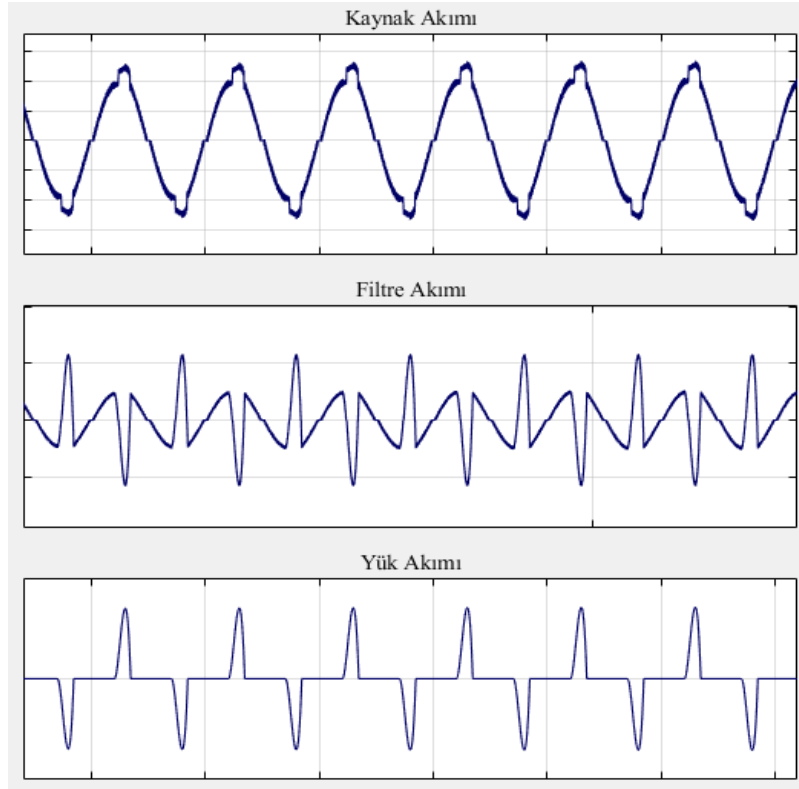
Burada i_{L1} yük akımının temel (da) bileşenini, i_{Lh} ise harmonik bileşenlerini ifade eder. PAGF' nin amacı yük akımındaki harmonik bileşenlerle aynı genlikte fakat zıt fazda harmonik akımlar üretmek olduğundan filtre akımı

$$i_f = - i_{Lh} \quad (3)$$

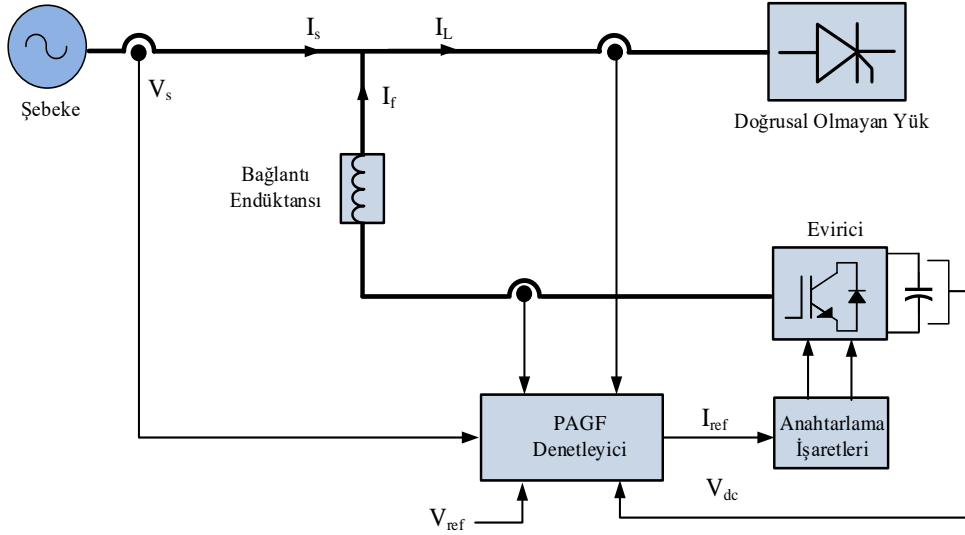
şeklinde yazılabilir.



Şekil 1. PAGF prensip şeması.



Şekil 2. Kaynak, aktif güç filtresi ve yük akımı dalga şekilleri.



Şekil 3. PAGF blok diyagramı.

3. PAGF Kontrolü

PAGF' nin kontrolü $\alpha\beta 0$ referans eksen takımı kullanılarak yapılmıştır. Sistem gerilimi ve yük akımı Clarke dönüşümleri kullanılarak sadece α ve β bileşenleri Denklem (4) ve Denklem (5) ifadeleri ile bu eksen takımında ifade edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} v_{s\alpha} \\ v_{s\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \\ v_{sc} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} i_{L\alpha} \\ i_{L\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \\ i_{Lc} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Ani reaktif güç teorisi sadece üç fazlı sistemlere uygulanabilmektedir. Bu teorinin bir fazlı sisteme uyarlanması genlikleri ölçülen akım ve gerilimle aynı ancak $\pm 120^\circ$ faz farklı iki sanal akım ve gerilim kullanılarak sanal üç fazlı sistem oluşturulur.

Bundan sonraki işlemler üç fazlı sistemlerle aynıdır. Hesaplamalar sonrasında sadece bir referans akım kullanılarak evirici kontrol edilir.

p-q teorisinde ani güç ifadesi;

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{s\alpha} & v_{s\beta} \\ v_{s\beta} & -v_{s\alpha} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_{L\alpha} \\ i_{L\beta} \end{bmatrix} \quad (6)$$

şeklinde verilir.

Dönüşüm sonrası aktif ve reaktif güç bileşenleri p ve q ise;

$$p = v_{s\alpha} \cdot i_{L\alpha} + v_{s\beta} \cdot i_{L\beta} \quad (7)$$

$$q = v_{s\beta} \cdot i_{L\alpha} - v_{s\alpha} \cdot i_{L\beta} \quad (8)$$

olarak ifade edilir

Reaktif güç bileşeni aktif güç filtresi tarafından sağlanacağından sadece ani aktif güç bileşeninin ortalama değeri (\bar{p}) istenmektedir. Aktif filtrenin sağlaması gereken referans akımları belirlemek için istenen güç bileşeni ile istenmeyen güç bileşeninin ayrıştırılması gerekmektedir.

p-q teorisi ile elde edilen ani güç bileşenlerine ilaveten paralel aktif filtrenin de barası olan kondansatör gerilimini düzenleyen p_{reg} olarak ifade edilen regülasyon gücü tanımlanmıştır. Bu kondansatör geriliminin kontrolü için bir PI denetleyici ve referans gerilim (V_{ref}) ile da kondansatör gerilimi (v_{da}) arasındaki fark (hata) kullanılmıştır.

$$e(t) = V_{ref} - v_{da} \quad (9)$$

$$p_{reg} = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dt \quad (10)$$

Bu şekilde eviricinin da kondansatör gerilimi sabit tutulmuştur. PI denetleyici da kondansatör geriliminin denetlenmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir [18, 19]. Denetleyici çıkışı referans akım işaretlerine eklenerek oluşan aktif güç kayıplarının şebekeden karşılanması sağlanmıştır.

p_{reg} bileşenini p_x içerdiğinden istenmeyen güç bileşeni değeri,

$$p_x = (p - \bar{p}) - p_{reg} = \tilde{p} - p_{reg} \quad (11)$$

$$q_x = q \quad (12)$$

İstenmeyen güç bileşenlerinden faydalanarak Denklem (13) kullanılarak $\alpha\beta$ eksen takımında kompanzasyon akımları belirlenir. Kompanzasyon akımının sıfır bileşeni ise Denklem (14) kullanılarak doğrudan yük akımından elde edilir.

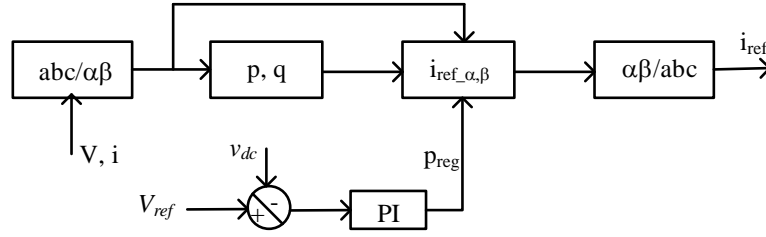
$$\begin{bmatrix} i_{ref_a} \\ i_{ref_b} \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \times \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} p_x \\ q_x \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$i_{ref_0} = i_{L0} = \frac{1}{\sqrt{3}} (i_{La} + i_{Lb} + i_{Lc}) \quad (14)$$

Referans akımların abc koordinat sistemindeki eşdeğerleri, $\alpha\beta 0$ koordinat sistemindeki değerlerine ters Clarke dönüşümü uygulanarak elde edilir.

$$\begin{bmatrix} i_{ref_a} \\ i_{ref_b} \\ i_{ref_c} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1 & 0 \\ 1/\sqrt{2} & -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ 1/\sqrt{2} & -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_{ref_0} \\ i_{ref_a} \\ i_{ref_b} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Şekil 4' de paralel aktif filtre denetiminin blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 4. Referans akım elde etme blok diyagramı.

Elde edilen bu referans akımlar ile eviricide kullanılan anahtarlama elemanları için anahtarlama işaretleri üretilir. Referans akımlar da (\bar{i}) ve aa (\tilde{i}) bileşenlerden oluşur.

$$i = \bar{i} + \tilde{i} \quad (16)$$

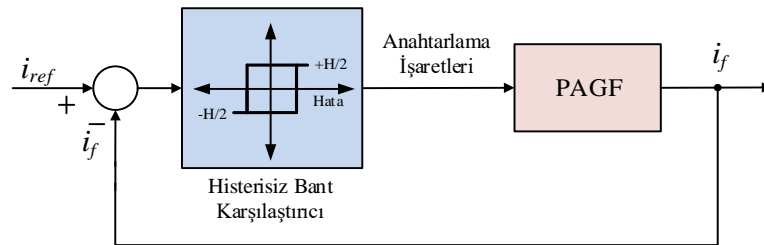
Akımdaki da işaretler temel bileşeni, aa işaretler ise harmonik bileşenleri ifade eder. Akımdaki aa işaretler yüksek geçiren bir filtre kullanılarak elde edilir. PAGF' nin denetimi için elde edilen bu referans işaretler ile harmonik bastırma işlemi gerçekleştirilir.

PAGF' de harmonik akımlar, evirici anahtarlarının uygun şekilde anahtarlanması ile oluşturulduğundan, referans işaretlerin doğru ve hızlı bir şekilde elde edilmesi oldukça önemlidir.

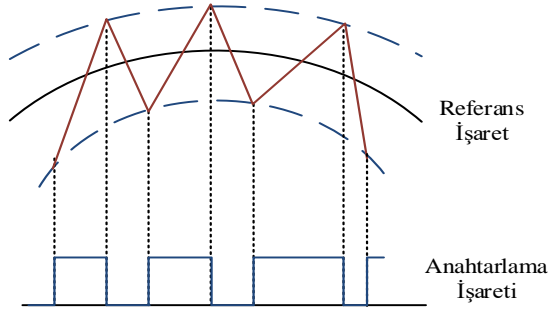
4. Histerisiz Bant Akımı Denetimi

Akım denetimi PAGF' nin performansına etki eden önemli faktörlerden biridir. Oluşturulan referans akımlar ile evirici anahtarlama elemanları için uygun anahtarlama işaretleri üretilmektedir. Uygulanabilirliğinin kolay olması, hızlı cevabı ve sistemde meydana gelen parametre değişimlerine duyarsız olması özelliğinden dolayı [20, 21] burada histerisiz bant akım denetleyici kullanılmıştır.

Bu yöntemde, referans akımlar ile ölçülen evirici çıkış akımları karşılaştırılarak, hata işareti bir histerisiz bant karşılaştırıcıya girilir. Histerisiz bant karşılaştırıcının çıkışında evirici anahtarlama elemanları için darbe genişlik modülasyonu anahtarlama işaretleri elde edilmiş olur. Histerisiz bant karşılaştırıcı genel blok şema Şekil 5' de, histerisiz bant karşılaştırma sonucu elde edilen darbe genişlik modülasyonu işaret elde etme işlemi Şekil 6' da verilmiştir.



Şekil 5. Histerisiz bant akım denetimi blok diyagramı.



Şekil 6. Histerisiz bant anahtarlama işareti üretimi.

5. Benzetim Sonuçları

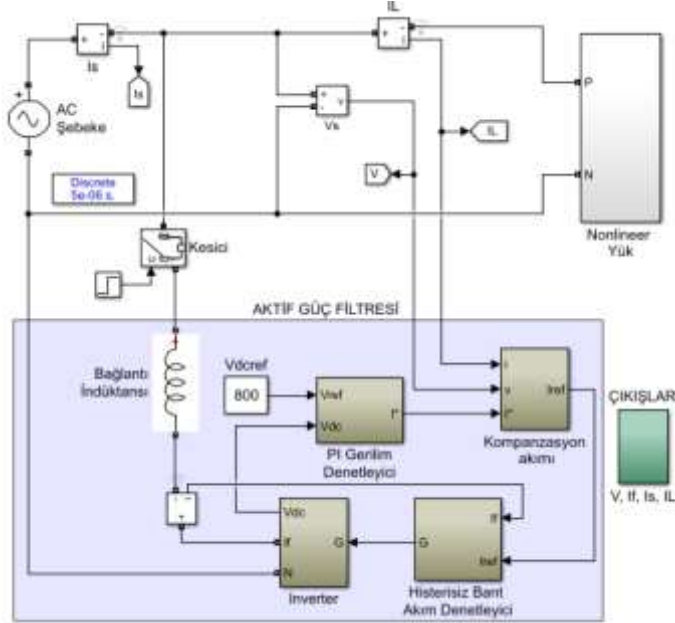
Şekil 3' te verilen PAGF *Matlab-Simulink* programlama ortamında modellenerek benzetimi yapılmıştır. Tüm sistemin Simulink modeli Şekil 7' de, benzetimde kullanılan parametreler ise Tablo 1' de verilmiştir. Doğrusal olmayan yük olarak köprü doğrultucuya bağlı bir RL yükü kullanılmıştır.

Tablo 1. Benzetimde kullanılan parametreler

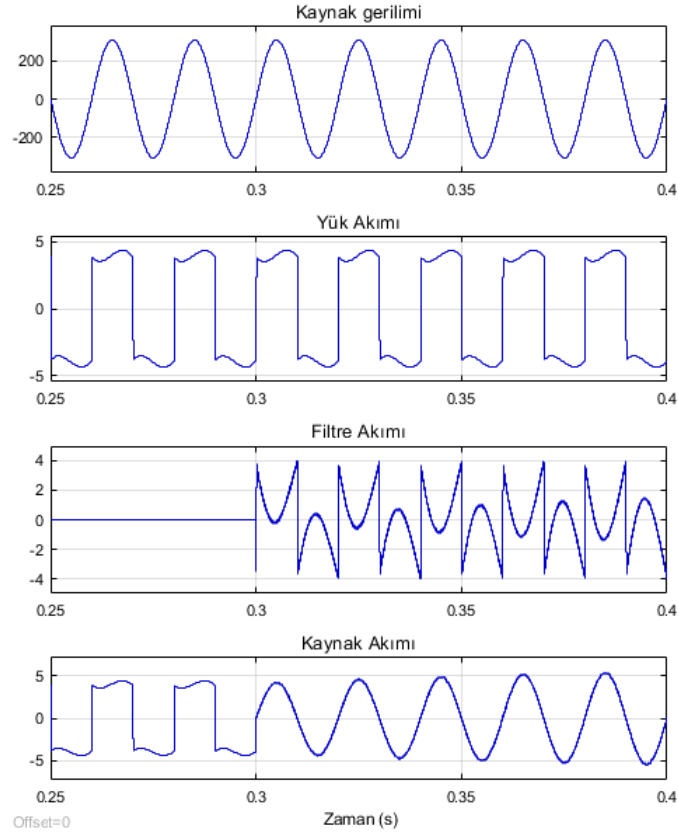
Da bara kondansatörü	5 mF
Bağlantı İndüktansı	3.5 mH
Şebeke Gerilimi	220 V
Şebeke Frekansı	50 Hz
Yük Direnci	50 Ω
Yük İndüktansı	0.5 H

Sistemin benzetimi yapılarak PAGF devre dışı iken ve devreye alındığında şebeke akımı, yük akımı ve filtre akımı izlenmiş ve sonuçlar verilmiştir.

Şekil 8' de filtre 0.3. saniyede devreye alındığı durumdaki akımların dalga şekli gösterilmiştir.

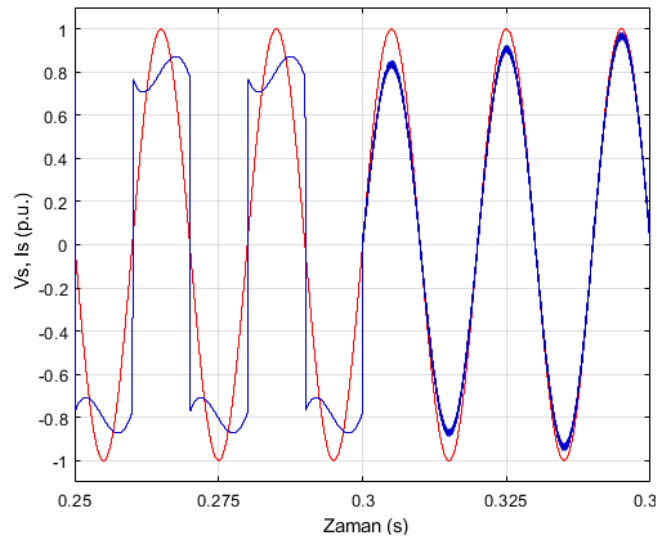


Şekil 7. PAGF Simulink modeli.



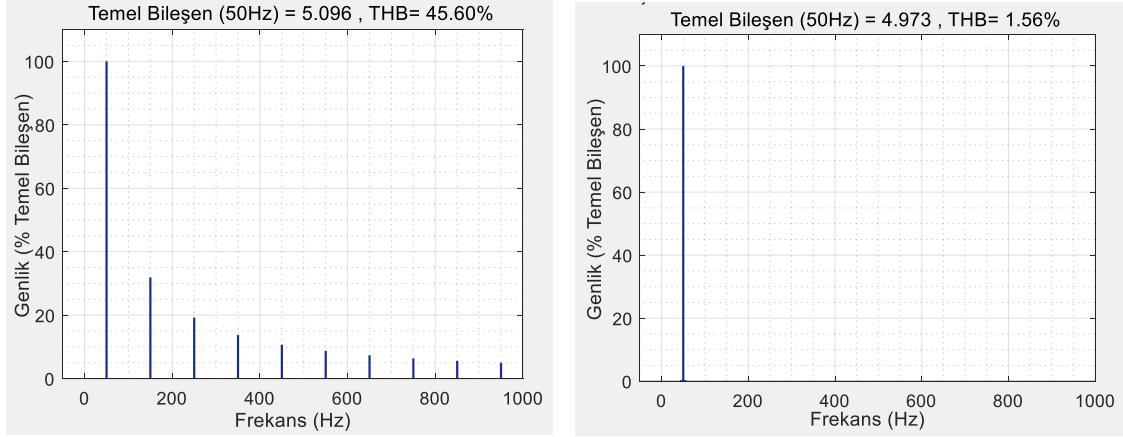
Şekil 8. PAGF kaynak, yük ve filtre akım dalga şekilleri.

Sistem normal çalışma durumunda yani filtre devre dışı iken doğrusal olmayan yükü besleyen şebekeden çekilen akımın harmonik içerikli olduğu, filtreden akım çekilmediği görülmektedir. Filtre devreye alındığında yükün ihtiyaç duyduğu reaktif güç PAGF tarafından sağlandığından şebeke akımındaki harmonikler bastırılmış ve şebeke akımı sinüzoidal forma yaklaşmıştır. Bu durumda şebeke akımının şebeke gerilimi ile aynı fazda olduğu da Şekil 9’ da görülmektedir.



Şekil 9. PAGF kaynak, gerilim ve akım dalga şekilleri.

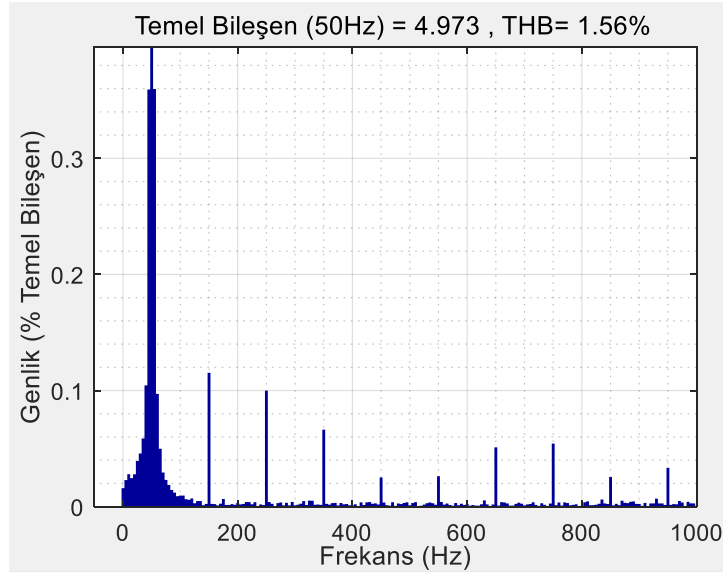
Filtre hem devre dışı hem de devrede iken şebeke akımındaki harmonikler incelenmiş ve bu iki duruma ilişkin spektrum Şekil 10' da verilmiştir.



Şekil 10. (a) PAGF devre dışı iken (b) PAGF devreye alındığında kaynak akımı harmonik içeriği.

Elde edilen spektrumdan açıkça görüldüğü üzere filtresiz durumda %45.6 olan toplam harmonik bozulma filtre devreye girdiğinde %1.56'ya düşmüştür. Filtre devreye alındığında kaynak akımı harmonik bileşenleri çok küçülmüş, bu bileşenleri görebilmek için Şekil 10 (b)' deki spektrumun genlik eksen değeri düşürülerek Şekil 11' de verilmiştir.

Benzetim sonuçlarından görüldüğü üzere PAGF devreye alındığında şebekeden çekilen akım sinüzoidal forma yaklaşmış ve şebekenin yaklaşık birim güç faktöründe çalışması sağlanmıştır. Böylece PAGF kullanılarak hem reaktif güç kompanzasyonu hem de harmoniklerin bastırılması başarılı şekilde gerçekleştirilmiştir.

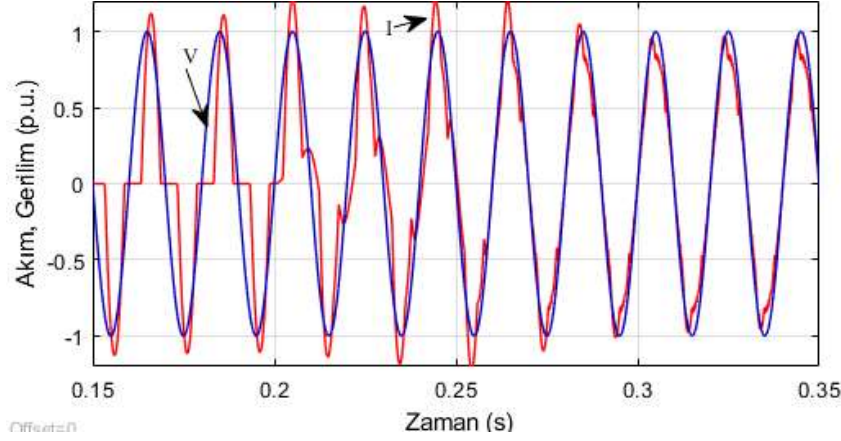


Şekil 11. PAGF devreye alındığında kaynak akımı harmonik içeriği büyütülmüş hali.

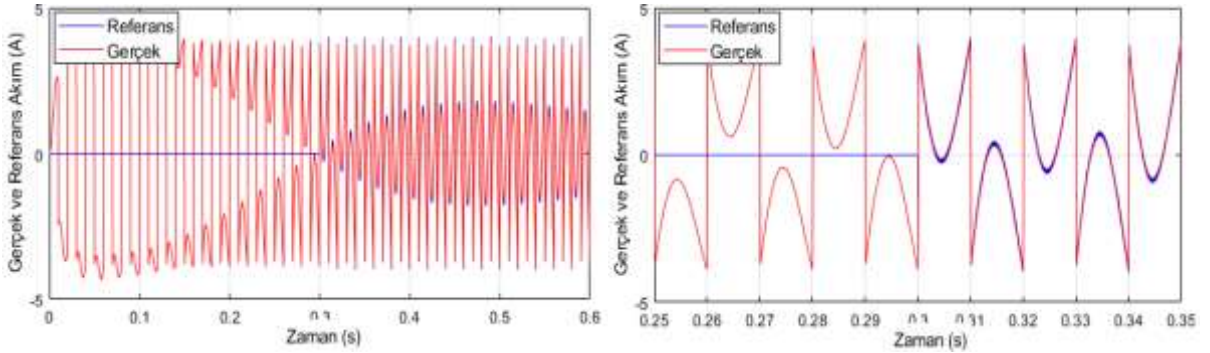
PAGF' nin hem reaktif güç kompanzasyonu yaptığı hem de harmonikleri bastırabildiğinin incelenmesi için kondansatör de içeren farklı bir doğrusal olmayan yük bağlanmış ve sistem çalıştırılarak 0.2. saniyede PAGF devreye alınmıştır. Bu durumda şebeke akım ve geriliminin p.u. değerleri zaman eksenini genişletilerek Şekil 12' de verilmiştir.

Şekil 12' den açık bir şekilde görüldüğü üzere PAGF devreye alındığında akım dalga şekli sinüzoidal forma yaklaşarak harmonikler bastırılmış ve akım ile gerilim arasındaki faz farkı da giderilerek birim güç faktörüne yaklaşmıştır.

PAGF' nin performansı, evirici çıkış akımının referans işareti doğru bir şekilde izlemesine bağlıdır. Şekil 13 (a)' da referans işaret ve evirici çıkışında üretilen kompanzasyon akımına ait dalga şekilleri gösterilmiştir. Şekil 13 (b) ise Şekil 13 (a)' nın büyütülmüş halini göstermektedir. Burada PAGF' nin referans işaretleri iyi bir şekilde izlediği açıkça görülmektedir.



Şekil 12. PAGF kaynak, gerilim ve akım dalga şekilleri.

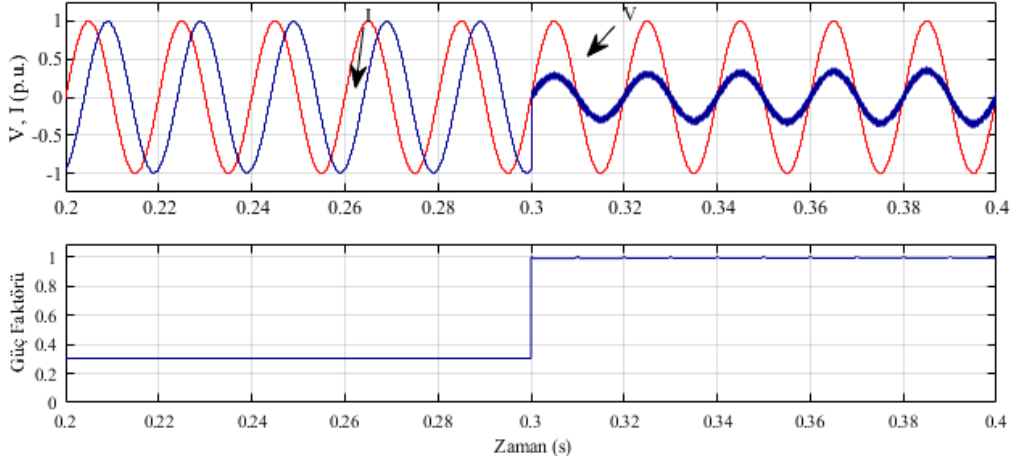


Şekil 13. PAGF' nin referans akımı izleme performansı.

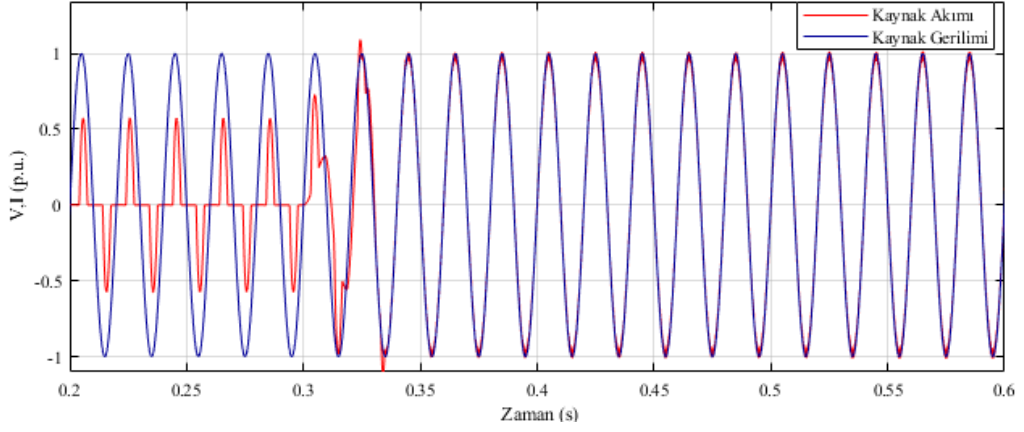
Oluşturulan devrenin doğrusal yüklerdeki davranışının incelenmesi bakımından devreye bağlanan yük değiştirilerek $R=50\Omega$, $L=0.5H$ olan endüktif bir yük bağlanmıştır. Devre bu yük altında çalıştırılırken PAGF 0.3. saniyede devreye alındığında kaynak akımı ve gerilimi dalga şeklinin p.u. değerleri ile devreye ilişkin güç faktörü değişimi Şekil 14' de verilmiştir.

Filtrenin etkinliğinin açık bir şekilde görülmesi için yükün endüktif özelliği büyük seçilmiştir. Bu yük değerinde filtre devrede yok iken kaynak akımı ve gerilimi arasındaki faz farkı dalga şekillerinden rahatlıkla görülmektedir. Bu durumda devreye ilişkin güç faktörü 0.303 dür. Filtre devreye alındığında ise akım ve gerilim arasındaki faz farkı sifira yaklaşmış ve bu durumdaki güç faktörü 0.9915 olmuştur. Filtre kaynak akımı ve gerilimi arasındaki faz farkını gidererek birim güç faktörüne yaklaştırmıştır. Kaynaktan çekilen reaktif akım filtre devreye alındıktan sonra filtre tarafından sağlandığı için kaynaktan çekilen akımın da düştüğü açıkça görülmektedir.

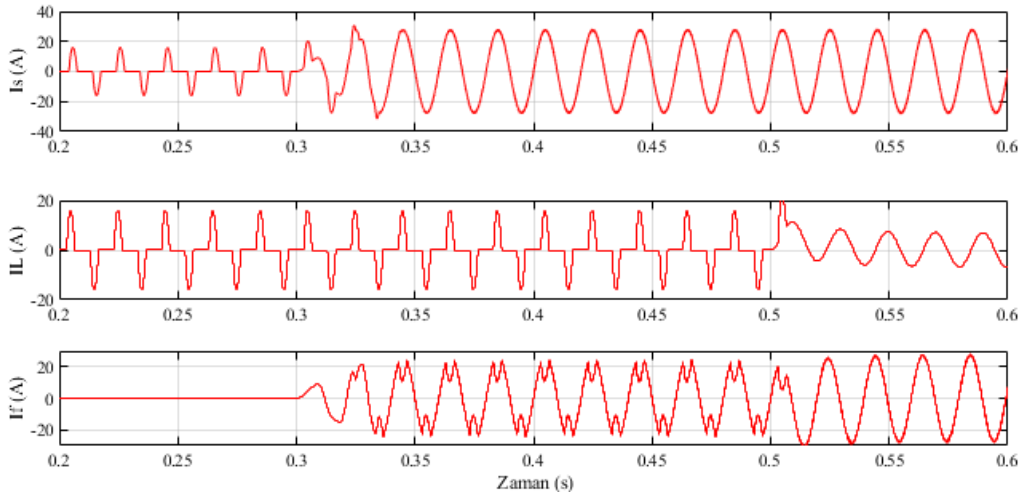
Filtre yükünün değişiminin filtre performansına etkisini incelemek amacıyla Sistem çalışırken 0.3. saniyede filtre devreye alınmış ve 0.5. saniyede ise mevcut yük devreden çıkarılarak farklı bir yük bağlanmıştır. Bu durumda kaynak akım ve geriliminin p.u. değerleri Şekil 15' de ve kaynak akımı, yük akımı ve filtre akımına ait dalga şekilleri Şekil 16' da sırasıyla verilmiştir. Elde edilen şekillerden tek fazlı PAGF' nin yük değişimlerinden etkilenmediği ve bu değişimlere karşı da dayanıklı olduğu görülmüştür.



Şekil 14. PAGF' nin doğrusal yük durumundaki performansı.



Şekil 15. PAGF' nin doğrusal yük durumundaki performansı.



Şekil 16. PAGF' nin doğrusal yük durumundaki performansı.

6. Sonuçlar

Bu makalede, bir paralel aktif güç filtresinin modeli ve denetimi yapılmıştır. Benzetimde Matlab/Simulink modelleme ortamı kullanılmıştır. PAGF modelindeki eviricinin anahtarlama elemanları için gerekli kapı işaretleri histerisiz bant akım denetleyici ile elde edilmiştir. Eviricide da bara olarak kullanılan kondansatör gerilimi ise bir PI denetleyici ile kontrol edilerek sabit tutulmuştur. Elde edilen benzetim sonuçlarından, modellenen PAGF' nin doğrusal olmayan yüklerin oluşturduğu harmonikleri bastırdığı ve reaktif gücü etkili bir şekilde kompanze ettiği görülmüştür. PAGF modeli doğrusal yüklerde de sistemin güç faktörünü iyileştirdiği ayrıca yük değişimlerinden de etkilenmeyerek güç faktörünü koruduğu elde edilen sonuçlardan görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Kochukuttan H, Chandrasckaran A. Development of a fuzzy expert system for power quality applications. Proceedings of the Twenty-Ninth Southeastern Symposium on System Theory; 1997; Cookeville, TN. 239–243.
- [2] Moran LA, Dixon, JW, Espinoza, JR, Wallace, RR. Using active power filters to improve power quality. In 5th Brazilian Power Electronics Conference; 1999. 501-511.
- [3] Akagi, H, Kanazawa, Y, Nabae, A. Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components. IEEE T Ind Appl 1984; 3: 625-630.
- [4] Singh, B, Al-Haddad, K, Chandra, A. A review of active filters for power quality improvement. IEEE T Ind Electron 1999; 46: 960–971.
- [5] Watanabe, HE, Akagi, H, Aredes, M. Instantaneous p-q power theory for compensating nonsinusoidal systems. In: International School on Nonsinusoidal Currents and Compensation; 10-13 June 2008; Lagow, Poland. 1–10.
- [6] Kale, M, Özdemir, E. Harmonic and reactive power compensation with shunt active power filter under non-ideal mains voltage. Electr Pow Syst Res 2005; 74: 363–370.
- [7] Bayındır, KÇ. Modelling of custom power devices. PhD Thesis, Çukurova University, Adana, Turkey, 2006.
- [8] Habrouk, ME, Darwish, MK, Mehta, P. Active power filters: A review. IET Electr Power App 2000; 147(5): 403–413.
- [9] Kale, M, Özdemir, E. A new hysteresis band current control technique for a shunt active filter. Turkish Journal of Electrical Engineering&Computer Sciences 2015; 23(3): 654-665.
- [10] Buso, S, Malesani, L, Mattavelli, P. Comparison of current control techniques for active filter applications. IEEE T Ind Electron 1998; 45: 722–729.
- [11] Kazmierkowski, MP, Malesani, L. Current control techniques for three-phase voltage source PWM converters: a survey. IEEE T Ind Electron 1998; 45: 691–703.
- [12] Haque, MT. Single-phase pq theory for active filters. In: 2002 IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering; 2002. 1941-1944.
- [13] Khadkikar, V, Chandra, A, Singh, BN. Generalised single-phase pq theory for active power filtering: simulation and DSP-based experimental investigation. IET Power Electron 2009; 2(1): 67-78.
- [14] Haque, MT, Ise, T. Implementation of single-phase pq theory. In: Proceedings of the Power Conversion Conference-Osaka 2002 (Cat. No. 02TH8579); 2002. 761-765.
- [15] Mattavelli, P. A closed-loop selective harmonic compensation for active filters. IEEE T Ind Appl 2001; 37: 81–89.
- [16] Chandra, A, Singh, B, Singh, BN, Al-Haddad, K. An improved control algorithm of shunt active filter for voltage regulation, harmonic elimination, power-factor correction, and balancing of nonlinear loads. IEEE T Power Electr 2000; 15(3): 495-507.
- [17] Nabae, A, Takahashi, I, Akagi, H. A new neutral-point-clamped PWM inverter. IEEE T Ind Appl 1981; 5: 518-523.
- [18] Bhattacharya, S, Veltman, A, Divan, DM, Lorenz, RD. Flux based active filter controller. IEEE T Ind Appl 1999; 32(3): 491-501.
- [19] Chen, CL, Lin, CH. An active filter for an unbalanced three-phase system using the synchronous detection method. Electr Pow Syst Res 1996; 36: 157-161.
- [20] Pan, CT, Chang, TY. An improved hysteresis current controller for reducing switching frequency. IEEE T Power Electr 1994, 9: 97-104.
- [21] Malesani, L., Rosseto, L., Tomasin, P., Zuccato, A. (1996). Digital hysteresis current control with clocked commutations and wide operating range. IEEE Trans. Ind. Appl., 32: 260-268.

Ahlat – Malazgirt Yapı Taşlarının Isıl ve Mekanik Özellikleri

Ayşe BİÇER*

Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
abicer@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 01/12/2018;

Kabul/Accepted: 23/05/2019)

Öz: Bu çalışmada, Süphan Dağı'ndan çıkan volkanik ürünlerin soğuyup katılaşmasıyla oluşmuş Ahlat ve Malazgirt taşlarının bazı ısı ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Ahlat taşı, Bitlis ilinin Ahlat ve Malazgirt taşı, Muş ilinin Malazgirt ilçe merkezi ve çevresinde yaygın bir şekilde bina yapı elemanı olarak kullanılmakta ve halk arasında işleme kolaylığı ve ısı özellikleri açısından övgü ile sözü edilmektedir. Amaç, bölgede çok kullanılan taşların, bina yapı elemanı olarak gerçekte ne tür özelliklere sahip olduğunu belirlemektir. Taşların özelliklerini belirlemek üzere, her taş için iki ayrı taş ocağından numuneler alındı. Numunelere uygulanan ısı ve mekanik testler sonucu, taşların bazı özellikleri belirlenerek benzeri yapı malzemeleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda, taşların, kolayca işlenebilmesi, rezervlerinin zengin, maliyetlerinin düşük ve ısı konfor yönünden birçok yapı elemanına kıyasla daha iyi olması nedeniyle tercih edildiği saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Andezit tüf, ignimbirit, Ahlat taşı, Malazgirt taşı, yapı malzemesi.

Thermal and Mechanical Properties of the Building Stones from Ahlat and Malazgirt

Abstract: In this study, certain thermal and mechanical properties of the Ahlat and Malazgirt stones formed by the cooling and solidification of volcanic products from Suphan Mountain are examined. Ahlat and Malazgirt stones from Bitlis province are widely used as a building material in Malazgirt district's central area of Muş province, gaining an immense reputation in the community thanks to its easy of handling and thermal properties. The objective here is to determine the kind of properties these stones have as a building material. With this objective, stone samples from two separate sources were taken. Thermal and mechanical tests carried out on the samples were compared with similar building materials by determining certain properties of the resultant stones. With this study, it is inferred that these stones are preferred thanks to its ease of handling, enriched reserves, low-costs, as well as bearing better properties compared to a number of building materials in terms of thermal comfort.

Key words: Andesite tuff, ignimbrite, Ahlat stone, Malazgirt stone, building material

1. Giriş

Bazı volkanlardan çıkan volkanik malzemenin soğuyup katılaşmasıyla piroklastik bir kayaç türü olan andezitik tüfler oluşur. Doğu Anadolu Bölgesi'nde mineralojik bileşimi değişiklik gösteren 15'e yakın andezitik tüf bulunmaktadır. Nemrut dağı, Süphan, dağı, Dumanlı (Erzurum), Küçük ve Büyük Ağrı Dağları, Çat (Erzurum), Hamur (Ağrı), Kars dağlarının andezit tüfleri örnek olarak sayılabilir [1]. Bu tüflerin bir kısmı, "Kızgın, halde akan", "kaynaklaşmış tüf" anlamına gelen ignimbirittir. İgnimbiritler genel olarak asit bileşimli magmaların patlaması sonucu oluşmuş piroklastik kayaçlardır. Yoğunlukları düşük, dayanımları yüksek, kolay şekil alabildikleri ve mükemmel yalıtım malzemesi özelliğine sahip oldukları için Dünya'nın birçok yerinde olduğu gibi ülkemizde de yapıtaşı olarak kullanılmaktadır. Taşı oluşturan başlıca mineraller plajiyoklaz (oligoklaz, andezin, nadiren labrador), piroksen (ojit, klinoenstatit) ve opak mineraller (manyetit, ilmenit) olup daha az oranda da kuvars, biyotit ve amfibol bulundurulabilir. Taşların kırmızı, siyah, gri, beyaz, kül rengi türleri mevcuttur. Taşlar yapı olarak bünyesinde mikro gözeneklere sahip olup hem hafif hem de yalıtım özelliğine sahiptir. Dolayısıyla ısı ve ses yalıtımı nedeniyle geçmişte olduğu gibi günümüzde de bu taşlar tekrar büyük önem kazanmıştır. Son yıllarda gerek enerji maliyetleri ve gerekse inşaat malzemelerindeki fiyat artışları her bir yörenin jeolojik yapısına bağlı olarak doğal taşların taşıyıcı ve dolgu elemanı olarak kullanılmasını gündeme getirebilir. Taşlar ocaklardan çıkarıldığı zaman, bünyesinde bulunan nem nedeniyle kesilmesi yontulması işlenmesi oldukça kolaydır. Zaman içerisinde nem bünyeden atılarak taşlar sertleşmekte ve dayanım kazanılmaktadır.

* Sorumlu yazar: abicer@firat.edu.tr. Yazarın ORCID Numarası: 000000034.514.564

Yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılan Ahlat ve Malazgirt taşları Süphan Dağı'nın püskürttüğü piroklastik malzemenin ani şekilde soğuması sonucu oluşmuş taşlardır. Taşlar, ocaktan yeni çıkartıldığında ahşap gibi testere ile kolayca kesilebilmekte, matkap ile delinebilmekte, sert cisimlerle yontulabilmekte ve hatta çivi çakılabilmektedir. Taşların bu özellikleri ile yörede inşa edilen binalarda yapı malzemesi olarak itibar görmesini sağlamıştır.

Taşlarla ilgili birçok çalışmalar yapılmış olup bunların bir kısmı özetle; Gevrek ve Kazancı (1991), ignimbrit: oluşumu üzerine çalışmıştır. Bakış ve arkadaşları (2014), Ahlat Taşının inşaat sektöründe kullanımını, Akın ve arkadaşları (2014) Ahlat Taşı'nın atmosferik etkiler altındaki duyarlılığı konusunu araştırmıştır. Kazancı ve Gürbüz (2014), Türkiye Doğal Taşları'nın jeolojik oluşumları ile ilgili çalışmışlar. Pivko (2003), Dünyadaki taşların tarihsel oluşumu ile ilgili çalışma yapmıştır. Dinçer ve arkadaşları (2012), ignimbritlerin kapiler su emme potansiyellerinin değerlendirilmesi ile ilgili çalışma yapmış ve Ahlat Taşı örneği verilmiştir. Akıllı (1987), taş eserlerin tahribatına neden olan etkenleri araştırmıştır. Gürdal (1982), anıtlarda ve yapılarda kullanılmış doğal taşların bozulmaları nedenleri ve korunmaları konusunu araştırma yapmıştır.

Bu çalışmada Bitlis ili Ahlat ilçesinde bulunan Ahlat taşı ile Muş ilinin Malazgirt ilçesinde bulunan Malazgirt taşlarının bazı özellikleri araştırılmıştır. Taşlar, uzun yıllar bölge yapılarında taşıyıcı yapı elemanı olarak kullanılmış ve halk arasında çok muteber bir yapı elemanı olarak kabul görmüştür. Bu itibar gerçekten iyi bir malzeme olmasından mı yoksa teminindeki kolaylıktan mı kaynaklandığı belirli değildir. Bu çalışma konuya ışık tutmak amacıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Malzemelerin özelliği

Ahlat Taşı: Ahlat, Bitlis ilinin 60 km uzaklığında ve kuzey doğusunda, Süphan ve Nemrut dağları arasında, Van Gölü'ne bakan eğimli platolar üzerinde kurulmuş bir Bitlis ilçesidir (Şekil 1). Taşlar Ahlat kazasına üç km uzaklıkta bulunan ocaklardan çıkarılmaktadır. Ahlat taşı, Süphan Dağı volkanik malzemenin ani şekilde soğuması sonucu oluştuğundan kalıp kalıptır. Çünkü volkanik malzemeler katman katman akmıştır [1]. Taşların çeşitli renkte olması cephe süslemesinde bolca kullanılmasına neden olmuştur [7]. Taş yapısı itibariyle volkanik olduğundan hafiftir. Fakat buna karşılık çok dayanıklıdır. Öyle ki oksijen kaynağı taşı eritememektedir [1]. Bu özelliklerinden dolayı yapılarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Büyük rezervlere sahip olan taşın maliyeti düşüktür. Bu taşlar Selçuklular döneminde yörede birçok tarihi eserlerde kullanılmıştır. Günümüzde Ahlat ilçesinde bulunan Büyük Selçuklu Oteli bu taşlardan yapılmıştır. Taşlar yörede cami minarelerinin yapımında da kullanılmaktadır. Taşların ocaktan çıkarılışı ve şekillendirilmesi oldukça kolaydır.



Şekil 1. Ahlat ve Malazgirt ilçelerini gösteren harita.

Malazgirt Taşı: Muş ilinin Malazgirt kazasına bağlı Liz köyünde bulunan taş ocaklarından “Liz Taşı” adıyla iki ayrı taş olarak çıkarılmaktadır. Bu taşların, biri kırmızı diğeri siyah renklidir. Liz taşları çok uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Buna örnek Malazgirt kazasında bulunan Malazgirt Kalesi siyah Liz taşından yapılmıştır. Bu kalenin hala ayakta olması taşın dayanıklılığının bir göstergesidir. Yörede Liz taşı ile yapılan

evlere taş evler ismi verilmektedir. Bu taşların maliyeti oldukça ucuzdur. Taşları ocaktan çıkarılması kolay olup nem oranı yüksek, mukavemet değeri düşük ve işlenmesi kolaydır [6].

Taşların yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 1’de gösterildiği gibi topluca verilmiştir.

Tablo 1. Taşların kimyasal analiz sonuçları.

Bileşen Taş adı	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	Kızdırma kaybı	Tayin edilemeyen
Malazgirt T. ocak 1	63.73	14.97	4.45	3.66	-	3.40	9.79
Malazgirt T. ocak 2	64.13	16.55	4.50	3.66	0.50	2.90	7.76
Ahlat taşı ocak 1	62.73	16.60	4.50	3.23	1.44	2.53	8.97
Ahlat taşı ocak 2	63.80	16.50	4.45	3.55	1.55	3.40	6.75

Taşların kırmızı, siyah, gri, beyaz gibi renkleri mevcuttur (Şekil 2). Taşlar günümüzde bölgede yapı malzemesi olarak kullanıldığı gibi Anadolu'nun birçok yöresine de gönderilmektedir.



Şekil 2. Ahlat ve Malazgirt taşlarının farklı renklerdeki örnekleri.

2.2. Örneklerin hazırlanması

Taşların her biri yörelerinde iki farklı ocaktan alınarak ocak numaraları 1 ve 2 rakamları ile taş isimlerine eklenmiştir. Ocaklardan alınan taşlardan ısıl deneyler için 150x60x20 mm ölçülerinde, basınç ve aşınma deneyleri için ise 100x100x100 mm ebatlarında numuneler hazırlanmıştır (Şekil 2). Taşlar ocaklardan çıkarıldığı zaman bünyesindeki nem nedeniyle, kesilmesi istenilen şekillerin verilmesi kolaydır. Hazırlanan numuneler oda sıcaklığında, 28 günlük doğal kurumaya bırakıldıktan sonra herhangi bir işlem yapılmadan ölçümler yapılmıştır.

2.3. Ölçme yöntemleri

2.3.1. Isıl iletkenlik

Geçici rejimde ölçme yapan ve sıcak tel (Hot Wire) yöntemi ile çalışan “Isomet 2104” marka cihazı ile ölçümler yapılmıştır [10, 11] (Şekil 3). DIN 51046 normuna göre ölçüm yapan bu cihazla, Isı iletim katsayısı, 22-25 °C oda sıcaklığında ve her numune üzerinde 5 farklı noktadan ölçümler yapılmış ve bu

ölçümlerden birbirine uyumlu olan 3 değerin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Cihaz ısı iletim katsayısını 0.02-6 W/mK aralığında %5 hassasiyetle vermektedir. Tablo 2’de görülen bazı yapı malzemelerin yoğunluk ve ısı iletkenlik değeri Şekil 4’de gösterilen taşların yoğunluk ve ısı iletkenlik değeri ile karşılaştırma yapmak üzere topluca verilmiştir.



Şekil 3. Isomet 2104 ölçme aleti.

Tablo 2. Bazı yapı malzemelerin yoğunluk ve ısı iletkenlik değeri [12.13.14].

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Isıl iletkenlik (W/mK)
Beton	1906	0.814
Granit	2643	1.73-3.98
Kalker	2483	1.16
Kum taşı	2163-2307	1.63-2.08
Mermer	2499-2707	2.77
Tuğla	1602	0.692
Seramik toprak	1.077	0.214
Ytong	0.800	0.383

2.3.2. Basınç, çekme ve aşınma deneyleri

Numuneler üzerinde TS 699 standardına uygun dayanım deneyleri yapılmıştır [15]. Numunelere uygulanan basınç Ele International marka, 3000 kN yükleme kapasiteli, dijital kumanda panelli, yükleme hızı ayarlanabilen ve tek eksenli kuvvet uygulayabilen cihazla yapılmıştır. Basınç dayanımı sonuçları, TS 500’ e göre aşağıdaki Denklem 1’ ile çekme dayanımına dönüştürülmüştür [13]. Sonuçlar Şekil 4’de topluca verilmiştir.

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

Burada;

f_{ck} : basınç dayanımı (MPa) ve f_{ctk} : çekme dayanımı (MPa)’ dır.

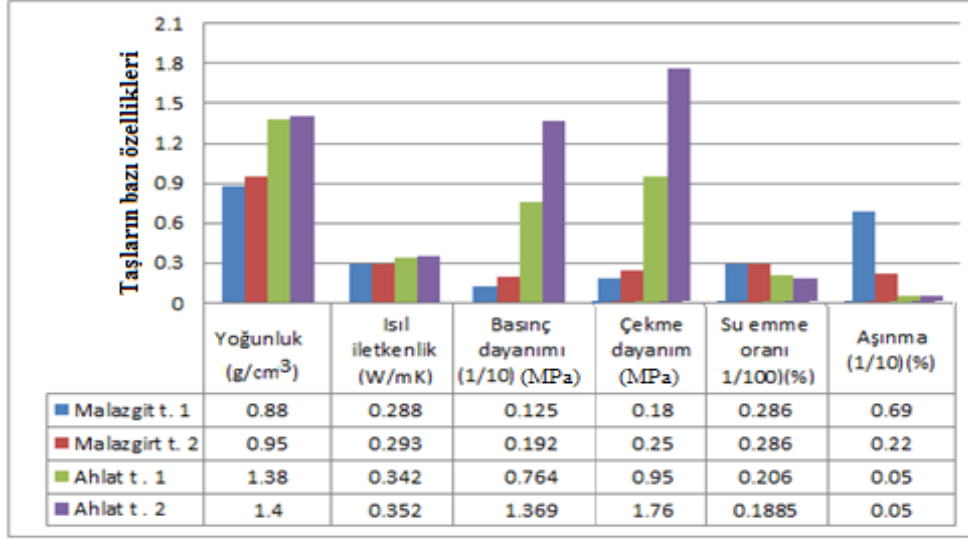
Yapılan sürtünmeden aşınma deneylerinde (Böhme), 88 devir için hacim cinsinden aşınma kaybı sonuçları Şekil 4’de topluca verilmiştir.

2.3.3. Su emme deneyi

Bu deneyin amacı, su ile direk temasta kalan yapı malzemelerinin donma sürecinde, bünyesinde teşekkül eden buz kristallerinin genişleme imkânı bulabileceği bir kuru hacmin varlığının araştırılmasıdır. Bu özellik malzemede donmaya karşı güvence sağlamaktadır. Her numunenin kuru ağırlığı (W_k) tespit edilmiştir. Daha

sonra numunelerin konduğu bir su kabında su seviyesi kademeli olarak yükseltilmiş ve numunelerin tamamı su içinde kalacak şekilde kaba su ilave edilmiştir. Numuneler 48 saat su içinde bekletildikten sonra sudan çıkarılıp silinerek, su emdirilmiş ağırlıkları (W_d) bulunmuş ve “Denklem 2” ile su emme oranı hesaplanmıştır [11]. Sonuçlar Şekil 4’de verilmiştir.

$$\text{Su emme oranı} = \frac{W_d - W_k}{W_k} \cdot 100 \quad (2)$$



Şekil 4. Taşların ısı ve mekanik özellikleri.

2.3.4. Kuruma oranı testi

Kuruma oranı deneyinde amaç, numunelerin tenefüs kabiliyeti mevcudiyetinin araştırılmasıdır [11, 13]. 48 saat su kabı içerisinde bekletilen numuneler sudan çıkarılıp ıslak bir bezle silindikten sonra 22 °C oda sıcaklığında doğal kurumaya bırakılmıştır. 48 saatlik kuruma süreci sonunda kuruma oranları, “Denklem 3” ile hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 6’da zamana karşı grafik halinde gösterilmiştir. Kuruma malzeme yüzeyinden buharlaşma yolu ile olduğundan, burada malzeme derinliğinden yüzeye kılcal kanallar vasıtasıyla suyun hareketi söz konusudur. Yani buhar geçirgenlik direnci vasıtasıyla rutubet bünyeden atılarak kurumaktadır.

$$\text{Kuruma oranı} = \frac{W_d - W_k}{W_d} \cdot 100 \quad (3)$$

2.3.5. Yoğunluk testi

Numunelerin kuru ağırlıkları %1 hassasiyetle ölçme yapan terazide ölçülmüş ve numune hacimleri belirlenerek yoğunluklar hesap edilmiştir. Sonuçlar Şekil 4’de gösterilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Hazırlanan numunelere uygulanan testler sonucu; taşlar yapısı itibariyle volkanik olduğundan oldukça hafiftir. Gerek sürekli ve gerekse zamana bağlı rejimde Malazgirt taşı 0.29 W/mK ortalama ısı iletim katsayısı ile diğer benzeri beton, granit, kalker, mermer ve adi tuğlaya göre daha iyi durumdadır (Tablo 2 ve Şekil 4). Bu taşlar ile yapılan binalar, kışın sıcak ve yazın da serin olmakta gece ile gündüz ve mevsimler arasında meydana gelen sıcaklık değişiminden çok az etkilenmektedir.

Malazgirt taşının avantajlı ısıl özelliklerinin yanı sıra ortalama 1.5 MPa basınç ve 0.2 MPa çekme dayanımı göz önüne alındığında düşük değerlere sahiptir. Ancak briket, tuğla, ytong [6] gibi yapay malzemelerle eşdeğer dayanıma sahiptir.

Ahlat 1 ve 2 taşları 0.35 W/mK ortalama ısıl iletkenlik değeri ile Malazgirt taşları gibi bir çok benzeri malzemelerden daha iyi durumdadır. Basınç ve çekme dayanım ile aşınma değerleri için Malazgirt taşlarından daha yüksek dayanım değerlerine sahiptir. Bu nedenle Ahlat taşı binalarda bölme elemanı olarak kullanımı yanında yük taşıyıcı elemanı olarak da kullanılabilir.

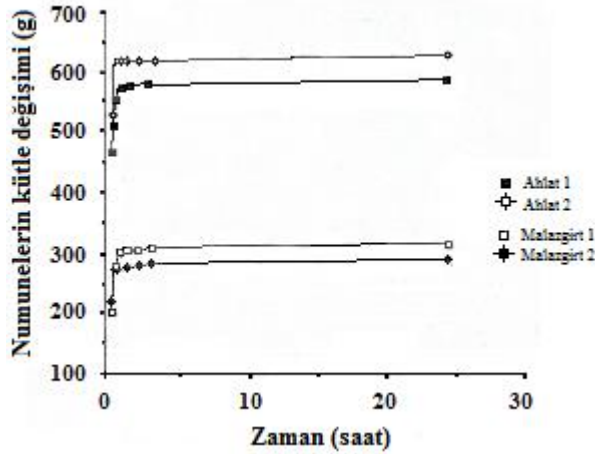
Taşların, %0.5-6.9 luk aşınma kaybı ile merdiven, parke gibi fazla aşınmaya maruz yapı elemanı olarak kullanılmayacağını göstermektedir.

Taşların su emme oranının %30'dan küçük olması taşların nemli ortamlarda kullanılabilirliğini gösterir [7]. Su emme deneyinde numunelerin zamana göre ağırlık değişimi Şekil 4 de gösterilmiştir. Şekil (5) incelenmesi halinde, taşların az da olsa teneffüs kabiliyetine sahip olduğunu göstermektedir.

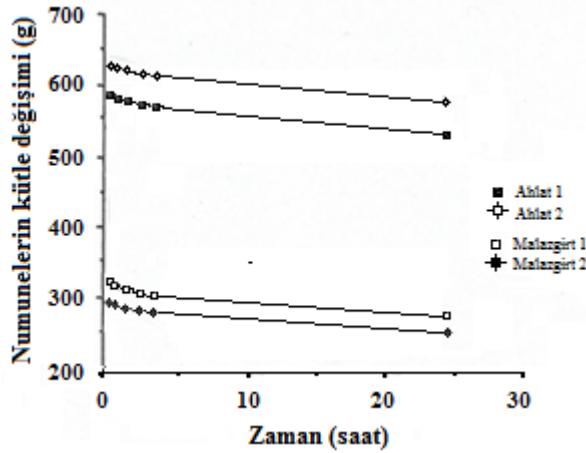
Taş numuneleri üzerinde yapılan hacim ölçüleri ile hassas terazide yapılan ağırlık ölçümleri kullanılarak yapılan hesaplardan, yoğunluğun ortalama Malazgirt taşı 1'in 880 Kg/m³ ve Malazgirt taşı 2 taşının 950 Kg/m³, Ahlat taşı 1'in 1400 Kg/m³ ve Ahlat taşı 2'nin ise 1380 Kg/m³ olarak belirlenmiştir.

Taşların birçok yapı elemanına kıyasla kolayca işlenebilmesi, elektrik ve su tesisatı kanallarının açılması, delinebilmesi, kesilebilmesi, yontulabilmesi, çivi ve vida kullanılmasına izin vermesi büyük avantajdır.

Taşların maliyetlerinin düşük, temininin kolay, rezervlerinin zengin, ısıl özelliklerinin iyi olması nedeniyle yapılarda bölme ve yük taşıyıcı eleman olarak tuğla veya briket yerine kullanılması tercih nedeni olmaktadır



Şekil 5. Su emme deneyinde taşların zamana göre kütle değişimi



Şekil 6. Kuruma deneyinde taşların zamana göre kütle değişimi

4. Sonuçlar

Yöre halkı tarafından muteber bir yapı malzemesi olarak kabul edilip kullanılan Ahlat ve Malazgirt taşları için yapılan araştırma ve testler sonucu;

- 1- Bu taşların rezervleri zengin olup, uzun yıllar kullanılmaya müsaittir.
- 2- Taşların temini kolay ve maliyetleri düşüktür.
- 3- Malazgirt taşının 0.288-0.293 W/mK ısı iletim katsayısı, 1.25-192 MPa basınç gerilmesi ve 2.2-6.9 % aşınma değerleri ile bölge yapılarında; ısı konfor için, dekoratif amaçlı ve bölme elemanı olarak kullanıldığı.
- 4- Ahlat taşı, 0.342-0.352 W/mK ısı iletim katsayısı, 7.64-13.69 MPa basınç gerilmesi ve 0.5 % aşınma değerleri ile gerek ısı konfor için, gerekse bölme ve yük taşıyıcı eleman olarak kullanılabilir özellikte olduğu belirlenmiştir

Taşlar, bu çalışmada, belirlenen ısı ve mekanik özellikler ile yapı malzemesi olarak bölge ve civar illerde tercih edilmesine neden olmuştur.

Kaynaklar

- [1] Boran, A. Van Gölü çevresindeki tek kubbeli camilerin Türk sanatındaki yeri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 1994.
- [2] Gevrek, A. İ. ve Kazancı, N. İgnimbrit: oluşumu ve özellikleri, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, Ankara 1991.38; 39-42.
- [3] Bakış A, Işık E, Hattatoğlu F, Akıllı A. Jeolojik miras nitelikli Ahlat Taşı'nın inşaat sektöründe kullanımı, III. Uluslararası Ahlat-Avrasya Bilim, Kültür ve Sanat Sempozyumu Bildiriler Kitabı (Editörler Doğru M. ve Aksoy E.), 46-59, 22-24 Eylül Ahlat- Bitlis 2014
- [4] Akın M, Özvan A, Dinçer İ, Oyan V, Tapan M. Ahlat Taşı'nın atmosferik etkiler altındaki duyarlılığı, III. Uluslararası Ahlat-Avrasya Bilim, Kültür ve Sanat Sempozyumu Bildiriler Kitabı (Editörler Doğru M. ve Aksoy E.), 60-69, 22-24 Eylül Ahlat- Bitlis 2014.
- [5] Kazancı N, Gürbüz A. Jeolojik Miras Nitelikli Türkiye Doğal Taşları, Türkiye Jeoloji Bülteni 2014. 57: 1.
- [6] Pivko D. Natural stones in earth's history. Acta Geologica, 2003.58:73-86.
- [7] Dinçer İ, Özvan A., Akın, M., Tapan, M., Oyan, V. İgnimbiritlerin kapiler su emme potansiyellerinin değerlendirilmesi: Ahlat Taşı örneği. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2012. 17 (2): 64-71
- [8] Akıllı H. Taş eserlerin tahribatına neden olan etkenler, Rölöve ve Restorasyon Dergisi, 1987. 6:129-135,
- [9] Gürdal E. Anıtlarda ve yapılarda kullanılmış doğal taşların bozulmaları ve korunmaları, Rölöve ve Restorasyon Dergisi 1982. 27-33.
- [10] Vysmauskas V.V, Zikas A.A. Determination of the thermal conductivity of ceramics by the Hot-Wire Technique. Heat Transfer Soviet Research, 1988. 20 (1): 137-142.
- [11] Kaya A, Kar F. Properties of concrete containing waste expanded polystyrene and natural resin. Construction and Building Materials, 2016. 105: 572-578.
- [12] Yapı malzeme ve elemanları, özellikleri-kullanma yöntemleri, Ytong, İstanbul, 1985.
- [13] Devecioğlu A.G. Gözenekli yapı taşlarında ısı iletim parametrelerinin incelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2001.
- [14] Toksoy M. Endüstriyel malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları, T.M.M.O. Mühendis ve Makine Dergisi 1988. 347: 12-15,
- [15] TS 699, Doğal yapı taşlarının muayene ve deney yöntemleri, TSE, Ankara, 1978.

Kapalı Çıkmalı Betonarme Binaların Deprem Davranışının Değerlendirilmesi

Emrah MERAL*

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, Türkiye
emrahmeral@osmaniye.edu.tr

(Geliş/Received: 29/07/2018;

Kabul/Accepted: 02/07/2019)

Öz: Çalışma kapsamında kapalı çıkmalı betonarme binaların deprem davranışına etkileri doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılarak belirlenmiştir. Bunun için ilk önce hiçbir düzensizliğe sahip olmayan 2-, 4- ve 7- katlı 3-B referans binalar 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlanmıştır. Daha sonra bu binalara çıkmalı eklenerek kirişli ve kirişsiz kapalı çıkmalı bina modelleri oluşturulmuştur. Binaların 10 adet deprem ivme kaydıyla toplamda 90 adet doğrusal olmayan analizi yapılarak taban kesme kuvveti, tepe noktası ötelenme ve maksimum görelî kat ötelenme oranı gibi parametreler elde edilmiştir. Bu parametreler kapalı çıkmalı binaların deprem davranışının incelenmesi amacıyla karşılaştırılmıştır. Kirişsiz kapalı çıkmalı binalarda diğer binalara göre taban kesme kuvveti taleplerinin düşük, deplasman taleplerinin ise yüksek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Betonarme binalar, kapalı çıkma, zaman tanım alanında analiz, doğrusal olmayan davranış.

Evaluation of Earthquake Behavior of Reinforced Concrete Buildings with Heavy Overhang

Abstract: In the scope of the study, the effects of heavy overhangs on earthquake behavior of reinforced concrete buildings are determined by creating nonlinear time history analyzes. For this at first, 2-, 4- and 7-storey 3-D reference buildings which have no irregularity are designed according to the 2007 Turkish Earthquake Code. Later, extensions are added to these buildings to create beamed and non-beam building models with heavy overhang. A total of 90 nonlinear analyzes of the buildings with 10 earthquake acceleration records are performed to obtain parameters such as base shear force, roof drift and maximum interstory drift ratio. These parameters have been compared to examine earthquake behavior of buildings with heavy overhang. It has been determined that the base shear force demands of the non-beam buildings with heavy overhang are low while the displacement demands of them are high compared to other buildings.

Key words: Reinforced concrete buildings, heavy overhang, time history analysis, nonlinear behavior.

1. Giriş

Ülkemizdeki çoğu yapıda zemin katın üstündeki katlarda kat alanını arttırmak için yapılan kapalı çıkmayla ilgili imar mevzuatında çeşitli şartlar bulunmaktadır. Fakat daha önceki çalışmalarda kapalı çıkmalı binaya olumsuz etkilerinin olduğu belirtildiği halde imar mevzuatında ve diğer yönetmeliklerde kapalı çıkmanın yapısal bir düzensizlik olarak geçmemesi düşündürücüdür [1-6]. Bundan dolayıdır ki kapalı çıkmalı günümüzde binalarda yapımına halen devam edilmektedir. Kapalı çıkmalı binanın bir veya birden fazla etrafında çıkıntılar yapılmak suretiyle oluşturulurlar. Tavanda kirişlerin bulunmasının estetik olarak görünümü olumsuz etkilemesinden ve mimari ihtiyaçlardan dolayı kapalı çıkmalı bulunduğu bölgelerde çoğunlukla kirişler inşa edilmeyerek kolon-kiriş arasında bağlantının eksikliğine yol açılır. Kiriş eksiklikleri çerçeve süreksizliğine sebep olduğundan kolon-kiriş arasındaki yük aktarım mekanizması bundan olumsuz olarak etkilenmektedir [7, 8]. Özellikle tek tarafta yapılan kapalı çıkmalı yapının ağırlık ile rijitlik merkezleri arasındaki mesafeyi artırdığı, ağırlık artışının yapının deprem davranışını etkilediği araştırmacılar tarafından belirtilmiştir [9, 10]. Ağır kapalı çıkmalı binalara sahip binaların son depremler sırasında yükseklik boyunca düzenli olan binalara göre daha fazla hasar aldığı anlaşılmıştır [11, 12]. Ayrıca depremlerin düşey ivmelerinden dolayı kolonlarla desteklenmeyen kapalı çıkmalı bulunduğu kısımda hasarın oluşması muhtemeldir [10]. Yapılan hasar görülebilirlik çalışmalarında yumuşak kat, kısa kolon, çekiçleme, yapısal düzensizlik ve bina yüksekliği gibi parametrelerin yanı sıra ağır kapalı çıkmalı binaların da varlığının önemli bir yere sahip olduğu belirtilmiştir [13-15].

Çalışmanın amacı kapalı çıkmalı düşük ve orta katlı betonarme binaların sismik davranışı üzerindeki etkilerinin doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında analiz ile belirlenmesidir. Bu amaç için düşük ve orta katlı mevcut betonarme binalar yapısal düzensizliği bulunmayan 2-, 4- ve 7- kata sahip referans binalarla temsil

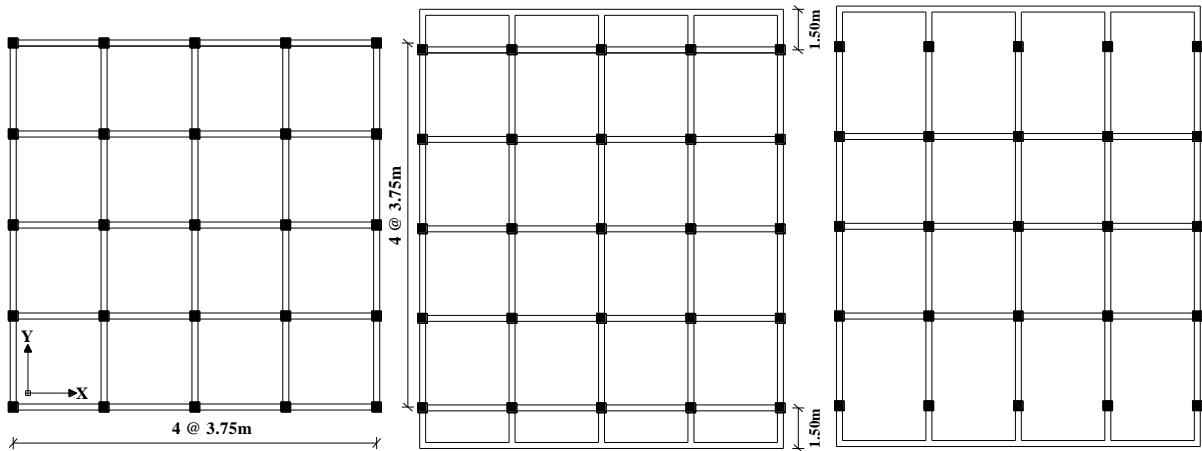
* Sorumlu yazar: emrahmeral@osmaniye.edu.tr. Yazarın ORCID Numarası: 0000-0002-7635-0432

edilmiştir. Daha sonra bu binalara kapalı çıkmalar eklenerek çıkmaların olduğu kısımda kolonlar arasında kirişlerin bulunduğu ve bulunmadığı halleri ile referans binalar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Binaların model özelliklerinin tanımlanması

Mevcut betonarme yapı stokunun çoğunluğunu oluşturan düşük ve orta katlı yapılar 2-, 4- ve 7- kata sahip bina modelleri tasarlanarak yansıtılmıştır. Bina modellerinin tasarımı 2007 Deprem Yönetmeliği (DBYBHY 2007) prensipleri dikkate alınarak yapılmıştır [16]. Binaların kalıp planlarına ait görünüm Şekil 1a, 1b ve 1c'de verilmiştir. Düzgün ve simetrik geometriye sahip kalıp planları kullanılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır [3, 17-19]. Yapı modellerinin süneklik düzeyi yüksek, Z3 zemin sınıfı üzerinde ve birinci derece deprem bölgesinde olduğu varsayılmıştır. Taşıyıcı sistem, modellerin X ve Y doğrultularında perdenin olmadığı deprem yüklerinin sadece çerçevelerle taşındığı binalar olarak ele alınmıştır. Beton basınç dayanımı için 25 MPa, boyuna ve enine donatılarının dayanımları için 420 MPa alınarak binalar tasarlanmıştır. Her bir bina modeli için kiriş ve kolon sarılma bölgelerinde 100 mm aralığında 8mm çapında ($\phi 8$) sadece tek etriyeden oluşan ve çirozun bulunmadığı enine donatı durumu dikkate alınmıştır. Yapıların modellenmesinde ve analizlerinde SAP2000 programı kullanılmıştır [20]. Çalışmada referans (REF) olarak isimlendirilen hiçbir yapısal düzensizliği bulunmayan binalar konut olarak tasarlanmıştır. Referans modellere Y doğrultusunda 1.5m genişliğinde tek tarafta kapalı çıkmalar eklenerek çıkmaların olduğu bölgede kolonların kirişlerle bağlı olduğu (KCB) ve olmadığı (KC0) bina modelleri oluşturulmuştur. Çalışmada duvarların ağırlıkları hesaplara dâhil edilmiş olup yatay dayanıma katkısı göz önüne alınmamıştır. Döşemeler tasarımı oluşturulmamış, ağırlıkları ve gelen yükler ilgili döşemelerin etrafındaki kirişlere yayılı yük olarak aktarılmıştır. Rijit diyaframlar her kat seviyesinde uygulanmıştır. Kolon ve kiriş boyutları, 2007 Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen minimum kesit şartlarını sağlayacak şekilde seçilmiştir. Tüm kolon ve kirişlerin boyuna donatı miktarı kullanılan kesitlerin %1'i civarında alınmıştır. Depremin tersinir etkisinden dolayı kirişlerin mesnet bölgelerinde çekme ve basınç bölgeleri yer değiştirebileceğinden kirişlerin alt ve üst kesitlerinde simetrik boyuna donatı kullanılması yoluna gidilerek çekme ve basınç donatısı oranları eşit miktarda seçilmiştir. Doğrusal olmayan yapı davranışı elemanlara atanan plastik mafsallar yoluyla modellere yansıtılmıştır. Plastik mafsallın kuvvet-deformasyon ilişkisini göstermek adına Şekil 2'de verildiği gibi A, B, C, D ve E sınırları tanımlanmıştır [16]. Bu sınırlar için aksel yük miktarı, malzeme durumu, eleman özellikleri, boyuna ve yanal donatı durumu göz önüne alınmıştır. Moment mafsallarının yanında, kolonlara kesme ve aksel yük mafsalları, kirişlere ise kesme mafsalları atanmıştır. Doğrusal olmayan bina modellerinin oluşturulması için 2-, 4- ve 7- katlı binalarda sırasıyla 670, 1340 ve 2345 plastik mafsal kullanılmıştır. Plastik mafsal boyu kesit yüksekliğinin yarısı olarak alınmıştır [16]. Beton modeli olarak 2007 Deprem Yönetmeliği'nde önerilen Mander sargılı beton modeli dikkate alınmıştır [21]. Plastik mafsalların tanımlanması ve SAP2000 programına aktarımında SEMAp programı kullanılmıştır [22]. Doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanındaki analizlerde Newmark yöntemi göz önüne alınmıştır.

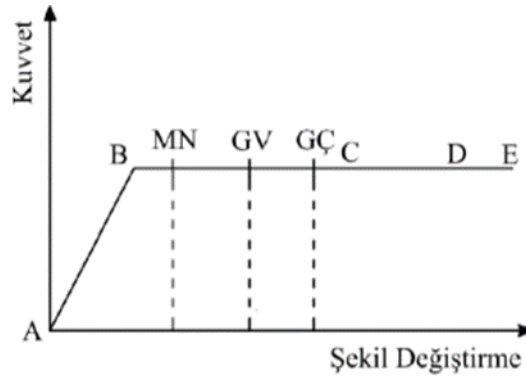


a) Referans bina

b) Kirişli kapalı çıkmalı bina

c) Kirişsiz kapalı çıkmalı bina

Şekil 1. Referans ve kapalı çıkmalı binaların kalıp planları.



Şekil 2. Plastik mafsala ait kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi.

Çalışmada kapsamında kullanılan bina modellerine ait yapısal bilgiler Tablo 1’de gösterilmiştir. Eğilme etkisindeki betonarme yapı elemanlarına ait çatlamış kesit etkin eğilme rijitlikleri (EI_e) göz önünde bulundurulmuştur [16]. Bina modellerinde etkin eğilme rijitlik değerleri, kirişlerde $0.4EI$, kolonlarda eksenel yükün durumuyla bağlantılı olarak $0.4EI$ ile $0.8EI$ arasında kullanılmıştır.

Tablo 1. Binalara ait tanımlayıcı bilgiler.

Parametre	2-katlı yapı	4-katlı yapı	7-katlı yapı
Yapı Yüksekliği (m)	5.6	11.2	19.6
Kiriş Boyutları (mm)	250x500	250x500	250x600
Kolon Boyutları(mm)	400x400	450x450	500x500
Period (s)	0.26-0.32	0.48-0.61	0.69-0.88
Yapı Ağırlığı (kN)	4479-5330	9953-11861	19159-22845

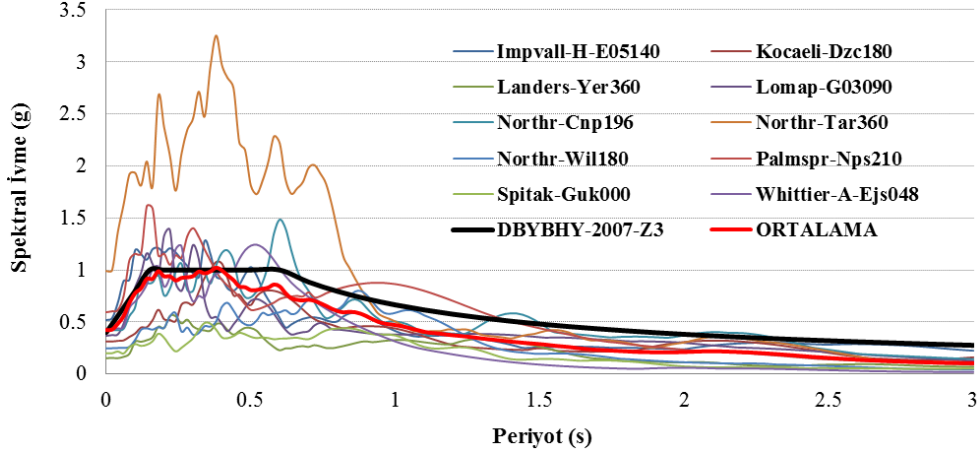
2.2 İvme kayıtlarına ait özellikler

Doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılan analizlerde kullanılan ivme kayıtları gerçek depremlerden alınan farklı özelliklerdeki kayıtlardır. Seçilen deprem kayıtları Peer web sitesinden (<http://peer.berkeley.edu>) elde edilmiştir [23]. Deprem ivme kayıtları alınırken, maksimum yer ivmesi değerlerinin (PGA) çeşitli olmasına çalışılmıştır. Aynı zamanda seçilen verilerin, en büyük ve en küçük değerleri arasında farkın çok olmaması için çaba harcanmıştır. Çalışmada kullanılan depremler ve bu depremlere ait ivme kayıtlarının özellikleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Çalışma kapsamında analizlerde alınan ivme kayıtlarına ait bilgiler.

No	Depremin Adı	Tarih	İstasyon	Bileşen	PGA (g)	PGV (cm/s)	Vs30 (m/s)	Deprem Süresi (s)
1	Imperial Valley	15.10.1979	El C.Array #5	140	0.52	46.9	206	15
2	Kocaeli	17.08.1999	Duzce	180	0.31	58.8	276	20
3	Landers	28.06.1992	Yermo Fire St.	360	0.15	29.7	354	40
4	Loma Pri.	18.10.1989	G.Array #3	90	0.37	44.7	350	20
5	Northridge	17.01.1994	Canoga Park	196	0.42	60.8	268	20
6	Northridge	17.01.1994	Tarzana	360	1.78	113.6	257	20
7	Northridge	17.01.1994	Hollyw. W.A	180	0.25	33.5	235	20
8	North Palm Springs	08.07.1986	N. Palm Sp.	210	0.59	73.3	345	15
9	Spitak	07.12.1988	Gukasian	0	0.20	28.6	275	20
10	Whittier Narrows	01.10.1987	Santa Fe Spr.	48	0.43	38.1	309	15

Depremlerin ivme spektrum değerleri, 10 ivme kaydına ait ortalama değerler ile 2007 Deprem Yönetmeliği'nde aşılma olasılığı 50 yılda %10 olan deprem için Z3 sınıfı zeminindeki tasarım spektrum değerleri Şekil 3'te görülmektedir. Spektrum değerleri oldukça geniş bir bant aralığında dağılım gösterirken, bina periyotlarının 0.26-0.88 saniye aralığında olduğu göz önünde bulundurulduğunda 10 ivme kaydının ortalaması yönetmelik spektrumunun biraz altında kalmaktadır. Çalışmada dikkate alınan 3-B referans ve kapalı çıkmalı bina modellerinin ölçeklendirilmemiş olarak seçilen ivme kayıtlarıyla zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılarak sismik talepler bulunmuştur.



Şekil 3. Depremlerin ivme kayıtlarına ait tepki spektrumları.

3. Sonuçlar

Referans (REF) binaların her iki yönde simetrik olması ve kirişli kapalı çıkmalı (KCB) binalarda çıkma bölgesinde X yönündeki kirişlerin kaldırılarak kirişsiz kapalı çıkmalı (KCO) bina modellerinin oluşturulmasından dolayı analizler binaların X yönü dikkate alınarak yapılmıştır. Toplamda 90 adet 3-B doğrusal elastik olmayan dinamik analiz sonucunda binalara ait taban kesme kuvveti, tepe noktası ve maksimum görel kat deplasmanı parametreleri hesaplanmıştır. Analizlerden bulunan sonuçlara göre, modellerin taban kesme kuvveti, modellerin yatay dayanımıyla eşdeğerdir.

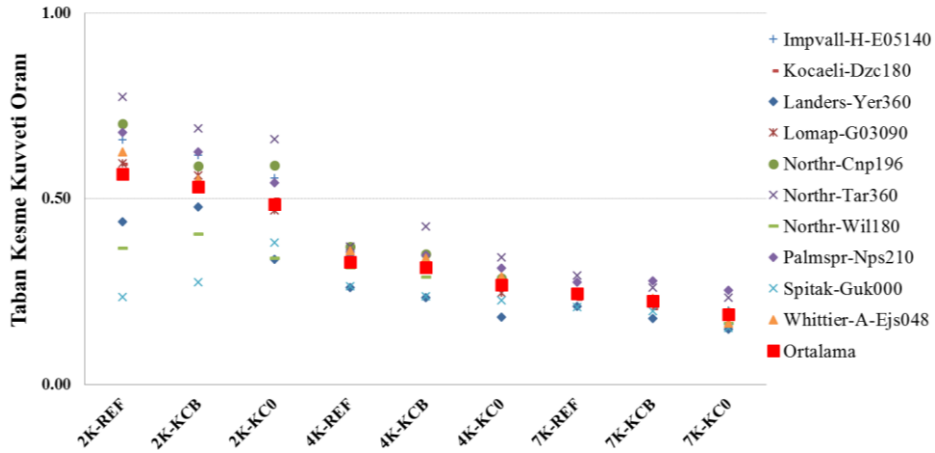
Binalar arasında yapılan kıyaslamaların daha kolay ve anlaşılır olması için analizlerden bulunan taban kesme kuvvetleri binanın ağırlığına oranlanarak “taban kesme kuvveti oranı”, tepe noktası deplasmanları bina yüksekliğine oranlanarak “tepe noktası ötelenme oranı” ve görel kat deplasmanları da kat yüksekliğine bölünerek “görel kat ötelenme oranı” olarak isimlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda kirişli (KCB) ve kirişsiz (KCO) kapalı çıkmalı bina modellerinden elde edilen veriler ile referans (REF) bina sonuçları karşılaştırılarak kapalı çıkmanın binalar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Hesaplanan verilerin minimum, maksimum, standart sapma ve ortalama değerleri ile bunların değişimleri istatistiksel olarak incelenmiştir.

Analizlerden elde edilen sonuçlara göre 2-, 4- ve 7- katlı referans ve kapalı çıkmalı bina modellerine ait taban kesme kuvveti oranı değerleri Tablo 3’de gösterilmiştir. Kat sayısı arttıkça ve referans binalardan kirişsiz kapalı çıkmalı binalara doğru gidildikçe taban kesme kuvveti oranlarının azaldığı görülmektedir. Kirişli kapalı çıkmalı binalara ait ortalama taban kesme kuvveti oranları 2-, 4- ve 7- katlı binalarda sırasıyla referans binalarına göre %6, %4 ve %8 civarında düşük hesaplanmıştır. Kirişsiz kapalı çıkmalı binalarda ise bu düşüş %14, %19 ve %23 olmaktadır. Taban kesme kuvveti oranları sonuçlarına bakıldığında kirişli çıkmalı modellerde farklar sınırlı düzeyde kalırken kirişsiz kapalı çıkmalı binalarda kat sayısı arttıkça referans binalar ile farkların açıldığı görülmektedir. Kirişli kapalı çıkmalı binalarda taban kesme kuvveti oranlarının referans binalarına göre düşük olmasını çıkmaların eklenmesinden dolayı oluşan ağırlık artışına bağlayabiliriz. Çıkma bölgesindeki kirişlerin kaldırılması rijitlik azalmasına yol açtığından kirişsiz kapalı çıkmalı binalarda taban kesme kuvveti oranları referans ve kirişli kapalı çıkmalı binalara göre düşük elde edilmiştir. Bulunanlara göre yatay dayanım açısından referans binalarının kirişli ve kirişsiz kapalı çıkmalı binalara göre iyi durumda olduğu açıktır.

Tablo 3. 2-, 4- ve 7- katlı binalara ait taban kesme kuvveti oranı değerleri.

Depremler	2-katlı bina			4-katlı bina			7-katlı bina		
	REF	KCB	KC0	REF	KCB	KC0	REF	KCB	KC0
Impvall-H-E05140	0.66	0.62	0.55	0.35	0.31	0.26	0.25	0.22	0.20
Kocaeli-Dzc180	0.59	0.54	0.50	0.32	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18
Landers-Yer360	0.44	0.48	0.34	0.26	0.23	0.18	0.21	0.18	0.15
Lomap-G03090	0.60	0.56	0.47	0.33	0.31	0.25	0.25	0.23	0.19
Northr-Cnp196	0.70	0.59	0.59	0.37	0.35	0.29	0.24	0.23	0.19
Northr-Tar360	0.77	0.69	0.66	0.37	0.43	0.34	0.29	0.26	0.23
Northr-Wil180	0.37	0.40	0.34	0.32	0.29	0.26	0.25	0.23	0.17
Palmspr-Nps210	0.68	0.63	0.54	0.36	0.35	0.31	0.28	0.28	0.25
Spitak-Guk000	0.24	0.27	0.38	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20	0.15
Whittier-A-Ejs048	0.63	0.55	0.48	0.36	0.34	0.29	0.25	0.23	0.17
Maksimum	0.77	0.69	0.66	0.37	0.43	0.34	0.29	0.28	0.25
Minimum	0.24	0.27	0.34	0.26	0.23	0.18	0.21	0.18	0.15
Standart Sapma	0.17	0.12	0.11	0.04	0.06	0.05	0.03	0.03	0.03
Ortalama	0.57	0.53	0.49	0.33	0.32	0.27	0.25	0.22	0.19

Özellikle 2-katlı binaların periyotlarına (0.26-0.32s.) karşılık gelen Northr-Wil180 ve Spitak-Guk000 kayıtlarının küçük spektral ivme değerlerinden dolayı diğer kayıtlara göre daha düşük ve Northr-Tar360 kaydının daha büyük taban kesme kuvveti talebi oluşturması Şekil 4'ten anlaşılacağı üzere 4- ve 7- katlı binalara göre taban kesme kuvveti oranlarının daha geniş bir bant aralığında yayılmasına sebep olmuştur. Ayrıca düşük yükseklikte olan 2- katlı binaların yatay dayanımlarının 4- ve 7- katlı binalara kıyasla fazla olması da talep farklılığının saçılımını etkilemektedir.

**Şekil 4.** Referans (REF) binalarına ve kapalı çıkmaya sahip (KCB-KC0) binalara ait taban kesme kuvveti oranları.

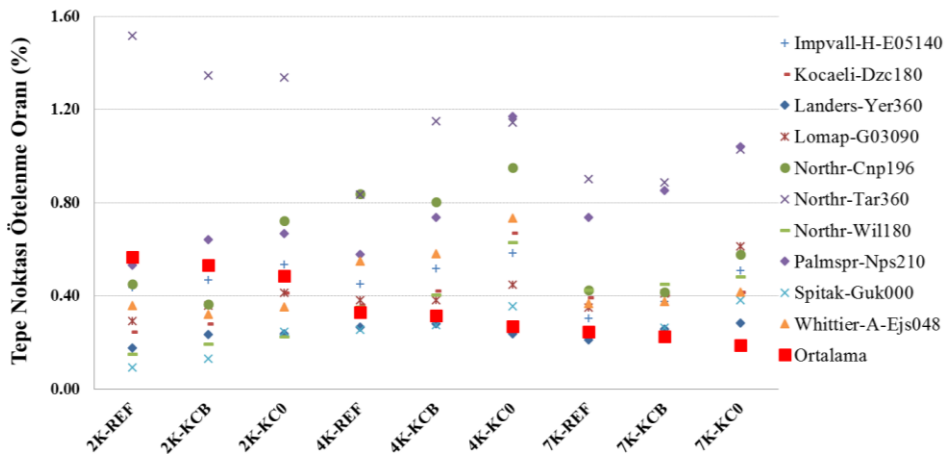
Analiz sonuçlarına göre 2-, 4- ve 7- katlı referans ve kapalı çıkmalı bina modellerine ait tepe noktası ötelenme oranı değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Kirişli kapalı çıkmalı binalarda çıkmaların eklenmesiyle oluşan ağırlık artışı ve kirişsiz kapalı çıkmalı binalarda çıkma bölgesindeki kirişlerin kaldırılmasıyla oluşan rijitlik azalması, kapalı çıkmalı binaların periyodunu referans binalara göre artırdığından deplasman taleplerinin artmasına sebep olmaktadır [8]. Kirişli kapalı çıkmalı binaların ortalama tepe noktası ötelenme oranları 2- katlı referans binaya göre pek bir değişim göstermezken, 4- ve 7- katlı referans binalarına göre sırasıyla %14 ve %8 dolayında fazla bulunmuştur. Kirişsiz kapalı çıkmalı binalarda ise bu artış %21, %42 ve %32 olarak hesaplanmıştır. Kirişsiz çıkmalı modellerin tepe noktası deplasman taleplerinin kirişli modellere göre daha fazla olduğu ve hem kirişli hem

kirişsiz modellerde kat sayısı arttıkça kapalı çıkmalı modeller ile referans binalar arasındaki farkın azaldığı tespit edilmiştir. Genel olarak ortalama tepe noktası ötelenme değerlerine bakıldığında 4- katlı tüm bina gruplarında 2- ve 7- katlı binalara göre daha yüksek deplasman talepleri elde edilmiştir. Bu durum 4- katlı binaların periyot aralıklarında (0.48-0.61s.) seçilen depremlerin ivme kayıtlarının tepki spektrumlarında yüksek spektral ivme değerleri almasından dolayı deplasman taleplerini artırmasıyla açıklanabilir. Benzer şekilde özellikle orta katlı binalarda diğer katlı binalara göre deplasman taleplerinin fazla bulunduğu çalışmalar mevcuttur [8, 24].

Tablo 4. 2-, 4- ve 7- katlı binalara ait tepe noktası ötelenme oranı değerleri (%).

Depremler	2-katlı bina			4-katlı bina			7-katlı bina		
	REF	KCB	KC0	REF	KCB	KC0	REF	KCB	KC0
Impvall-H-E05140	0.44	0.47	0.53	0.45	0.52	0.58	0.30	0.37	0.51
Kocaeli-Dzc180	0.25	0.28	0.41	0.36	0.42	0.67	0.39	0.40	0.42
Landers-Yer360	0.18	0.23	0.24	0.27	0.28	0.24	0.21	0.26	0.28
Lomap-G03090	0.29	0.36	0.41	0.38	0.38	0.45	0.35	0.41	0.61
Northr-Cnp196	0.45	0.36	0.72	0.84	0.80	0.95	0.42	0.41	0.58
Northr-Tar360	1.52	1.35	1.34	0.84	1.15	1.14	0.90	0.89	1.03
Northr-Wil180	0.15	0.19	0.23	0.35	0.40	0.63	0.43	0.45	0.48
Palmspr-Nps210	0.53	0.64	0.67	0.58	0.74	1.17	0.74	0.85	1.04
Spitak-Guk000	0.09	0.13	0.24	0.25	0.27	0.35	0.24	0.26	0.38
Whittier-A-Ejs048	0.36	0.32	0.35	0.55	0.58	0.73	0.37	0.38	0.42
Maksimum	1.52	1.35	1.34	0.84	1.15	1.17	0.90	0.89	1.04
Minimum	0.09	0.13	0.23	0.25	0.27	0.24	0.21	0.26	0.28
Standart Sapma	0.41	0.35	0.34	0.21	0.27	0.32	0.22	0.22	0.26
Ortalama	0.43	0.43	0.51	0.49	0.56	0.69	0.44	0.47	0.58

Tepe noktası ötelenme oranlarına bakıldığında, Northr-Tar360 deprem ivme kaydının tüm binalarda yüksek deplasman talepleri oluşturduğu Şekil 5'te görülmektedir. Buna karşın Spitak-Guk000 deprem ivme kaydının 2- ve 4- katlı binalarda, Landers-Yer360 deprem ivme kaydının 7- katlı binalarda düşük deplasman taleplerinin oluşmasına sebep olduğu açıkça gözükmemektedir. Binalardaki bu talep farklılığı dikkate alınan binaların periyotlarına karşılık gelen deprem ivme kayıtlarının tepki spektrumlarında aldıkları spektral ivme değerleriyle ilişkilendirilebilir. Ayrıca, 4- katlı binaların deplasman taleplerinin değişkenliğinin diğer binalara göre daha fazla olduğu açıktır (Şekil 5).



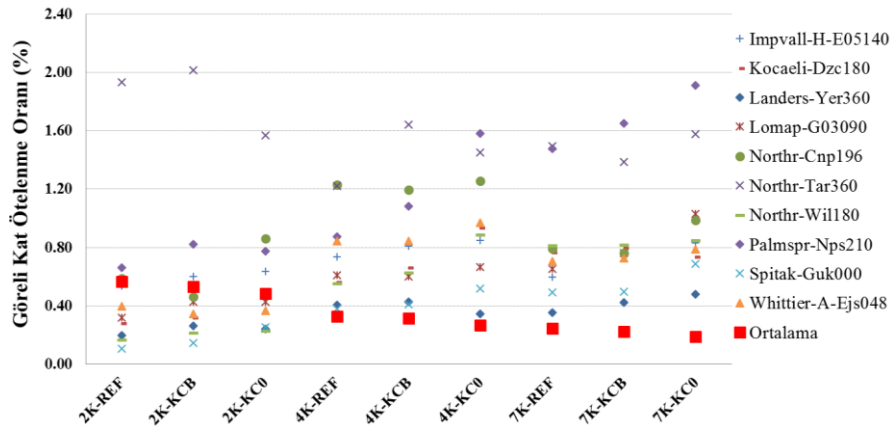
Şekil 5. Referans (REF) binalarına ve kapalı çıkmaya sahip (KCB-KC0) binalara ait tepe noktası ötelenme oranları.

Analizlerden elde edilenlere göre 2-, 4- ve 7- katlı referans ve kapalı çıkmalı bina modellerine ait görel kat ötelenme oranı değerleri Tablo 5’de görülmektedir. Kirişli kapalı çıkmalı binalara ait görel kat ötelenme oranları referans bina verilerine bölüldüğünde bulunan değerler 2- katlı binalarda 0.79-1.38, 4-katlı binalarda 0.97-1.34, 7-katlı binalarda ise 0.93-1.26 arasında değişmektedir. Kirişsiz kapalı çıkmalı binalarda ise bu oranlar 2- katlı binalarda 0.81-2.44, 4-katlı binalarda 0.85-1.81, 7-katlı binalarda ise 0.96-1.58 arasındadır. Kapalı çıkmalı binaların periyodunun referans binalara göre fazla olması bazı ivme kayıtlarının spektral ivme değerlerinin azalmasına sebep olduğundan bu durum kapalı çıkmalı binalarda daha düşük deplasman taleplerinin elde edilmesine yol açmıştır. Görel kat ötelenme oranlarına ait minimum ve maksimum değerler arasındaki farklar değerlendirildiğinde 2-, 4- ve 7- katlı referans binalar için sırasıyla 18.39, 3.24 ve 4.24 kat olmaktadır. Bu farklar kirişli kapalı çıkmalı binalarda 13.90, 3.99 ve 3.89 kat olurken kirişsiz kapalı çıkmalı binalarda ise 6.81, 4.60 ve 3.97 kat olmaktadır. Minimum ve maksimum görel kat ötelenme oranı farkları 2- ve 7- katlı binalarda referans binalardan kirişsiz kapalı çıkmalı binalara doğru gidildikçe azalmakta, 4- katlı binalarda ise artma eğilimi göstermektedir.

Tablo 5. 2-, 4- ve 7- katlı binalara ait görel kat ötelenme oranı değerleri (%).

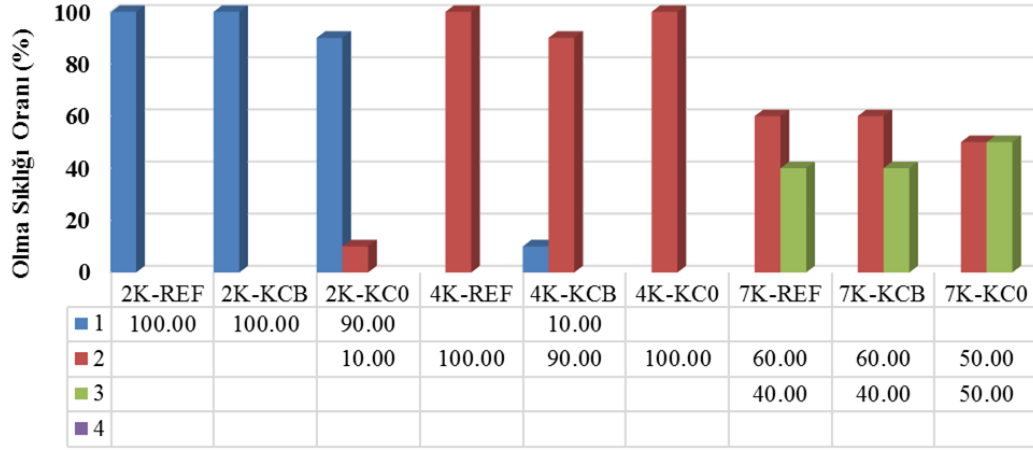
Depremler	2-katlı bina			4-katlı bina			7-katlı bina		
	REF	KCB	KC0	REF	KCB	KC0	REF	KCB	KC0
Impvall-H-E05140	0.54	0.60	0.64	0.74	0.81	0.85	0.60	0.75	0.83
Kocaeli-Dzc180	0.28	0.32	0.47	0.56	0.66	0.94	0.76	0.80	0.73
Landers-Yer360	0.20	0.26	0.24	0.41	0.43	0.34	0.35	0.42	0.48
Lomap-G03090	0.32	0.43	0.43	0.61	0.60	0.67	0.65	0.76	1.03
Northr-Cnp196	0.59	0.46	0.86	1.23	1.20	1.25	0.79	0.76	0.99
Northr-Tar360	1.93	2.01	1.57	1.22	1.64	1.45	1.50	1.39	1.58
Northr-Wil180	0.17	0.22	0.23	0.56	0.63	0.89	0.81	0.82	0.85
Palmspr-Nps210	0.66	0.82	0.78	0.87	1.08	1.58	1.48	1.65	1.91
Spitak-Guk000	0.11	0.15	0.26	0.38	0.41	0.52	0.49	0.49	0.69
Whittier-A-Ejs048	0.40	0.35	0.37	0.84	0.84	0.97	0.71	0.72	0.79
Maksimum	1.93	2.01	1.57	1.23	1.64	1.58	1.50	1.65	1.91
Minimum	0.11	0.15	0.23	0.38	0.41	0.34	0.35	0.42	0.48
Standart Sapma	0.53	0.55	0.41	0.30	0.38	0.39	0.38	0.38	0.43
Ortalama	0.52	0.56	0.58	0.74	0.83	0.95	0.81	0.86	0.99

Şekil 6 incelendiğinde tepe noktası ötelenme oranlarına benzer bir eğilim gözlenmekte olup deprem ivme kayıtlarının farklı görel ötelenme talepleri oluşturarak bunların ortalama değerlerin etrafında geniş bir aralıkta yayıldığı sonucuna ulaşılmaktadır.



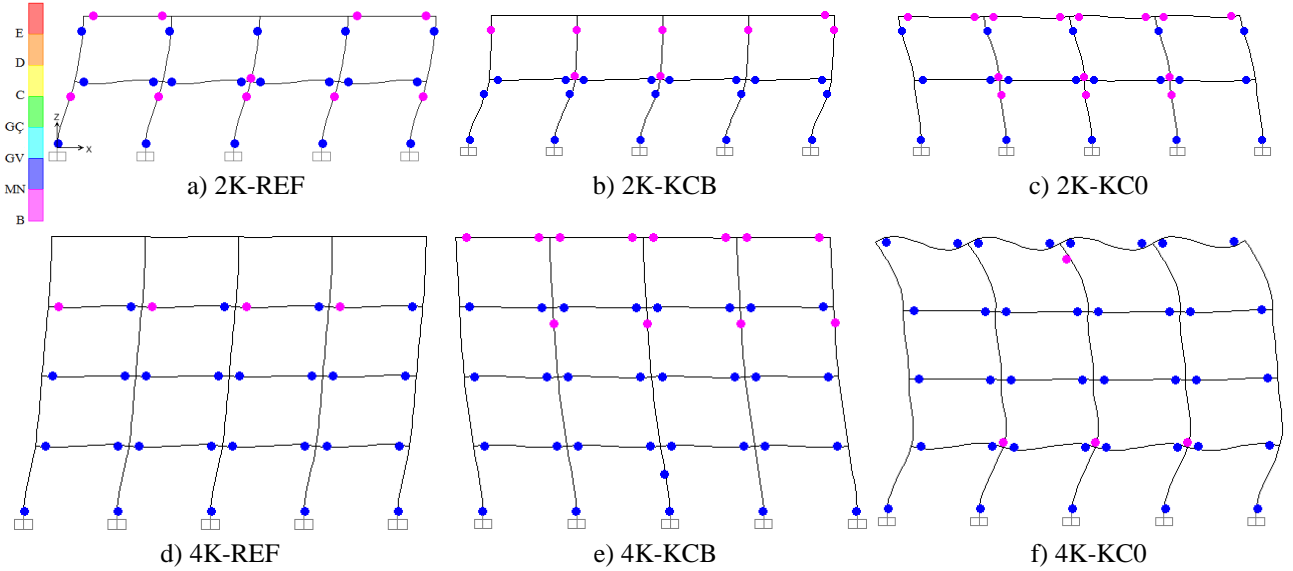
Şekil 6. Referans (REF) binalarına ve kapalı çıkmaya sahip (KCB-KC0) binalara ait görel kat ötelenme oranları.

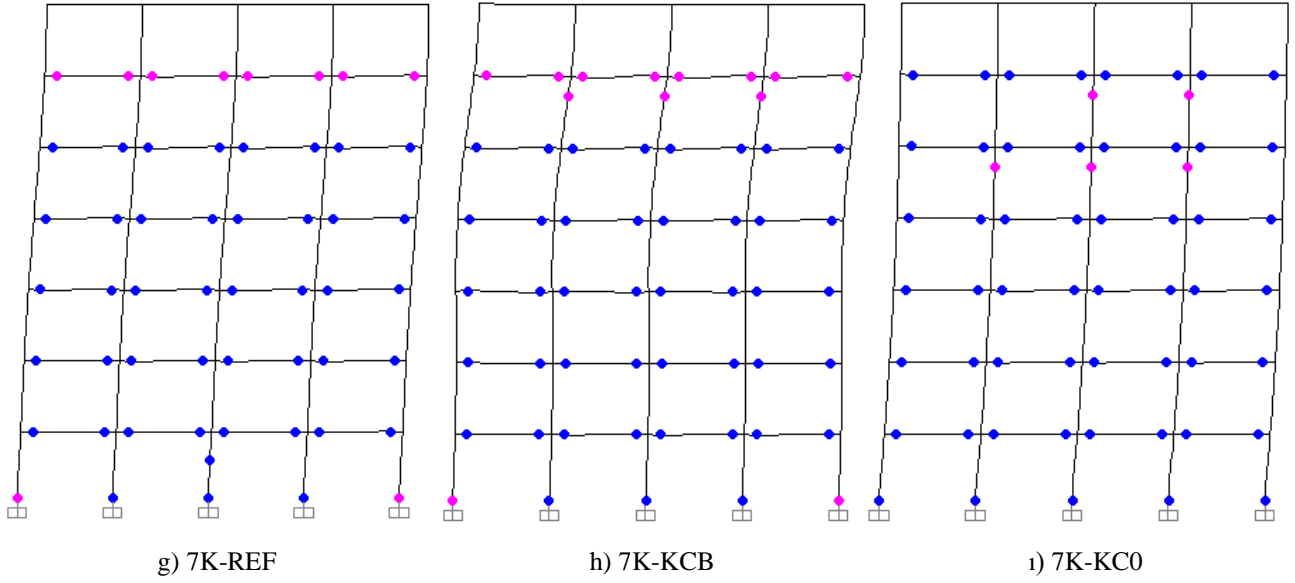
Referans ve kapalı çıkmalı binalar için maksimum görel kat deplasmanının olduğu kat belirlenerek bu katın diğer katlara göre olma sıklığı durumu Şekil 7’de verilmiştir. Maksimum görel kat deplasmanının çoğunluğunun 2- ve 4- katlı binalarda 1. ve 2. katta oluşmasından dolayı çıkmanın varlığının maksimum görel kat deplasmanının olduğu katı etkilediği sonucuna varılamamıştır (Şekil 7). Fakat buna karşın 7- katlı binalarda ise maksimum görel kat deplasmanının tüm bina gruplarında 2. ve 3. katta oluşmasına rağmen kirişsiz kapalı çıkmalı binalarda az da olsa 3. katta bulunma sıklığının artması kolonların üst katlara doğru aksel yüklerinin azalmasına bağlı olarak çatlamış kesit rijitliği katsayılarının düşmesinin ve çıkmanın etkisinin sebep olduğu söylenebilir.



Şekil 7. Referans (REF) binalarında ve kapalı çıkmaya sahip (KCB-KC0) binalarda maksimum görel kat ötelenmesinin çıktığı kat için olma sıklığı oranı (maksimum görel kat deplasmanının o katta olma sayısı /kullanılan ivme kaydı sayısı).

Northr-Tar360 deprem ivme kaydı için referans ve kapalı çıkmalı binaların orta çerçevelerinde oluşan plastik mafsalları Şekil 8’de gösterilmiştir. Kirişsiz kapalı çıkmalı binalarda kirişlerde oluşan mafsallaşmanın daha ileri seviyede olduğu ve bunun yanında ayrıca 2-katlı binanın kirişlerindeki mafsal sayısının da diğer bina gruplarına göre daha fazla olduğu sonucuna varılmaktadır. Kolonlardaki mafsallaşma durumuna bakıldığında, tüm 2-katlı binaların her iki katında mafsallaşma görülürken, 4- ve 7- katlı binalarda ise kirişli ve kirişsiz bina modellerin üst katlarında da plastik mafsallar oluşurken referans binalarında sadece alt katta oluşmaktadır.





Şekil 8. Northr-Tar360 deprem ivme kaydına göre binalardaki plastik mafsalları dağılımı.

4. Tartışma

Düşük ve orta katlı mevcut betonarme yapı stoğunun 2-, 4- ve 7- katlı olarak yansıtıldığı çalışmada kapalı çıkmalarda binaların deprem davranışına etkileri doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla başlangıçta hiçbir düzensizliğe sahip olmayan düzgün ve simetrik kalıp planına sahip 3-B referans binalar tasarlanmıştır. Daha sonra bu modellere kapalı çıkmalara eklenerek çıkmalarda olduğu kısımda kolonların kirişlerle bağlı olduğu ve olmadığı bina modelleri hazırlanmıştır. Binaların sadece X yönü dikkate alınarak 10 adet deprem ivme kaydıyla toplamda 90 adet doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda bulunan taban kesme kuvveti oranı, tepe noktası ötelenme oranı, maksimum görelî kat ötelenme oranı parametreleri açısından referans binaları ile kapalı çıkmalı binalar karşılaştırılarak çıkmalarda etkileri yorumlanmaya çalışılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular aşağıda özetlenerek açıklanmıştır.

- ✓ Taban kesme kuvveti oranları için ortalama değerler üzerinden yapılan değerlendirmede kirişli kapalı çıkmalı binalarda referans binalarına göre %8 dolayında sınırlı bir düşüş hesaplanırken kirişsiz kapalı çıkmalı binalarda ise bu en fazla %23 seviyelerine çıkmıştır.
- ✓ Ortalama tepe noktası ötelenme oranlarına bakıldığında kirişli kapalı çıkmalı binalarda referans binalarına göre %14 dolayında fazla bulunurken kirişsiz kapalı çıkmalı binalarda ise bu artış en fazla %42 olmuştur.
- ✓ Kirişli kapalı çıkmalı binalar ile referans binalar arasındaki görelî kat ötelenme oranı farkları 2-, 4- ve 7- katlı binalarda sırasıyla 1.38, 1.34 ve 1.26 kata kadar çıkarken kirişsiz kapalı çıkmalı binalarla olan farklar ise 2.44, 1.81 ve 1.58 kata kadar çıkabilmektedir.
- ✓ Kat sayısı arttıkça genel olarak taban kesme kuvveti açısından kapalı çıkmalı binalar ile referans binalar arasındaki talep farkı artmaktadır. Buna karşın binalar arasındaki deplasman talepleri farkı 2- ve -7 katlı binalara kıyasla 4- katlı binada daha fazla görülmektedir.
- ✓ Kapalı çıkmalı binaların periyodunun referans binalara göre fazla olması birkaç ivme kaydının spektral ivme değerinin düşmesine sebep olduğundan bazı sonuçlar için kapalı çıkmalı binalarda daha düşük deplasman talepleri hesaplanmıştır.
- ✓ Genel olarak kullanılan deprem ivme kayıtlarının kirişsiz kapalı çıkmalı binaları diğer referans binalarına ve kirişli kapalı çıkmalı binalara göre talep açısından daha olumsuz etkilediğini söylemek mümkündür.

Kaynaklar

- [1] Özmen HB, Hızlı değerlendirme yöntemlerinde kullanılan parametrelerin yapı performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2005.

- [2] İnel M, Özmen HB, Bilgin H. Türkiye’de yaşanan deprem hasarları ve yapı stoğunun değerlendirilmesi. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı; 16-20 Ekim 2007; İstanbul.
- [3] Inel M, Ozmen HB, Bilgin H. Re-evaluation of building damage during recent earthquakes in Turkey. *Engineering Structures* 2008; 30(2): 412-427.
- [4] Sarı H. Mevcut betonarme yapılarıdaki tasarım olumsuzluklarının yapı performansına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2010.
- [5] Çaycı BT, Simav depremi sonrası bina yapısal özellikleri ile hasar seviyesi ilişkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2012.
- [6] İnel M, Özmen HB, Çaycı BT. Simav ve Van depremleri (2011) yapı hasar nedenlerinin değerlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2013; 19(6): 256-265.
- [7] İnel M, Bucaklı M, Özmen HB. Betonarme binalarda çerçeve süreksizliğinin yapı performansı üzerindeki etkileri. *Uluslararası Sakarya Deprem Sempozyumu*; 1-2 Ekim 2009; Sakarya.
- [8] Özmen HB, İnel M, Çaycı BT. Kapalı çıkma düzensizliğinin betonarme yapıların sismik davranışına etkilerinin değerlendirilmesi. *Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*; 30 Mayıs-3 Haziran 2011; İstanbul.
- [9] Doğangün A. Performance of reinforced concrete buildings during the May 1 2003 Bingöl earthquake in Turkey. *Engineering Structures* 2004; 26(6): 841-856.
- [10] Özmen HB, Düşük ve orta yükseklikteki betonarme yapıların deprem performanslarını etkileyen faktörlerin irdelenmesi. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2011.
- [11] Özcebe G. Deprem güvenliğinin saptanması için yöntemler geliştirilmesi. TÜBİTAK İÇTAG YMAÜ İ574 Numaralı Araştırma Projesi Sonuç Raporu, Ankara, 2004.
- [12] Sucuoglu H, Yazgan U. Simple survey procedures for seismic risk assessment in urban building stocks. *Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings* 2003; 29: 97-118.
- [13] Srikanth T, Kumar RP, Singh AP, Rastogi BK, Kumar S. Earthquake vulnerability assessment of existing buildings in Gandhidham and Adipur cities Kachchh, Gujarat (India). *European Journal of Scientific Research* 2010; 41(3): 336-353.
- [14] Alam N, Alam MS, Tesfamariam S. Buildings’ seismic vulnerability assessment methods: a comparative study. *Natural Hazards* 2012; 62(2): 405-424.
- [15] Ahmed MM, Jahan I, Alam MJ. Earthquake vulnerability assessment of existing buildings in cox’s-bazar using field survey & GIS. *International Journal of Engineering Research & Technology* 2014; 3(8): 1147-1156.
- [16] DBYBHY 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 2007.
- [17] Irtem E, Hasgul U. Investigation of effects of nonlinear static analysis procedures to performance evaluation on low-rise RC buildings. *Journal of Performance of Constructed Facilities* 2009; 23(6): 456-466.
- [18] Arslan MH. An evaluation of effective design parameters on earthquake performance of RC buildings using neural networks. *Engineering Structures* 2010; 32(7): 1888-1898.
- [19] Erdem TR. Performance evaluation of reinforced concrete buildings with softer ground floors. *Gradevinar* 2016; 68(1): 39-49.
- [20] SAP2000 V-19. Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual. Berkeley (CA, USA): Computers and Structures Inc., 2017.
- [21] Mander JB, Priestley MJN, Park R. Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering* 1988; 114(8): 1804-1825.
- [22] SEMAp. Sargı etkisi modelleme analiz programı. Tubitak Proje No: 105M024, 2008.
- [23] Peer, 2011. Pacific Earthquake Engineering Research Center, <http://peer.berkeley.edu>, Erişim tarihi: 25 Temmuz 2018.
- [24] İnel M, Özmen HB, Hıra MA. Yumuşak kat düzensizliğinin betonarme yapıların sismik davranışına etkilerinin değerlendirilmesi. *Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*; 30 Mayıs-3 Haziran 2011; İstanbul.

Mikrobiyal Yakıt Hücresinde Grafen Kaplı Nikel-Titanyum (NiTi) Alaşımının Anot Elektrotu Olarak Kullanılması

Ergin Taşkan^{1*}, Selman Bulak¹, Banu Taşkan¹, Merivan Şaşmaz², Engin Gürtekin¹, Ali Bayri³

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

² Fizik, Fen-Edebiyat Fakültesi, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye

³ Fizik, Fen-Edebiyat Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

*¹ etaskan@firat.edu.tr ¹ selmanbulak@gmail.com, btaskan@firat.edu.tr, egurtekin@firat.edu.tr ² merivansasmaz@gmail.com ³ ali.bayri@inonu.edu.tr

(Geliş/Received: 03/10/2018;

Kabul/Accepted: 02/07/2019)

Öz: Bu çalışmada, grafen kaplı nikel-titanyum (NiTi) alaşımı üretilerek mikrobiyal yakıt hücresinde (MYH) anot elektrotu olarak kullanılmıştır. Çalışmada çift bölmeli bir MYH reaktörü sürekli modda işletilmiş ve elektrik üretim performansı detaylı bir şekilde araştırılmıştır. MYH reaktörünün ürettiği maksimum güç yoğunluğu 2043 mW/m² olarak elde edilmiştir. Sistemin toplam iç direnci 437.7 Ω olarak ölçülmüştür. İşletme süresi sonunda anot elektrotu yüzeyinden alınan SEM görüntülerinde biyofilm yapısında genellikle yuvarlak şekilli mikroorganizmaların mevcut olduğu tespit edilmiştir. Biyofilm numunesine uygulanan PCR-DGGE analizleri elektrot yüzeyinde *Shewanella oneidensis* ve *Pseudomonas aeruginosa* gibi elektrik üretiminde etkin mikrobiyal türlerin mevcut olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Mikrobiyal yakıt hücresi (MYH), Anot elektrotu, Nikel-titanyum (NiTi) alaşımı, Grafen kaplama, Güç yoğunluğu

The Usage of Graphene Coated Nickel-titanium (NiTi) Alloy in Microbial Fuel Cell as Anode Electrode

Abstract: In this study, graphene coated nickel-titanium (NiTi) alloy was produced and used as an anode material in microbial fuel cell (MFC). A double chamber MFC operated in a continuous mode, and electricity generation performance was investigated in detail. The max power density of MFC was 2043 mW/m². The total internal resistance of MFC was measured to be 437.7 Ω. The SEM images showed that a round shaped bacteria present in the biofilm structure. PCR-DGGE analysis demonstrated that *Shewanella oneidensis* and *Pseudomonas aeruginosa*, which are called electrogen bacteria, were present in the biofilm.

Key words: Microbial fuel cell (MFC), Anode electrode, Nickel-titanium (NiTi) alloy, Graphene coating, Power density.

1. Giriş

MYH'ler organik atıklardan elektrik enerjisinin üretilen biyoreaktörlerdir. Klasik bir MYH reaktörü anot ve katot bölmelerinden oluşmakta ve bu iki bölme birbirinden fiziksel olarak ayıran proton değişim membranı (PDM) bulunmaktadır [1]. Bir MYH reaktöründe üretilen elektrik miktarını etkileyen en önemli faktörlerden biri sistemde kullanılan anot malzemesidir. İyi bir anot malzemesi yüksek elektriksel iletkenliğe, mikroorganizmalar ile biyolojik uyumluluğa ve yüksek spesifik yüzey alanına sahip olmalıdır [2]. Şu ana kadar yapılan MYH çalışmalarında genellikle karbon tabanlı malzemeler anot elektrotu olarak kullanılmıştır [3]. Fakat bu malzemeler düşük elektriksel iletkenliğe sahip olduğundan dolayı birçok yeni malzeme MYH'lerde anot elektrotu olarak kullanılmaya başlanmıştır.

NiTi alaşımları biyoyumluluğundan dolayı sağlık sektöründe ve daha birçok alanda oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir [4]. Damar tıkanıklığını açıcı stentler, ortodontide diş telleri, ortopedik implantlar, gözlük çerçeveleri vb. tedavilerde kullanılmaktadır [5]. Bu malzemelerin canlı dokular ve mikroorganizmalar ile biyoyumluluğu oldukça yüksektir. Bu nedenle MYH'lerde anot elektrotu olarak kullanım için ciddi bir potansiyele sahiptir. Ancak bu malzemelerin yüzeyinin düz yapıda olması mikroorganizmaların tutunmasını güçleştirmekte ve biyofilm oluşumunu kısıtlamaktadır. Bu nedenle, NiTi malzemelerin MYH'de kullanım potansiyelini arttırmak için yüzey modifikasyonu gerekmektedir. Literatürde anot malzemeleri için kullanılan en iyi yüzey modifikasyonu grafen kullanılarak yapılmaktadır. Grafenin yüksek elektriksel iletkenliği, mekanik

* Sorumlu yazar: etaskan@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ^{1*} 0000-0002-9620-8644, ¹ 0000-0001-7751-1165, ² 0000-0002-4243-7169, ¹ 0000-0003-3075-7891, ³ 0000-0002-8197-1604.

dayanımı, mikroorganizmalar ile biyolojik uyumu ve uygun yüzey yapısına sahip olmasından dolayı grafen, MYH çalışmalarında elektrot modifikasyonu için kullanılmıştır. Hou ve diğ., (2015) paslanmaz çelik elyaf keçeyi grafen ile modifiye etmiş ve MYH’de anot elektrotu olarak kullanmışlardır; çalışma sonucunda yapılan modifikasyonun modifiye edilmemiş anotlardaki elektrokimyasal kinetikleri iyileştirilerek MYH'nin iç direncini önemli derecede azaltıldığı rapor edilmiştir. Bir diğer çalışmada Hsu ve diğ., (2017) paslanmaz çelik elektrotu grafen ile modifiye ederek güç üretiminde 1.5-4.5 kat artış sağlamış ve MYH iç direncini düşürdüğünü rapor etmişlerdir. Xiao ve diğ., (2012) tarafından yapılmış bir çalışmada gevrek grafen ve rulo kâğıt tarzı grafen MYH’lerde karbon kumaş elektrotu modifiye etmek için kullanılmış ve maksimum güç yoğunluğu sırasıyla 2.5 ve 3.3 W/m³ olarak elde edilmiştir. Buna karşın, modifiye edilmiş elektrotun kullanılmadığı durumda üretilen güç miktarının 0.3 W/m³ olduğu rapor edilmiştir. Zhang ve diğ., (2011) grafen ile modifiye edilmiş düz paslanmaz çelik tel anotların, grafen ile modifiye edilmemiş anotlar ile kıyaslandığında maksimum güç yoğunluğunun 18 kat daha fazla iyileştirebileceğini belirtmiştir. Anot elektrotu yüzeyinde elektrokimyasal olarak aktif biyofilmin oluşumu ile organik maddelerden üretilen elektronların anot yüzeyine daha verimli bir şekilde aktarılması sağlanmaktadır. Literatür verileri, grafen kullanılarak yapılan modifikasyon işleminin anot yüzeyinin iyileştirilmesi için kullanılabilirliğini göstermiştir.

Bu çalışmada, yeni üretilen NiTi alaşımı grafen ile kaplanarak MYH’de anot elektrotu olarak kullanılmıştır. Grafen ile kaplanan NiTi alaşımının elektrik üretim performansı polarizasyon analizi ve nyquist analizleri ile belirlenmiştir. İşletme süresi sonunda elektrot yüzeyinde oluşan biyofilm yapısı SEM analizi ile görüntülenmiştir. Ayrıca biyofilm yapısındaki mikrobiyal komünite PCR-DGGE analizi ile detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

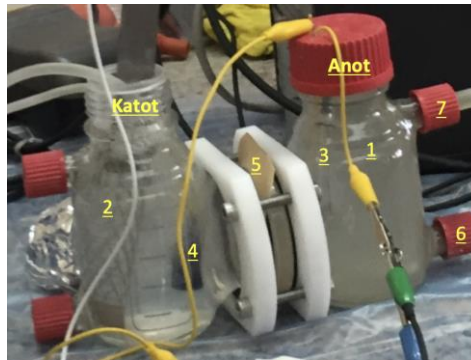
2. Materyal ve Metot

2.1. NiTi alaşımının üretimi ve modifikasyonu

NiTi alaşımı, Ni/Ti atomikçe oranı %50.5 ve %49.5 olacak şekilde, çapları 3-25 mm arası değişen ve % 99.95 saflıktaki nikel topları ve % 99.99 saflıktaki granül şeklindeki titanyum parçalarının ark eritme cihazı ile argon gazı altında üretilmiştir. Üretimi yapılan NiTi alaşımının grafen ile kaplanması işleminde toz grafit (~325 mesh) kullanılarak grafen oksit (GO) sentezlenmiştir. 120 ml sülfürik asit (H₂SO₄) ile karıştırılan 3 g toz halindeki grafit iyice ıslanması için 30 dk boyunca 5 °C sıcaklıkta ve 600 rpm’de karıştırılmıştır. Ardından karışım hızlı bir şekilde karıştırılırken sıcaklık 10°C’yi geçmeyecek şekilde yavaş yavaş potasyum permanganat (KMnO₄) eklenmiştir. Elde edilen karışım 35 °C’de 3,5 sa karıştırıldıktan sonra sıcaklığı 100 °C’yi geçmeyecek şekilde saf su ilave edilmiştir. Son olarak da 25 ml %30 saflıktaki hidrojen peroksit (H₂O₂) yavaş yavaş eklenmiştir. 6 dk ve 8500 rpm’e ayarlanmış santrifüj yardımıyla çöktürülen numenin 2 kez saf su ve 2 kez %20’lik HCl çözeltisiyle yıkanmasından sonra 1 kez daha su ile yıkanarak işlem tamamlanmıştır.

2.2. MYH reaktörünün kurulumu ve işletimi

Çalışmada çift bölmeli (H tipi) bir MYH reaktörü kullanılmıştır (Şekil 1). Reaktörünün her bir bölmesinin efektif çalışma hacmi 300 ml’dir. MYH’nin anot ve katot bölgesi PDM membranı (Ultrex CMI 7000) ile fiziksel olarak birbirinden ayrılmıştır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan MYH reaktörü. 1: Anot elektrotu, 2: Katot elektrotu, 3: Referans elektrot (Ag-AgCl), 4: Hava taşı, 5: Proton değişim membranı (Ultrex CMI 7000), 6: Besleme, 7: Çıkış

PDM membranı kullanılmadan önce %4'lük NaCl çözeltisinde 24 saat bekletilmiştir. Anot ve katot elektrotları 10 Ω direnç kullanılarak sabitlenmiştir. Anot bölmesini aşılama amacıyla anaerobik çürütücü ve sediment ortamından alınan aşı çamurları eşit olarak karıştırılmış ve anot hacminin 1/10 oranında olacak şekilde ilave edilmiştir. Daha sonra anot bölmesi sentetik olarak hazırlanmış atıksu ile doldurulmuş ve 10 dk süreyle azot gazı verilerek anaerobik şartlar oluşturulmuştur. Katot bölmesi 50 mM fosfat tamponu ile doldurulmuş ve hava taşı kullanılarak akvaryum pompası ile sürekli olarak havalandırılmıştır. Anot bölmesine hidrolik bekletme süresi (HBS) 2 gün olacak şekilde reaktör beslemesi yapılmıştır. Sentetik atıksu bileşimi Zheng ve diğ., (2015) belirtildiği şekilde hazırlanmıştır. Substrat kaynağı olarak asetat (400 mg/L KOİ) kullanılmıştır.

2.3. Analizler

2.3.1. Elektrokimyasal analizler

MYH reaktöründe üretilen voltajı ölçmek amacıyla çok kanallı Agilent 34410A Data Acquisition/Switch Unit multimetre kullanılmıştır. MYH reaktörlerinde üretilen voltaj değerleri, Agilent Benchlink Data Logger 3 V4.3 yazılımı kullanılarak 1 dk aralıklarla on-line olarak bilgisayara aktararak kaydedilmiştir. Elektrokimyasal empedans analizi, Gamry Interface 1000 potansiyostat kullanılarak 5 mV genlikli sinyal ile 0,1 Hz ile 100 kHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. MYH reaktörlerinin farklı bileşenlerine ait direnç değerleri Gamry Echem Analyst V6.25 yazılımı ile model oluşturularak belirlenmiştir. Lineer sweep voltametri analizi (LCV), 0,25 mV/s tarama hızında Ag/AgCl referans elektrotu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MYH'de üretilen voltaj (V) ve güç (P) denklem 1 ve denklem 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V=I.R \quad (1)$$

$$P=I.V=I^2.R \quad (2)$$

Formülde;

V: Potansiyel, volt (V), I: Akım, amper (A), R: Direnç, ohm, P: Güç, watt. ifade etmektedir.

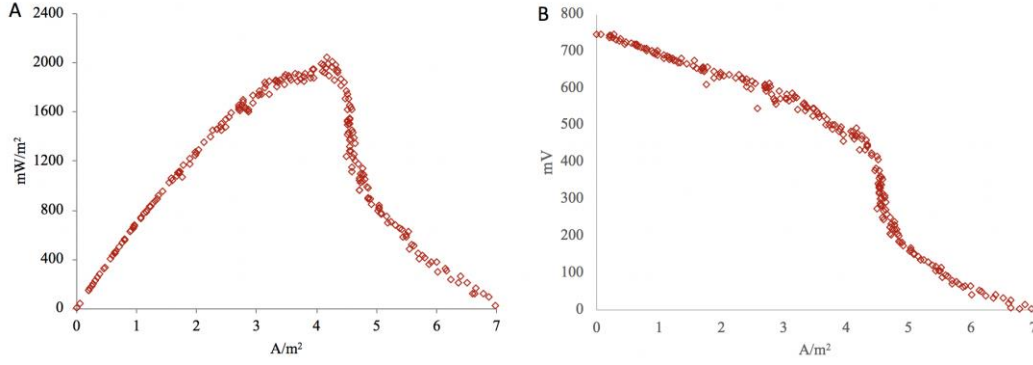
2.3.2. Mikrobiyal analizler

MYH reaktörünün işletme süresi sonunda anot elektrotu yüzeyinden biyofilm numunesi alınarak mikroorganizmalara ait genomik DNA, UltraClean Soil DNA izolasyon kiti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bakterilere ait 16S rRNA genlerinin çoğaltılması için TECHNE/TC-512 marka PCR cihazı kullanılmıştır. PCR işleminden sonra analizin başarısını kontrol etmek amacıyla PCR ürünleri %1'lik (w/v) agaroz jel içerisinde 100 V'da 20 dk süre ile yürütülmüştür. PCR işleminde kullanılan forward ve reverse primerlerin baz dizilimleri Tablo 1'de verilmiştir. Çoğaltılan hedef genler denatüre gradyan jel elektroforez (DGGE) işlemine tabi tutulmuştur. DGGE işlemi, INGENY phor L-2 cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz için hazırlanan jel, %35-60 arasında değişen bir gradyanta (%100'lük denatürant, 7 M üre, %40 Akrilamid bis (v/v) ve formamit) sahip olup, 1XTAE tampon çözeltisi içerisinde %8 poliakrilamid jel içermektedir. DGGE analizinin ardından saf türlere ait dizi analizi gerçekleştirilmiş ve baskın olan türler belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

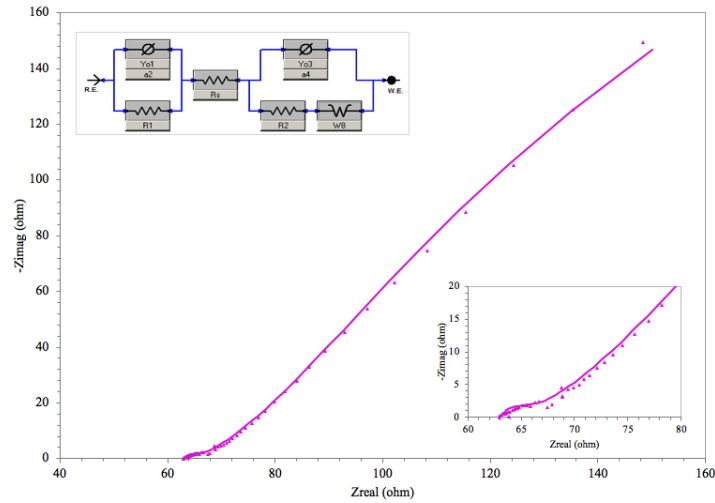
3.1. Elektrot performansı

Çalışmada MYH reaktöründe üretilen güç miktarlarını tespit etmek amacıyla LCV analizi yapılmış ve elde edilen veriler kullanılarak polarizasyon ve güç eğrileri oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan MYH reaktörüne ait V-A ve P-A eğrileri, Şekil 2A ve Şekil 2B'de görülmektedir. Sistemde 4.16 A/m²'lik akım yoğunluğunda 2043 mW/m² güç yoğunluğu elde edilmiştir. Grafen ile modifiye edilmiş NiTi elektrot ile üretilen güç miktarının literatürle kıyaslandığında, son yıllarda yenilikçi elektrot malzemeleri ile yapılan birçok çalışmadan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Literatürdeki mevcut çalışmalarda Yamashita ve Yokoyama (2018) molibden bir elektrot kullanılarak 1296 mW/m² güç üretimi elde etmişlerdir. Zeng ve diğ., (2018) makro gözenekli karbonize polidopamin modifiye pamuklu tekstil ile 931± 61 mW/m² güç yoğunluğu elde ettiklerini rapor etmişlerdir. Diğer bir çalışmada ise Rikame ve diğ., (2018) indirgenmiş grafen oksit/polipirol kullanarak modifiye ettikleri grafit elektrotu kullanarak 835.21±1.40 mW/m³ güç yoğunluğuna ulaşmışlardır. Grafen kaplı NiTi elektrot kullanılarak elde edilen güç miktarı (2043 mW/m²) güncel literatürdeki değerler ile kıyaslandığında oldukça yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 2. MYH’de üretilen güç yoğunluğu (A) ve polarizasyon eğrisi (B)

MYH performansını gösteren diğer bir önemli parametre ise iç direnç değeridir. MYH sisteminin iç direnci güç üretimini etkileyen en önemli faktördür. Bu amaçla kullanılan MYH reaktöründe nyquist analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlara model uygulanarak iç direnç değeri detaylı bir şekilde tespit edilmiştir. Nyquist sonucu ve sonuçlara uygulanan model Şekil 3’de görülmektedir. Buna göre NiTi elektrota ait anot yük transfer direnci, katot elektrotuna ait yük transfer direnci ve sistemin solüsyon direnci sırası ile 371.7, 2.9 ve 63.1Ω dur. MYH reaktöründe oluşan toplam iç direnç değeri 437.7 Ω dur. Taskan ve Hasar (2015) tarafından yapılan bir çalışmada kalay kaplı bakır mesh elektrotun kullanıldığı çift bölmeli bir MYH’de 477 Ω’luk bir iç direnç elde edilmiştir. Karbon kumaş elektrotun kullanıldığı bir çalışmada toplam iç direnç değeri 366 Ω olarak rapor edilmiştir [14]. Diğer bir çalışmada, biyolojik olarak indirgenmiş grafen oksit film elektrot ile modifiye edilmemiş elektrotların kullanıldığı MYH reaktörleri için iç direnç değerleri sırası ile 299.11 Ω ve 375.21 Ω olarak belirlenmiştir [15]. Yousefi ve diğ., (2016) tarafından yapılan bir diğer çalışmada grafit granül yataklı anotun kullanıldığı üç farklı MYH’de elde edilen iç direnç değerlerinin 614.71–1711.59 Ω aralığında olduğu rapor edilmiştir. Grafen ile kaplanmış NiTi elektrot için elde edilen iç direnç değeri literatür değerleri ile kıyaslandığında nispeten düşük bir iç direnç değerinin meydana geldiğini ve bu değer literatür değerleri ile kıyaslanabileceği görülmektedir. NiTi alaşımının yüksek elektriksel iletkenliği ve grafen kullanılarak yapılan yüzey modifikasyonu, anot yüzeyine olan elektron transferini kolaylaştırarak MYH’de meydana gelen iç direnci düşürmüştür.

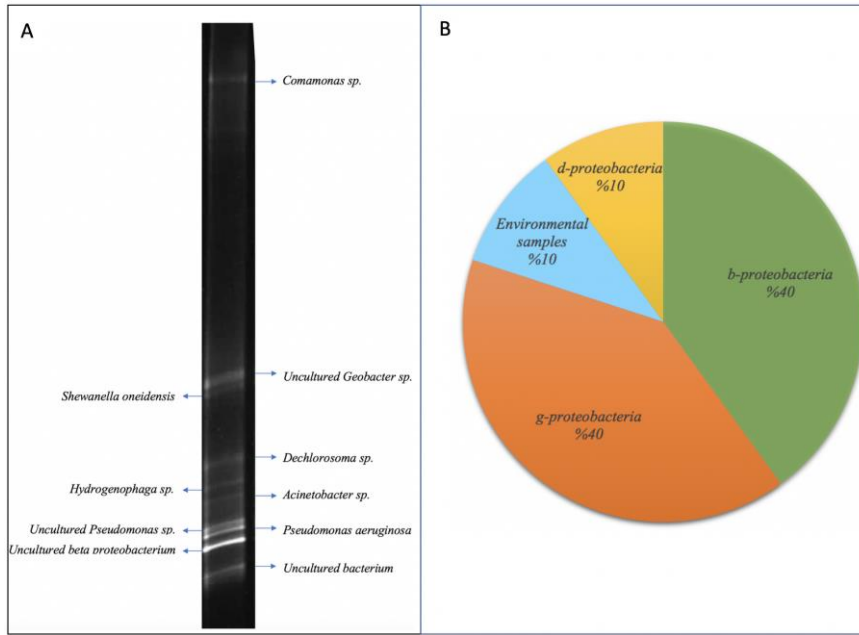


Şekil 3. Anot elektrotuna ait Nyquist diyagramı

3.2. Mikrobiyal komünite analizi

MYH reaktörünün işletme süresi sonunda anot yüzeyinden alınan biyofilm numunesinde aktif bakterilere ait genomik DNA izole edilmiştir. Daha sonra izole edilen DNA numunesine PCR ve DGGE işlemleri uygulanarak

bakteri türlerinin tanımlanması sağlanmıştır. DGGE analiz sonucuna göre elde edilen jel görüntüsünde anot yüzeyindeki biyofilm yapısında mikrobiyal çeşitliliğin mevcut olduğu ve *Comamonas sp.* (KX225269), *Uncultured Geobacter sp.* (JF817816), *Shewanella oneidensis* (AB447987), *Uncultured Pseudomonas sp.* (GQ329590), *Pseudomonas aeruginosa* (JQ912281) gibi türlerin varlığı belirlenmiştir (Şekil 4). *Shewanella* türleri c-tipi sitokromlara sahip olup anot elektrotuna kolay bir şekilde tutunabilir ve ürettikleri elektronları sahip oldukları nanowire'lar sayesinde anota rahat bir şekilde transfer edebilirler [17]. *Pseudomonas* türleri ise fenazın tabanlı kimyasalları üretme yeteneğine sahip olup bu kimyasallar MYH'de medyatör görevi görmektedir [18]. Diğer taraftan *Geobacter* türlerinin elektron transferinden sorumlu c-tipi sitokrom genine sahip olduğu literatür çalışmalarında rapor edilmiştir [19]. Bu türler yüksek elektrik üretme yeteneğine sahip olan elektrojen türler olarak bilinmektedir. Commault ve diğ., (2013) grafit elektrotun kullanıldığı bir MYH'de *Geobacter* türünün baskın olduğu bir biyofilm ile 270 mW/m² güç üretimi sağlamıştır. Narayanasamy ve Jayaprakash (2018) tarafından yapılan bir çalışmada grafit/polyester kompozit elektrot kullanılan bir MYH'de *Pseudomonas aeruginosa* biyofilmi kullanılarak azo boyası degradasyonu ile 1575 ± 223.26 µW/m² güç üretilmişliği rapor edilmiştir.

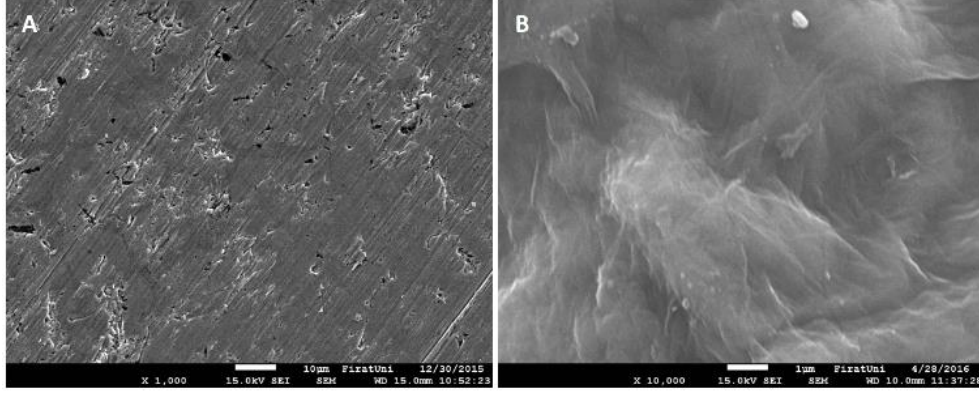


Şekil 4. A: Anot elektrotu yüzeyinden alınan biyofilm numunesine ait DGGE jel görüntüsü, B: Baskın tür sınıfları

Moleküler çalışma sonucunda grafit kaplı NiTi elektrot yüzeyinde tespit edilen mikroorganizma türlerinin *b-proteobacteria* (%40), *d-proteobacteria* (%10), *g-proteobacteria* (%40) ve *Environmental bacteria* (%10) gruplarına ait olduğu belirlenmiştir (Şekil 4B). Bu bakteri gruplarının daha önceki çalışmalarda anot biyofilminde farklı oranlarda mevcut olduğu rapor edilmiştir [21, 22]. *Deltaproteobacteria* grubuna ait bakterilerin anot yüzeyinde kolonize oldukları ve ürettikleri elektronları anot yüzeyine kolay bir şekilde aktarabildikleri bilinmektedir [23-26]. Moleküler analiz sonuçları, grafit kaplı NiTi elektrotun elektroaktif türlerin varlığını desteklediği ve biyofilm yapısında tür çeşitliliğinin mevcut olduğunu göstermiştir.

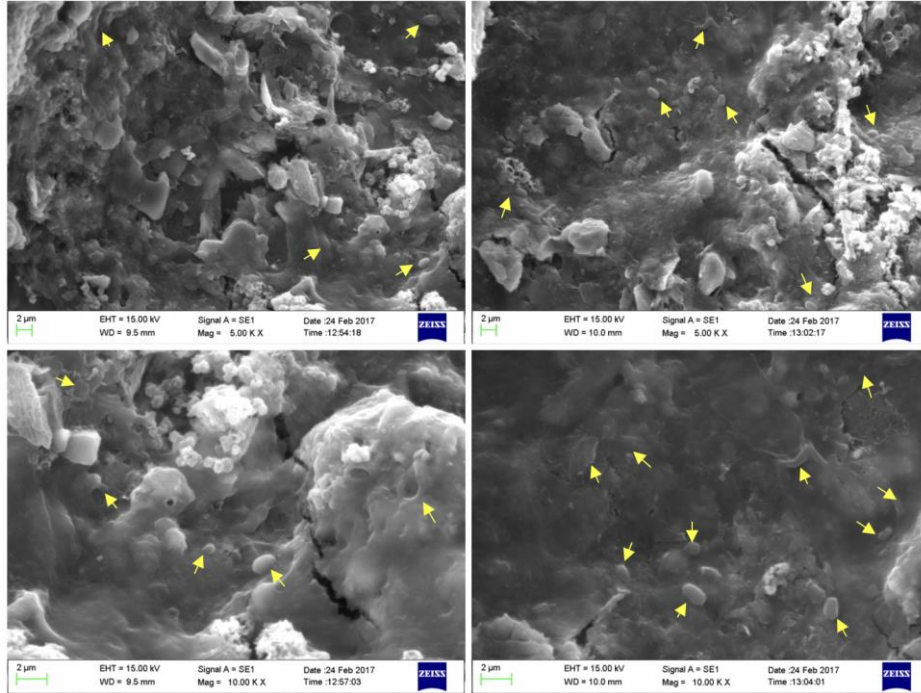
3.3. SEM sonuçları

Şekil 5'de NiTi alaşımının yüzeyinden alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Mevcut NiTi alaşımı düz bir yüzey yapısına sahiptir. Düz yapı, bakteriyel tutunma için uygun bir ortam oluşturmamaktadır.



Şekil 5. Anot elektrotunun işletmeden önce yüzeyine ait SEM görüntüleri; (A) grafen kaplamasız, (B) grafen kaplı

Literatürde yapılan çalışmalarda pürüzlü yüzey morfolojisinin bakteriyel tutunmayı arttırdığı rapor edilmiştir [27-29]. Cheng ve diğ., (2018) tarafından yapılan çalışmada, grafit fırça elektrot grafen nanokompozit kullanılarak kaplanmıştır. Uygulanan yüzey modifikasyonu ile üretilen güç miktarının 3,2 kat arttığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada düz bir yüzey yapısına sahip olan NiTi elektrotun yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi için grafen ile modifikasyon (kaplama) işlemi yapılmıştır. Grafen kullanılarak yapılan kaplama işlemi mikroorganizmalar için tutunma alanını arttırmasının yanında yüzey pürüzlülüğü ve biyolojik uyumluluğu arttırmıştır. Bu yapı mikroorganizmalar için uygun bir tutunma alanı ve iyi bir elektron transfer yüzeyi sağlamaktadır (Şekil 5B). MYH reaktörünün işletme süresinin sonunda elektrot yüzeyinden alınan SEM görüntüleri Şekil 6'da görülmektedir. Anot yüzeyinden farklı noktalardan alınan SEM görüntülerinde elektrot yüzeyindeki biyofilm yapısı ve bakteriyel morfoloji görülmektedir. SEM görüntülerinde biyofilm yapısında genellikle yuvarlak şekilli mikroorganizmaların varlığı tespit edilirken nadir olarak çubuksu mikroorganizmaların da varlığı gözlenmiştir. Biyofilm yapısındaki bakterilerin boyutlarının yaklaşık olarak 1µm olduğu görülmektedir. SEM görüntüleri yeni geliştirilen elektrot malzemesinin bakterilerin tutunması için uygun bir ortam oluşturduğunu göstermektedir.



Şekil 6. İşletmeden sonra anot elektrot yüzeyinden alınan SEM görüntüsü

4. Sonuçlar

Bu çalışmada grafen kaplı NiTi alaşımı MYH'de elektrot malzemesi olarak ilk defa kullanılmıştır. MYH reaktörünün ürettiği maksimum güç miktarı 2043 mW/m² olarak elde edilmiştir. Anot biyofilmine uygulanan moleküler analizler ve SEM sonuçları elektrot yüzeyinde iyi bir biyofilm tabakasının mevcut olduğunu ve elektroaktif türlerin varlığını göstermiştir. Bu sonuçlar yeni geliştirilen elektrot malzemesinin mikroorganizmalar ile biyoyoumluluğunun yüksek olduğunu ifade etmektedir. Sonuç olarak yeni geliştirilen elektrot malzemesinin elektrik üretim performansı literatür çalışmalarına kıyasla nispeten yüksek olup ileriki çalışmalara ışık tutabilecektir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK-CNRST ikili iş birliği programı kapsamında 114Y699 nolu proje ile desteklenmiştir. TÜBİTAK'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Logan BE. (2008). Microbial fuel cells. ed. John Wiley & Sons.
- [2] 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(4): 2300-2308.
- [3] Li S, Cheng C, Thomas A. Carbon-Based Microbial-Fuel-Cell Electrodes: From Conductive Supports to Active Catalysts. *Adv. Mater* 2017; 29(8): 1602547.
- [4] Toker SM, Canadinc D, Maier HJ, Birer O. Evaluation of passive oxide layer formation–biocompatibility relationship in NiTi shape memory alloys: Geometry and body location dependency. *Mater. Sci. Eng., C* 2014; 36(118-129).
- [5] Akdoğan A, Nurveren K. Akıllı Malzemeler ve Uygulamaları. *Machinery Makina Tek* 2002; 57 s 35):
- [6] Hou J, Liu Z, Li Y, Yang S, Zhou Y. A comparative study of graphene-coated stainless steel fiber felt and carbon cloth as anodes in MFCs. *Bioprocess Biosyst Eng* 2015; 38(5): 881-888.
- [7] Hsu W-H, Tsai H-Y, Huang Y-C. Characteristics of Carbon Nanotubes/Graphene Coatings on Stainless Steel Meshes Used as Electrodes for Air-Cathode Microbial Fuel Cells. *J Nanomater* 2017; 2017(
- [8] Xiao L, Damien J, Luo J, Jang HD, Huang J, He Z. Crumpled graphene particles for microbial fuel cell electrodes. *J. Power Sources* 2012; 208(187-192).
- [9] Zhang Y, Mo G, Li X, Zhang W, Zhang J, Ye J, Huang X, Yu C. A graphene modified anode to improve the performance of microbial fuel cells. *J. Power Sources* 2011; 196(13): 5402-5407.
- [10] Zheng S, Yang F, Chen S, Liu L, Xiong Q, Yu T, Zhao F, Schröder U, Hou H. Binder-free carbon black/stainless steel mesh composite electrode for high-performance anode in microbial fuel cells. *J. Power Sources* 2015; 284(252-257).
- [11] Yamashita T, Yokoyama H. Molybdenum anode: a novel electrode for enhanced power generation in microbial fuel cells, identified via extensive screening of metal electrodes. *Biotechnol Biofuels* 2018; 11(1): 39.
- [12] Zeng L, Zhao S, He M. Macroscale porous carbonized polydopamine-modified cotton textile for application as electrode in microbial fuel cells. *J. Power Sources* 2018; 376(33-40).
- [13] Rikame SS, Mungray AA, Mungray AK. Modification of anode electrode in microbial fuel cell for electrochemical recovery of energy and copper metal. *Electrochim. Acta* 2018; 275(8-17).
- [14] Cheng P, Shan R, Yuan H-R, Deng L-f, Chen Y. Enhanced Rhodococcus pyridinivorans HR-1 anode performance by adding trehalose lipid in microbial fuel cell. *Bioresour Technol* 2018; 267(774-777).
- [15] Wang K, Cheng Y, Chen Y, Jin X, Chen Z. Green reduced graphene oxide electrodes by eucalyptus leaves extract to enhance the power generation of microbial fuel cells (MFC). *Huanjing Kexue Xuebao/Acta Scientiae Circumstantiae* 2017; 37(8): 2944-2950.
- [16] Yousefi V, Mohebbi-Kalhor D, Samimi A, Salari M. Effect of separator electrode assembly (SEA) design and mode of operation on the performance of continuous tubular microbial fuel cells (MFCs). *Int. J. Hydrogen Energy* 2016; 41(1): 597-606.
- [17] El-Naggar MY, Wanger G, Leung KM, Yuzvinsky TD, Southam G, Yang J, Lau WM, Neelson KH, Gorby YA. Electrical transport along bacterial nanowires from *Shewanella oneidensis* MR-1. *Proc Natl Acad Sci* 2010; 107(42): 18127-18131.
- [18] Pham TH, Boon N, De Maeyer K, Höfte M, Rabaey K, Verstraete W. Use of Pseudomonas species producing phenazine-based metabolites in the anodes of microbial fuel cells to improve electricity generation. *Appl Microbiol Biotechnol* 2008; 80(6): 985-993.
- [19] Commault AS, Lear G, Packer MA, Weld RJ. Influence of anode potentials on selection of Geobacter strains in microbial electrolysis cells. *Bioresour Technol* 2013; 139(226-234).
- [20] Narayanasamy S, Jayaprakash J. Improved performance of Pseudomonas aeruginosa catalyzed MFCs with graphite/polyester composite electrodes doped with metal ions for azo dye degradation. *Chem. Eng. J* 2018; 343(258-269).

- [21] Wang J, Song X, Wang Y, Bai J, Bai H, Yan D, Cao Y, Li Y, Yu Z, Dong G. Bioelectricity generation, contaminant removal and bacterial community distribution as affected by substrate material size and aquatic macrophyte in constructed wetland-microbial fuel cell. *Bioresour Technol* 2017; 245(372-378).
- [22] Sawasdee V, Pisutpaisal N. Microbial Community from Tannery Wastewater in Microbial Fuel Cell. *Chemical Engineering Transactions* 2018; 64(397-402).
- [23] Logan BE. Exoelectrogenic bacteria that power microbial fuel cells. *Nat Rev Microbiol* 2009; 7(5): 375.
- [24] Bond DR, Holmes DE, Tender LM, Lovley DR. Electrode-reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments. *Science* 2002; 295(5554): 483-485.
- [25] Lee J, Phung NT, Chang IS, Kim BH, Sung HC. Use of acetate for enrichment of electrochemically active microorganisms and their 16S rDNA analyses. *FEMS Microbiol Lett* 2003; 223(2): 185-191.
- [26] Holmes DE, Bond DR, O'Neil RA, Reimers CE, Tender LR, Lovley DR. Microbial Communities Associated with Electrodes Harvesting Electricity from a Variety of Aquatic Sediments. *Microb Ecol* 2004; 48(2): 178-190.
- [27] Thung W-E, Ong S-A, Ho L-N, Wong Y-S, Ridwan F, Oon Y-L, Oon Y-S, Lehl HK. Bioelectricity Generation in Batch-Fed Up-Flow Membrane-Less Microbial Fuel Cell: Effect of Surface Morphology of Carbon Materials as Aqueous Biocathodes. *Water, Air, Soil Pollut* 2016; 227(8): 254.
- [28] Tao Y, Liu Q, Chen J, Wang B, Wang Y, Liu K, Li M, Jiang H, Lu Z, Wang D. Hierarchically Three-Dimensional Nanofiber Based Textile with High Conductivity and Biocompatibility As a Microbial Fuel Cell Anode. *Environ. Sci. Technol* 2016; 50(14): 7889-7895.
- [29] You J, Santoro C, Greenman J, Melhuish C, Cristiani P, Li B, Ieropoulos I. Micro-porous layer (MPL)-based anode for microbial fuel cells. *Int. J. Hydrogen Energy* 2014; 39(36): 21811-21818.
- [30] Cheng Y, Mallavarapu M, Naidu R, Chen Z. In situ fabrication of green reduced graphene-based biocompatible anode for efficient energy recycle. *Chemosphere* 2018; 193(618-624).

Niğde İlinde Güneş Enerjisi Santrallerinin Yaygınlaştırılması ve Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasının Potansiyeli

Tufan SAK¹, Çağdaş GÖNEN², Emine Erman KARA^{3*}

^{1,2,3}Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
Adres: Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Müh. Fak., Çevre Müh. Böl., 51240, Niğde, Türkiye
¹tufansak@gmail.com, ²cagdas.gonen@ohu.edu.tr, ³ereman@ohu.edu.tr

(Geliş/Received: 24/10/2018;

Kabul/Accepted: 23/5/2019)

Öz: Günümüzde modern toplumların elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için kullanılan fosil türevli yakıtlardan hızla doğa dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçilmektedir. Fosil türevli yakıtların kullanılması sonucunda biriken sera gazları nedeniyle küresel iklim değişikliği ortaya çıkmıştır. Bunu yanında hava kalitesi de bozulmaya başlamıştır. Güneş enerjisi ekonomik ve teknik uygulanabilirlik açısından en yaygın olarak tercih edilen yenilenebilir enerji kaynağı olarak günümüzde kabul görmektedir. Yapılan bu çalışmada Niğde ili için güneş enerjisinin elektrik enerji üretimli potansiyeli, ekonomik ve çevresel olarak uygulanabilirlik açısından incelenmiştir. İlerdeki mevcut arazi kullanım haritaları, tarım arazileri ve güneş radyasyon potansiyeli haritaları bir arada değerlendirilmiştir. İlerdeki tarım arazisi ve orman vasfını yitirmiş alanın sadece %3,4 güneş enerjisi üretimi için kullanıldığında gerekli olan elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanabileceği hesaplanmıştır. Bu enerji yılda 435924 ton CO₂ emisyonun atmosfere verilmeyeceği anlamına gelmektedir.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji, Sera gazları, Güneş Enerjisi, İklim değişikliği.

Dissemination of Solar Power Plants in Niğde Province and Potential for Reducing Greenhouse Gas Emissions

Abstract: Today, fossil-derived fuels are used to meet the electricity needs of modern societies, and quickly switch to environmentally friendly renewable energy sources. As a result of the use of fossil-derived fuels, global climate change has increase due to the accumulation of greenhouse gases. Besides this, the air quality has started to deteriorate. Solar energy is now accepted as the most widely used renewable energy source in terms of economic and technical viability. In this study, solar energy potential for Niğde city province was examined in terms of potential, economic and environmental viability of electrical energy production. Current available land use maps, agricultural landmarks and solar radiation potential maps have been evaluated together. It is calculated that the required electricity energy requirement can be met when the current non-agricultural land and the non-forest land are used for only 3.4% solar energy production. This means that 435924 tons of CO₂ emissions per year will not be given to the atmosphere.

Key words: Renewable energy, Greenhouse gases, Solar power, Climate change.

1. Giriş

Enerjinin üretimi ve tüketimi İlk çağlardan beri insan hayatında önemli yer bulmuştur. Günümüze kadar gelen süreçte enerjinin üretim ve tüketim şekli birbirinden farklı olsa da günlük hayattaki faaliyetlerin devamı ve gelişmenin sürekliliği için enerjiye ihtiyaç duyulmuştur. Modern hayatla birlikte nüfus artışı da enerjiye olan talebi arttırmıştır. Sanayinin gelişmesi ve nüfusun artmasıyla oluşan enerji üretim ve talebindeki baskı, ülkeleri daha çok enerjiyi ekonomik yöntemlerle üretmeye doğru yönlendirmiştir. Bu baskı, bir yandan dünyada politik çatışmalara sebep olurken, diğer yandan doğal kaynakların aşırı tüketilmesine ve buna bağlı olarak çevre kirliliğinin oluşmasına neden olmuştur [1–3]. Enerji, ülkelerin sürdürülebilir bir şekilde kalkınmaları ve gelişmeleri için en önemli unsurlardan birisidir. Bunun en ekonomik şekilde sağlanabilmesi için, enerjinin yenilenebilir kaynaklardan sürdürülebilir bir şekilde ve doğa dostu yöntemlerle elde edilmesi şarttır. Özellikle enerjinin yerel ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi kalkınmada en önemli nokta olan sanayi üretiminin katma değerinin daha yüksek olabilmesine yardımcı olacaktır [4, 5].

Sanayi devrimi sonrasında teknolojinin hızla gelişmesi ve nüfusun katlanarak artışı ile enerjiye olan talep artmıştır. Bu artışın yarattığı baskılar sonucunda fosil türevli enerji kaynakları aşırı derecede kullanılarak tüketilmiştir. Fosil türevleri kaynaklarının uzun yıllar boyunca ısınma, elektrik enerjisi üretimi ve ulaşım ihtiyaçlarının giderilmesi için yoğun olarak üretilmesi ve tüketilmesi sonucunda en büyük çevre etkisi olan iklim

*Sorumlu yazar: ereman@ohu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-2994-012X, ² 0000-0002-8554-8125, ³ 0000-0002-9075-0563

değişikliği geri dönülemez bir şekilde karşımıza çıkmıştır [6]. Fosil yakıtların yanması sonucunda karbondioksit ve azot oksit gazları uzun yıllar boyunca açığa çıkmıştır. Sera etkisi yaratan bu gazların atmosfere salınmaları sonucunda atmosferdeki konsantrasyonları olması gereken doğal seviyenin üzerine çıkmıştır. Fosil türevli enerji kaynaklarından gelen ilave sera gazlarının atmosfere birikmesi sonucunda yeryüzü sıcaklığı olması gerekenin 1°C üzerine çıkmıştır. Bu artış günümüzde hala devam etmekte olup, geri dönülmez bir çevre felaketine dönüşmek üzeredir. Bu çevre etkisi yanında fosil türevli yakıtların kullanıldığı bölgelerde hava kalitesinin aşırı derecede düştüğü ve insan sağlığının olumsuz şekilde etkilendiği de bilinmektedir. Tarım yapılan bölgelerde fosil yakıtların kullanılması sonucunda ortaya çıkan gaz ve taneciklerin tarımsal ürünlerin verimliliğini de düşürdüğü bilinmektedir [1, 2, 7].

Elektrik enerjisi üretimi, ulaşım ve ısınma gibi ihtiyaçların karşılanması için ömürleri sınırlı olan fosil yakıtlara alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi kaçınılmazdır. Bu alternatif enerjilerden güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biyokütle enerjisi en yaygın kullanılan türleridir. Bunlara ilave olarak jeotermal enerji, dalga enerjisi ve hidrojen enerjisi gibi yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları atmosfere ilave sera gazı emisyonu oluşturmadıkları için doğa dostudurlar [8]. Ayrıca, fosil türevli yakıtların oluşturduğu ortalama sıcaklık artışının devam etmesini engelleyebilme potansiyelleri de mevcuttur. İklim değişikliği ile mücadele edebilmek ve küresel ısınma artışını durdurabilmek için uluslararası ölçekte Birleşmiş Milletler ve Avrupa Birliği'nin birçok çalışması ve programı mevcuttur. Bu çalışma ve programlar içerisinde Türkiye etkin bir şekilde yer almaktadır [9]. Uluslararası ölçekte alınması planlanan tedbirlerin başında elektrik enerjisi üretiminde, ulaşım amaçlı kullanılan fosil yakıtların kullanımının sınırlandırılması, yerine alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının teşvikleri gelmektedir. Enerji kaynağının yanında yenilikçi teknolojiler geliştirilerek daha düşük enerji tüketen araçların ve cihazların yapılması teşvik edilmektedir. Bunlara ilave olarak daha az atık üreten teknolojiler ve daha az atığa neden ürünlerin geliştirilmesi teşvik edilmektedir [3, 7, 10, 11]. Türkiye'de bahsedilen konuda birçok tedbir uygulamasına başlanmıştır. Elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanılması halinde teşviklerin uygulanabilmesi için yönetmelikler yürürlüğe girmiştir. Bunun yanında rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi için enerji ihtisas bölgeleri belirlenmiş ve buralarda büyük ölçeklerde enerji üretimine başlanmıştır. Bu uygulamaların yanında Ulusal sıfır atık Eylemi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürürlüğe konmuştur. Böylelikle atıkların bertarafı ve çürütmesi sırasında oluşacak sera etkisi yaratan karbondioksit ve metan gazı emisyonları kontrol altına alınabilecektir [5, 9, 12, 13].

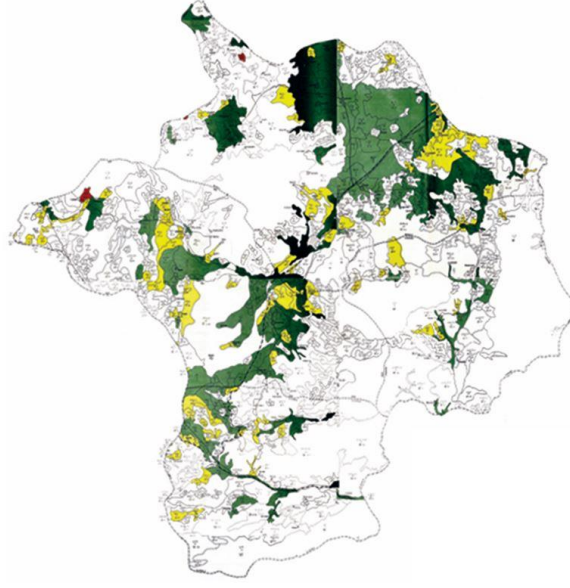
Dünya'da güneş enerjisinden elektrik üreten fotovoltaik sistemler son yıllarda hızla gelişmiştir. Yenilenebilir enerji pazarında fotovoltaik sistemler büyük yer tutmuştur. Son yıllardaki bu teknolojik gelişmelere ve iklim değişikliği konusunda doğa dostu enerji üretim teknolojilerine olan ihtiyaca paralel olarak Türkiye'de güneş enerjisi kullanımı öncelikli olarak teşvik gören alanlara girmiştir. Türkiye'nin sahip olduğu mevcut coğrafi konumu sebebiyle enerji üretimi açısından birçok gelişmiş ülkeye göre çok verimlidir. Türkiye'nin özellikle güney ve güneydoğu kesimleri diğer bölgelerinden biraz daha yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir [8, 13].

Yapılan bu çalışmada Türkiye'nin güneyinde konumlu olan Niğde ili için sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin elektrik enerji üretimi potansiyeli, ekonomik ve çevresel olarak uygulanabilirlik açısından incelenerek ortaya konmuştur. Bu çalışma kapsamında mevcut arazi kullanım haritaları, tarım arazileri ve güneş radyasyon potansiyeli haritaları bir arada değerlendirilerek hesaplamalar yapılmış ve öngörülerde bulunulmuştur. Güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyeli yanında elde edilen bu enerjinin iklim değişikliğine olan etkisi fosil türevli elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile kıyaslamalı olarak hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma bölgesi hakkında genel bilgiler

Çalışmanın yapıldığı Niğde İli deniz seviyesinden 1300m ortalama yükseklikte olan ve 77955 km² alana yerleşik alandadır. T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı verilerine göre arazi kullanım sınıflarına göre 8 farklı sınıfta sınıflandırılmıştır. Niğde ilinde I. ve IV. kategori arasındaki sınıflarda 262.577 ha. arazi mevcutken V. ve VIII. sınıflarındaki tarım arazilerinin alanı 516.945 ha'dır [14].



Şekil 1. Niğde ilinin arazi dokusunu gösteren harita (Yeşil: I. sınıf tarım alanları, Sarı II. sınıf tarım alanları, Kırmızı: III. sınıf tarım alanları, Beyaz: diğer tür alanlar).

Niğde Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden ve Niğde ili Gıda, Tarım ve Hayvancılık il müdürlüğü'nden alınan verilere göre hazırlanan Tablo 2' de Niğde ilindeki arazi sınıfları, alanları ve toplam alana oranları verilmiştir.

Tablo 1. Niğde ilindeki arazi sınıfları, alanları ve oranları

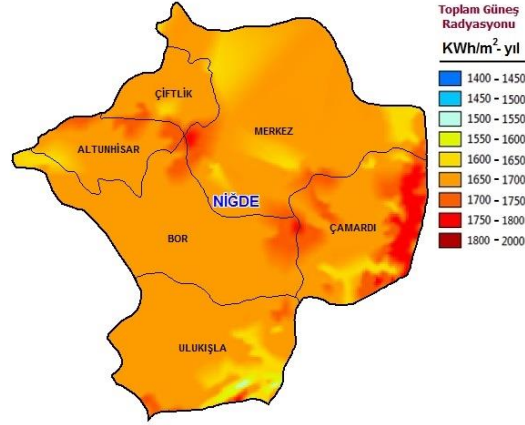
Arazi Türü	Oran (%)	Alan (ha)
I. sınıf	5,85	45.674
II. sınıf	11,70	91.053
III. sınıf	6,30	49.061
IV. sınıf	9,85	76.789
V.-VIII. sınıf	66,30	516.945

2.2. Niğde ilindeki elektrik enerjisi tüketim değerleri

Niğde ilinde yıllık elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık olarak 985.000 KWH'dır. İl'de konut alanları, ticaret haneler, evler, tarımsal sulama ve sokak aydınlatması amaçlı tüketilen elektrik enerjisi sırasıyla yıllık 387.567 MWH, 218.696 MWH, 150.450 MWH, 135.956 MWH ve 24.596 MWH'dir. Niğde ilinde kişi başına tüketilen elektrik enerjisi 437 KWH'dir [14].

2.3. Niğde ilinin güneş enerjisi potansiyeli

Niğde ilinde 9 adet Güneş enerjisi santrali mevcuttur. 18,08 MW toplam kapasitesi bulunan 7 adet tesis aktif olarak çalışmakta ve 9,72 MW Kurulu kapasiteye sahip inşaat halinde tesis bulunmaktadır. Geçmiş yılların ortalama değerleri dikkate alındığında Niğde ilinde en uzun güneşlenme süresi Temmuz ayında ve 12,16 saattir. En kısa güneşlenme süresi ise Aralık ayında 3,90 saat olarak tespit edilmiştir. Niğde ilinde ortalama güneşlenme süresi ise 8,03 saattir. Yenilebilir enerji genel müdürlüğünden (YEGM) alınan verilere göre, Niğde ili Ulukışla ilçesinde güneşten gelen en düşük radyasyon seviyesi 1.500-1.550 KWH/m² arasında, güneşten gelen en yüksek solar radyasyon Çamardı ilçesinde 1.750-1.800 KWH/m² arasındadır. Ortalama yıllık solar radyasyon seviyesi Niğde ilinde 1650 KWH/m² dir[12]. Niğde iline ait Güneş potansiyeli şekil 2'de verilmiştir [14].



Şekil 2. Niğde İli Solar Radyasyon Haritası

2.4. Niğde ilindeki farklı solar paneller için elektrik üretim potansiyelleri

En bilinen ve yaygın olarak kullanılan panel türleri monokristalin silikon, polikristalin silikon, ince tabaka bakır ve amorf yapıli kristal panellerdir [12]. Niğde ili için YEGM alınan verilerden yapılan hesaba göre, bahsedilen bu panellerden 100 m² de alınacak elektrik enerjisi Tablo 2' de verilmiştir [14].

Tablo 2. Niğde ilinde fotovoltaik panel türlerine göre yıllık üretilebilecek elektrik enerjisi potansiyelleri

Fotovoltaik panel türü	100m ² den Yıllık elektrik enerjisi üretimi
Mono kristalin silikon	27.000 KWH
Polikristalin silikon	24.000 KWH
İnce tabaka bakır	14.000 KWH
Cadmium tellurium	12.000 KWH
Amorf yapıli kristal paneller	11.000 KWH

Tablo 3 de verilen değerler dikkate alınarak yapılan hesaplama sonucunda Niğde ilindeki elektrik enerjisi tüketimi Türkiye'deki elektrik enerjisi tüketiminin %0,5'ine eşittir. İlde kurulu elektrik enerjisi gücü (termal elektrik santrali, hidroelektrik santrali ve yenilenebilir) 10,35 MW dır. Bu ise, Türkiye'deki elektrik üretim değerinin %0,01'ine denktir. Tablo 3' de Türkiye ve Niğde iline ait kurulu elektrik enerjisi üretim kapasiteleri verilmiştir.

Tablo 3. Niğde ilindeki elektrik tüketim ve üretim değerleri [14]

Nüfus	346.114	Rüzgar enerjisi kurulu gücü	0
Elektrik Tüketimi	984.394 MWH	Hidroelektrik santrali kurulu gücü	0,069 MW
Türkiye'deki Elektrik tüketim payı	0,50%	Jeotermal enerji kurulu gücü	0
Niğde ilindeki kurulu güç	10,35 MW	Termal elektrik tesisi kurulu gücü	10,28 MW

3. Sonuçlar

Bu çalışmada Niğde ilindeki güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyeli ve güneş enerjisinden elektrik üretimi sayesinde iklim değişikliğine sebep olan CO₂ emisyonlarının azaltılma potansiyeli incelenmiştir. Bunun yanında, güneş enerjisi sisteminin kullanılması ile elde edilecek çevresel fayda ve ekonomik kazançlarda tanımlanmıştır.

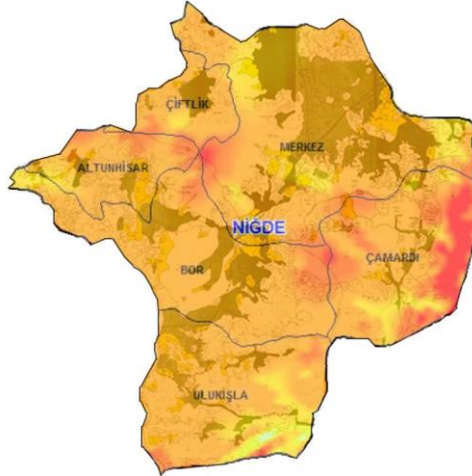
Yenilenemeyen fosil türevli enerji kaynaklarının küresel ısınma, iklim değişikliği ve hava kalitesi gibi çevresel unsurları olumsuz etkilediği araştırma sonuçları ile ortaya konmuş bir gerçektir. Niğde ilinde de endüstri sahaları ve konut sahalarının ısıtılması ile ulaşım amaçlı tüketilen fosil türevli yakıtlar direk olarak hava kalitesini olumsuz etkilemektedir. Özellikle kış dönemlerinde ısınma amaçlı tüketilen doğal gaz, akaryakıt ve kömürden kaynaklı partikül ve kükürt seviyeleri çok yüksek olmaktadır. Fosil türevli enerji sistemlerine kıyasla güneş enerjisi sistemleri olan fotovoltaik sistemler hiç bir şekilde sera gazı emisyonu, hava kalitesini düşüren partikül veya atık yaratmamaktadır [15, 16]. Üstelik fotovoltaik sistemlerin kullanım ömürleri bittiğinde kullanılan hammaddeler geri dönüştürülebildiklerinden yaşam döngüleri açısından bakıldığında da sürdürülebilir oldukları görülmektedir. Güneş enerjisi gibi yenilenebilir sistemler kullanıldığında o bölgedeki fosil türevli kaynakların sebebiyle bozulmuş olan hava kalitesi de zaman içerisinde olumlu yönde düzelebilmektedir [17, 18].

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde fotovoltaik panellerin kullanımı için en önemli olan nokta, sistemin kurulacağı arazinin elverişliliğidir. Eğer arazi tarımsal uygulamalar için tanımlanmış ve tarımsal uygulamalar için elverişli ise o bölge üzerine her hangi bir tesis kurulmasına izin verilmez. Bu durum kanun ve yönetmelikler ile tanımlanmış ve yasaklanmıştır.

3.1 Niğde ilinde arazi kullanımları ve güneş enerjisi potansiyeli eşleştirmesi

Tarımsal alanların kullanımında gıda üretimi amaçlı kullanım öncelikli olmaktadır. Niğde’de 779522 hektar arazi olmasına rağmen, bunun sadece 98175 hektarı yenilenebilir enerji tesisleri kurulması için uygundur. Bu alanlar tarımsal faaliyetler için uygun olmayan ve orman vasfını yitirmiş olan alanlardır. Bu araziler topoğrafya açısından elverişli, ekonomik parametreler mümkün, yasal yapı ve sahiplik durumları gibi durumlar uygun ise yenilenebilir enerji tesisleri için gelecekte kullanılabilir alanlardır.

Niğde iline ait güneş radyasyonu haritası ile arazi kullanım haritası karşılaştırılarak tesis kurulumu için arazi uygunluğu ortaya konmaya çalışılmıştır (Şekil 3). Buna göre, Altınhisar ilçesinin kuzeyi, şehir merkezinin güneydoğusu ve Çamardı ilçesinin Doğu kısımlarının güneş enerjisi tesis kurulumu için uygun ve elverişli araziye sahip oldukları görülmektedir. Bu araziler tarımsal ve orman vasfını yitirmiş olan araziler olup, tesis kurulumu için yasal sınırlama olmayan alanlardır. Bu alanlarda yeterli ve uygun seviyede güneş radyasyonu bulunurken arazi kullanımında tarımsal üretim anlamında herhangi bir kısıtlama bulunmamaktadır [14].



Şekil 3. Niğde ilinde arazi kullanım sınıfları ve güneş enerjisi potansiyeli eşleştirme haritası [14]

Daha önce belirtildiği gibi monokristal silikon paneller birim alan başına en yüksek elektrik verimine sahiptirler (ortalama 27.000 KWH/yıl/100m²). Türkiye ve Niğde ili için güneş paneli tesislerinin kurulmasının enerji üretimi ve ekonomik kazançlar açısından kayda değer olduğu görülmektedir. Ekonomik boyutta incelendiğinde; 1 MW kurulu güce sahip bir güneş enerjisi tesisi göz önüne alınırsa, böyle bir tesisin ilk yatırım maliyeti yaklaşık 900000 Euro, yıllık işletim maliyeti 5441 ve yıllık elektrik getirisi ise 65655 Euro olmaktadır. Bu rakamlara göre bir hesap yapıldığında, geri dönüş süresi yaklaşık 13 buçuk yıl olarak hesaplanmaktadır. Bir güneş enerjisi tesisinin ortalama ömrünün 25 yıl olduğu varsayılırsa, bu sürenin sonunda elde edilen kar 752 bin Euro ortalamasında olacaktır. Bir güneş enerjisi tesisinin geri dönüş süresi tesiste kullanılan parçaların birim

maliyeti, işletme maliyeti gibi parametreler nedeniyle değişkenlik gösterebilmektedir. Tablo 4'te 1 MW Kurulu güce sahip olan güneş enerjisi tesisinin ekonomik değerleri verilmiştir.

Tablo 4. Niğde ilinde 1 MW güneş enerjisi santrali için ekonomik değerler [14]

Yatırım maliyeti	€	890.000
İşletme maliyeti	€/yıl	5.440
Yıllık gelir	€/yıl	65.655
Geri dönüş oranı	Yıl	13,5
Ömrü sonunda elde edilen kar	€/yıl	751.375

Tablo 5'de Niğde ilinin 1 yıllık tükettiği elektrik enerji ihtiyacı için hesaplanan ve gerekli olan güneş enerjisi tesisi kapasitesi ve bu tesis için gerekli olan arazi büyüklükleri verilmiştir.

Tablo 5. Niğde ilinin yıllık enerji ihtiyacının karşılanması için gerekli GES tesisinin hesaplamaları [14]

Yıllık elektrik tüketimi	GWH	984,4
Tesisin kurulması için gerekli alan	ha	3.340
Niğde ilinde GES kurulması için uygun alan	ha	98.175
GES için gerekli alanın toplam elverişli alana oranı	%	3,40
Niğde ili elektrik tüketimi için gerekli GES kurulu gücü	MW	1.670

İlin elektrik ihtiyacı dikkate alınarak yapılan tahminlere ve hesaplara göre Güneş enerjisi tesisi için ihtiyaç duyulan kurulu güç 1670 MW olarak belirlenmiştir. Bunun yanında ihtiyaç duyulan toplam arazi miktarı Niğde ilindeki güneş enerjisi için elverişli arazinin % 3,4'üne denk olan 3340 ha alandır.

Niğde ilinde tarımsal ve orman vasfını yitirmiş yaklaşık 98170 ha alan bulunmaktadır. Bu alanın farklı oranlarda güneş enerjisi üretim tesisi için kullanılmasına göre hesap yapıldığında elde edilen sonuçlar tablo 6'da verilmiştir. Güneş enerjisi tesisi kurulabilir elverişli arazinin %3,4'ü kullanıldığında Niğde ili için 1 yılda ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi üretilebilirken, bu arazinin %10'u kullanıldığında ise Türkiye'nin ihtiyaç duyduğu enerjinin %1,15'i üretilebilmektedir. Bu arazinin tamamının kullanıldığı varsayıldığında ise Türkiye'nin bir yılda ihtiyaç duyduğu elektrik enerji ihtiyacının %11,50'si karşılanabilmektedir.

Tablo 6. Niğde ilindeki kullanıma elverişli araziler ve potansiyel elektrik enerjisi üretim değerleri [14]

Niğde ilindeki GES için elverişli alan kullanım oranı	100%	50%	10%	1%
GES için elverişli alanı ihtiyacı (ha)	98.175	49087,5	9817,5	981,8
Yıllık elektrik enerjisi potansiyeli (GWH)	28.962	14.481	2.896	290
Türkiye'deki yıllık elektrik enerjisi ihtiyacını karşılama oranı (%)	11,5	5,74	1,15	0,12
Niğde ilindeki yıllık elektrik enerjisini karşılama oranı (%)	2942	1471	294	29,4
Doğal gazdan elde edilen elektrik enerjisine oranı (%)	24	12	2,4	0,24
Kömürden elde edilen elektrik enerjisine oranı (%)	38	19	3,8	0,38
Yenilebilir kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisine oranı (%)	55	27,5	5,5	0,55

3.2 Sera gazı emisyonlarının azaltılması potansiyeli

Türkiye’de elektrik üretimi yenilenebilir ve yenilenemeyen farklı kaynaklar kullanılarak yapılmaktadır. Doğal gaz, ithal kömür, linyit, taşkömürü, hidroelektrik, rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi bu kaynakların başında gelmektedir. TÜİK verilerine göre Türkiye’de 2017 yılında kurulu elektrik üretim kapasitesi 83.139 MW olup, elektrik üretimi için kullanılan kaynaklar, bu kaynakların üretime oranları ile enerji değerleri Tablo 7’ de verilmiştir.

Tablo 7. 2017 yılında Türkiye’deki farklı kaynaklardan elektrik üretimi kurulu gücü

Elektrik üretim kaynağı	Kurulu güç (MW)	Oran (%)
Doğal gaz	23.063	27,7
İthal Kömür	8.134	9,8
Taş kömürü ve Linyit	9.873	11,9
Hidroelektrik	27.205	32,7
Rüzgar Enerjisi	6448	7,8
Güneş Enerjisi	14	0,01
Çok yakıtlılar	4052	4,9
Diğer (fuel oil, Jeotermal, atık yağ, atık ısı)	4350	5,2
Toplam	83139	100

Özellikle fosil türevli yakıtlar farklı verimlilikte ve kalorifik değerinde yanma reaksiyonları gösterdikleri için üretebildikleri birim KWH elektrik enerjisi başına farklı CO₂ emisyonlarına neden olmaktadır. Bahsedilen fosil türevli her farklı yakıt için ortalama emisyon hesaplamalarında kullanılacak uluslar arası standart değerler “Uluslar Arası İklim Paneli” (IPCC) tarafından yayınlanmaktadır [19]. Tablo 8 de birim elektrik enerjisi üretiminde farklı enerji kaynaklarının neden olduğu CO₂ emisyonları verilmiştir. Bu emisyonların hesaplamaları tesislerin yaşam döngüleri göz önüne alınarak yapılmış ve emisyon hesaplamalarında tesislerin inşası, işletilmesi ve ömürlerini tamamladıktan sonra sökülmele de dikkate alınmıştır [20]. Fosil türevli yakıtlardan elektrik enerjisi üreten tesislerde en büyük oranda CO₂ emisyonları işletme sürecinde ortaya çıkarken, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretilen tesislerde en yüksek emisyon değerleri tesislerin inşaat ve ömrünün tamamladığında sökülmesi sırasında oluşmaktadır. Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynaklarının da düşükte olsa bir karbon ayak izi vardır.

Tablo 8. Enerji kaynak türlerine göre birim elektrik enerjisi başına sera gazı emisyonları [20]

Kaynak Türü	Ortalama Ton CO ₂ /GWH	En düşük Ton CO ₂ /GWH	En yüksek Ton CO ₂ /GWH
Linyit	1054	790	1372
Kömür	888	756	1310
Petrol	733	547	935
Doğal gaz	499	362	891
Nükleer	29	2	130
Hidroelektrik	26	2	237
Güneş enerjisi	85	13	731
Rüzgar enerjisi	26	6	124
Biyokütle enerjisi	45	10	101

Niğde ilinde yıllık tüketilen enerji 984.394 MWH’tir. Bu elektrik enerjisi üretilmesi için Tablo 7’de verilen kaynakların aynı oranda etkideği varsayıldığında, İlin 1 yılda sebep olduğu CO₂ emisyonları toplam 435924,12 ton/yıl olacaktır. Tablo 9’da Niğde ilinin elektrik enerjisi kaynak türlerine göre 1 yılda elektrik enerjisi talebiyle neden olduğu sera gazı miktarları verilmiştir. Çalışmada önerilen GES yenilenebilir enerji kaynağı kullanıldığında

43.5924,12 ton/yıl sera gazları elimine edilmiş, bunun yerine ortalama 25 yıllık ömrü olan 1.670 MW'lık bir GES tesisi için 83.674 TonCO₂/yıl salınımı olacak ve mevcut sera gazı salınımı %81 oranında azaltılmış olacaktır.

Tablo 9. Niğde ilindeki Elektrik enerjisi üretimlerinin kaynakların oranına göre sebep olduğu emisyon değerleri.

Elektrik üretim kaynağı	Oran (%)	Niğde ilindeki tüketilen elektrik enerjisi değeri KWH/Yıl	Yıllık sera gazı emisyon değerleri Ton CO ₂ /yıl
Doğal gaz	27,7	272674	136064,51
İthal Kömür	9,8	96470	85665,03
Taş kömürü ve Linyit	11,9	117142	123467,35
Hidroelektrik	32,7	321894	8369,23
Rüzgar Enerjisi	7,8	76782	1996,33
Güneş Enerjisi	0,01	98	8,37
Çok yakıtlılar	4,9	48235	42832,52
Diğer	5,2	51188	37520,78
Toplam	100	984394	435924,12

4. Tartışma

Niğde iline ait güneş enerjisi potansiyeli incelenmiş ve yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi kullanımı ile elektrik üretimi amaçlı faaliyetlerden gelen sera gazı emisyonlarının ne derece azaltılabileceği ortaya konmuştur. Bunun yanında ekonomik ve çevresel boyutta faydaları da ele alınmıştır. Kömür ve doğal gaz gibi fosil türevli yakıtlardan kademeli olarak solar enerjiye geçmek Çevre ve iklim değişikliği açılarından zararlı emisyonların azaltılması için gelecek vadeden bir çözümdür. Çevresel kazanca ek olarak stratejik olarak bağımlı olunan doğal gazın tüketimi konusunda da ekonomik fayda sağlanabilecektir.

Yapılan bu araştırma sonuçlarına göre; güneş enerjisi sistemleri yatırımı ile Niğde ilindeki tarım arazisi ve orman vasfını yitirmiş alanın sadece %3,4 kullanılarak gerekli olan tüm elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanabilmektedir. Yerel sınırsız ve temiz enerji kaynağı olan güneş enerji sistemlerinin kullanılması ile bir yandan yeni iş ve çalışma alanları oluşurken, diğer yandan da enerjide olan dışa bağımlılık azalabilecektir. Böylelikle bu sistemler ekonomik ve sürdürülebilir sonuçlar için uzun dönemli avantaj sağlayacaktır.

Çalışma boyunca yasaların solar enerji sistemlerinin kurulmasına müsaade ettiği tarımsal ve ormanlık arazi vasfı dışında olan alanlar, güneş enerjisi tesislerinin kurulması için göz önüne alınarak hesaplamalar bu rakamlar üzerinden yapılmıştır. Böylelikle birinci önceliği olan tarım arazileri ve orman arazileri korunmuştur. Güneş Enerjisi sistemlerindeki Teknolojik gelişmeler, buna bağlı olarak artan üretim miktarı, azalan fiyatlar ve yatırımcı devlet desteğinin artması ile Niğde ilinde güneş enerjisi projeleri gelecekte artabilecektir. Bu artışla birlikte İlde doğa dostu sürdürülebilir ve yenilenebilir elektrik enerjisi üretimi artabilecektir.

Yapılan bu araştırmanın sonuçlarına göre; güneş enerjisi ve yenilenebilir enerji ile ilgili kurumlar ve organizasyonların iş birliği, yasal düzenlemeler ve politikaların da desteğiyle temiz enerji üretimi ve güneş enerjisi tesislerinin projeleri desteği teşvik edilmelidir. Bu teşvikler sonunda yapılabilen yatırımlar ile iklim değişikliği ile mücadelede, hava kalitesinin korunmasında ve yerel enerji kaynaklarının korunması konularında çok yönlü fayda ve kazanç sağlanacaktır.

Yatırımcıların teşvik edilebilmesi ve daha net bir provizyonun ortaya konabilmesi için yüksek verimlilikte enerji üretimlerini sağlayabilen ayrıntılı enerji performans oranlarına sahip, tarım dışı ve orman dışı arazilerde daha kapsamlı araştırmalar yapılması gerekmektedir. Bu çalışmaların yanında ülkedeki enerji üretimi için tarımsal ve hayvancılık ekonomisinden farklı bir şekilde desteklenecek olan enerji üretiminin bir çekim noktası olarak yatırımcıların dikkatini çekmek için hükümet ve özel kuruluşlarla işbirliği yapılması önerilmektedir. Bu araştırmadan elde edilen verilere göre; teknolojik gelişmeler, maliyetlerin azalması ve yatırımcı-devlet destekleri sayesinde Niğde ilinde GES projelerine daha fazla önem verilebileceği ve mevcut enerji üretiminin ekonomik olarak artabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Košir, M., Iglič, N., Kunič, R.: Optimisation of heating, cooling and lighting energy performance of modular buildings in respect to location's climatic specifics. *Renew Energy* 2018; 129: 527–539.
- [2] Abo-Elyousr, F.K., Elnozahy, A.: Bi-objective economic feasibility of hybrid micro-grid systems with multiple fuel options for islanded areas in Egypt. *Renew Energy* 2018; 128: 37–56.
- [3] Gu, Q., Wei, J., Luo, S., Ma, M., Tang, X.: Potential and environmental control of carbon sequestration in major ecosystems across arid and semi-arid regions in China. *Sci Total Environ* 2018; 645: 796–805.
- [4] Nabielek, P., Dumke, H., Weninger, K.: Balanced renewable energy scenarios: a method for making spatial decisions despite insufficient data, illustrated by a case study of the Vorderland-Feldkirch Region, Vorarlberg, Austria. *Energy Sustain Soc.* 8, 2018.
- [5] Üçtuğ, F.G., Azapagic, A.: Environmental impacts of small-scale hybrid energy systems: Coupling solar photovoltaics and lithium-ion batteries. *Sci Total Environ* 2018; 643: 1579–1589.
- [6] Leng, G.: Keeping global warming within 1.5 °C reduces future risk of yield loss in the United States: A probabilistic modeling approach. *Sci Total Environ* 2018; 644: 52–59.
- [7] Talbot, D., Boiral, O.: GHG reporting and impression management: An assessment of sustainability reports from the energy sector. *J Bus Ethics* 2018; 147: 367–383.
- [8] Karunathilake, H., Hewage, K., Mérida, W., Sadiq, R.: Renewable energy selection for net-zero energy communities: Life cycle based decision making under uncertainty. *Renew Energy* 2019; 130: 558–573.
- [9] Ediger, V.Ş., Kirkil, G., Çelebi, E., Ucal, M., Kentmen-Çin, Ç.: Turkish public preferences for energy. *Energy Policy* 2018; 120: 492–502.
- [10] Liobikienė, G., Butkus, M.: The challenges and opportunities of climate change policy under different stages of economic development. *Sci Total Environ* 2018; 642: 999–1007.
- [11] Kılıç, E., Puig, R., Zengin, G., Zengin, C.A., Fullana-i-Palmer, P.: Corporate carbon footprint for country Climate Change mitigation: A case study of a tannery in Turkey. *Sci Total Environ* 2018; 635: 60–69.
- [12] Ozdemir, S., Sahin, G.: Multi-criteria decision-making in the location selection for a solar PV power plant using AHP. *Meas J Int Meas Confed* 2018; 129: 218–226.
- [13] Pasaoglu, G., Garcia, N.P., Zubi, G.: A multi-criteria and multi-expert decision aid approach to evaluate the future Turkish power plant portfolio. *Energy Policy* 2018; 119: 654–665.
- [14] Sak, T.: Rüzgâr ve güneş enerjisi teknolojilerinin irdelenmesi ve Niğde iline uygulanabilirliklerinin değerlendirilmesi, Yüksek lisans, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye, 2015.
- [15] Koval, S., Krahenbuhl, G., Warren, K., O'Brien, G.: Optical microscopy as a new approach for characterising dust particulates in urban environment. *J Environ Manage* 2018; 223: 196–202.
- [16] Yang, H.-H., Arafath, S.M., Lee, K.-T., Hsieh, Y.-S., Han, Y.-T.: Chemical characteristics of filterable and condensable PM_{2.5} emissions from industrial boilers with five different fuels. *Fuel* 2018; 232: 415–422.
- [17] Gonzalez, A., Riba, J.-R., Esteban, B., Rius, A.: Environmental and cost optimal design of a biomass–Wind–PV electricity generation system. *Renew Energy* 2018; 126: 420–430.
- [18] Souliotis, M., Arnaoutakis, N., Panaras, G., Kavga, A., Papaefthimiou, S.: Experimental study and Life Cycle Assessment (LCA) of Hybrid Photovoltaic/Thermal (PV/T) solar systems for domestic applications. *Renew Energy* 2018; 126: 708–723.
- [19] Ramphull, M., Surroop, D.: Greenhouse gas emission factor for the energy sector in Mauritius. *J Environ Chem Eng* 2017; 5: 5994–6000.
- [20] WNA: Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources, 2011.

Taşkın Tehlike Alanlarının Oluşturulması: Trabzon İli Vakfıkebir İlçesi Kirazlı Deresi Örneği

Esra ERTÜRK^{1*}, Nihat KAYA²

¹ Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

² Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

*1 esraerturk@dsi.gov.tr, 2 nkaya@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 28/09/2018;

Kabul/Accepted: 23/05/2019)

Öz: Akarsu yatağının su iletim kapasitesinin çeşitli sebeplerle azalması veya yatak kapasitesinden daha fazla suyun gelmesi halinde yatak dışına taşarak can ve mal kaybına sebep olan taşkın, tedbir alınması gereken önemli afetlerden biridir. Çalışma bölgesi olan Doğu Karadeniz Havzası, hem meteorolojik açıdan fazla yağış alıyor olması sebebiyle hem de topoğrafik açıdan taşkın riski taşınması açısından önemli bir örnektir. Bu çalışmada yerleşim alanları ile tarım alanlarının Doğu Karadeniz Havzası'nın değişik dönüş aralıkları için hesaplanan taşkın tekrerrüt debilerine karşılık gelen su seviyeleri ve su altında kalacak yerlerin HEC-RAS 1 ve 2 Boyutlu yazılımı kullanılarak hesaplanması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada yerel düzeyde tehlikeler belirlenerek ilgili kurumlar tarafından taşkın yönetim planları hazırlanmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışma sonucu çalışılan alanda taşkın zararlarının etkilerini en aza indirmek amacıyla mevcut ıslah tesislerinin revize edilmesi ve taşkın erken uyarı sistemlerinin kurulması gerektiği yönünde taşkın önleyici tedbirlerin alınması gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, taşkın, modelleme, HEC-RAS.

Determination of the Flood Risk Areas: Case Study - Kirazlı Creek (Trabzon – Vakfıkebir)

Abstract: Flooding, the water transition capacity of the riverbed decreases due to various reasons or it can cause the loss of lives and properties if excessive amount of water has been observed on the riverbed, is one of the major disasters that need to be taken as a precaution. The Eastern Black Sea Basin, which is the study area, is a significant example both because of its meteorological excess rainfall and the topographically risk of flooding. Calculation of the water levels and the places that is inundated by the flood frequency rates of the settlements and agricultural areas for the different turn intervals of the Eastern Black Sea Basin by using the HEC-RAS 1 and 2 dimensional software is aimed in this study. Dangers are determined at local level and flood management plans are prepared by related institutions. In order to minimize the effects of flood damages in the study area, it has been determined that the existing flood control facilities should be revised and flood early warning systems should be installed.

Keywords: Climate change, flood, modelling, HEC-RAS.

1. Giriş

Taşkın; bir akarsuyun çeşitli sebeplerle yatağından taşarak, çevresindeki arazilere, yerleşim yerlerine, altyapı-üstyapı tesislerine ve canlılara zarar vererek o bölgedeki ekonomik ve sosyal faaliyetleri kesintiye uğratan bir doğa olayıdır[16].

Taşkın olayı hem Dünyada hem de ülkemizde sıklıkla yaşanan olaylar arasında yer almakla beraber, taşkın afeti sonucunda çok ciddi can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Uluslararası bir veri tabanına göre Dünyada son 100 yılda meydana gelen 2500 den fazla taşkın olayı sonucu 3 milyondan fazla insan hayatını kaybetmiş ve 200 milyar dolardan fazla maddi hasar meydana gelmiştir. Ülkemizde son 40 yılda yaşanan taşkın olayları sonucunda ise yüzlerce insanımız hayatını kaybetmiş, milyarlarca dolar zarar meydana gelmiştir [6]. Geçmiş yıllarda yaşanan taşkın olayları arasında 1995 yılı İzmir, 1996 yılı Trabzon-Beşköy, 1998 yılı Bartın, 2004 yılı Erzurum, 2006 yılı Batman, 2009 yılı İstanbul, 2012 yılı Samsun ve 2016 yılı Mersin taşkınları en çok zarara yol açan taşkınlar arasında yer almaktadır [2, 3, 4, 10 ve 13].

Sel ve taşkınlar; yağış şekli, yoğunluğu, drenaj ağı ve geometrisi, toprak özellikleri, bitki örtüsü gibi doğal birçok faktör ile şehirleşme, sanayileşme, ulaşım gibi beşeri kaynaklı faktörlerin etkisiyle oluşabilmekte ve yeterince önlem alınmadığı takdirde de afete dönüşebilmektedir [9].

Taşkın her ne kadar doğal bir afet olsa da, etkisinin bu derece büyük olmasının temel sebebi insan faaliyetleridir. İnsan faaliyetlerinin dışında, son yıllarda taşkınlardaki artışın bir diğer sebebi de iklim

¹ Sorumlu yazar: esraerturk@dsi.gov.tr Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-4395-6056, ² 0000-0002-9820-9587

değişikliğidir. İklim değişikliğinden dolayı kısa sürelerde birim alana düşen yağış miktarındaki artış ani taşkınların yaşanmasına neden olmaktadır. Taşkın alanlarındaki yerleşimler, dere yataklarına yapılan müdahaleler, gelişen kentleşme ve sanayileşme faaliyetleri gibi insani etkenler nedeniyle akarsuların yüzey akışında olan artışlar, taşkın olayının yaşanmasına sebep olan diğer etkenlerdir. Bütün bu etkenler bir arada değerlendirildiğinde, taşkınların hem sayısında hem de meydana getireceği hasarlarda artış olacağı görülmektedir. Taşkın olayı, hem ulusal hem de yerel ölçekte gelişmeyi ve kalkınmayı etkileyen önemli bir faktör olduğu için taşkın olayının yaratacağı zararları minimize etmeyi amaçlayan taşkın yönetiminin önemi her geçen gün artmaktadır [8, 14].

Taşkın yönetimi, taşkını kontrol edebilmek, taşkın etkilerinin neler olacağını tespit edebilmek ve taşkın etkilerini ve zararlarını minimize etmek amacıyla yapılan tüm çalışmalardır. Taşkın yönetimi çalışmaları kapsamında taşkın muhtemel etkilerini göstermeye yönelik taşkın tehlike haritaları hazırlanmaktadır. Taşkın tehlike haritaları, mevcut taşkın sınırlarının haritalara işlenmesi, gelecek muhtemel taşkın tehlikesi taşıyan alanlar olarak kabul edilmesi, hidrolik ve hidrolojik modellere dayalı taşkın tehlike tahmini yapılması mantığına göre oluşturulmakta olup mevcut durum envanterinin ortaya koyulmasını sağlamaktadır [12, 14].

Potansiyel taşkın alanlarının belirlenmesinde, birçok yöntem ve yazılım mevcut olup, olasılık teorisi, istatistiksel yöntemler, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), CBS ile entegre programlar ve HEC-RAS, MIKE gibi programlar en çok tercih edilenler arasındadır [1]. Taşkın tehlike haritalarının oluşturulmasında HEC-RAS, MIKE, SOBEK, FLO 2D, CBS vb. yazılımlardan yararlanılmakta olup, bu yazılımlar sayesinde tek boyutlu ve iki boyutlu taşkın modelleme çalışmaları oluşturulmaktadır. Geliştirilen bu hidrolik modeller ile elde edilmiş taşkın tehlike haritaları kullanılarak taşkınlar yaşanmadan risk altındaki alanlar tespit edilerek, bu doğrultuda olası zararları azaltıcı tedbirler alınmaya çalışılmaktadır [5, 7]. Hidrolik modellemeler ile oluşturulan taşkın tehlike haritalarının faydaları ise aşağıda verilmektedir:

- Dere boyunca veya belli bir noktada su seviyesinin yükselmesi durumunda erken uyarı yapılarak gerekli önlemlerin alınmasına zemin hazırlar.
- Taşkın kurtarma operasyonlarında afetten etkilenenlerin daha yüksek yerlere taşınması konusunda fayda sağlar.
- Yeni yerleşim yerlerinin planlanmasında ve oluşturulmasında taşkın tehlike haritalarından faydalanılmaktadır.
- Taşkın Sigorta Sisteminde kullanılmak üzere sigorta şirketleri bu haritalara ihtiyaç duymaktadır [16].

Dünyada taşkın tehlikesinin yaşandığı ülkelerde (ABD, İngiltere, Hollanda, Fransa vb.) taşkın tehlike haritaları çalışmaları yürütülmekle beraber ülkemizde ise son 10 yıldan beri Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ile ilgili belediyeler başta olmak üzere çeşitli kamu kurumlarınca bölgesel ve yerel taşkın tehlike haritaları hazırlanmaktadır [8]. Ülkemizde taşkın olayı yaşanması muhtemel yöreleri belirlemek ve taşkından oluşacak zararları azaltmak için taşkın tehlike haritalarının hazırlanmasından sonra taşkın risk haritalarına geçilmektedir [11]. Taşkın olayları genellikle Doğu Karadeniz Bölgesi, Orta Karadeniz Bölgesi dışında İstanbul, İzmir ve Mersin gibi büyük şehirlerimizde de şehir taşkınları olarak görülmektedir.

Çalışmanın amacı, HEC-RAS 1D ve 2D Boyutlu yazılımı kullanarak Doğu Karadeniz Havzasında yer alan akarsuların değişik taşkın tekerrür debilerinde (Q_2 , Q_5 , Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{100} ve Q_{500}) su seviyelerini hesaplamak ve su altında kalacak yerleşim yerlerini ve tarım arazilerini belirlemektir. Bu çalışma kapsamında çalışma alanı olarak Trabzon-Vakfikebir ilçesi Kirazlı deresi seçilmiştir. Çalışmada derenin taşkın hidrolojisi ve pürüzlülüğü ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalardan yararlanılarak değişik debilerde HEC-RAS 1D ve 2D taşkın modellemeleri ile taşkın tehlike alanları belirlenmiştir. Çalışmanın sonuç kısmında debilere göre taşkın oluşma olasılığı ve etkilerinin neler olacağından bahsedilerek, taşkın yaşanmadan önce alınacak tedbirler ile ilgili öneriler sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

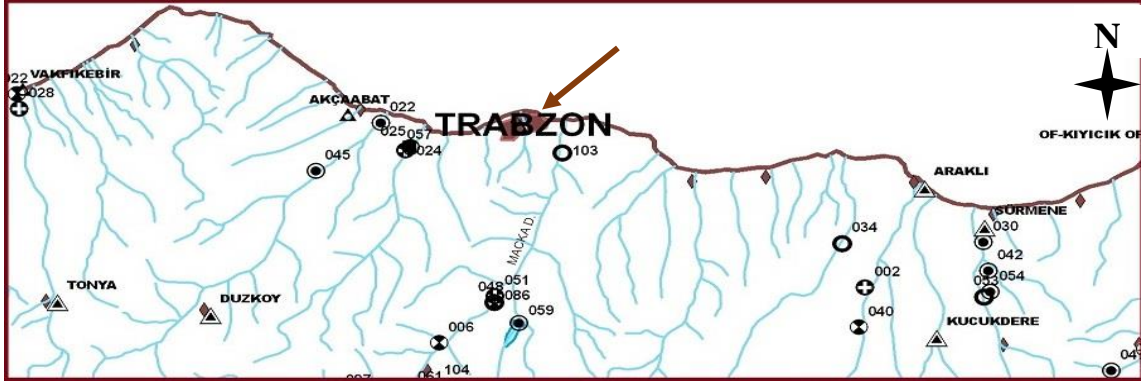
Taşkın olaylarının gündelik hayattaki zararlı etkileri günden güne daha da arttığından birçok Kurum/Kuruluş tarafından taşkın tehlike haritalarının oluşturulmasına daha çok önem verilmektedir. Bu kapsamda DSİ Genel Müdürlüğü başta olmak üzere diğer Kurum/Kuruluşların da taşkın tehlike haritalarının oluşturulmasına katkıları bulunmakla beraber Türkiye genelinde bu alanda yeterli sayıda çalışmanın olmadığını da belirtmek gerekir.

Doğu Karadeniz Havzasında yer alan Kirazlı Deresinin potansiyel taşkın riski HEC-RAS 1 ve 2 boyutlu model ile değerlendirilerek alanında yapılan ilk çalışmalar arasında yer aldığı söylenebilir. Ayrıca bu çalışmada, bölgedeki taşkın riskini azaltmak için alınabilecek önlemlerden de bahsedilmiştir. Çalışma sonucunda tespit edilen

sorunlara en uygun olabilecek çözümler önerilerek yapılan bu çalışmanın verimliliğini arttırmak ve özgünlüğünü sağlamak da hedeflenmiştir.

2.1. Proje yerinin tanıtılması

Çalışma yeri olarak, taşkın olaylarının sıklıkla görüldüğü Doğu Karadeniz Bölgesi'nden bir yer seçilmiştir. Çalışma için seçilen yer, Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki Trabzon İli Vakfıkebir İlçesi'nde taşkın riski taşıyan Kirazlı Dere'dir. Proje yeri Şekil 1'de belirtilmektedir.



Şekil 1. Trabzon ili Vakfıkebir ilçesi Kirazlı Deresi proje yeri.

Kirazlı Deresinin taşkın tehlike alanlarının ortaya koyulabilmesi için, 'Taşkın Hidrolojisi', 'Manning Pürüzlülük Katsayısı' ile '1 ve 2 Boyutlu HEC-RAS Modellemesi' başlıkları altında yapılan çalışma anlatılmıştır.

2.2. Taşkın hidrolojisi

Çalışma alanı olarak seçilen Kirazlı Deresinin yağış alanı 75 km²'dir. Kirazlı Deresinin yer aldığı alt havzada Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (MGİ) tarafından işletilen meteoroloji istasyonları ve Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü tarafından işletilen Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) bulunmadığı için, çevre havzada yer alan E22A028 (Fol Deresi) numaralı akım gözlem istasyonunun 1990-2013 yıllara arasındaki aylık ortalama akımlarından yararlanılarak hidrolojik çalışmalar yapılmıştır.

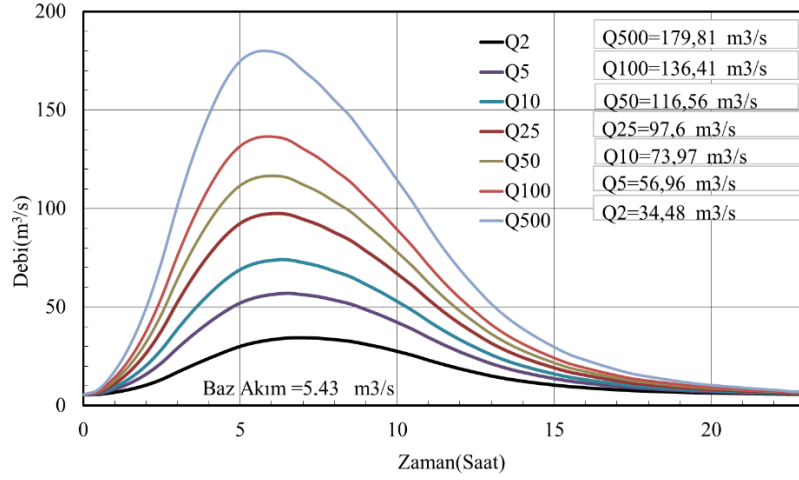
Söz konusu tablo incelendiğinde yıllar bazında Mart ve Nisan ayındaki akım değerlerinin en yüksek akım değerleri olduğu, Ağustos ayındaki akım değerlerinin ise en düşük akım değerleri olduğu gözlemlenmektedir.

Proje alanı olarak seçilen Kirazlı Deresinin yağış alanının 75 km² olmasından dolayı DSİ Sentetik Yöntemi kullanılarak taşkın hesapları yapılmıştır. Yağış-Akış eğri (CN) numarası 80 olan havzada proje alanı çevresindeki meteoroloji istasyonlarının yağış-süre-yinelenme (tekerrür) değerleri hesaplanarak gösterilmiştir. Kirazlı Deresine ait hidrolojik hesaplamalar yapıldıktan sonra, değişik taşkın tekerrür debilerinde (Q₂, Q₅, Q₁₀, Q₂₅, Q₅₀, Q₁₀₀ ve Q₅₀₀) pik debi değerleri bulunmuş ve oluşması muhtemel hidrograflar belirlenmiştir, bulunan pik debi değerleri ve belirlenen hidrograflar Şekil 2'de gösterilmiştir.

2.3. Manning pürüzlülük katsayısı (n)

Manning pürüzlülük katsayısını belirlemek için Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 2016 yılında hazırlanan 'Dere Yatakları için Pürüzlülük Katsayısı Belirleme Kılavuzu'ndan yararlanılmıştır.

Kılavuz çerçevesinde pürüzlülük katsayısını belirlenmesi için yüzeyin pürüzlülüğü, bitki örtüsü, kanal düzensizliği, kanal eğriliği, birikim ve aşınma ve engeller gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca söz konusu dere yatağında belirlenen değerler için laboratuvar ortamında elek analizi deneyleri yapılarak da pürüzlülük değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Parametrelerin göz önüne alınması sonucunda Kirazlı Deresi yatağı için modelleme çalışmalarında kılavuzdan yararlanılarak pürüzlülük değeri 0.050 olarak alınmıştır. Ancak dere yatağı dışında yayılacak alanlarda engellerin (bina, yol vb.) ve daha pürüzlü olması sebebiyle 0.070 olarak alınmıştır [17].



Şekil 2. Trabzon ili Vakfikebir ilçesi Kirazlı Deresi taşkın hidrografları.

2.4. 1 ve 2 boyutlu HEC-RAS modellemesi

Taşkın su derinliklerini ve tehlike haritalarını belirleme amacıyla kullanılan hidrodinamik modelleme çalışmalarında 1 boyutlu ve 2 boyutlu modeller ayrı ayrı veya entegre olarak çalıştırılabilmektedir. 1 boyutlu modellerin kullanımı genellikle, akış yönünün bilindiği kanallar veya basitçe bağlı (dendritik) kanal sistemleri ile sınırlıdır ve yerleşim yerlerindeki taşkınları modellemekte yetersiz kalabilmektedir. 2 boyutlu modelleme, üçgen, dörtgen veya beşgen olarak tanımlanabilen grid elemanlarında 2 boyutlu nümerik çözümleme ile yapılmakta olup yerleşim yerlerindeki taşkınları modelleyebilmektedir. 1 ve 2 boyutlu entegre modellerde ise ana kanal ve ana kanal üzerinde bulunan hidrolik yapılar (menfezler, köprüler, savaklar vb.) 1 boyutlu modelde tanımlanır ve 2 boyutlu modele dinamik olarak bağlanarak taşkın modellemesi gerçekleştirilir. 1 boyutlu modellerin yetersiz kaldığı durumlarda 2 boyutlu modelin tek başına veya 1 ve 2 boyutlu modeller entegre bir şekilde kullanılmaktadır. HEC-RAS 1D boyutlu model ile köprü, menfez, yatak eğimleri, pürüzlülük katsayıları vb. veriler girilerek hidrolik yapıların tanımlanması yapılmakta ve yapılan modelleme çalışmalarına göre kesit boyunca su yüzü profilleri, su basma alanları, akım derinlikleri, akış hızları gibi taşkın karakteristikleri elde edilmektedir.

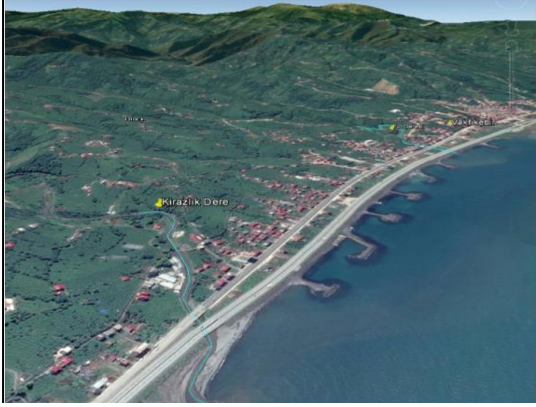
Proje kapsamında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile taşkın alanlarının belirlenmesi için ArcGIS, HEC-GeoRAS ve HEC-RAS 1D ve 2D programlarından yararlanılmıştır. ArcGIS uygulaması verileri görüntülemek, güncellemek, sorgulamak, analiz etmek ve verilere göre grafikleri oluşturmak için, HEC-GeoRAS sahaya ait geometrik veri katmanlarını oluşturmak için, HEC-RAS 1D ve 2D model sonuçlarından elde edilen su derinliklerini ve taşkın tehlike haritalarını belirlemek için kullanılmaktadır [18].

Çalışmanın yürütüldüğü ilk aşamada öncelikle Kirazlı Deresi için CBS ortamında elde edilen uydu görüntüsü Şekil 4’te sunulmuştur. Modellemenin yapılabilmesi için gerekli olan ve arazi yüzeyini en iyi temsil eden düzenli/düzensiz aralıklarla çok sayıda yükseklik ölçümünden oluşan 3 boyutlu sayısal yükseklik modeli (DEM) haritası ise Şekil 5’te sunulmuştur.

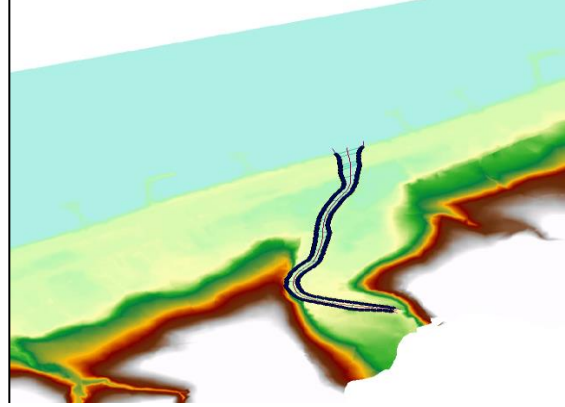
Kirazlı Deresi üzerinde yapılan modelleme çalışmalarında 3 adet köprü mevcut olup, köprülere ait açıklık, platform genişlikleri dikkate alınarak modelleme yapılmıştır. Köprülerle ilgili bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Köprülere ait bilgiler

Köprü Numarası	Köprü Bilgileri			
	Km	Kiriş Kotu (m)	Ayak Açıklığı (m)	Kolon Genişliği (m)
1	0+030	5,651	25-25	1,5
2	0+040	5,593	25-25	1,5
3	0+080	5,581	12-12	1,2

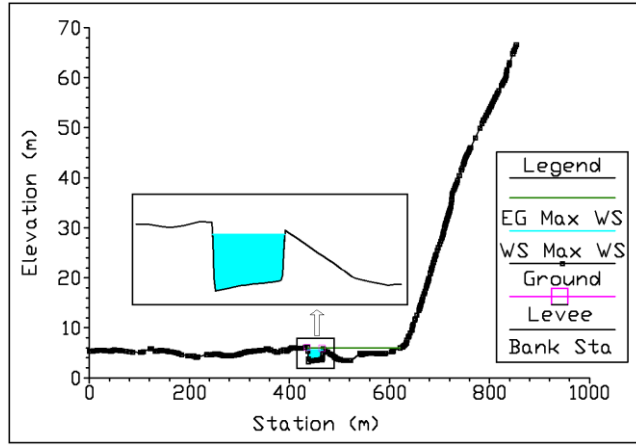


Şekil 3. Kirazlı deresi uydu görüntüsü

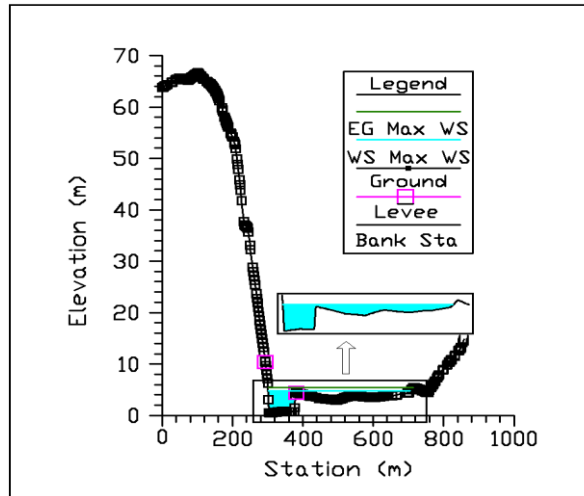


Şekil 4. Kirazlı deresi DEM haritası

Modellemeye başlamadan önce dere hattı, şev üstleri, akış yönü çizilmiş ve köprülerin durumları da göz önünde bulundurularak 50 metrede bir kesit atılmıştır. Kesit boyunca çalışan bir model olan HECRAS 1D modeli için öncelikle derede taşma olmaması ve taşma olması senaryolarına göre çalıştırılmış, derede taşma olayı olmaması durumundaki kesitin görünüşü Şekil 5’de, derede taşma olayı olması durumundaki kesitin görünüşü ise Şekil 6’da sunulmuştur.

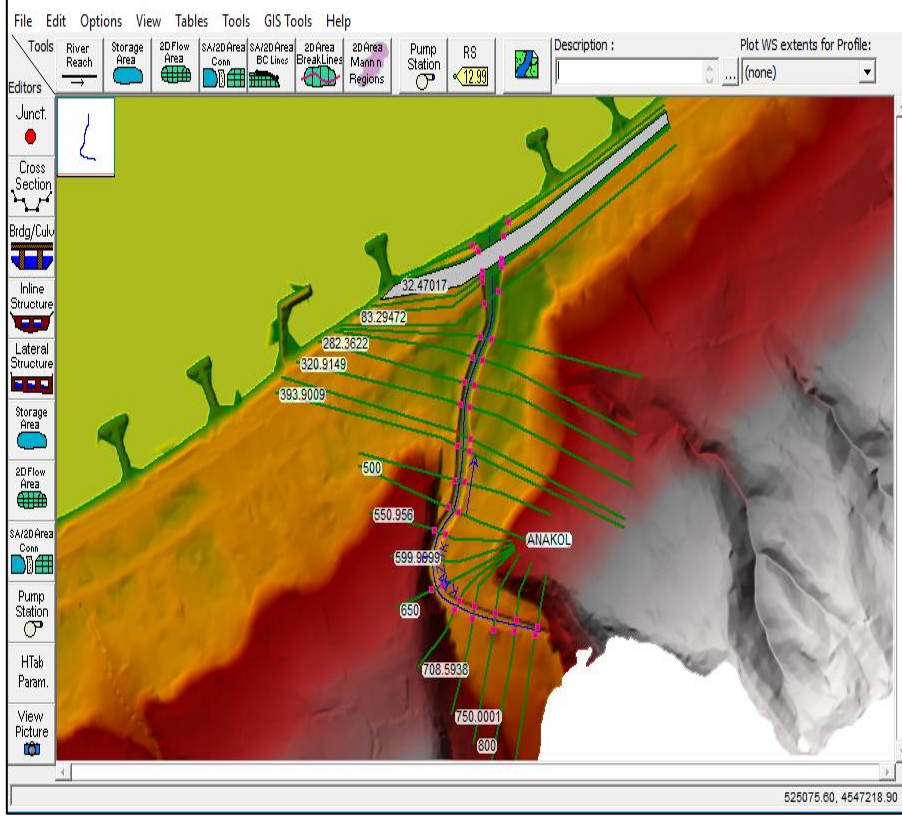


Şekil-5. HECRAS 1D modelde 0+393 km deki kesit



Şekil 6. HECRAS 1D modelde 0+650 km deki kesit

Şekil 5 ve Şekil 6 incelendiği zaman, dere yatağından taşan suların nerelere yayılacağını belirleme konusunda HECRAS 2D modellemeye ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır. HECRAS 2D modellemesinde DEM verisine pürüzlülük ve köprü röleleri işlenmiş, taşkın hidroloji bilgileri, denizin kabarma durumu da göz önünde bulundurularak deniz yükseltilmiş ve model çözdürülmüştür. HECRAS 2D modeline göre Kirazlı deresinin yatağı, kesit ve köprülerin görünümü Şekil 7’de sunulmuştur.



Şekil 7. HECRAS 2D modelde dere yatağı, kesit ve köprüler

Şekil 7 incelendiği zaman, Kirazlı Deresi ile ilgili taşkın senaryoları 2 boyutlu modelde daha açık bir şekilde gözlemlenmektedir. Kirazlı Deresi üzerinde yapılan HEC-RAS 1D ve 2D modelleme sonuçlarından yararlanılarak Q_{500} taşkın debisine göre aşağıda yer alan formüller kullanarak taşkın hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan bu hesaplamalar sonucunda taşkın derinlik haritası (Şekil 8), sonrasında derinlik haritasındaki v (hız) değerleri dikkate alınarak taşkın tehlike haritaları (Şekil 9) elde edilmiştir. Süprüntü Faktörü taşkın tehlike derecesini belirlemede bir etken olup, çalışmalarda kullanılan değerler Tablo 2’de verilmiştir [15].

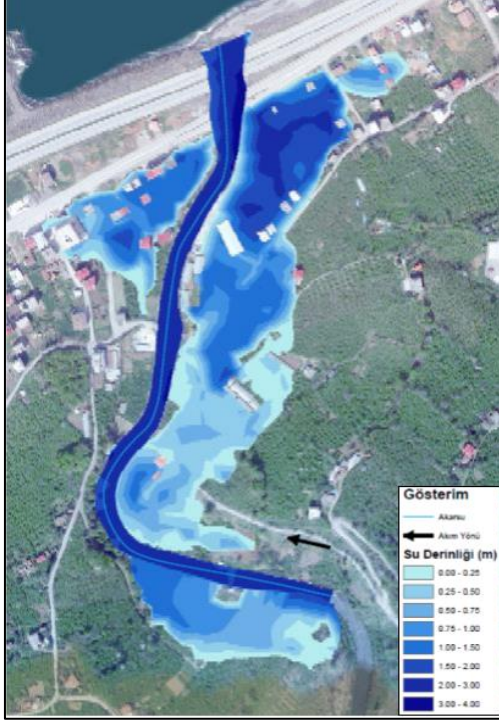
$$\text{Taşkın Tehlikesi (TT)} = \text{Derinlik} \times (\text{Hız} + 0,5) + \text{Süprüntü faktörü} \quad (1)$$

$$\text{Taşkın Tehlikesi (TT)} = D \times (V + 0,5) + SF \quad [15] \quad (2)$$

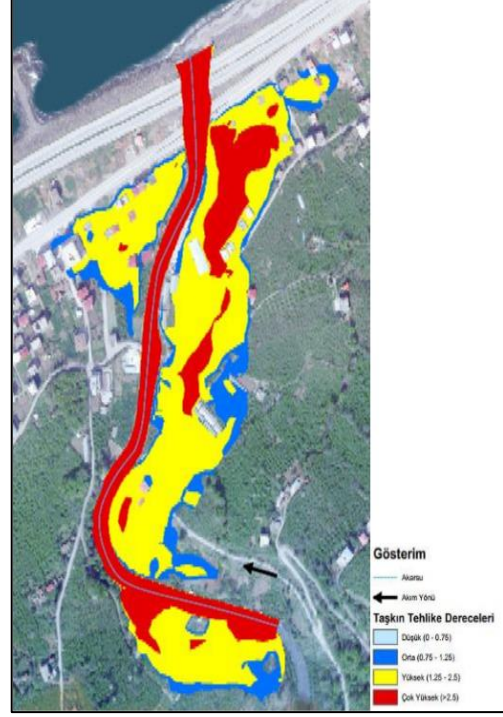
Tablo 2. Süprüntü faktörü bilgileri.

Derinlik & Hız	Süprüntü Faktörü		
	Otlak/Tarım Arazisi	Orman	Şehir
0 m < Derinlik < 0,25 m	0	0	0
0,25 m < Derinlik < 0,75 m	0	0,5	1
Derinlik > 0,75 m ve/veya Hız > 2,00 m/s	0,5	1	1

Şekil 8 ve 9 incelendiği zaman, Q_{500} taşkın debisi kullanılarak yapılan modelleme sonuçlarına göre; Kirazlı dere yatağının Q_{500} taşkın debisini geçiremediği ve Kirazlı dere yatağının ilk olarak membada sol sahilden taşmakta olduğu, sonrasında ise dere yatağının kurp yaptığı bölgeden sağ sahilden taşmalar yaparak mansaba doğru yayıldığı, mansapta sol sahilde kalan bazı yerleşimlerin taşkına maruz kaldığı anlaşılmaktadır. Ek olarak, taşkın alanındaki su derinliğinin 2 metreye, dere yatağındaki derinliğin ise 4 metreye kadar ulaştığı anlaşılmaktadır.



Şekil 8. HECRAS 2D modeli taşkın derinlik haritası



Şekil 9. HECRAS 2D modeli taşkın tehlike haritası

3. Sonuçlar

Aşırı yağış alan ve taşkın olaylarının sıklıkla yaşandığı bir bölge olan Doğu Karadeniz Bölgesi'nde taşkın olaylarının verdiği zararı minimize etmek için çeşitli taşkın kontrolü çalışmaları yapılmaktadır. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Trabzon ili Vakfıkebir ilçesinde yer alan Kirazlı Deresi taşkın riski taşıyan dereler arasındadır. Bu çalışmalar arasında taşkın kontrolü tesislerinin inşa edilmesi gibi yapısal tedbirler ile taşkın tehlike haritalarının hazırlanması ve erken uyarı sistemlerinin kurulması gibi önleyici tedbirler yer almaktadır.

Kirazlı Deresi'nin yaratabileceği muhtemel taşkınların önüne geçmek için taşkın tehlike haritalarının hazırlanması amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda ortaya koyulan taşkın tehlike haritaları ile Kirazlı dere yatağının Q_{500} taşkın debisini geçiremediği ve taşan suların sağ sahilden yaklaşık Km: 0+600 den başlayarak mansaptaki yerleşimlere kadar bölgeyi etkilediği gösterilmiştir.

Kirazlı dere yatağının taşması durumunda yaratacağı oluşabilecek zararları azaltmak amacıyla önerilen tedbirler Şekil 10'da sunulmuştur. Bu tedbirlerin en önde geleni, akarsu yatağında taşkın zarar verebileceği sağ sahilde Km: 0+150 ile Km: 0+650 arasındaki mevcut taşkın kontrol tesislerinin yükseltilmesidir, diğer tedbirler arasında ihtiyaca göre cam korkuluk, hareketli taşkın kontrol duvarları gibi yenilikçi tip yapısal tedbirler de önerilebilir.

Taşkın kontrol tesislerinin taşkın yaratabileceği zararları azaltacak şekilde yapılması önemli olup, yapılan tesislerin yöre halkının rutin yaşamını zorlaştırmaması da önemlidir. Bu nedenle taşkın kontrolü tesislerinin yöre halkının dere yatağı ile irtibatı koparmayarak estetik bir şekilde inşa edilmesi uygun olacaktır.



Şekil 10. Kirazlık deresi önerilen tedbirler

Kaynaklar

- [1] Aksoy, H. ve arkadaşları (2004). Batı Karadeniz Bölgesi'nde potansiyel taşkın alanlarının belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 47 (2): 41-48.
- [2] Avcı, S. 2000. Planlamadaki yanlışlıklar ve yol açtığı sorunlara bir örnek: 1998 selinde Filyos çayı havzasındaki etkileri ve sonuçları. 9. Ulusal Bölge Bilimi/Bölge Planlama Kongresi, (5-6 Ekim 2000). Trabzon.
- [3] Bahadır, M. (2014). Samsun'da meydana gelen 4 Temmuz ve 6 Ağustos 2012 taşkınlarının iklimik analizi. *Coğrafya Dergisi*, 29: 28-50.
- [4] Bilici, Ö.E. ve Everest, A. (2016). 29 Aralık 2016 Mersin selinin meteorolojik analizi ve iklim değişikliği bağlantısı. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 38: 227-250
- [5] Doğan, E. ve arkadaşları (2013). Aşağı Sakarya Nehrinde taşkın yayılım haritalarının elde edilmesi. *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 17(3): 363-369.
- [6] Dölek, İ. (2013). Muş'ta yaşanan sel ve taşkınlara neden olan doğal faktörlerin analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 28: 408-422.
- [7] Erdem, U. (2013). Yerleşimlerin taşıdığı deniz taşkını, sel ve deprem afet tehlikelerinin CBS kullanılarak yorumlanması: Balıkesir Örneği. *BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(2): 40-57.
- [8] Güngör, O. ve diğerleri (2016). Taşkın Tehlike Haritaları: Türkiye ve farklı Avrupa ülkelerinde yapılan çalışmaların karşılıklı olarak irdelenmesi. 4. *Ulusal Taşkın Sempozyumu (23-25 Kasım 2016-Rize) Bildirileri*, S. Korkmaz ve M. Akçay (Editörler), Ankara, 187-202.
- [9] Karabulut, M. ve diğerleri (2007). 20 Kasım-9 Aralık Mersin sel felaketleri: Meteorolojik ve hidrolik açıdan bir inceleme. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10 (1): 13-23.
- [10] Kömüşçü, A. ve diğerleri (2011). 8-12 Eylül 2009 Tarihlerinde Marmara Bölgesi'nde Meydana Gelen Sel Olayının Yağış Analizi, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 9 (2): 209-220.
- [11] Özdemir, H. ve diğerleri (2013). Çokal Barajı (Çanakkale) çökme modeli ve taşkın risk analizi. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 8: 659-698.
- [12] Öztürk, D. ve diğerleri (2017). Çorum ili taşkın tehlikesinin analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak incelenmesi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs 2017, Ankara Bildirileri.
- [13] Sönmez, M. E. ve Kesici, Ö. (2010). İklim Değişikliği ve Plansız Şehirleşmenin Kilis Şehrinde Yol Açtığı Sel Felaketleri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 28: 58-78.
- [14] Sunkar, M. ve Tonbul, S. (2010). Batman'da 31 Ekim-1 Kasım 2006 tarihinde yaşanan taşkınının nedenleri. *II. Ulusal Taşkın Sempozyumu 22-24 Mart 2010 Tebliğler Kitabı*, Afyonkarahisar, 349-361.
- [15] Turan, B. ve diğerleri (2016). Doğu Karadeniz Sahil Kesiminde Taşkın Etkisinin Taşkın Tehlike Haritaları ile Analizi. 4. *Ulusal Taşkın Sempozyumu 23-25 Kasım 2016 Tebliğler Kitabı*, Rize, 529-546.
- [16] Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (2017). Taşkın Yönetimi, Ankara, 132-143.
- [17] DSİ Genel Müdürlüğü, (2016). Dere Yatakları İçin Pürüzlülük Katsayısı Belirleme Kılavuzu, Ankara.
- [18] DSİ Genel Müdürlüğü, (2013). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Taşkın Riski Ön Değerlendirmesi, Ankara.

Deformasyon Tahmininde Gri Model Uygulaması: Keban Barajı Örneği

Erkan TANYILDIZI¹, Kürşat KAYA^{2*}

¹ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ
² İnönü Üniversitesi, Malatya Meslek Yüksekokulu, Harita ve Kadastro Bölümü, Malatya
^{*1} etanyildizi@firat.edu.tr, ² kursat.kaya@inonu.edu.tr

(Geliş/Received:20.01.2019;

Kabul/Accepted: 29/04/2019)

Öz: Büyük mühendislik yapılarının şekil, boyut ve yer değişimleri, farklı deformasyon analiz metodlarıyla belirlenmekte ve yorumlanmaktadır. Deformasyon analizinde kullanılan Gri Sistem, bulanık mantık yaklaşımına alternatif bir yöntem olarak sunulmuştur. Bu çalışmada Fırat Nehri üzerinde inşa edilmiş olan Keban Barajındaki deformasyon ölçmelerinin belirlenmesinde ve analiz edilmesinde Gri sistem metodunun kullanılabilirliği araştırılmıştır. Keban barajında, jeoteknik ölçü yöntemi kullanılarak deformasyon ölçüleri yapılmış olan ölçü noktalarına ait boşluk suyu basınçları ve baraj göletindeki su seviyesindeki değişimler, gri sistem metoduyla tahmin edilmiştir. Keban Barajı'nda yapılan ölçü değerleriyle hesaplanan deformasyon miktarları, Gri Sistem yöntemiyle elde edilen tahmini deformasyon miktarları ile karşılaştırılmış ve tahmin başarısı elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Deformasyon Analizi, Gri Sistem, Deformasyon Ölçmeleri, Keban Barajı.

Application of Gray Model in Estimation of Deformation: The Case of Keban Dam

Abstract: Shape, size and displacement of big engineering structures are determined and interpreted by different deformation analysis methods. The Gray System used in deformation analysis is presented as an alternative method to the fuzzy logic approach. In this study, the usability of the Gray System method for the determination and analysis of deformation measurements in the Keban Dam built on the Euphrates River was investigated. In the Keban dam, the pore water pressures and the changes in the water level in the reservoir were estimated by the gray system method. The deformation amounts calculated by the measured values at the Keban Dam were compared with the estimated deformation amounts obtained by the Gray System method and the prediction success was obtained.

Key words: Deformation Analysis, Gray System, Deformation Measurements, Keban Dam.

1. Giriş

Yüksek bütçe ve fazla emek harcanarak inşa edilen büyük yapıların bakım ve tadilatlarının eksiksiz ve zamanında yapılması önem taşımaktadır. Bu sebepten yapılarda ve çevresinde meydana gelen değişimlerin izlenmesi, belirlenmesi ve tanımlanması önemlidir. Ortaya çıkabilecek olumsuzluklar, yapı çevresindeki canlılar ve doğa için ciddi zararlara neden olabilmektedir. Bu zararların önüne geçebilmek için yapılarda meydana gelen değişimlere sebep olan etmenlerin belirlenmesi gerekir. Bu etmenlerden, önlenbilir olanlar için gerekli tedbirler zamanında alınabilir. Cisimlerde meydana gelen değişimlerin yorumlanmasında, çeşitli analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Analiz yönteminin seçimi, değişimi belirlemek için kullanılan gözlemlerin hangi yöntemle yapıldığına bağlıdır. Yeterli çalışmanın yapılmadığı, gerekli verilerin oluşturulamadığı veya oldukça kısıtlı veriye erişilebildiği durumlar söz konusu olabilir. Bu gibi durumlarda memnuniyet verici uygulamalar yapabilmeye gücünde olan ve deformasyon analizi yapabilme kabiliyetine sahip olan Gri Sistem yaklaşımı ortaya konulmuştur. Gri Sistemde temel düşünce, belirsiz sistemlerin davranışlarını sınırlı sayıda veri yardımı ile tahmin etmektir.

Bu çalışmada büyük bir öneme sahip olan Keban Barajının deformasyon ölçmeleri ve deformasyon analizi farklı bir yaklaşımla irdelenmiştir. Bu çalışmada, birçok kullanım alanına sahip olan gri tahmin yönteminin, deformasyon analizinde kullanılabilirliği Matlab ortamında hazırlanan yazılım paketi ile test edilmiştir. Yazılım paketine deformasyon ölçülerine ait veriler girilerek, gelecek dönemlere ait deformasyon ölçüleri tahmin edilmiştir. Bu amaçla, daha önceden periyodik olarak deformasyon ölçüleri yapılmış olan Keban Barajına ait deformasyon verileri referans alınmıştır. Elazığ İli civarında Fırat Nehri üzerine inşa edilmiş olan Keban Barajı, su tutma tarihi olan 1975 yılından bu yana düzenli periyotlarla deformasyon ölçüleri yapılmış olmasından dolayı tercih edilmiştir.

* Sorumlu yazar: kursat.kaya@inonu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-2973-9389, ² 0000-0002-9647-247X

2. Deformasyon Ölçme Yöntemleri

Deformasyon ölçme yöntemleri, kullanılan ölçü aletleri, ölçüm yöntemi ve ölçüm yeri bakımından, Jeoteknik (fiziksel yada mekanik) ölçme yöntemleri ve jeodezik ölçme yöntemleri olarak iki grupta incelenir [1]. Jeoteknik yöntemle yapılan deformasyon ölçülerinde kullanılan ölçü aletleri, yapının temeline, gövdesi içine veya yüzeyine yerleştirilir. Bu ölçü aletleri ile yapı içerisinde yerleştirildiği yerdeki yatay ve düşey hareketler ölçülür. Ölçülen hareketler, deformasyon ölçüsü yapılan yapıdan uzak bir noktada kontrol edilir [2]. Jeoteknik yöntem ile yapılan ölçümlerde elde edilen sonuçlar, yapının bütününe hareketinden ziyade, yerleştirildiği noktadaki değişimi algırlar. Bu yöntem ile genelde toplam gerilmeler ile gerilme değişimi, deformasyon, yük ile birim yer değiştirme, ısı vb. değerler ölçülür. Jeoteknik yöntemle yapılan ölçülerde kullanılan bazı aletler; piyezometreler, inklinometreler, gerilme ölçerler ve su basınç ölçerlerdir. Jeodezik ölçme yöntemleri, düşey yöndeki deformasyon ve yatay yöndeki deformasyon ölçme yöntemleri olarak ikiye ayrılır. Her iki ölçme yöntemi, kullanılan ölçü aletleri ve ölçüm hassasiyetleri bakımından farklılık gösterirler. Düşey yöndeki deformasyonlar, yapılarda oturma veya çökme şeklinde kendini gösterir. Düşey yönde yapılan bu hareket yapının kendisinden ziyade yapının inşa edildiği zemin ile alakalı bir durumdur. Düşey yöndeki deformasyonlar, hassas düşey açı ölçebilen veya hassas yükseklik farkı ölçebilen aletler ile belirlenir. Yatay yöndeki deformasyon kayma veya dönme şeklinde görülür. Yatay yöndeki deformasyonların tespiti için bir nirengi ağı oluşturulur. Yatay yöndeki deformasyonlar hassas poligon yöntemi veya aliyman yöntemlerinden biriyle belirlenebilir.

Farklı periyotlarda yapılan ölçüler değerlendirilirken zaman ve büyüklük parametrelerine bağlı olarak, yer değiştirmelerin belirlenmesi ve elde edilen yer değiştirmelerin yorumlanması işlemine deformasyon analizi denir [3]. Deformasyon ölçülerinin yorumlanmasında geçmişten günümüze kadar birçok deformasyon analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu analiz yöntemleri, pratikliği, kullanım kolaylığı, ölçü ağının yapısı, ölçme planı vb. sebeplerden dolayı farklılıklar ya da benzerlikler gösterirler.

2.1. Deformasyon Ölçülerinin Dengelenmesi

Belirli periyotlarla yapılmış deformasyon ölçülerinin karşılaştırılabilmesi için her periyot kendi içerisinde değerlendirilerek uyumsuz ölçülerin belirlenmesi gerekir. Bu yaklaşım, Gauss Markoff Modeline dayandırılır ve bazı test kurallarına göre, daha önceden belirlenmiş kriterler ile çelişen düzeltme değerlerinin belirlenmesi ile yapılır. Belirlenen kaba hatalı ölçüler, ya kümeden çıkarılır, ya yeniden ölçülür yada ağırlığına müdahale edilerek etkisi azaltılır [4].

Kaba hatalı ölçülerin etkisini azaltmak için ölçülerin dengelenmesi gerekir. Dengeleme yapmak için yapılan ölçüler Denklem 1 de verilen kritere tabi tutulur ve dengeleme kararı bu kritere göre verilir.

$$f = n - u + d \quad (1)$$

burada n : ölçü sayısı, u : bilinmeyen sayısı, d : Datum parametresi (tek boyutlu ölçülerde $d = 1$, iki boyutlu ölçülerde $d = 2$, üç boyutlu ölçülerde $d = 3$), f : fazla ölçüdür.

Fazla ölçü sayısına göre;

- $f > 0$ veya $n > u$ ise fazla ölçü var → Dengeleme yapılmalı
- $f = 0$ veya $n = u$ ise yeteri kadar ölçü var → Tek anlamlı çözüm
- $f < 0$ veya $n < u$ ise yeterli ölçü yok → İteratif çözüm [5].

Yapılan çalışmada bilinmeyen sayısı ölçü sayısına eşit olduğu için tek anlamlı çözüm yoluna gidilmiştir.

2.3. Gri Sistem Yöntemi ile Deformasyon Analizi

Gri Sistem teorisi ilk olarak 1980'li yılların başında ortaya çıkmıştır. Gri Sistem teorisi, belirsizliğin sayılaştırılmasına alternatif bir metottur. Ortaya çıkışındaki temel düşünce stokastik veya bulanık yöntemlerle üstesinden gelinemeyen belirsiz sistemlerin davranışlarını, sınırlı sayıda veri yardımı ile tahmin etmektir [6]. Sosyal, ekonomik, endüstriyel, tarımsal, biyolojik sistemler gibi pek çok sistem ismini ilgili olduğu alandan alır. Gri Sistem ismi ise, incelenen konuya ait bilgi düzeyi esas alınarak seçilmiştir [7]. Gri Sistem teorisinde, belirsizliğin olmadığı kusursuz bilgiye sahip olan bir sistem beyaz renk ile sembolize edilmiştir. Tam zıt özelliklere sahip olan sistem ise siyah olarak nitelendirilmiştir. Yalnızca kısmi bilgiye sahip olunan sistemler ise "Gri Sistemler" olarak isimlendirilmiştir [8].

Çoğu zaman tam olmayan, eksik bilgi ve varsayımlar altında modeller kurulur ve kararlar verilir. Hayattaki başımıza gelen olayların, karşılaştığımız problemlerin, tasarladığımız veya kendiliğinden gelişen süreçlerin çoğunluğu hiçbir zaman ne tam siyah ne de tam beyazdır. Örneğin inşaat sektöründe tesis edilecek yapı bünyesinde

yer alan kumun, demirin ve çimentonun kalitesi gibi faktörler tümüyle bilinse bile, doğa koşulları, işçilik kalitesi gibi pek çok belirsizlik nedeniyle yapının sağlamlığını ve ömrünü tam olarak belirlemek mümkün değildir. Gri Sistem teorisinin ortaya çıkış felsefesi de bu fikirlere dayanmaktadır.

2.4. Gri Sistemle Deformasyon Tahmini

Gri tahmin yöntemi, sistem davranışları hakkında yeterli veriye sahip olmadığımız durumlarda, kabul edilebilir sonuçların üretildiği bir yöntemdir. Uygulama kısmında ise yukarıda bahsedilen gri model çeşitlerinden en çok kullanılan GM(1,1) ve GM(1,N) tahmin modellerini, Keban Barajı'ndaki jeoteknik (fiziksel) deformasyon ölçü yöntemi ile yapılan deformasyon ölçülerinin analizinde kullanılmıştır.

a) GM(1,1) Tahmin Modeli

Gri Sistem belirsizliğin ve veri yetersizliğinin olduğu durumlarda, durumsal analiz, karar verme ve tahmin yapabilme yeteneğine sahip bir sistemdir. Söz konusu sistemin tek değişkenli ve türevlenebilir modellenmesi olan GM(1,1) tahmin modeli doğrusal davranış gösteren bir sistemdir. Referans alınan verilerin davranışlarına göre doğrusal artan veya doğrusal azalan bir grafik oluşturur. GM (1,1) tahmin modelininin matematiksel ifade şekli birçok kaynakta ayrıntılı olarak açıklanmıştır [1].

b) GM(1,N) Tahmin Modeli

N adet değişkene sahip birinci dereceden türevlenebilir eşitliklerin yer aldığı model türüdür. Genellikle dinamik faktör analizi amaçlı kullanılır. Farklı değişkenlerin davranışlarına göre tahmin değerleri elde edilir. Değişkenlerin ortak davranışları tahmin değerlerinin şekillenmesinde oldukça etkilidir. Bu model türü (N-1) adet bağımsız değişken ve bir bağımlı değişken içerir. Çok değişkenli (Multi-Variable Grey Model) modelde denir ve MGM (n,m) şeklinde ifade edilir. Burada, n diferansiyel denklem sırasını ve m ise denklem içerisindeki değişken sayısını gösterir. MGM (1,N) model, birikimli üretim operatörü (Accumulating Generation Operator (AGO)) ile kurulur. Başlangıç verileri, AGO ile raslantısal ve değişken özellikte verilere dönüştürülür. Başlangıç verisi, eşit zaman aralıklı ve negatif olmayan ardışık veri serilerini kapsar [1].

3. Uygulama

Çalışmamızda, Keban Barajında jeoteknik ölçü aletleriyle tespit edilen boşluk suyu basınç miktarı ve baraj göledeki su kotunun, 2010 yılından 2015 yıllarına kadar olan ölçü değerleri kullanılmıştır. Gri modelin tek değişkenli tahmin modeli GM(1,1) ve çok değişkenli tahmin modeli GM(1,N) kullanılarak baraj kretindeki boşluk suyu basınç değerleri ile baraj gölündeki su miktarı 2023 yılına kadar tahmin edilmiştir. Tahmin değerleri elde edilirken 2010-2015 yılları arasındaki ölçülen değerler, referans verisi olarak kullanılmıştır. Böylece Gri sistemin deformasyon tahminindeki kullanılabilirliği test edilmiştir.

3.1. Çalışma alanı

Keban Barajı, Elazığ'ın 45 km kuzeybatısında, Malatya'nın 65 km kuzeydoğusunda olup, Karasu ve Murat Nehirlerinin birleştiği yerden 10 km daha aşağıda nehrin aktığı en dar boğazlarından birindedir (Şekil 1). Karasu ile Murat Nehirlerinin birleşmeleri ile meydana gelen Fırat Nehri'nin bu birleşme noktasından itibaren ilk uygun baraj yeridir [9]. Barajın su tutmaya başladığı tarihten itibaren jeodezik ve jeoteknik (fiziksel) yöntemlerle sızıntı ve kaçak su miktarının tespit edilmesi için deformasyon ölçümleri ve analizleri DSİ personeline kayıt altına alınmıştır. DSİ arşivlerinden yararlanılarak elde edilen ölçüm değerleri referans verisi olarak kullanılmıştır. Keban Barajı'nın 2010 yılından 2015 yıllarına kadar geçen süre içerisinde değişen su seviyesini ve kil dolgu kısmında yer alan piyezometrelerin tespit ettiği boşluk suyu basınç değerleri, çalışmamızda ölçülen değer olarak alınmıştır.

Barajın kil dolgu kısmındaki piyezometrelerin okuduğu boşluk suyu basınç değerleri Gri Sistemin çok değişkenli GM(1,N) model türüyle tahmin edilmiştir. Tahmin değerleri elde edilirken değişken olarak piyezometrelerin rakamsal isimleri (P5, P13 ve P19) ile su kotu değerleri kullanılmıştır. Piyezometreler tercih edilirken baraj kretine yerleştirildikleri piyezometre uç kotlar dikkate alınmıştır. Uç kotu en düşük olan 19 numaralı piyezometre (P19) baraj kretinin 720.00 metresinde yer alırken, kotu en büyük olan yani yüzeye en yakın kotta bulunan 13 numaralı (P13) piyezometrenin uç kotu 810.00 metredir. 5 numaralı piyezometrenin uç kotu ise (P5) baraj kretinin 730.00 metresinde yer almaktadır. Baraj kreti üzerinde onlarca piyezometre bulunduğu halde,

seçilen piyezometreler baraj kretinin en alt, en yüksek ve orta kısmında yer alan ve düzenli olarak ölçümleri kayıt altına alınmış değerlere sahip olan piyezometreler arasında seçilmiştir.



Şekil 1. Keban Barajı [10].

4. Bulgular ve Tartışma

Seçilen piyezometrelere ait ölçüm değerleri, tahmin değerlerini elde etmek için kullanılmıştır. Gri Sistem ile tahmin değerlerini hesaplayabilmek için tahmin modellerinin matematiksel ifade şekli, Matlab ortamında hazırlanan bir yazılım oluşturulmuştur. Bu yazılım paketine, “.dat” dosyası olarak hazırlanmış referans verilerini, giriş verisi olarak kullanmıştır. Giriş verisinde Keban Barajı’na ait piyezometre ölçüm aletlerinin okuduğu boşluk suyu basınç değerler ile su miktarının, 2010 yılından itibaren ölçülen ilk altı ölçüm değeri yer almaktadır. Bu verilerin değişim miktarlarını kullanarak piyezometrelerin okuduğu boşluk suyu basınç değerlerini ve su kotu değerleri Gri sistem yöntemi ile tahmin etmiştir. Tahmin edilen değerler ile deformasyon yorumu yapılmıştır. Deformasyon varlığından söz edebilmek için piyezometrelerin okuduğu boşluk suyu basınç değerlerinin yerçekimi katsayısına ($9,81 \text{ gr/cm}^2$) bölünmesiyle elde edilen değerden yararlanılmıştır. Piyezometrenin hücre kotuna, tahmin edilen boşluk suyu değerinin eklenmesiyle bulunan sonuç, membaa tarafında yer alan su kotu değerinden büyük olması durumunda deformasyonun olduğunu göstermektedir.

Gri Sistem modelinin tek değişkenli tahmin modeli olan GM(1,1) yöntemiyle yapılan Keban Barajı’ndaki su kotu seviyesine ait tahmin değerleri ve ölçülen değerler Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1. Su kotuna ait ölçü ve tahmin değerleri.

Yıllar	Su Kotu	
	Ölçülen Değer (metre)	GM(1,1)
2010	834.110	834.110
2011	840.100	839.848
2012	837.270	837.918
2013	838.440	835.993
2014	830.110	834.072
2015	834.070	832.156
2016	840.360	830.244
2017	834.700	828.337
2018	833.524	826.434
2019	Tahmin Değeri	824.535
2020	Tahmin Değeri	822.641
2021	Tahmin Değeri	820.751
2022	Tahmin Değeri	818.865
2023	Tahmin Değeri	816.983

Tablo 1’de yer alan değerlerden koyu renk ile ifade edilenler, ölçülen değerlerdir. *Tahmin değerleri* ise gri model kullanılarak elde edilen değerlerdir. Elde edilen değerler gelecek yıllara ait deformasyon tahmininde kullanılmaktadır. GM(1,1) tahmin değerleri, ilk tahmin değerinden sonra doğrusal olarak azalmıştır. Ancak ölçülen gerçek su kotu seviyesi, yağış rejimine bağlı olarak 2011, 2013, 2015 yıllarında artmış, 2012, 2014 yıllarında azalma göstermiştir. Tablo 1’de yer alan 2016 yılına ait su kotu tahmin değeri 830.244 m iken, DSİ personeline ölçülen değer 840.360 metredir. Aynı şekilde 2017 yılı için tahmin edilen değer 828.337 m iken, ölçülen değer 834.700 metredir. Benzer şekilde 2018 yılı için tahmin edilen değer 826.434 m, barajda ölçülen su kotu değeri 833.524 metredir. Yağış miktarındaki ve dolayısıyla su kotu seviyesindeki değişim miktarı, tahmin değerlerini gösteren GM(1,1) eğrisinde anlamlı olarak temsil edilememiştir. Bu durum GM(1,1) tahmin modelinin referans değerlerinin artan veya azalan durumlarına göre doğrusal olarak tahmin değeri üretmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 2’ de yer alan 5 numaralı piyezometreye ait ölçülen boşluk suyu basınç değerleri ile gri modelin tek değişkenli GM(1,1) ve çok değişkenli tahmin modeli GM(1,N) ile elde edilen tahmin değerleri yer almaktadır. Tablo 2’ de ölçülen değer sütununda yer alan altı değer referans verisi olarak kullanılmıştır. 2016 yılından 2023 yılına kadar olan değerler ise tahmin edilmiştir. Gri modelin her iki tahmin modeli ile referans verisi olarak kullanılan değerler yardımıyla sonraki yıllara ait boşluk suyu basınç değerleri tahmin edilmiştir. Tablo 2’de verilen hata oranları incelendiğinde GM(1,1) tahmin değerlerinin hata oranlarının diğer tahmin değerlerine göre fazla çıktığı görülmüştür.

Tablo 2. 5 Nolu piyezometre aletine ait tahmin değerleri.

Yıllar	P5 Nolu Piyezometre				
	Ölçülen Değer (kg/cm ²)	GM(1,1) (P5)	GM(1,2) (P5-P13)	GM(1,3) (P5-P13-P19)	GM(1,4) (P5-P13-P19-Su Kotu)
2010	1350	1350.000	1350.000	1350.000	1350.000
2011	230	301.606	246.289	248.487	253.775
2012	390	332.265	369.401	373.391	357.817
2013	395	366.041	410.356	400.381	427.264
2014	420	403.251	415.169	409.198	381.030
2015	410	444.243	404.489	414.209	417.702
2016	Tahmin Değeri	489.402	387.557	418.042	421.061
2017	Tahmin Değeri	539.152	368.489	421.213	351.452
2018	Tahmin Değeri	593.958	349.099	423.853	509.127
2019	Tahmin Değeri	654.337	330.167	426.024	262.437
2020	Tahmin Değeri	720.852	312.008	427.769	565.395
2021	Tahmin Değeri	794.130	294.736	429.126	287.041
2022	Tahmin Değeri	874.856	278.368	430.131	411.439
2023	Tahmin Değeri	963.789	262.887	430.814	605.305
Hata Oranı		2.227	0.532	0.599	0.475

5 Nolu piyezometreye ait tahmin değerlerine bağlı olarak deformasyon durumu Tablo 3’te verilmiştir. Tablo 3’te verilen değerler, Gri Sistemin GM(1,N) ve GM(1,1) tahmin modelleri ile elde edilmiştir. Tablonun ilk sütununda ölçü yapılan yıllar yer almaktadır. Tablonun ikinci sütununda ise su kotuna ait referans değeri olarak kullanılan değerler ile tahmin edilen değerler gösterilmiştir. Tablonun üçüncü sütununda piyezometrenin bulunduğu kot değeri, sonraki üç sütunda ise piyezometrenin tahmin edilen ölçü değerleri yer almaktadır. Tablonun son üç sütununda ise deformasyon durumu, kullanılan tahmin modelinin ürettiği tahmin değerlerine göre elde edilen sonuçların yorumlanmış halini gösterilmektedir.

Deformasyonun varlığında söz edebilmek için tahmin edilen değerlerin yer çekim katsayısına bölünmesi ile piyezometrenin bulunduğu yükseklik (Hücre uç kotu) değerinin toplanarak su kotu seviyesinden fazla olup olmadığına göre yorumlanmıştır. Su kotundan büyük olan tahmin değerlerinin bulunduğu yıllarda kritik değerlere yaklaşıldığının ve deformasyon olduğunun göstergesidir.

Tablo 3. 5 Nolu piyezometre aletine ait tahmin değerleri ve deformasyon durumu.

Yıllar	P5 Nolu Piyezometre					Deformasyon Tahmini		
	Su Kotu Değeri	Hücre Kotu	GM(1,2)	GM(1,3)	GM(1,4)	GM(1,2)	GM(1,3)	GM(1,4)
2010	834.110	730.000	1350.000	1350.000	1350.000	Var	Var	Var
2011	840.100	730.000	246.289	248.487	253.775	Yok	Yok	Yok
2012	837.270	730.000	369.401	373.391	357.817	Yok	Yok	Yok
2013	838.440	730.000	410.356	400.381	427.264	Yok	Yok	Yok
2014	830.110	730.000	415.169	409.198	381.030	Yok	Yok	Yok
2015	834.070	730.000	404.489	414.209	417.702	Yok	Yok	Yok
2016	830.244	730.000	387.557	418.042	421.061	Yok	Yok	Yok
2017	828.337	730.000	368.489	421.213	351.452	Yok	Yok	Yok
2018	826.434	730.000	349.099	423.853	509.127	Yok	Yok	Yok
2019	824.535	730.000	330.167	426.024	262.437	Yok	Yok	Yok
2020	822.641	730.000	312.008	427.769	565.395	Yok	Yok	Yok
2021	820.751	730.000	294.736	429.126	287.041	Yok	Yok	Yok
2022	818.865	730.000	278.368	430.131	411.439	Yok	Yok	Yok
2023	816.983	730.000	262.887	430.814	605.305	Yok	Yok	Yok

Tablo 3'te yer alan deformasyon durumunu incelediğimizde, 2010 yılına ait değerlerde deformasyonun olduğu görülmektedir. 2010 yılında barajın memba tarafındaki su kotu değeri, 834.11 m iken 5 numaralı piyezometre 1350 kg/cm² değeri okunmuştur. Bu değer in yer çekim sabitine bölünmesi ile 5 numaralı piyezometrenin bulunduğu sondaj kuyusundaki su seviyesinin 137.61 metreye karşılık geldiği hesaplanmıştır. Bu değer in piyezometrenin bulunduğu 730.00 m değerine eklenmesi ile 867.61 değeri bulunmuştur. Bu değer memba tarafındaki su kotundan büyük olduğundan deformasyon değerinin seviyeye ulaştığını göstermektedir. Elde edilen diğer tahmin değerlerine göre barajda 2011 ve sonraki yıllarda deformasyon değerinin kritik seviyeye ulaşmayacağı tahmin edilmiştir.

Tablo 4'te 13 numaralı (P13) piyezometre aletine ait referans değerleri ve tahmin değerleri yer almaktadır. Tabloda altı adet ölçülen değer kullanılarak sonraki yıllara ait tahmin değerleri üretilmiştir. Gri Sistemin tek değişkenli ve çok değişkenli tahmin modelleri kullanılarak, 2010 yılından 2023 yılına kadar olan on bir yıllık tahmin değerleri oluşturulmuştur. GM(1,4) tahmin modeli kullanılarak elde edilen tahmin değerlerinin artan ve azalan şekilde değerler aldığı görülmüştür (Tablo 4). Bu durum referans verilerinde görülmemektedir. Bunun sebebinin, birlikte değerlendirilen su kotu ve diğer piyezometre aletlerinin referans ölçülerinin davranışları ile alakalı olduğu düşünülmektedir. Ancak benzer değişkenler diğer piyezometrelerin son sütununda yer alan ve GM(1,4) tahmin modelinde elde edilen tahmin değerlerinde rastlanmamıştır.

Tablo 4. 13 Nolu piyezometre aletine ait tahmin değerleri.

Yıllar	P13 Nolu Piyezometre				
	Ölçülen Değer (kg/cm ²)	GM(1,1) (P13)	GM(1,2) (P13-P19)	GM(1,3) (P13-P19-Su Kotu)	GM(1,4) (P13-P19-SuKotu-P5)
2010	280	280.000	280.000	280.000	280.000
2011	386	368.048	378.130	378.190	355.007
2012	284	317.666	306.350	307.151	369.633
2013	304	274.180	262.542	261.326	155.549
2014	200	236.648	235.661	234.035	343.609
2015	230	204.253	219.022	219.998	229.567
2016	Tahmin Değeri	176.293	208.582	215.167	161.779
2017	Tahmin Değeri	152.160	201.894	216.526	517.527
2018	Tahmin Değeri	131.331	197.478	221.891	195.593
2019	Tahmin Değeri	113.353	194.439	229.729	852.534
2020	Tahmin Değeri	97.836	192.234	238.998	356.308
2021	Tahmin Değeri	84.444	190.536	249.021	646.540
2022	Tahmin Değeri	72.884	189.147	259.382	405.161
2023	Tahmin Değeri	62.907	187.946	269.844	773.631
	Hata Oranı	0.754	0.875	0.793	7.484

Tablo 5'te 13 numaralı piyezometre aletine ait deformasyon durumunu göstermektedir. 13 numaralı piyezometre aleti baraj kretinin 810.00 metresine yerleştirilmiştir. Gri sitemin tahmin modelleri yardımı ile elde edilen tahmin değerleri piyezometrenin yerleştirildiği hücre kotuna eklenerek deformasyon olup olmadığı yorumlanmıştır. 13 numaralı piyezometre aletinin su kotuna yakın bir seviyede olması ve gri tahmin modeli ile elde edilen tahmin değerlerinin büyük olması nedeniyle deformasyon değerinin kritik seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumun referans alınan ölçü değerlerinde de aynı olduğu görülmüştür. Tahmin değerlerinin hata oranları dikkate alındığında GM(1,4) tahmin modelinin hata oranının diğer tahmin modellerine göre fazla olduğu görülmüştür.

Tablo 5. 13 Nolu piyezometre aletine ait tahmin değerleri ve deformasyon durumu.

Yıllar	P13 Nolu Piyezometre					Deformasyon Tahmini		
	Su Kotu Değeri	Hücre Kotu	GM(1,2)	GM(1,3)	GM(1,4)	GM(1,2)	GM(1,3)	GM(1,4)
2010	834.110	810.000	280.000	280.000	280.000	Var	Var	Var
2011	840.100	810.000	378.130	378.190	355.007	Var	Var	Var
2012	837.270	810.000	306.350	307.151	369.633	Var	Var	Var
2013	838.440	810.000	262.542	261.326	155.549	Yok	Yok	Yok
2014	830.110	810.000	235.661	234.035	343.609	Var	Var	Var
2015	834.070	810.000	219.022	219.998	229.567	Yok	Yok	Yok
2016	830.244	810.000	208.582	215.167	161.779	Var	Var	Yok
2017	828.337	810.000	201.894	216.526	517.527	Var	Var	Var
2018	826.434	810.000	197.478	221.891	195.593	Var	Var	Var
2019	824.535	810.000	194.439	229.729	852.534	Var	Var	Var
2020	822.641	810.000	192.234	238.998	356.308	Var	Var	Var
2021	820.751	810.000	190.536	249.021	646.540	Var	Var	Var
2022	818.865	810.000	189.147	259.382	405.161	Var	Var	Var
2023	816.983	810.000	187.946	269.844	773.631	Var	Var	Var

13 numaralı piyezometre aletine ait boşluk suyu basınç miktarı ve deformasyon durumu incelendiğinde birçok yılda deformasyonun olduğu veya deformasyonun kritik seviyeye yaklaştığı ve hatta kritik seviyeyi geçtiği görülmektedir (Tablo 5).

Tablo 6. 19 Nolu piyezometre aletine ait ölçü ve tahmin değerleri.

Yıllar	P19 Nolu Piyezometre				
	Ölçülen Değer (kg/cm ²)	GM(1,1) (P19)	GM(1,2) (P19-Su Kotu)	GM(1,3) (P19-Su Kotu-P5)	GM(1,4) (P19-Su Kotu-P5-P13)
2010	820	820.000	820.000	820.000	820.000
2011	822	825.611	822.813	822.934	822.389
2012	830	827.202	829.551	829.556	831.319
2013	832	828.797	831.232	831.000	828.605
2014	830	830.394	830.907	830.837	831.747
2015	830	831.995	829.787	829.929	832.287
2016	Tahmin Değeri	833.599	828.354	828.622	827.222
2017	Tahmin Değeri	835.206	826.799	827.097	839.528
2018	Tahmin Değeri	836.816	825.196	825.450	820.951
2019	Tahmin Değeri	838.429	823.577	823.738	844.327
2020	Tahmin Değeri	840.045	821.953	821.991	823.366
2021	Tahmin Değeri	841.665	820.329	820.226	833.069
2022	Tahmin Değeri	843.287	818.708	818.452	848.198
2023	Tahmin Değeri	844.913	817.089	816.676	797.352
Hata Oranı		0.001	0.006	0.005	0.047

Tablo 6'da yer alan 19 numaralı piyezometreye ait tahmin değerleri ve tahmin değerlerine ait hata oranları incelendiğinde başarılı tahmin değerlerinin üretildiği görülmektedir. 19 numaralı piyezometrenin ölçtüğü boşluk suyu basınç değerine göre herhangi bir yılda meydana gelebilecek bir deformasyon beklentisi bulunmamaktadır.

Deformasyon tahmininde kullanılmak üzere ölçülen tahmin değerleri beklenildiği gibi çıkmıştır. Bunun yanı sıra ölçülen altı yıllık su kotuna ait veriler yıllık yağış ve kuraklığa bağlı olarak dalgalı bir artış azalış göstermektedir. 2015 yılından sonraki yıllarda tahmin edilen su kotu seviyesi Gri Sistemin tek değişkenli tahmin

modeli olan GM(1,1)'in karakteristik özelliği gereği doğrusal olarak azalmaktadır. Su kotuna ait bu tahmin değerleri mevcut gerçek durumdan farklılık göstermektedir. 19 numaralı piyezometreye ait ölçülen ve tahmin edilen değerler ile su kotu seviyesine ait ölçülen ve tahmin edilen değerler Tablo 7'de verilmiştir. Tablo 7' de yer alan değerlere göre barajda herhangi bir yıl için deformasyonun olmayacağı tahmin edilmiştir.

Tablo 7. 19 Nolu piyezometre aletine ait tahmin değerleri ve deformasyon durumu.

Yıllar	P19 Nolu Piyezometre					Deformasyon Tahmini		
	Su Kotu Değeri	Hücre Kotu	GM(1,2)	GM(1,3)	GM(1,4)	GM(1,2)	GM(1,3)	GM(1,4)
2010	834.110	720.000	820.000	820.000	820.000	Yok	Yok	Yok
2011	840.100	720.000	822.813	822.934	822.389	Yok	Yok	Yok
2012	837.270	720.000	829.551	829.556	831.319	Yok	Yok	Yok
2013	838.440	720.000	831.232	831.000	828.605	Yok	Yok	Yok
2014	830.110	720.000	830.907	830.837	831.747	Yok	Yok	Yok
2015	834.070	720.000	829.787	829.929	832.287	Yok	Yok	Yok
2016	830.244	720.000	828.354	828.622	827.222	Yok	Yok	Yok
2017	828.337	720.000	826.799	827.097	839.528	Yok	Yok	Yok
2018	826.434	720.000	825.196	825.450	820.951	Yok	Yok	Yok
2019	824.535	720.000	823.577	823.738	844.327	Yok	Yok	Yok
2020	822.641	720.000	821.953	821.991	823.366	Yok	Yok	Yok
2021	820.751	720.000	820.329	820.226	833.069	Yok	Yok	Yok
2022	818.865	720.000	818.708	818.452	848.198	Yok	Yok	Yok
2023	816.983	720.000	817.089	816.676	797.352	Yok	Yok	Yok

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, Keban Barajı'nın toprak dolgu kısmında yer alan piyezometrelere ait boşluk suyu basınç değerleri ve bu basınç değerleri ile yakından ilişkili olan baraj su kotu miktarı Gri Sistem ile tahmin edilmiştir. Keban Baraj göletindeki su seviyesi değerleri, Gri tahmin yöntem ile yeniden değerlendirilmiştir. Aynı şekilde baraj kretinde yer alan ve krette oluşan boşluk suyu basıncı miktarını tespit etmek için yerleştirilen piyezometre aletlerine ait değerleri de yine gri tahmin yönteminin GM(1,N) model yöntemi ile değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonuçlarına göre elde edilen tahmin verileri gerçek anlamda barajda oluşan deformasyon değerlerini temsil etmemekle birlikte, oluşabilecek deformasyon miktarları hakkında anlamlı bilgi vermektedir. Elde edilen tahmin değerleri, Gri Sistem'in deformasyon analizinde kullanılabilir bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Bilgi

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kürşat Kaya (2019), Deformasyon Tahmininde Gri Model Uygulaması: Keban Barajı Örneği, Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Kaya, K., "Deformasyon Tahmininde Gri Model Uygulaması: Keban Barajı Örneği", Yüksek Lisans Bitirme Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [2] Deng, J. L., Grey forecasting and decision, Huazhong University of Science and Technology Press. 1986.
- [3] Hoşbaş, R. G., "Baraj Deformasyonlarının Belirlenmesinde Jeodezik Yaklaşımların İrdelenmesi ve Bir Öneri", Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1992.
- [4] Kalkan Y. ve Alkan R. M., "Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri" Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 23-25 Kasım 2005, İTÜ – İstanbul.
- [5] Yalçinkaya M. ve Kayıkcı E. T., "Dengeleme Heabi-II Ders Norları" Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 2019.
- [6] Liu, S. ve Lin, Y., "Grey Information: Theory and Practical Applications", Springer, 11-21. 2006.
- [7] Liu, S. F. ve Lin, Y., An Introduction to Grey Systems Theory. Grove City: IIGSS Academic Publisher, 1998.
- [8] Lin, C.T. ve Yang, S.Y., "Forecast of the output value of Taiwan's IC Industry Using the Grey Forecasting Model", International Journal Computer Applications in Technology, 19: 23–27., 2004.
- [9] Özgen, N., "Keban Barajı ve Tarihçesi" DS_ Vakfı yayın No:1 Ankara. 2000.
- [10] URL-4, 15:28, 21.02.2019, <http://www.dsi.gov.tr/projeler/keban-barajı>.

Değişken Odaklı Optik Görüntüleme Sistemi Tasarımı ve Üretimi

Mehmet POLAT^{1*}, Ebru GENÇ²

¹ Mekatronik Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² TÜBİTAK SAGE, Ankara, Türkiye

*¹ mpolat@firat.edu.tr, ² ebru.genc@tubitak.gov.tr

(Geliş/Received: 03/01/2019;

Kabul/Accepted: 17/04/2019)

Öz: Optik, elektro-optik ve optomekanik bileşenler kullanılarak izlenmek istenen hedeflerin görüntülenmesi için oluşturulan sistemler optik görüntüleme sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Farklı menzillerde bulunan hedefi net bir şekilde görüntülemek için değişken odaklı (zoom) optik görüntüleme sistemleri kullanılmaktadır. 'Zoom sistemleri' olarak da bilinen bu sistemlerin görüntü alabilmesi için objektifte bulunan mercekle gruplarının bazılarının doğrusal olarak hareket etmesi gerekir. Bu hareket elle ya da motor yardımı ile sağlanabilir. Hareketli mercek grupları içerdikleri ve hassas konum kontrolü gerektirdiği için bu sistemlerin optik ve mekanik tasarımı zordur. Bu çalışmada değişken odaklı görüntüleme sistemleri hakkında genel bilgiler verilerek, sistemi oluşturan en uygun mekanizma tipine karar verilip sistemin tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Son olarak üretilen sistem tasarımsal olarak doğrulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Optik görüntüleme sistemi, Değişken odak sistemi, Zoom sistemi, Tasarım ve üretim.

Design and Production of Variable Focus Optical Imaging System

Abstract: Optical imaging systems are used to visualize the targets to be monitored using optical, electro-optic and optomechanical components. Variable-focus (zoom) optical imaging systems are used to clearly display the target at different ranges. These systems, also known as 'zoom systems', require some of the lens groups in the lens to move linearly in order to capture images. We can provide this motion by hand or by motor. The optical and mechanical design of these systems is difficult as they contain moving lens groups and require precise position control. In this article, by giving general information about variable focus imaging systems, the most appropriate mechanism forming the system is decided and the design and production of the system has been realized. The designed system has been verified produced system.

Key words: Optical imaging systems, Variable focus system, Zoom systems, Design and production.

1. Giriş

Optik, en genel ifade ile ışık ve görme olaylarını inceleyen fizik koludur. Bu alanda ışığa yön ve şekil vermek için yapılan tüm araç, gereç ve aygıtlar optik sistemler altında değerlendirilmektedir. Optik görüntüleme sistemleri temel olarak üç ana bölümden oluşmaktadır: objektif, dedektör ve görüntü işleme [1].

Objektif en temel anlamıyla mercekler, merceklerin konumlanmasını sağlayan optomekanik bileşenler ve bahsedilen elemanları içeren mekanik bütünden oluşan kısımdır. Görüntülenmek istenen hedeften gelen ışınlar objektiften geçerek, dedektöre iletilir. Çalışma prensibine göre objektifler ikiye ayrılmaktadır: Odak uzaklığı değişen (zoom objektif) ve odak uzaklığı değişmeyen (prime lens) objektifler. Objektife dışarıdan gelen ışık belirli bir noktada toplanır. Bu noktaya algılayıcı veya film arasında olan uzaklığa odak uzaklığı (focal length) adı verilir. Görüş açısı (field of view, FOV), açısal veya gözlenebilir doğrusal alan olarak tanımlanabilir. Burada önemli olan husus; odak uzaklığının objektifin görüş açısıyla ters orantılı olmasıdır. Odak uzaklığı azaldıkça görüş açısı artar, odak uzaklığı arttıkça ise görüş açısı azalır. Bundan dolayı objektifler normal, geniş ve dar açılı objektifler olarak adlandırılır.

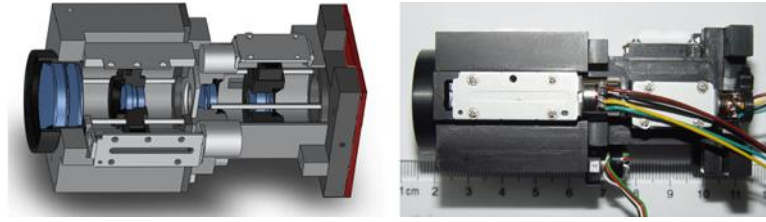
Dedektör; gelen ışınları elektrik sinyaline çevirerek görüntünün işlenmesine olanak sağlar. Görüntü işleme, görüntüyü dijital form haline getirmek ve bazı işlemleri gerçekleştirmek için geliştirilmiş, spesifik görüntü elde etmek ya da ondan bazı yararlı bilgiler çıkarmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin girdisi video kesiti veya fotoğraf gibi bir görüntüdür. Çıktısı ise görüntünün istenilen ya da dikkat edilmesi gereken bölümüne karşılık gelir. Genellikle görüntü işleme sistemi, önceden belirlenmiş sinyal işleme (Signal Processing) yöntemlerini uygularken görüntüleri iki boyutlu sinyaller olarak ele alır.

* Sorumlu yazar: mpolat@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 6188-8726, ² 2959-2041

Optomekanik tasarım; optik tasarım ile elde edilen merceklerin ve mercek gruplarının yerleştirildiği mekanik parçaların tasarlandığı kısımdır [2]. ‘Zoom sistemleri’ olarak da bilinen değişken odaklı sistemler odak uzaklığını değiştirerek farklı görüş açılarında görüntü almayı sağlamaktadır. Bu görüntüyü alabilmesi için zoom sistemlerinde bulunan mercek gruplarının bazılarının doğrusal olarak hareket etmesi gerekir. Bu hareket elle ya da motor yardımı ile sağlanabilir. Hareketli mercek grupları içerdikleri ve hassas konum kontrolü gerektirdiği için bu sistemlerin optik ve mekanik tasarımı zordur.

Değişken ve sürekli odaklı sistemlerde (continuous zoom systems) sabit bir odak uzunluğu yoktur. Bu iki sistemin birbirinden farkı ise şöyle açıklanabilir: Eğer bir sistemin toplam odak uzunluğu boyunca her odak noktası için net görüntü elde edilebiliyorsa bu sistem sürekli odaklı sistemdir, ancak odak uzunluğunun her noktasında değil de belirli noktalarında net görüntü elde edilebiliyorsa bu sistem değişken odaklı bir sistemdir. Değişken odaklı ve sürekli odaklı görüntüleme sistemlerinde iki farklı hareket grubu bulunmaktadır; bunlar zoom ve odak kısımlarıdır. Zoom kısmındaki hareketler görüş açısını ayarlarken, odak kısmındaki hareketler görüntünün kalitesini yani netliğini ayarlar. Bu kısımlar için iki ayrı mekanizma tasarımı gereklidir.

Değişken odaklı sistemlerde optik tasarım kısmı zor olduğu için bu alanda yapılan yayınların büyük çoğunluğu optik tasarım ile ilgilenmiş olup mekanik tasarım ve kontrole çok az ya da hiç değinmemişlerdir. Li Y. ve ekibinin yaptığı çalışmada 10X zoom oranına sahip bir sistemin mekanik ve optik tasarımı yapılmış, Şekil 1’de üç boyutlu çizimi ve tamamlanmış hali gösterilen bu sistemde zoom kısmında hareketli tek bir mercek grubu bulunurken odak kısmında da hareketli tek bir mercek grubu bulunmaktadır. Hareketli mercek grupları adım motorlar kullanılarak çalıştırılmış ve konum bilgisini doğrusal olarak elde etmek için yatay dirençli algılayıcı kullanılmıştır [3].



Şekil 1. 10X zoom oranına sahip bir sistemin mekanik tasarımı [3]

Sanson M. C ve ekibinin yapmış olduğu çalışmalarda ise orta dalga boylu kızılötesi sistemler için sürekli odaklı bir sistem tasarlanmıştır. İki ayrı bölümden oluşan bu çalışmanın birinci kısmında optik tasarım ve analizi yapılırken, ikinci kısımda mekanik tasarıma da değinilmiştir. Mekanik tasarım sadece katı model olarak yayında yer almaktadır [4,5].

Yan-qin S. ve ekibinin yaptığı çalışmada sürekli odaklı kızılötesi görüntüleme sistemleri için mekanizma tasarımı incelenmiştir [6]. Bu çalışmada ve daha bir çok yerde zoom sistemleri için kam mekanizmasının kaçınılmaz olduğu belirtilmiştir. Zoom mekanizması için silindirik kam tercih edilirken; odak mekanizması için vida mekanizması (screw nut) tercih edilmiştir. Çalışmada zoom ve odak mekanizmalarının tasarımı ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizi incelenmiştir. [7] nolu çalışmada ise kam profil tasarımının zoom sistemleri için kaçınılmaz olduğu belirtilerek, ZEMAX tabanlı zoom sistemleri için optimum kam profili tasarımı incelenmiştir. Burada ZEMAX programlama dili (ZEMAX Programing Language, ZPL) kullanılmıştır. Zoom mercekleriyle ilgili yapılan bir çalışmada, bu merceklerin yapısal ve işlevsel olarak son yıllardaki gelişimi incelenmiştir [8].

Sürekli odaklı sistemlere kesintisiz büyütme sistemi de denilmektedir [9]. Bu makale sürecinde endüstride de bu sistemleri üreten önde gelen firmaların katalogları incelenerek sistemlerin genel yapısı, mekanizması, fiziksel özellikleri (boyut, ağırlık vb.) hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Şekil 2’de endüstride bulunan sürekli odaklı görüntüleme sistemi örneği sunulmuştur [10]. Yapılan benzer sistemin incelemeleri sonucunda, bu tip sistemlerde iki farklı hareket yönteminin kullanıldığı görülmüştür: motorlu sürekli zoom (motorized continuous zoom) sistemleri ve manuel sürekli zoom sistemleridir.



Şekil 2. Endüstride bulunan sürekli odaklı görüntüleme sistemi [10]

Yapılan araştırmalar sonucunda; bu sistemlerde genelde iki motor kullanıldığı görülmüştür. Ayrıca zoom sistemlerinin mekanizmasında çoğunlukla kam mekanizmasının tercih edildiği gözlemlenmiştir.

2. Sistem Tasarımı

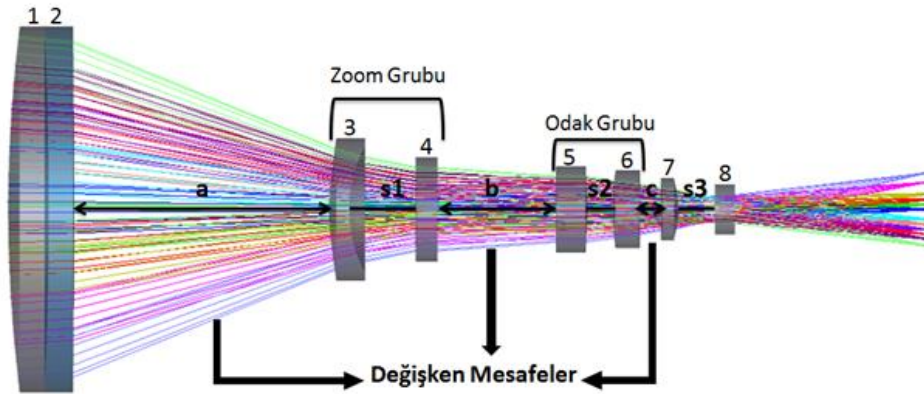
2.1. Sistemin Gereksinimlerinin Belirlenmesi

Optik görüntüleme sistemleri için değişken odaklı sistem tasarımı kapsamında hazırlanacak deney düzeneğinden beklenen; yapılan optik tasarıma boyutsal ve işlevsel olarak uygun mekanizmanın tasarlanmasıdır.

2.2. Optik Tasarım

Sistem tasarımının yapılabilmesi için öncelikle optik tasarımın yapılması gerekir. Değişken odaklı görüntüleme sisteminin tanımıyla belirtildiği gibi odak uzunluğunun belirli noktalarında görüntü almak için mercek ve mercek gruplarının optik yol üzerindeki konumları optik tasarım sonucunda belirlenmiştir.

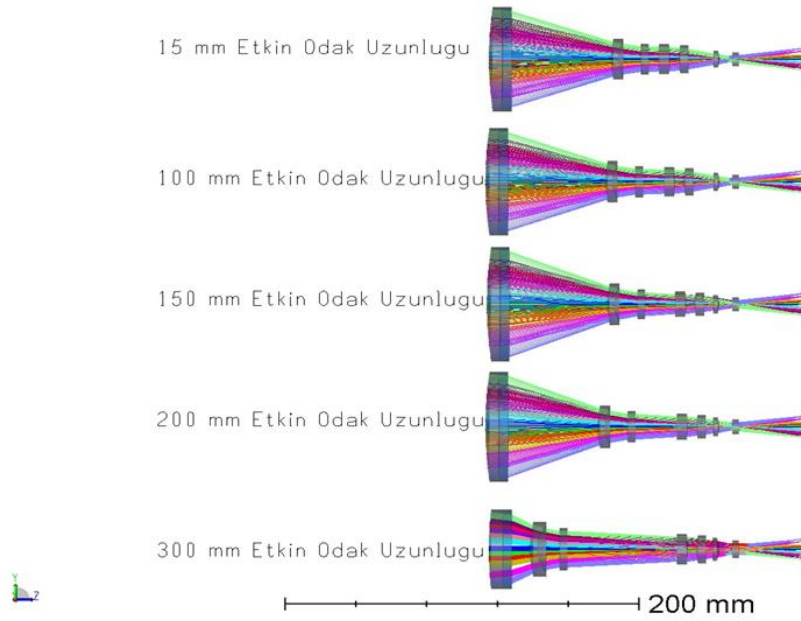
Bu çalışma kapsamında Şekil 3' te belirtilen optik tasarım kullanılmıştır. Tasarımda odak uzunluğu aralığı 15 ila 300 mm'dir. Bu tasarım için 3 ve 4 numaralı merceklerden oluşan mercek grubu zoom mercek grubunu temsil etmektedir. Tablo 1'de görüldüğü üzere 3 ve 4 numaralı mercekler arasındaki mesafe (s_1) sabit olup bu iki mercek bir bütün olarak doğrusal hareket edecektir. 5 ve 6 numaralı merceklerden oluşan mercek grubu ise odak mercek grubunu temsil etmektedir, burada da 5 ve 6 numaralı mercekler arasındaki mesafe (s_2) sabit olup bu iki mercek bir bütün olarak doğrusal hareket edecektir.



Şekil 3. Optik tasarım

Tablo 1. Konfigürasyon tablosu

Mesafeler (mm)	15 mm Odak	100 mm Odak	150 mm Odak	200 mm Odak	300 mm Odak
a	9,908	50,248	54,944	54,604	55,841
s1	15,379	15,379	15,379	15,379	15,379
b	61,878	24,453	17,043	12,008	5,94
s2	10	10	10	10	10
c	5	4,999	6,017	12,169	15,004
s3	5,142	5,142	5,142	5,142	5,142

**Şekil 4.** Konfigürasyon hareketlerinin gösterimi

Aslan S. yapmış olduğu sürekli odaklı optik tasarım çalışmasında; hareket eden merceklerin hareketinin devamlı ve her konumda sistemin odaklı bir görüntü sağlayabilmesi amacıyla dar görüş açısından geniş kademeler toplam 32 konfigürasyon oluşturulmuştur. Toplamda 32 konfigürasyon kullanılmasının en önemli nedeni sürekli görüş açısı değiştiren ve devamlı odaklı olması gereken bu tip sistemlerde hareketli merceklerin hareketinin de devamlı olması ve üretilebilir bir eğrinin bu merceklerin pozisyonlarına uydurulması gereklidir. Optimum konfigürasyon sayısı, her konumda odaklı bir tasarıma ulaşılabilmesi ve tasarım süresinin kabul edilebilir seviyede kalabilmesi açısından en önemli parametredir. Bu tip bir optik tasarım oldukça karmaşık optimizasyon ve performans analiz adımlarını içerir [11].

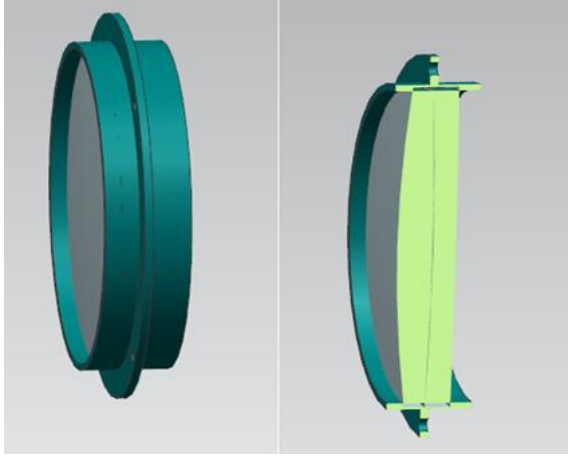
2.3. Optomekanik Tasarım

Şekil 4'de gösterilen optik tasarım katı model programına aktarılarak merceklerin çap ve kalınlık ölçüleri belirlenerek Tablo 2'de sunulmuştur.

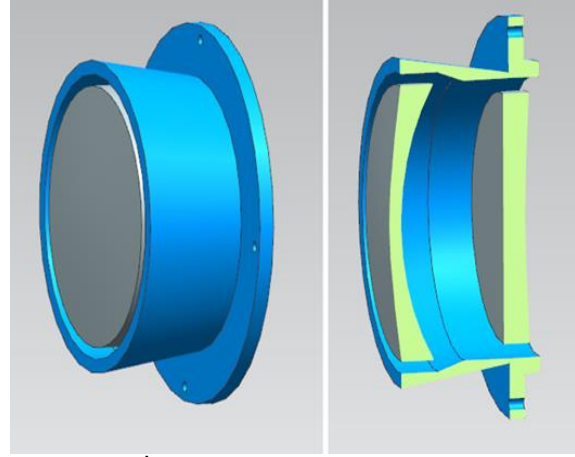
Tablo 2. Mercek çap ve kalınlıkları

Mercek Numarası	Kalınlık (mm)	Çap (mm)
1-2	10.98	80
3	2.75	55
4	2.39	50
5	5.04	60
6	4.35	55
7	5.75	40
8	4	35

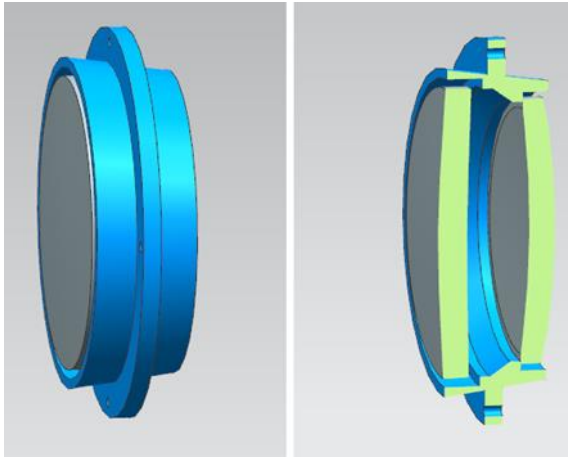
Mercekleri sistemin mekanik modeline eklemek için gerekli olan optomekanik parçaların Şekil 5-8’de gösterildiği gibi tasarımı yapılarak, işlevine uygun olarak dört mercek grubu şeklinde modellenmiştir.



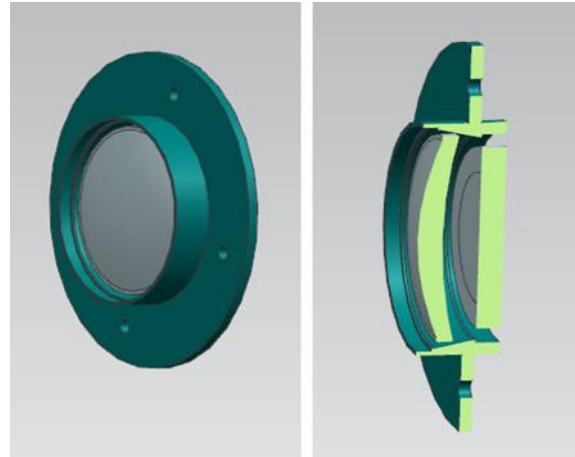
Şekil 5. Birinci mercek grubunun optomekanik tasarımı



Şekil 6. İkinci mercek grubunun optomekanik tasarımı



Şekil 7. Üçüncü mercek grubunun optomekanik tasarımı



Şekil 8. Dördüncü mercek grubunun optomekanik tasarımı

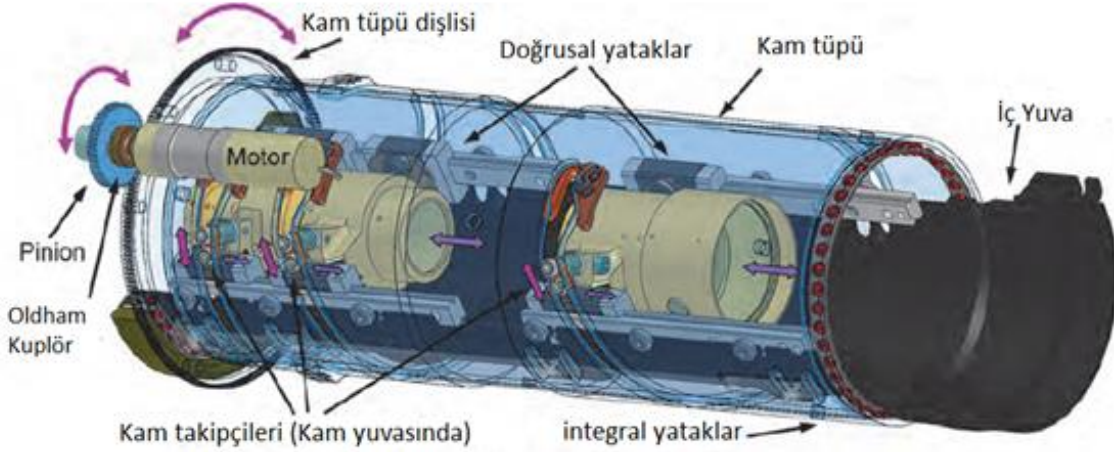
2.4. Hareket Mekanizması Sentezi

Değişken odaklı ve sürekli odaklı görüntüleme sistemlerinde iki farklı hareket grubu bulunmaktadır; bunlar zoom ve odak kısımlarıdır. Zoom kısmındaki hareketler görüş açısını ayarlarken, odak kısmındaki hareketler görüntünün kalitesini yani netliğini ayarlar. Bu kısımlar için iki ayrı mekanizma tasarımı gereklidir. Zoom ve odak sistemlerinde oluşturması gereken hareket doğrusal harekettir. Mercek grupları doğrusal olarak hareket etmektedir. Döner motordan hareketi alıp doğrusal harekete çevirerek mercek gruplara aktaracak mekanizmalar kullanılacaktır. Yapılan literatür çalışmasında zoom ve odak mekanizmaları birbirinden bağımsız hareket ettirildiği için bağımsız mekanizmaların kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Zoom ve odak mekanizmaları için literatür de farklı çalışmalar yer almaktadır. Literatür de zoom ve odak mekanizmalarının her ikisi için de kam mekanizması kullanmış çalışmalar olmakla birlikte yine her iki mekanizma için vida sistemlerinin (lead screw ve ball screw) kullanıldığı çalışmalarda bulunmaktadır. Ayrıca zoom mekanizması için kam mekanizmasının tercih edildiği ve odak mekanizması için vida mekanizmasının kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Genel olarak optik tasarım sonuçlarına göre zoom mekanizmasının hareket aralığı odak mekanizmasının hareket aralığından daha büyüktür. Bu nedenle odak kısmındaki hareketler daha hassas hareketler içerir.

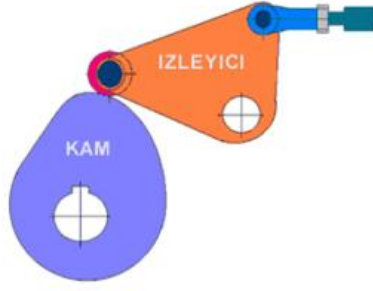
2.4.1. Zoom Mekanizması

Literatürde zoom sistemleri için kam mekanizmasının kaçınılmaz olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte zoom sistemlerini endüstriyel anlamda üreten firmaların katalogları da incelenerek kam mekanizmasının kullanıldığı görülmüştür. Ayrıca kam mekanizmaları zoom sistemlerine geniş hareket imkânı sağladığı gözlemlenmiştir. Örneğin zoom sisteminde hareketli mercek grubu sayısının birden fazla olduğu bir optik tasarımda her bir mercek grubu için kam profili belirlendikten sonra tek motor kullanarak birden çok mercek grubu hareket ettirilebilir ve kam profilinin şekline göre bu mercek grupları aynı veya zıt yönde hareket ettirilebilir. Ayrıca yine kam profiline bağlı olarak bir konfigürasyonda sadece bir mercek grubu hareket ettirilip diğer mercek grupları konumlarını koruyabilir.



Şekil 9. Zoom mekanizması [12]

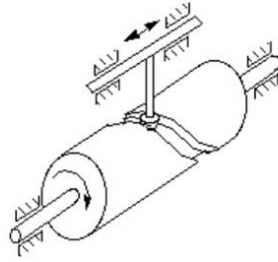
Şekil 9'daki tasarımın yer aldığı çalışmada zoom mekanizması hareketli üç mercek grubundan oluşmaktadır. Yapılan çalışmada zoom mekanizması olarak kam tercih edilmiştir [12]. Kam makine dinamiğinde sırası ile kendisine temas eden düzenekleri harekete geçirmeye yarayan bir mekanizmadır. Şekil 10'da kam mekanizmasının genel yapısı sunulmuştur [13]. Kam mekanizmalarının genel olarak kamın şekline göre, izleyicinin şekli ve hareketine göre, kam ve izleyicinin temas şekline göre sınıflandırılabilir.



Şekil 10. Kam mekanizmalarının genel yapısı [13]

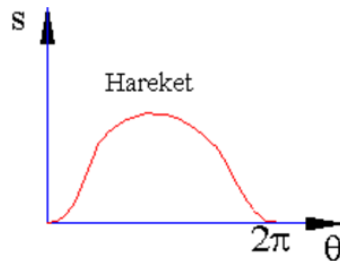
Kam mekanizmaları dönme hareketini öteleme ya da salınım hareketine dönüştüren sistemlerdir. Bu mekanizmalar vasıtasıyla açma – kapama, bekleme ve bunların çeşitli sırayla dizilimi gibi karmaşık hareketler gerçekleştirilebilir. Senkronize hareket gereken yerlerde kullanımı oldukça iyidir. Mesela araç sübap kapaklarının belli bir sürede açılıp kapanması ya da beklemesi gibi çok hızlı ve senkronize olması gereken hareketleri oldukça iyi gerçekleştirebilirler. Zoom sistemlerinde kullanılan kam mekanizması silindirik kam mekanizmasıdır.

Silindirik kam mekanizması ile oluşan sistemlerde, doğrusal hareket yapan izleyicinin konumuna göre mekanizma farklılık gösterir. Doğrusal hareket yapan izleyicinin, silindirik kamın dışarısında yatakladığı mekanizmaya örnek Şekil 11’de verilmiştir [14].



Şekil 11. İzleyicinin konumuna göre silindirik kam [14]

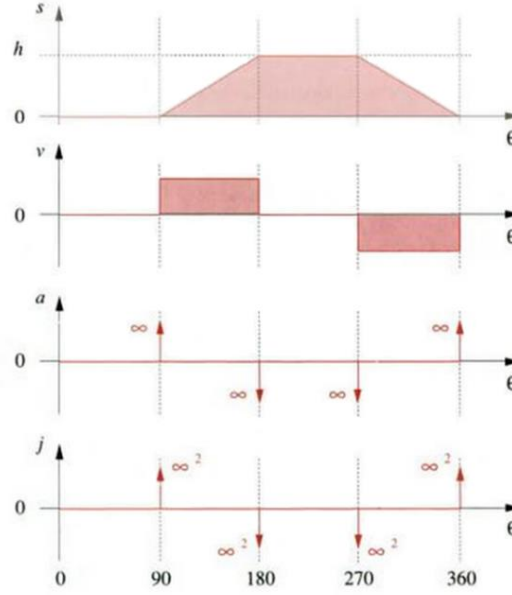
Zoom sisteminde izleyici kısmı hareketli mercek gruplarından oluşacak olup, silindirik kamın içerisinde yer alır ve silindirik kam üzerinde bulunan profile mekanik bir parça yardımıyla ilişkilendirilir. Sonrasında silindirik kam motor yardımıyla dönerken içerisinde bulunan mercek grupları kam profiline göre doğrusal olarak hareket eder. Silindirik kamda bulunan profil sayısı hareketli mercek grubu sayısı tarafından belirlenir. Silindirik kamda bulunan profilin şekli ise merceklerin hareket aralığı yani yatay olarak yapacağı yer değiştirme ve tanımlanan matematiksel fonksiyon ile sağlanır. Bu fonksiyona kam hareket eğrisi denir, hareket eğrisi; kamın dönme açısına karşılık gelecek izleyicinin konumunu belirler. Örnek hareket eğrisi Şekil 12’de verilmiştir, burada kam hareket diyagramında $s=f(\theta)$ ’dir.



Şekil 12. Hareket eğrisi örneği [14]

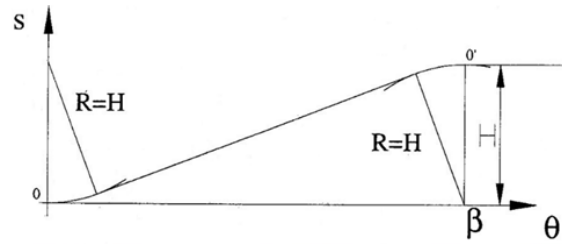
Hareket eğrisi profili (s), kam kinematiği açısından önemlidir, kısaca açıklanacak olursa hareket eğrisi kamın yer değiştirmesini verir, bu eğrinin türevleri ise sırasıyla hız (v), ivme (a) ve sarsı (j) dediğimiz değerleri verir, bu grafiklerin hepsini kapsayan diyagrama “svaj diyagramı” denir.

Bu nedenle hareket eğrisi tanımlayarak, kinematik olarak hız ve ivme gibi büyüklüklere karar verilmiş olunur. Bu tasarım tersten de yapılabilir yani istenilen işleve hıza ve ivmeye bağlı tasarım yapılabilir, ancak tasarım yapılırken mümkün olduğunca sürekli fonksiyonlar tercih edilmelidir, Şekil 13’de gösterildiği gibi sürekli olmayan bir fonksiyon seçildiğinde, eğrinin türevlerinde sonlu olmayan değerlerle karşılaşılır, bu istenmeyen bir durumdur [15].



Şekil 13. Svaj diyagramı örneği [15]

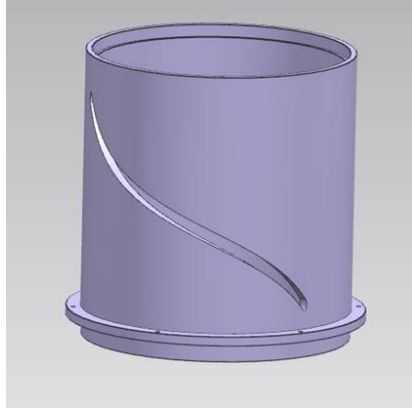
Doğrusal hareket eğrisinde başlangıç ve bitiş noktaları sonsuz ivme olduğundan dolayı uygulamada sorun yaratacaktır. Başlangıç ve bitiş noktalarında sonsuz ivmeyi önlemek için, başlangıç ve bitiş bir daire yayı, arada ise bu iki daire yayına teğet bir doğru çizilerek elde edilen yükseliş eğrisinde hareket ve hareketin birinci türevi sürekli olacak, ivme ise her noktada sonlu bir değer alacaktır. Şekil 14’de gösterildiği gibi genel olarak daire yayı yarıçapı yükselme mesafesine (H) eşit alınır ise de, farklı bir çap da kullanılabilir [16].



Şekil 14. Doğru ve daire yayı-birleşik eğriler [16]

Bu makalede tasarlanan silindirik kam Şekil 15’de gösterilmektedir. Optik tasarımdaki zoom merceğ grubunun hareket aralığına göre tasarlanmıştır. Kamın boyutsal tasarımı ise öncelikle merceğ çapları, merceğlerin yerleştirildiği optomekanik çapları göz önüne alınarak belirlenmiştir. Tasarım yapılırken kam ile birlikte

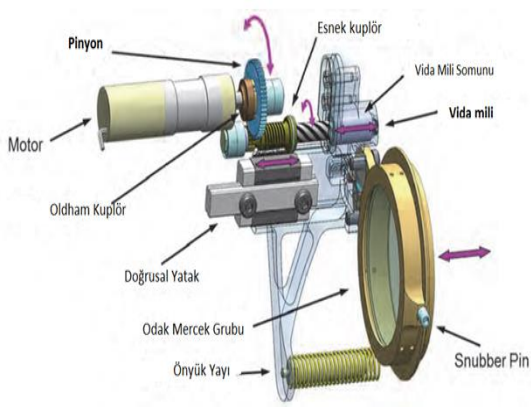
kullanılacak olan rulman ve dişlilerin mekanizmadaki yerlerine dikkat edilmiştir, rulmanlar için dayama yüzeyi oluşturulmuş, dişliler içinse bağlantı sağlayacak cıvata delikleri uygun şekilde konumlandırılmıştır.



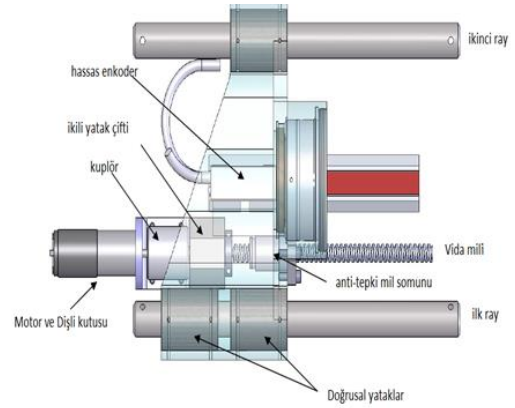
Şekil 15. Tasarlanan silindirik kam

2.4.2. Odak Mekanizması

Bilindiği gibi odak mekanizması için de çeşitli mekanizma seçenekleri bulunmaktadır. Zoom mekanizmasındaki gibi silindirik kam mekanizması ile oluşturulan odak mekanizmaları olduğu gibi vida sistemlerinden oluşan odak mekanizmaları da vardır. Ancak odak mekanizması için genelde vida sistemleri, bilye vidaların; hafif olmaları, hızlı olmaları ve esnek hareket aralığı sunmaları gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedir. Şekil 16 ve Şekil 17'de odak mekanizması için vida sistemlerinin kullanıldığı örnek tasarımlar sunulmuştur.



Şekil 16. Odak mekanizması [15]



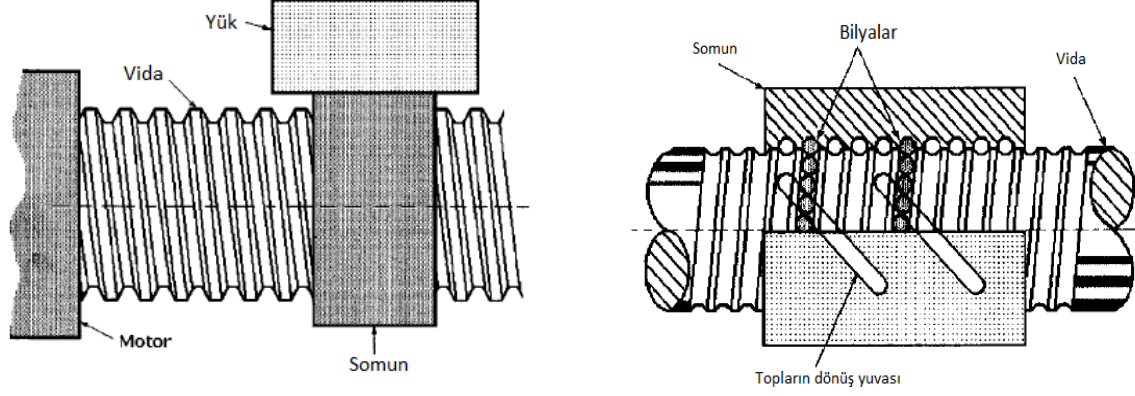
Şekil 17. Odak mekanizması tasarım örneği [5]

Vida mekanizmaları hareketi iletme ve değiştirme amacı ile kullanılır. Cıvata- somun sistemi denilen bu sistemler hareket bakımından şu şekilde sınıflandırılır [17]:

1. Somun sabit, cıvata dönme ve öteleme hareketi yapar; örneğin vinçlerde ve preslerde olduğu gibi.
2. Cıvata sabit, somun dönme ve öteleme hareketi yapar.
3. Cıvata dönme hareketi, somun öteleme hareketi yapar.
4. Somun dönme hareketi, cıvata öteleme hareketi yapar.

Vidalı mil, bilye yataklı bir somunun vida dişleri açılmış bir mil üzerindeki sistem sayesinde dönme hareketini doğrusal harekete çeviren makine elemanıdır. Bu hareket esnasında sürtünmenin azaltılabilmesi amacıyla somun ile mil arasında yer alan boşlukta yataklanan bilyeler mevcuttur. Hareket aktarımı için kullanılan vidalı miller,

doğrusal hareketi bu sayede daha az sürtünme ile iletirler. Hassas bir vida olarak yapılan dişli mil ise helis yapıdaki kanalları sayesinde bilye yataklarının rahat hareketine olanak sağlar. Bu hareket aktarma elemanı, düşük sürtünme özelliği sayesinde yüksek mekanik verime sahiptir. Vidalı milin temel yapısı Şekil 18'de sunulmaktadır [18].



Şekil 18. Vidalı mil [18]

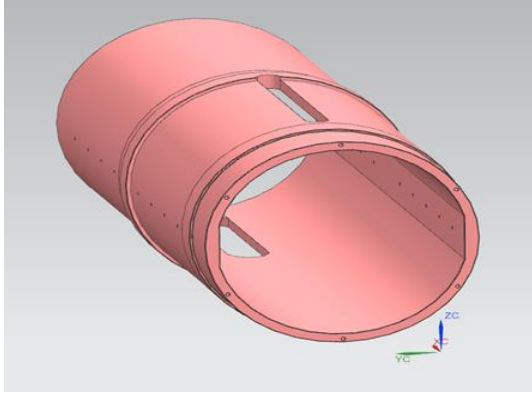
Çeşitli özellikleri sayılabilecek vidalı miller yüksek hassasiyete sahip, uzun ömürlü kullanımları olan ve düşük kirlilik üreten makine elemanlarıdır. Spesifik özellikleri nedeni ile hassas konumlama ve makine sanayiindeki hassas ölçüm sistemlerinde önemli bir yere sahip olan vidalı miller, robotlarda, çok hassas ekipmanlarda ve daha birçok endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır.

2.5. Sistem Bütünü Tasarımı

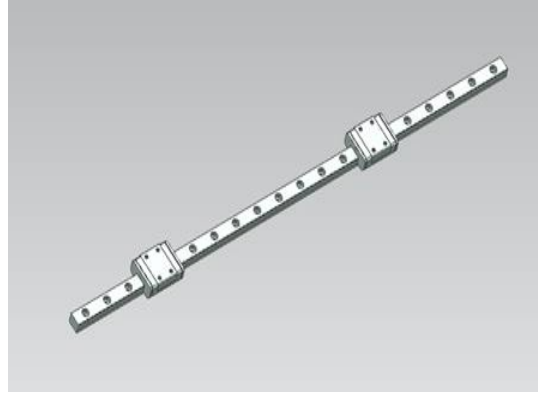
Mercek grupları modellendikten sonra sistemin mekanik tasarımında kullanılacak olan mekanizma tiplerine uygun tasarımlar yapılmıştır. Yapılan tasarım sonucunda, tasarlanan parçalar üretilmiş ve seçilen hazır parçalar tedarik edilmiştir.

Tasarım parçaları;

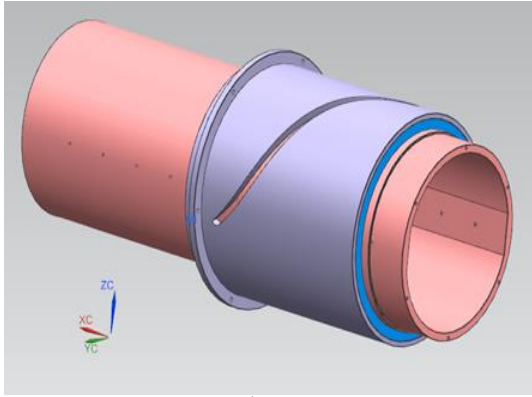
1. Silindirik kam; Şekil 15'de sunulmuştur.
2. Mercek gruplarının ve doğrusal yataklama elemanlarının yer aldığı sabit kısım; bu tasarım için sabit kısım silindirik kam içerisinde yer almaktadır. Parçanın tasarımı Şekil 19'da gösterilmiştir. Parça üzerinde rulmanların oturacağı dayama yüzeyleri, doğrusal yatakların oturması için gerekli olan cıvata delikleri, silindirik kam izleyicisinin doğrusal hareketi için gerekli olan oyuk ve odak mekanizmasının doğrusal hareketi için tasarlanan oyuk yer almaktadır.
3. Sabit kısım içerisinde yer alan, doğrusal yatak Şekil 20'de gösterilmiştir. Hareketli mercek grubu sayısına göre doğrusal yatakta olması gereken araba sayısı belirlenmiştir. Optik yol uzunluğuna bağlı olarak doğrusal yatağın boyu belirlenmiştir.
4. Şekil 15 de gösterilen silindirik kam ile Şekil 19'da gösterilen sabit kısım arasında, Şekil 21'de gösterilen ince kesit rulmanlar seçilmiştir.
5. Sistemin yerleşeceği alt tabla ve tutucular Şekil 22'de gösterildiği gibi tasarlanmıştır.
7. Kam mekanizmasına dönel hareket aktarımı için dişli tasarımı yapılmıştır, dişli tasarımının ve motorun konumlandırılması Şekil 23'de gösterilmiştir.
8. Odak mercek grubunun hareketi için seçilen motorun konumlandırılması ve bağlantı ara yüzleri Şekil 24'te gösterilmiştir. Odak mercek grubunun hareket ölçümü için doğrusal potansiyometre kullanılmıştır.



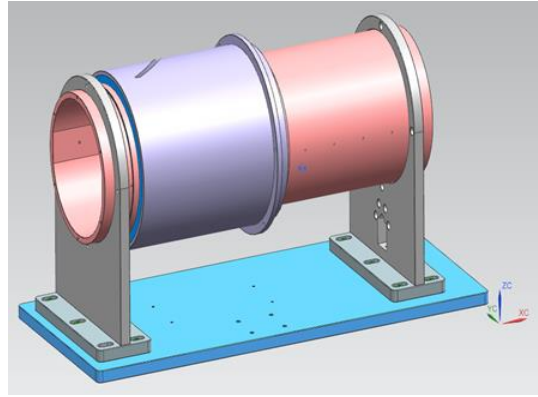
Şekil 19. Sabit kısım



Şekil 20. Doğrusal yatak



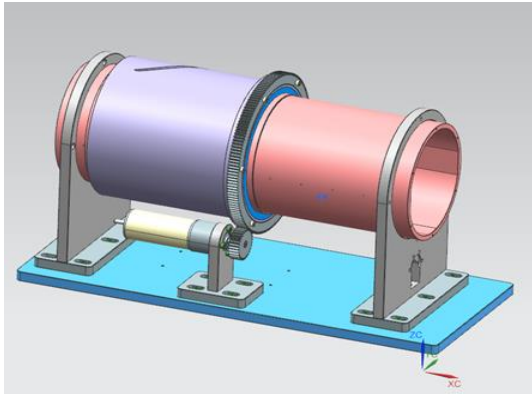
Şekil 21. İnce kesit rulman



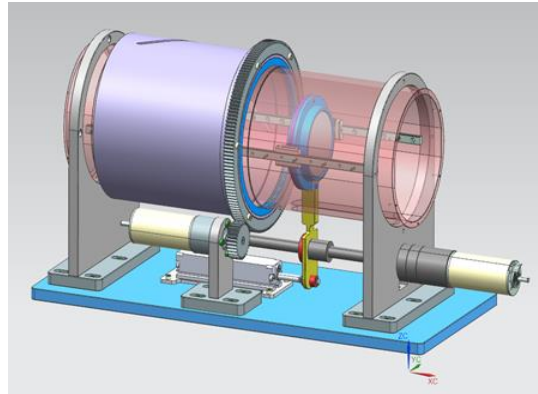
Şekil 22. Alt tabla ve tutucu ayakların tasarımı

9. Silindirik kam mekanizması ile hareket ettirilecek olan zoom merceği grubunun konumlandırılması Şekil 25'de gösterilmiştir. Hareket için gerekli olan bağlantı ara parçaları tasarlanmıştır.

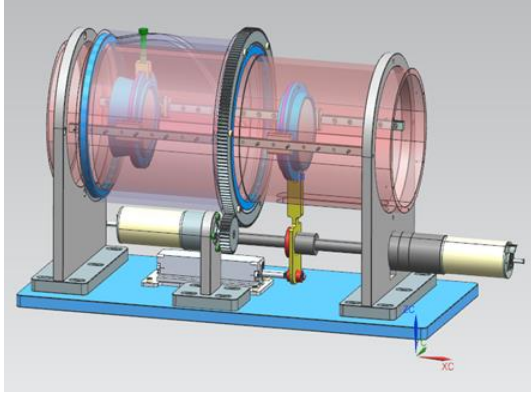
10. Hareketsiz merceği grupları için ön ve arka kapak tasarlanarak Şekil 26'da gösterilmiştir, bağlantı ara yüzleri oluşturulmuştur.



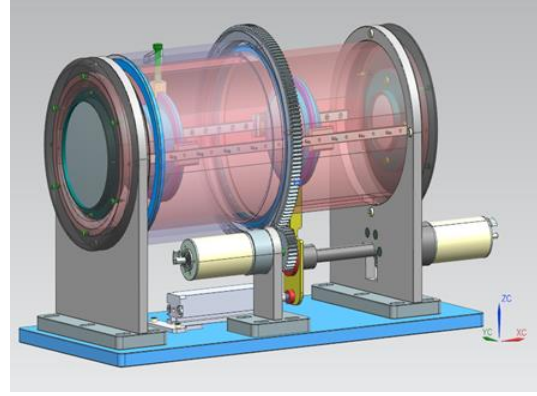
Şekil 23. Dişli tasarımının ve zoom motorunun konumlandırılması



Şekil 24. Odak merceği grubu hareketi için seçilen motorun konumlandırılması



Şekil 25. Zoom mercek grubunun konumlandırılması

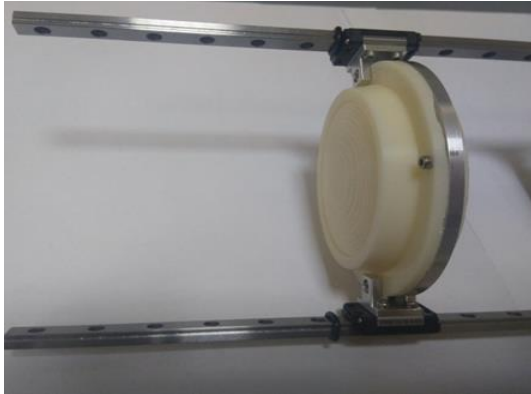


Şekil 26. Hareketsiz mercek gruplarının konumlandırılması

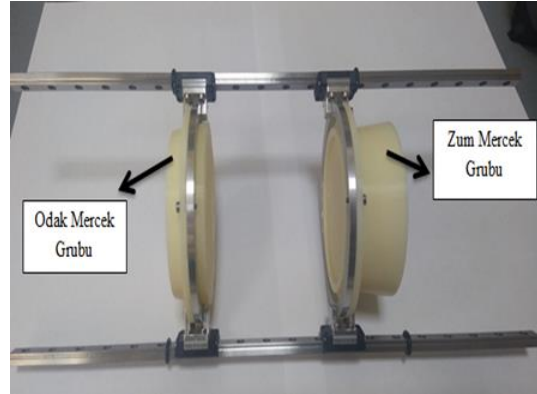
3. Sistemin Bütünlenmesi

Tasarımı yapılan parçaların üretimi için malzeme seçimi yapılmıştır. Sistemi taşıyacak olan parçalar için mukavemet açısından alüminyumdan üretimi yapılırken, diğer parçalar için sanayi plastikleri tercih edilmiştir. Sanayi plastikleri tercih edilerek sistemin daha düşük ataletle sahip olması hedeflenmiştir. Dişlilerin üretimi için fiziksel, kimyasal, mekanik ve birçok özelliği itibarıyla mükemmel bir malzeme olan poliasetal (delrin) tercih edilirken, mercek grupları ve kam gibi parçalar içinde, tok ve rijit bir malzeme olmasının yanında yüksek darbe dayanımının olması, kolay işlenebilmesi ve hafif bir malzeme olmasından dolayı akrilonitril bütadiyen stiren (ABS) tercih edilmiştir.

Şekil 27’de ABS malzemeden üretilen odak mercek grubunun, alüminyumdan üretilen ara parçalar ile doğrusal yatağa bütünlenmesi gösterilmektedir. Şekil 28’de gösterildiği gibi sistemin bütünlenmesine, üretilen hareketli mercek gruplarını doğrusal yatağa montajı ile başlanmıştır,



Şekil 27. Odak mercek grubun bütünlenmesi

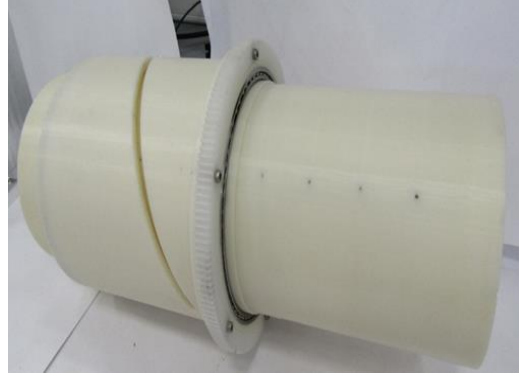


Şekil 28. Hareketli mercek gruplarının bütünlenmesi

Şekil 29’da verildiği gibi hareketli mercek gruplarının bütünlendiği doğrusal yatak, sabit kısma bütünlenmiştir. Sabit kısmın üstünde bulunan silindirik kam, ince kesit rulmanlar ve delrin malzemeden üretilen dişli parçası bütünlenmiştir ve Şekil 30’da bütünlenmiş hali gösterilmektedir.

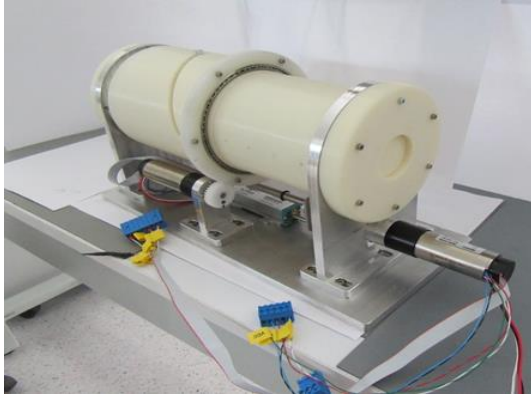


Şekil 29. Doğrusal yatağın bütünlmesi

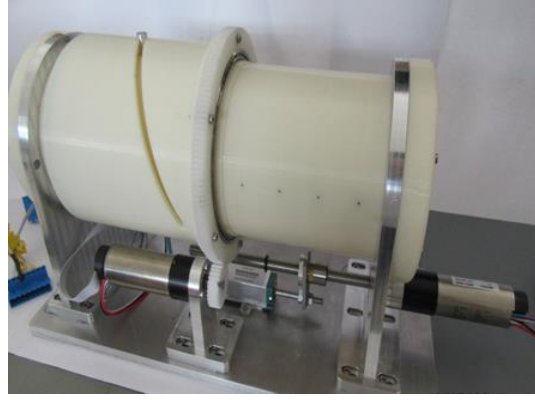


Şekil 30. Silindirik kamın bütünlmesi

Değişken odaklı görüntüleme sisteminin yerleştirileceği alt tabla ve parçalar tasarıma uygun olarak bütünlmiştir. Sistemin bütünlmüş halinin farklı açılardan Şekil 31- 32'de gösterilmiştir.



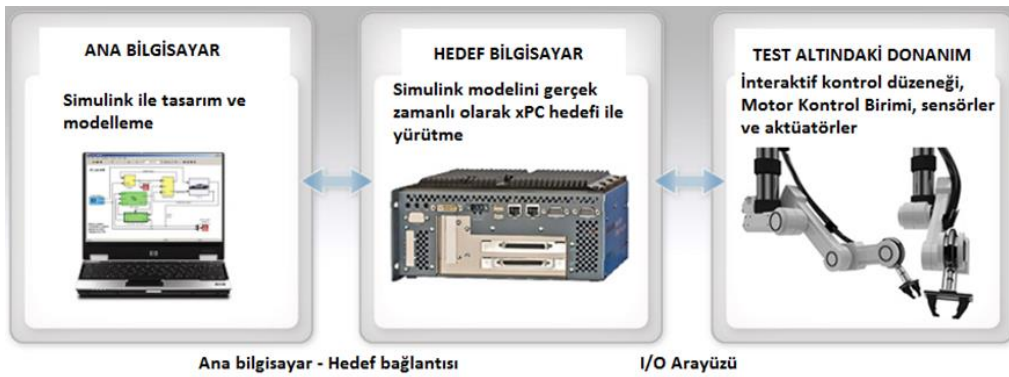
Şekil 31. Sistemin bütünlmesi



Şekil 32. Sistemin bütünlmesi

4. Sistemin Matlab Destekli Manuel Olarak Çalıştırılması

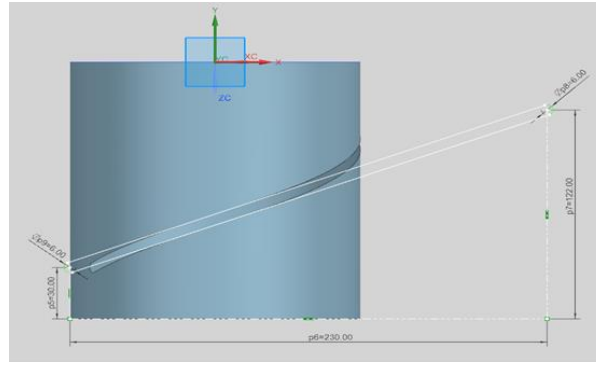
Sistem tasarımının kontrolü Matlab® üzerinden simulink real time test® ile yapılmıştır [19]. Simulink gerçek zaman testin temel yapısı Şekil 33'te gösterilmektedir.



Şekil 33. Simulink® gerçek zamanlı test düzeneği **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**

Bu yöntem temel anlamda simulink üzerinden hazırlanan program ile gerçek sistemi kontrol etmek için kullanılmaktadır. Simulink' de hazırlanan komutlar ile sistem çalıştırılıp; yine aynı şekilde sistem üzerinde bulunan algılayıcılardan gelen verilen okunarak veri toplanarak gerekli çalışmalar yapılmaktadır. Bu makale kapsamında, tasarımı kontrol için hazırlanan gerçek zamanlı test sisteminde NI 6289 veri okuma kartı kullanılarak enkoder değerleri elde edilmiştir.

Kam mekanizması tasarlanırken Şekil 34'te gösterildiği gibi tasarlanmıştır. Kamın hareket ettiği açı aralığında doğrusal hareket eğrisi tanımlanarak tasarım yapılmıştır. Bu tasarımın amacı Tablo 1'de verilen zoom merceğ grubunun konumlarını kapsayan bir hareket aralığında kam mekanizması oluşturmaktır. Burada 122 mm olarak verilen ölçü, merceğ grubunun doğrusal olarak alması gereken yol miktarını kapsamaktadır. 230 mm değeri kamın kaç derecede dönüş yaparak bu hareketi sağlayacağını gösterir, bu değer sistemin genel yapısına göre belirlenmiştir. Tasarlanan kamın dış çapı 140 mm'dir. Bu değer, kam içerisine yerleştirilecek merceğ gruplarını kapsayacak şekilde belirlenir. 230 mm ile kamın dönüş açısı arasındaki ilişki denklem (1) ve (2) 'de gösterilmiştir.

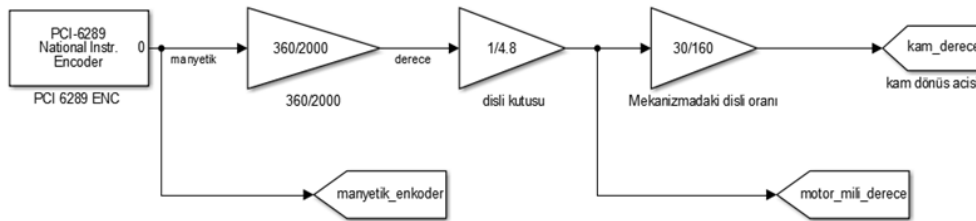


Şekil 34. Kam mekanizmasının tasarımı

$$\text{tur} = \frac{230}{2 \times \pi \times r} = \frac{230}{2 \times \pi \times 70} = 0.52 \quad (1)$$

$$\text{kam toplam dönüş açısı} = \text{tur} \times 360 = 0.52 \times 360 = 187.2^\circ \quad (2)$$

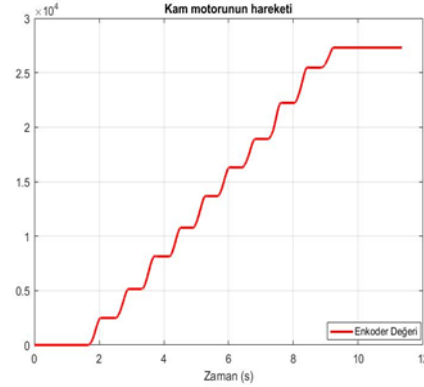
Zoom mekanizmasındaki motora akım verilmeden, sadece enkoder okuyarak kam hareketi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem yapılırken Şekil 35'te gösterilen model kullanılmıştır, motorda bulunan dişli kutusu aktarma oranına ve değişken odaklı sistem tasarımında bulunan dişli aktarma oranına dikkat edilmiştir.



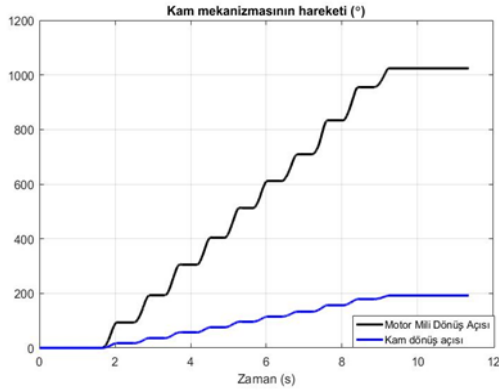
Şekil 35. Kam mekanizmasının doğrulanması

Şekil 35'de gösterilen model kullanılarak, kam mekanizması manuel olarak çalıştırılıp deneysel olarak Şekil 36-38'de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir, ayrıca kam mekanizmasının tasarlanan hareketi gerçekleştirdiğinde yarım tur döndüğü deneysel olarak gözlemlenmiştir. Şekil 35'de gösterilen modelde "manyetik_ enkoder" adıyla tanımlanan kam motoru enkoderinin saydığı değer Şekil 36'da gösterilmektedir. Şekil 35'de gösterilen modelde "motor_mili_derece" ve "kam_derece" adıyla tanımlanan motor milinin ve kamın dönüş açısı derece cinsinden

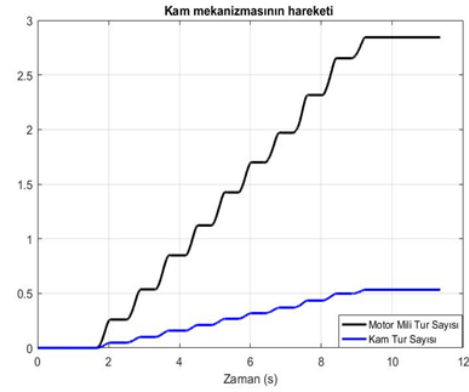
Şekil 37’de gösterilmiştir. Gözlemlenen görüş açıları ile ölçülen görüş açılarının kıyaslanması için, ölçülen görüş açıları 360’a bölünerek tur cinsinden karşılığı bulunmuştur ve Şekil 38’de gösterilmiştir.



Şekil 36. Enkoderin saydığı değer

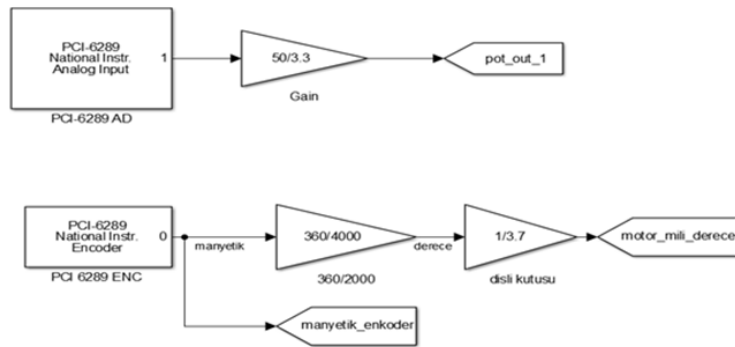


Şekil 37. Dönüş açıları

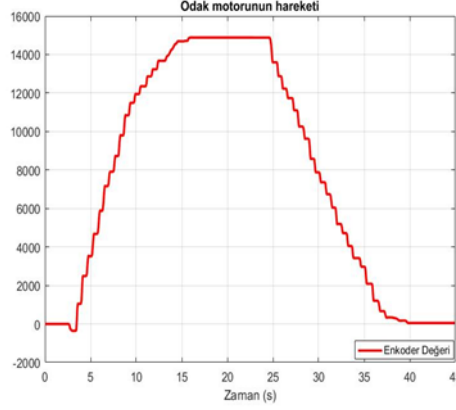


Şekil 38. Tur sayısı

Odak mekanizmasında kullanılan motorun özelliklerinde tur başına ilerleme miktarı 2 mm olarak belirtilmiştir. Bu hareketi ölçmek için odak mekanizmasına bağlı olan doğrusal potansiyometre kullanılmıştır. Şekil 39’da gösterilen ve motor dişli kutusu oranlarını içeren model çalıştırılarak, deneysel olarak manuel bir tur motor hareket ettirilip doğrusal potansiyometredeki konum değişimine bakılmıştır. Şekil 39’da gösterilen modelde “manyetik_enkoder” adıyla tanımlanan odak motoru enkoderinin saydığı değer Şekil 40’da gösterilmektedir. Şekil 39’da gösterilen modelde “motor_mili_derece” adıyla tanımlanan odak motorunun dönüş açısının derece cinsinden karşılığı tur cinsine çevirilerek Şekil 41’de gösterilmiştir. Şekil 39’da gösterilen modelde “pot_out_1” adıyla tanımlanan doğrusal potansiyometreden okunan konum değeri Şekil 42’de gösterilmiştir. Şekil 40-42’deki grafiklerden de görüldüğü üzere motorun hareketine karşılık 2 mm’lik konum değişimi sağlanmıştır.



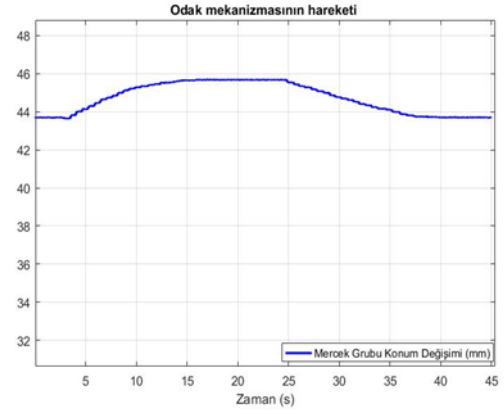
Şekil 39. Odak mekanizmasının doğrulanması



Şekil 40. Odak motoru enkoder değeri



Şekil 41. Odak motor mili tur sayısı



Şekil 42. Doğrusal potansiyometre ile okunan konum değişimi

5. Tartışma ve Sonuç

Bu makale kapsamında optik görüntüleme sistemleri için değişken odaklı sistem tasarımı, üretimi ve Matlab destekli manuel tasarım doğrulaması yapılmıştır. Bu bağlamda konuyla ilgili yapılmış çalışmalar incelenerek sistemin temel mekanizma yapısına karar verilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda zoom ve odak mekanizması için iki ayrı motor ve mekanizma kullanıldığı gözlemlenerek tasarım kararları verilmiştir. Mekanizma seçiminde ise zoom sistemleri için silindirik kam mekanizmalarının kaçınılmaz olduğu gözlemlenmiş ve vida mekanizmalarının da tercih edildiği uygulamalar olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda zoom mercekleme grubu için silindirik kam mekanizması, odak mercekleme grubu için vida mekanizması tercih edilmiştir. Sistem seviyesinde tasarım yapıldığı için sistemi oluşturan motor, rulman ve doğrusal yatak gibi parçaların sistemde konumlandırılmasına önem verilmiştir. Son olarak Sistem tasarımı tamamlandıktan sonra tasarım doğrulaması için Matlab® üzerinden simulink real time test® ile yapılmış ve hedeflenen sonuçlar alınmıştır. Bunlarla birlikte tasarımı yapılan sistem, endüstride bulunan sistemlerden üstün özelliklere sahip değildir ancak bu sistemlerin temel yapısını anlatmaktadır ve geliştirmeye açıktır.

Kaynaklar

- [1] Genç E, POLAT M. Optik Görüntüleme Sistemleri için Değişken Odaklı Sistem Tasarımı. TOK2018 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı. 12-14 Eylül 2018. pp. 391-394.
- [2] Paul R, Yoder Jr. Opto-Mechanical Systems Design. Üçüncü Baskı. Taylor & Francis Group. 2006.
- [3] Li Y, Hu C, Chen J, Haihuna F, Wang Y. and Lu F. Optical and Mechanical Design of 10X Zoom Lens for Low-Vision Devices. Proc. of SPIE,2012, Vol. 8419 84190R.
- [4] Sanson MC, Cornell J. MWIR Continuous Zoom with Large Zoom Range. Proc. of SPIE,2010, Vol. 7660 76601X-1.
- [5] Sanson MC, Cornell J, Roy B, Herbert S, Woodard K, Sawyer K. Development of MWIR Continuous Zoom with Large Zoom Range. Proc. of SPIE,2011. Vol.8012 80122F.
- [6] Yan-qin S, Jing-xu Z, Tian-yu L, Fei Y, Fu-guo W. Mechanism Design of Continuous infrared Lens. Proc. of SPIE,2013. Vol. 8907 890735.
- [7] Gao Y, Yang Z, Zhao W, Jiang B, Li D, Li M. Optimum Design of Cam Curve of Zoom Systems Based on ZEMAX. Optik 124.2013. pp. 6358-6362.
- [8] Mann A. Developments and trends in IR Zoom Lenses from 2000 to 2010. ,Proc. of SPIE,2012. Vol. 8488 848805.
- [9] Sever AÇ. Preparation of a Computer Aided Design Package for Opto-mechanical Design of Forward Looking Infrared Systems. Orta Doğu Teknik Üniversitesi. 2001.
- [10] <http://www.ophiropt.com> /Erişim: 01-May-2018
- [11] Aslan SH, Anıl D. Sürekli Odaklı 3–5 µm Bandında FLIR Optik Tasarım Çalışması. SAVTEK 2014. Savunma Teknolojileri Kongresi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara.
- [12] DiBiase D, Bardis J, Billing R. A Zoom Lens for the MSL Mast Cameras: Mechanical Design and Development. Proceedings of the 41st Aerospace Mechanisms Symposium. Jet Propulsion Laboratory. May 16-18, 2012.
- [13] Koyunbakan M. Bilgisayar Destekli Kam Tasarımı ve Örnek Bir Kam Mekanizmasının İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya , Türkiye, 2006.
- [14] <http://ocw.metu.edu.tr/> Erişim: 05-Haz-2018
- [15] Robert L, Norton PE. Cam Design and Manufacturing Handbook. Industrial press,2009.
- [16] Söylemez E. Mekanizma Tekniği. 4.Baskı, Birsen Yayınevi, 2017.
- [17] Akkurt M. Makine Elemanları. Üçüncü Baskı, Birsen Yayınevi.
- [18] Paul E. Sandin. Robot Mechanisms and Mechanical Devices. McGraw-Hill Companies,2003.
- [19] <https://www.mathworks.com/products/simulink-real-time.html> / Erişim: 05-Tem-2018

Katı Yakıtlı Bir Kazanda Isı Transferi İyileştirmeleri ve Basınç Farkının Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi

Aydın ÇITLAK^{1*}, Ahmet Beyzade DEMİRPOLAT¹, Mehmet DAŞ²

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

² Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İliç Dursun Yıldırım Meslek Yüksekokulu, İliç, Erzincan, Türkiye

*¹ acitlak@firat.edu.tr, ² mdas@erzincan.edu.tr

(Geliş/Received: 07/01/2019;

Kabul/Accepted: 02/08/2019)

Öz: Bu çalışmada, duman borularının çapı 42 mm, baca çapı 230 mm ve su giriş ve çıkış çapları 65 mm olan 125.000 kcal/h ısı kapasiteli katı yakıtlı kazanda, 4 farklı tipte şerit türbülötör kullanılarak ısı transferinin iyileştirilmesi incelenmiştir. Kazandaki duman borularının tümüne yerleştirilen türbülötörlerle deneyler yapılmıştır. İlk olarak içerisine türbülötör yerleştirmeden deneyler yapılmıştır. İkinci adımda ise duman boruları içerisine türbülötörler yerleştirilerek her tip için ayrı ayrı deneyler yapılmış ve ısı transferi hesaplanmıştır. Deneylerde fan debisi damper yardımıyla değiştirilerek Reynolds sayısı 1800 ile 2800 arasındaki değerlerde hesaplamalar yapılmıştır. Isı transferi iyileştirmesi için yapılan türbülötörlü deneyler, türbülötörsüz deneylere göre ısı transferinde en az % 44, en fazla % 82 oranında artış sağlanmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen basınç farkı değerleri için yapay sinir ağı (YSA) kullanılarak tahminsel bir model elde edilmiştir. Elde edilen modelin hata analizleri yapılmış ve basınç değerlerini başarılı bir şekilde tahmin ettiği gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Isı transferi, türbülötör, basınç farkı, yapay sinir ağı

Heat Transfer Improvements in a Solid Fueled Boiler and Modeling of Pressure Differences by Artificial Neural Network

Abstract: In this study, the improvement of heat transfers by using 4 different types of strip turbulators in solid fuel boiler was investigated. The smoke pipes of the boiler used are 42 mm in diameter, the chimney diameter is 230 mm and the water inlet and outlet diameters are 65 mm and the heat capacity is 125,000 kcal / h. Experiments have been carried out with turbulators placed in all smoke pipes in the boiler. Firstly, experiments were carried out without inserting a turbine. In the second step, turbulators were placed in smoke pipes for each type of experiments and heat transfer was calculated. In the experiments, the fan flow rate was changed with the help of damper and the Reynolds number was calculated between 18000 and 28000. For turbine heat exchanger experiments, turbulence tests were carried out and heat transfer was increased by at least 15% and maximum 82%. As a result of the calculations, a predictive model was obtained by using artificial neural network (ANN) for the pressure difference values. The obtained model has been analyzed for error and has been shown to predict the pressure values successfully.

Key words: Heat transfer, turbulator, pressure difference, artificial neural network

1. Giriş

Isı değiştiricilerinde amaç maksimum ısı çekebilmeğdir. Bu da ısı transferinin iyileştirilmesiyle mümkündür. Isı transferini iyileştirmek için kullanılan aktif veya pasif yöntemde amaç ısı tasınım katsayısını artırmaktır. Isı tasınım katsayısını artırmanın en iyi yolu türbülansın artırılmasıdır. Çünkü ısı geçişi türbülanslı akışta fazla, laminar akışta daha az olmaktadır. Laminar akışta ısı geçişinin azalmasının nedeni akışkan partiküllerinin katmanlar halinde birbiri üzerinden akması sonucu ısı geçişi olumsuz etkilenmektedir. Türbülanslı akışta ise türbülans sebebiyle katmanlar oluşmamakta ve akışkan parçacıkları arasındaki ısı geçişi artmaktadır. Bilindiği gibi tam gelişmiş akışta oluşan sınır tabaka ve alt sınır tabaka içerisindeki hız dağılımı, akışkanın tasınım katsayısını önemli oranda değiştirmektedir. Türbülans düzeyi arttıkça ısı geçişi de artacaktır. Özellikle endüstriyel tip kazanlarda ve kalorifer kazanlarında ısı transferinin, dolayısıyla kazan veriminin artırılması için türbülötör (türbülans üretici) kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Türbülötörlerden elde edilen sonuçların yıllık enerji

* Sorumlu yazar: acitlak@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-6837-4178, ¹ 0000-0003-2533-3381, ² 0000-0002-4143-9226

maliyetlerinin düşürülmesi açısından ciddi boyutlarda olması hem mühendisleri hem de imalatçıları yeni türbülötör modelleri arayışı içerisinde itmiştir. Böylece bu alanda çalışmalar hız kazanmış ve en uygun türbülötör geometrisi ve malzemesi için gerek deneysel gerek sayısal birçok çalışmalar yapılmıştır [1-2].

Bir boru içindeki ısı transferi ve türbülanslı hava akışındaki girdabın etkisi deneysel olarak Sparrow ve Chaboki [3], tarafından incelenmiştir. Girdap olmayan boru akışındaki ısı transferi ile karşılaştırdıklarında girdap eleman içeren borulardaki ısı transferinin dikkate değer şekilde daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir. Verma ve ark., [4], çalışmalarında oluklu ve oluklu olmayan borular kullanılarak önerilen fabrikasyon ısı değiştiricinin ısı transfer performansını karşılaştırmışlardır. Boruların boyu ve çapı sırasıyla 25.4 mm ve 2000 mm'dir. Yazarlar ayrıca ısı transfer katsayısını, Nusselt sayısını ve Reynolds sayısını tahmin etmek için yapay sinir ağını (YSA) modellemişlerdir. Yazarlar maksimum ısı geçiş katsayısı ve Nusselt sayısı değerini sarmal şekilli oluklu boru kullanılmış ısı değiştirgecinde elde etmişlerdir. Neuber ve ark., [5], türbülanslı saf hidrojen difüzyon alevi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yakıcıda türbülanslı alevin modellenmesinde standart k-ε modeli kullanmışlardır ve bu modelin iyi akış tahminleri verdiğini kaydetmişlerdir. Boru girişinde düzgün sıralı enjektörlü türbülans üretici bulunan ısı değiştiricilerinde, enjektörlerin ısı geçişi ve basınç düşümüne etkisi deneysel olarak Yıldız ve Çakmak [6], tarafından incelenmiştir. Çeşitli kanatçık düzenlemeleri kullanılarak, hava soğutmalı kondenselerdeki ve sıvılı soğutuculardaki ısı transferi artışları Lozza ve Merlo [7], tarafından araştırılmıştır. Çalışmada 15 adet aynı tür boru fakat değişik kanatçık yüzey geometrisine (düz veya dalgalı) sahip kanatçıklar kullanılmıştır. Kullanılan kanatçıkların ısı değiştiricisinde etkili olduğu görülmüştür. Yıldız ve ark. [8], eş merkezli çift borulu bir ısı değiştiricisine yerleştirilen kıvrımlı şeridin ısı transferine ve basınç kaybına etkisi incelenmiştir. Deneyler hem eş yönlü, hem de karşıt akış durumları için yapılmıştır. Çift borulu hava soğutmalı sistemde ısı transferi, tüp içerisine kıvrımlı şerit şeklinde türbülötör yerleştirilerek %100 artırılmıştır. Zaherzadeh ve Jagadish [9], dönmeli akış üreticisi olarak kendi eksenini etrafında dönen palet karıştırıcılar kullanmışlardır. Araştırmacılar, iki disk arasına düz paletler yerleştirerek elde ettikleri çark şeklindeki dönmeli akış üreticilerini boru girişine yerleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre dönmeli akış üreticisinin kullanılması ile ısı transferinin %80 civarında arttığı gözlemlenmiştir.

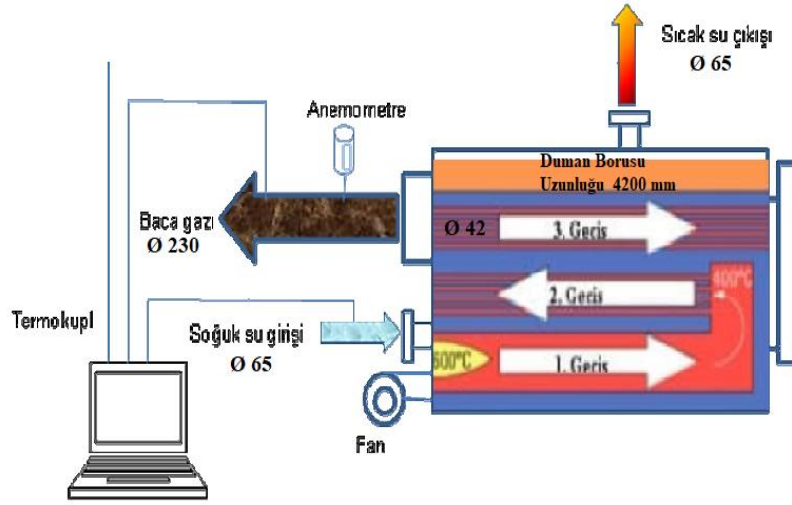
Isı transferi araştırmaları için birçok veri ve formül kullanılmaktadır. Çok fazla verinin işlenmesi ve sonuç elde edilmesi oldukça zaman alıcı ve zahmetli bir iştir. Bu bakımdan birçok veriyi işlemek için çeşitlik hesaplamalı zekâ yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler içerisinde en yaygın olanı yapay sinir ağlarıdır. Yapay sinir ağları ısı transferi hakkında yapılan birçok çalışmaya uygulanmıştır. Mayro Rico ve ark. [10], oluklu ve iç tüpleri olan ve gıda endüstrisinde tipik olarak kullanılan bir üçlü eş merkezli borulu ısı değiştiricideki ısı transfer oranını ve basınç düşüşünü doğru bir şekilde tahmin edebilen bir Yapay Sinir Ağları (YSA) modelini oluşturmuşlardır. YSA modelini, 181 deneysel veri kümesini içeren bir veri bankası kullanılarak geliştirmiş ve doğrulamışlardır. YSA konfigürasyonu, sırasıyla birinci ve ikinci katmanda 15 ve 21 nöronlu iki gizli katmanı olan bir ağdan oluşmuştur. YSA sonuçlarının, deneysel verilerle iyi bir uyum içinde olduğu, mutlak ortalama nispi sapmanın (AARD), ısı transfer katsayısı için % 1.91'in altında ve basınç düşüşü için sırasıyla % 3.82'nin altında olduğu bulunmuşlardır.

Bu çalışmanın amacı, üretilen türbülötör tiplerinin katı yakıtlı bir kazandaki ısı transferi üzerindeki etkilerini araştırmak ve ısı transferini iyileştirmektir. Bu amaçla, duman borulu kazanlarda boru içerisine değişik tipte türbülötörler geliştirilip yerleştirilmesi suretiyle ısı transferindeki artış ve basınç kaybı araştırılmıştır. Bu şekilde farklı türbülötörlerin ısı transferine etkileri incelenmiştir. Boru girişine ve boru boyunca türbülötörler yerleştirilerek sönmülenen ve sönmülemeyen akışlar için sonuçlar elde edilmiştir. Sisteme gerekli su ve sıcak dumanın verilmesi için gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Duman borusu içinden çekilen hava akımının elde edilmesi için gerektiğinde bir fan kullanılmıştır. Boru yüzeyindeki ve akışkan sıcaklıkları termo elemanlar ile bir kanal seçici ve sıcaklık ölçerler yardımıyla okunmuştur. Sistem üzerinde belirli noktalarda basınç değerleri okunarak basınç kayıpları belirlenmiştir. Elde edilen basınç kayıp değerleri için yapay sinir ağı (YSA) kullanılarak tahminsel bir model geliştirilmiştir. Tahminsel modelin geçerliliğini belirlemek için, ortalama mutlak hata (MAE), kök ortalama karesel hata (RMSE), bağıl mutlak hata (RAE) ve kök bağıl mutlak hata (RRAE) analizleri yapılmıştır. Bu çalışmanın; duman borulu kazanların basınç kayıpları ve tasarımı hakkında yapılacak çalışmalara, YSA yönteminin kullanılarak bazı termofiziksel özellikleri önceden tahmin etmek adına örnek teşkil edebileceği beklenmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deney Seti

Deneysel çalışmalar, Malatya Mimsan Ltd. Sti. kazan fabrikasında kurulan deney düzeneği ile yapılmıştır. Deney düzeneğinin şematik görünüşü Sekil 1. 'de verilmiştir.



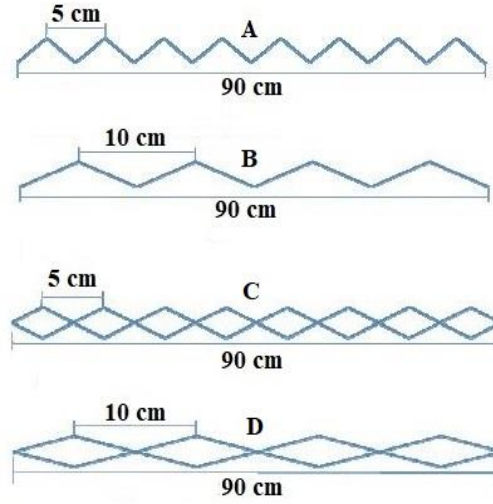
Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü.

Deney düzeneğinde; sıcak su elde etmek için katı yakıtlı Mimsan marka 125.000 kCal/h kapasiteli 3 geçişli bir kazan, çeşitli noktalarda sıcaklık ölçen çok girişli bilgisayar kontrollü sıcaklık ölçer, baca gazı hızı için anemometre ve basınç farkı için elektronik fark basınç cihazı kullanılmıştır. Kazanın duman borularının çapı 42 mm, baca çapı 230 mm ve su giriş çıkış çapları 65 mm' dir. Su giriş-çıkışı ve baca gazına yerleştirilen T tipi 0.5 mm teflon izoleli bakır (Cu-Cons) ısıl çiftlerle ölçülmüştür. Sıcaklık ve basınç ölçümleri için 32 kanallı ELİMKO marka dijital tarayıcı kullanılmıştır. Bacaya takılan anemometre ile baca gazı hızı ölçülmüştür. Ayrıca ısıtılan suyun deney sisteminde dolaşması için sirkülasyon pompası ve dolanan suyun debisini ölçmek için flanşlı tip manyetik rotametre boruya takılmıştır. Isı transferini attırmanın yollarından biri sistemde duman boruları içine türbülötörler yerleştirmektir. Yapılan deneylerde 4 farklı tipte toplam 8 türbülötör kullanılmıştır. Ayrıca tüm Re sayıları için türbülötörsüz olarak da ölçüm alınmıştır. Yakıt olarak ceviz boy Rus linyit kömürü kullanılmıştır. Deney setine ait resimler Şekil 2 ve Şekil 3' de verilmiştir.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan kazan ve otomasyon sistemi

Türbülötörler 2 mm lik sacdan üretilmiştir ve ısıtılarak preste şekillendirilmiştir. Türbülötörler kıvrımlı ve dalgalı olmak üzere iki tip üretilmiştir. Tam boy türbülötörlerin boyu 90 cm dir. Deneysel çalışmada kullanılan türbülötörler tam boy olarak imal edilmiş olup bu türbülötörler kullanılarak deneysel veriler elde edilmiştir. (Şekil 3).



Şekil 3. Türbülötör tipleri (A: Sık dalgalı tam boy, B: Seyrek dalgalı tam boy, C: Sık kıvrımlı tam boy, D: Seyrek kıvrımlı tam boy)

2.2. Hesap Yöntemi

Kazanda kullanılan fan, damper yardımıyla 1650 m³/h, 1050 m³/h ve 700 m³/h hava debisi sağlamaktadır. Kazan duman borusu sayısı 34 adettir. D_i çapı 42 mm olan her bir duman borusundan geçen hacimsel debi, debinin duman borusu sayısına oranıyla tespit edilmiştir. Re sayısı Denklem (1) yardımıyla bulunmuştur [11].

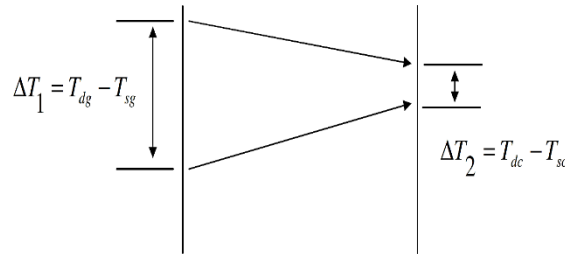
$$Re = \frac{U \cdot D_i}{\nu} \quad (1)$$

Denklem (1)'de ν havanın kinematik viskozitesi, D_i borunun iç çapı, U duman borusu içindeki ortalama hızdır. Çalışmada Re=18000-28000 aralığında 3 farklı debide ölçümler yapılmıştır.

Boru içindeki sıcak duman gazından oluşan ve boru dış yüzeyindeki suya geçen ısı miktarı (Q₁) Denklem (2)'den faydalanarak bulunmuştur [12]. Bu ısı miktarı aynı zamanda boru içindeki suyun ısı miktarına (Q₂) eşittir.

$$Q_1 = Q_2 \quad Q_1 = h \cdot A \cdot \Delta T_{Log} \quad (2)$$

Duman boruları logaritmik sıcaklık farkı değerlerinin bulunmasında Şekil 4.'de ki hesaplamalardan ve Denklem (3)'den faydalanılmıştır.



Şekil 4. Logaritmik sıcaklık farkı

Şekil 4.'de; T_{dg}= Dumanın buruya giriş sıcaklığı (Ön sandık sıcaklığı), T_{dc}= Dumanın burudan çıkış sıcaklığı (Arka sandık sıcaklığı), T_{sg}=Suyun kazana giriş sıcaklığı, T_{sc}=Suyun kazandan çıkış sıcaklığı olarak verilmektedir.

Logaritmik sıcaklık farkı ise Denklem (3) yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\Delta T_{\log} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (3)$$

Denklem (2) de h ısı tasınım katsayısını, A akısın geçtiği borunun yan yüzey alanını(ısıl alanını) göstermektedir. Boru içindeki suyun ısı miktarı (Q₂), Denklem (4) yardımı ile bulunur.

$$Q_2 = \dot{m}_{su} C_{p_{su}} (T_{sg} - T_{sç}) \quad (4)$$

Denklem (4)'de \dot{m}_{su} , suyun kütleel debisi (kg/sn), $C_{p_{su}}$ suyun özgül (J/kgK) ısısıdır. Logaritmik sıcaklık farkı elde edildikten sonra enerji bilânçosu ile ortalama ısı transfer katsayısı hesaplanır. Denklem (5) yardımıyla kazanılan ısının yüzey alanındaki sıcaklık farkından dolayı oluşan ısıya eşitlenmesiyle h bulunur.

$$Q_1 = Q_2$$

$$h.A.\Delta T_{\log} = \dot{m}_{su} C_{p_{su}} (T_{sg} - T_{sç}) \quad (5)$$

Denklem (5)'te ki h katsayısı Denklem (6) yardımıyla hesaplanır.

$$h = \frac{(\dot{V} \cdot \rho)_{su} C_{p_{su}} (T_{sg} - T_{sç})}{(\pi D_i L) \Delta T_{\log}} \quad (6)$$

Denklem (6)'da \dot{V} hacimsel debi, A duman borusu yan yüzey alanı, D_i duman borusunun iç çapıdır. Denklem (6)'da bulunan h ısı transfer katsayısı (W/m²K) yardımı ile Nusselt sayısı Denklem (7) yardımıyla hesaplanır.

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (7)$$

Denklem (7)'deki h ısı tasınım katsayısı, L borunun uzunluğu ve k ise havanın ısı iletim katsayısıdır. Türbülötörler sayesinde Nu sayısındaki artış ısı transferindeki artışı olduğunu göstermektedir. Ancak türbülötörler yapısından dolayı akışa direnç oluşturmakta bu da basınç kaybının artmasına sebep olmaktadır. Bu amaçla ısı kazanç oranının tespit etmek için net ısı kazanç ve ek basınç kaybı miktarının belirlenmesi gereklidir. Isıl Kazanç oranını tespit etmek için Net ısı kazancının ek basınç kaybına oranı olan ilgili Denklem (8) uygulanabilir [13].

$$\frac{Q_{NIK}}{\Delta P_K} = \frac{Q_T - Q}{\Delta P_T - \Delta P} \cdot \frac{1000}{\dot{V} \cdot 9,81} \quad (8)$$

Denklem (8)'de Q_T türbülötörlü deneylerde aktarılan ısı miktarı, Q türbülötörsüz yapılan deneyde aktarılan ısı miktarıdır. P_T türbülötörlü deneylerde oluşan basınç farkı, P türbülötörsüz deneylerdeki basınç farkını göstermektedir. \dot{V} hacimsel debidir. Denklem (8) de boyutsuz ısı kazanç değeri elde edilir.

Isı transferi analizinde türbülötörsüz deneye göre artış olduğunu görmek amacıyla Denklem (9) kullanılarak yüzde artışlar bulunmuştur.

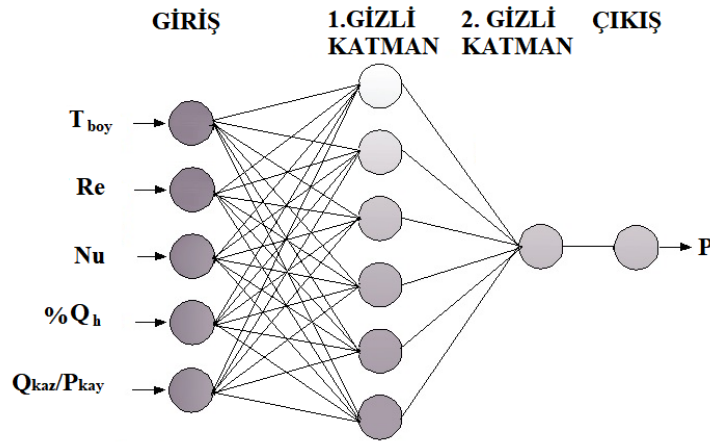
$$\% Artma = \frac{Q_T - Q}{Q} \quad (9)$$

Denklem (9)'da Q_T türbülötörlü deneylerde aktarılan ısı miktarını, Q türbülötörsüz yapılan deneylerde aktarılan ısı miktarını göstermektedir. Bu hesaplama deneylerin tüm sonuçlarına uygulanmış olup türbülötörsüz deneye göre türbülötör ile yapılan deneylerin sonuçlarında yüzde olarak artışlar elde edilmiştir.

2.3. Yapay sinir ağı

Yapay sinir ağları ya da kısaca YSA; insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. YSA, belirli değerlere dayanarak, girdi alanında olan noktaları çıktı alanında olan eş noktalara belli bir fonksiyonla bağlamaktadır [14]. Yapay sinir ağları, örüntü tanıma, tahmin etme, sınıflandırma vb. geniş uygulama alanına sahiptir. Yapay sinir ağları, insanlara benzer olarak örnekler ile öğrenirler. Bu nedenle veri seti, eğitim ve test kümesi olarak iki kısma ayrılır [15].

Sistemde, yapay sinir ağları beş giriş ve bir çıkış olarak modellenmiştir. Türbülator boyu (T_{boy}), Reynolds sayısı (R) değeri, Nusselt sayısı (Nu) değeri, ısı transferi % artış ($\%Q_h$), Isı kazanç / Basınç Kayıp oranı (Q_{kaz}/P_{kay}) değerleri giriş bilgisi olarak alınmıştır. Çıkış bilgisi olarak basınç düşüşü (ΔP) kullanılmıştır. Toplam olarak 4 katmandan oluşan modelin girdi katmanı 5 girdi için 5 nöron, birinci gizli katman 1 nöron, ikinci gizli katman için 1 nöron ve çıktı katmanı ise sadece tek bir nöron içermektedir. Oluşturulan YSA modelinin yapısı Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. YSA ağ yapısı şematik gösterimi

Basınç düşüşü değerlerinin yapay sinir ağı ile modellenmesinde MATLAB 2016a yazılımı kullanılmıştır. Bilgi kümesinde 120 adet giriş ve 24 adet çıkış bilgisi bulunmaktadır. Bu bilgilerden 100 tanesi eğitim işleminde kullanılmıştır. 44 tanesi ise test işleminde kullanılmıştır. Öğrenme algoritması olarak Feed Forward Back Propagation (ileri doğru beslemeli ve geriye yayılım) algoritması kullanılmıştır. Eğitim için Levenberg Marquardt algoritması kullanılmıştır. Elde edilen modelin geçerliliğini belirlemek için, ortalama mutlak hata (MAE), kök ortalama karesel hata (RMSE), bağıl mutlak hata (RAE) ve kök bağıl mutlak hata (RRAE) analizleri yapılmıştır. Hata analizlerinin formül ve parametreleri Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Hata Analizleri, Formülleri ve Parametreleri

Hata Analizi	Formülü	Parametreler
MAE	$\frac{ P_1 - A_1 + \dots + P_n - A_n }{n}$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer n: Toplam Veri
RMSE	$\sqrt{\frac{(P_1 - A_1)^2 + \dots + (P_n - A_n)^2}{n}}$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer n: Toplam Veri
RAE	$\frac{ P_1 - A_1 + \dots + P_n - A_n }{ A_1 - A' + \dots + A_n - A' }$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer A': Gerçek Değer Ort.
RRAE	$\sqrt{\frac{(P_1 - A_1)^2 + \dots + (P_n - A_n)^2}{(A_1 - A')^2 + \dots + (A_n - A')^2}}$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer A': Gerçek Değer Ort.

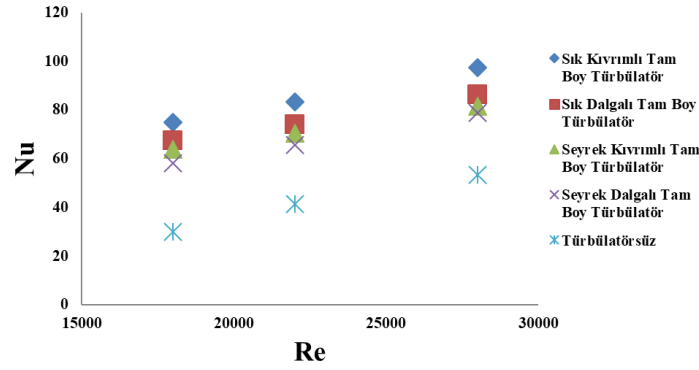
Basınç düşüşü değerleri tahmini için kullanılan YSA modelinin parametreleri ve yapısı Tablo 2.'de gösterilmiştir.

Tablo 2. YSA yapısı ve parametreleri

Gizli Katman Sayısı	2
Katmanlardaki Nöronlar	6-1
Ağırlık Değerleri	Random
Aktivasyon Fonksiyonu	Logsig
Transfer Fonksiyonu	Tangent Sigmoid Transfer
Öğrenme Fonksiyonu	Feed-Forward Backpropagation

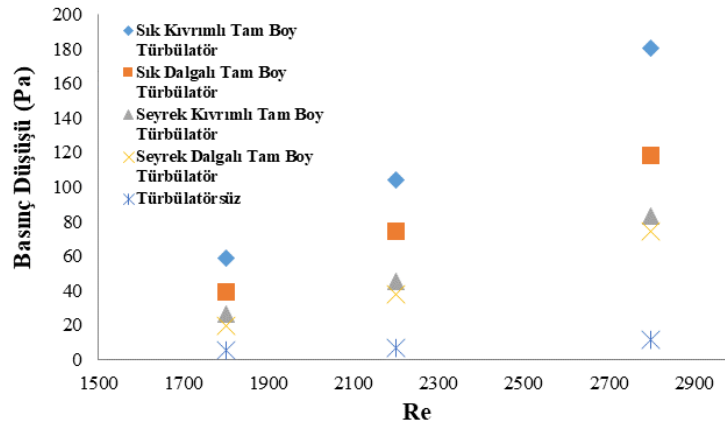
3. Bulgular

DeneySEL çalışma ve hesaplamalar sonucunda elde edilen değerlerden Re sayısı ile Nu sayısı arasındaki grafikler Şekil 6. da verilmiştir.



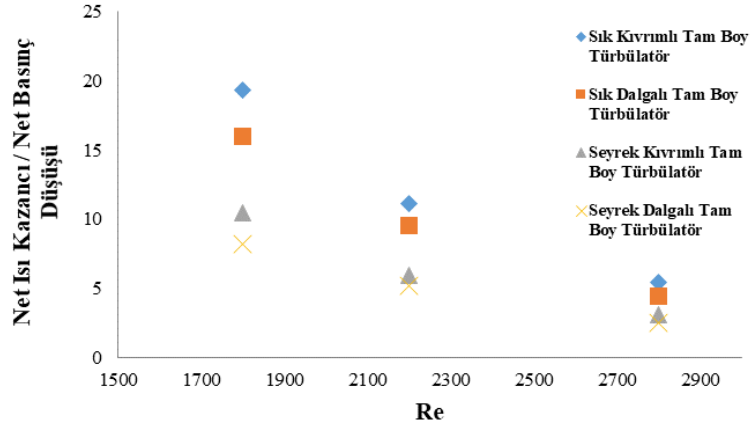
Şekil 6. Tam boy türbülatorlerin Re sayısının Nu sayısı ile değişimi

Şekil 6.' da görüldüğü gibi en yüksek Nusselt sayısı değerleri sık kıvrımlı tam boy türbülatorde elde edilmiştir. Şekil 6.' da tam boy kıvrımlı türbülatorle yapılan deneyler sonucu en yüksek Nusselt değeri 2800 Re da yapılan hesaplamalarda 97.5 olarak bulunmuştur. Kazan içerisinde türbülator kullanarak ısı transferinde iyileştirmeler sağlanmıştır. Isı transferindeki bu iyileşmenin basınç kaybı ile olan ilişkisi önemli olduğu için Re sayısının basınç farkı ile değişimi grafikleri Şekil 7.' de verilmiştir.



Şekil 7. Tam boy türbülatorlerin Re sayısının ΔP ile değişimi.

Şekil 7.'de görüldüğü gibi sık kıvrımlı tam boy türbülatorde 2800 Re de en yüksek basınç kaybı 180.3 Pa olarak bulunmuştur. Denklem 3.5'te hesaplanan değerlerden net ısı kazancının net basınç düşüşüne olan oranı ile Re sayısı değişimi Şekil 8.' de verilmiştir.



Şekil 8. Tam boy türbülatorlerde net ısı kazancı/ek basınç kaybı oranının Re sayısı ile değişimi

Türbülatorsüz yapılan deneyler ile tam boy türbülator kullanılarak yapılan ısı transferi karşılaştırması deneylerinin sonucu Tablo 3' de gösterilmiştir.

Tablo 3. Türbülatorlü deneydeki ısı transferinin türbülatorsüz deneye göre yüzde artış oranı

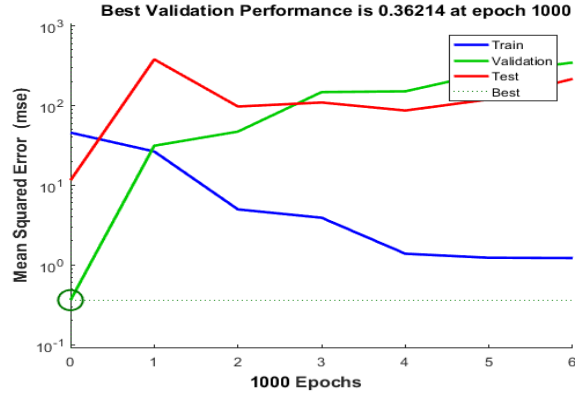
Türbülator Tipleri	Yüzde ısı transferi artış oranı
Sık Dalgalı Tam Boy Türbülator	% 63-%65
Seyrek Dalgalı Tam Boy Türbülator	% 44-%46
Sık Kıvrımlı Tam Boy Türbülator	% 82-%84
Seyrek Kıvrımlı Tam Boy Türbülator	% 53-%55

Yukarda Tablo 3' de görüldüğü gibi, % 84 lere kadar ısı transferinde iyileşmeler sağlanmıştır. Bu orandaki artış, sık kıvrımlı tam boy türbülatorde görülmüştür. En az artış % 44 ile seyrek dalgalı tam boy türbülatorde gerçekleşmiştir. Ancak en fazla basınç kaybı da yine sık kıvrımlı tam boy türbülatorde oluşmuştur. En az ısı transferi ve en az basınç kaybı artışı seyrek dalgalı tam boy türbülatorde oluşmuştur. Deney setinden elde edilen basınç düşüşü değerleri için oluşturulan YSA tahminsel modeli için hesaplanan hata analiz değerleri Tablo 4.'de gösterilmiştir.

Tablo 4. YSA yapısı hata oranları

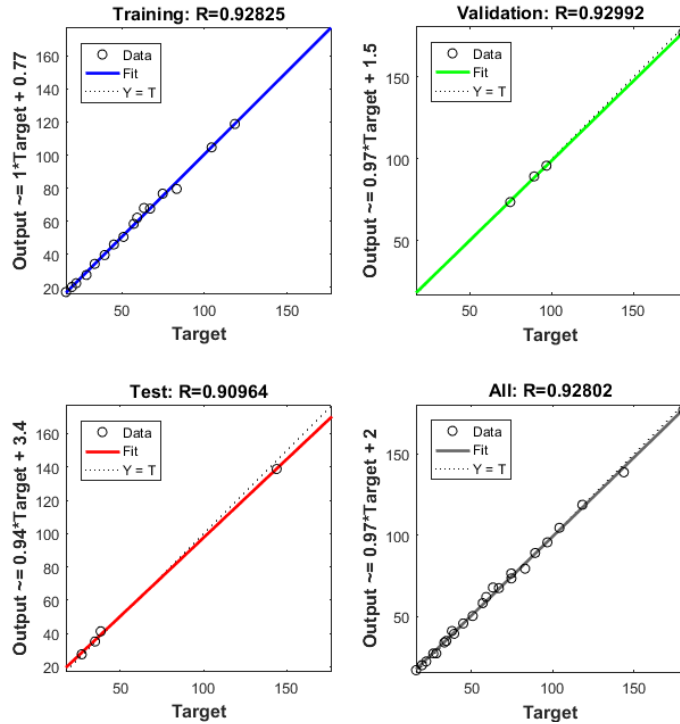
YSA hata oranları	
MAE	0.34
RMSE	0.671
RAE	18.5 %
RRAE	17.4 %

MATLAB kullanılarak oluşturulan yapay sinir ağında elde edilen modelin mean squared error (MSE) hata analizi ile eğitim (train), doğrulama (validation) ve test kümelerine ilişkin hata performansları Şekil 9.'da gösterilmiştir. Şekil 9.'da Eğitim sonucunda her iterasyondaki eğitim, doğrulama ve test kümelerine ilişkin hata değerlerinin ne şekilde değiştiğini gösteren grafik yer almaktadır. Grafikte görüldüğü üzere ağı eğitimi 1000 iterasyonda optimum sonuca ulaşmıştır.



Şekil 9. Eğitim, doğrulama ve test kümelerine ilişkin hata performansları

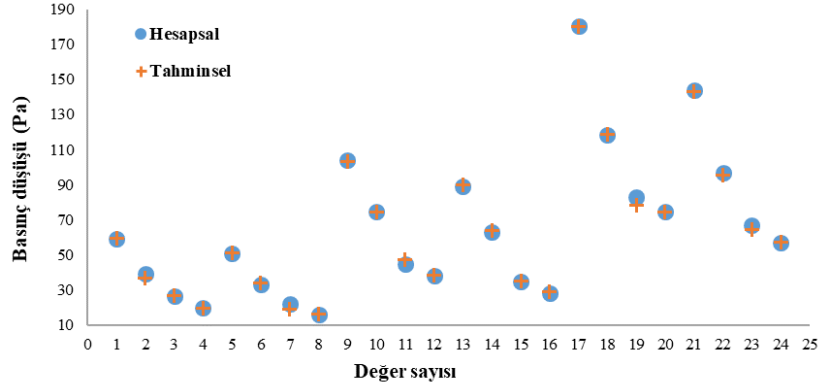
MATLAB'ta eğitim (train), doğrulama (validation) ve test kümelerine ilişkin regresyon grafiği Şekil 10.'da gösterilmiştir.



Şekil 10. MATLAB'ta öğrenme, doğrulama ve test kümelerine ilişkin regresyon grafiği

Şekil 10.'deki grafiğe göre en düşük değer 0.90964 olan test kümesine aittir. Buradan anlaşılacağı üzere öğrenme işlemi büyük başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Deney verileri ile elde edilen basınç düşüşü değerleri için YSA da tahminsel model oluşturulmuştur. Elde edilen tahminsel basınç düşüşü değerleri ile hesaplanan basınç düşüşü değerleri Şekil 11.'de gösterilmiştir. Şekil 11.'de YSA ile tahmin edilen basınç düşüşü değerleri, deneysel verilerle hesaplanan basınç düşüşü değerlerine çok yakındır.



Şekil 11. Deneysel ve tahminsel basınç düşüşü değerleri

4. Sonuçlar

Türbülantörlü deneysel çalışmaların hepsinde türbülantösüz deneylere göre ısı transferi en az % 44, en fazla % 84 oranında artış sağlanmıştır. Aynı oranda basınç kayıplarının da arttığı görülmüştür. Net ısı kazancının ek basınç kaybı oranı göz önüne alındığında tam boy türbülantörlerde sık kıvrımlı türbülantörün, en iyi sonucu verdiği görülmektedir. En iyi ısı transferinin olduğu sık kıvrımlı tam boy türbülantörde dâhil olmak üzere tüm türbülantörlerde ısı kazanc yanında basınç kaybındaki düşüşlerin az miktarda olduğu görülmektedir. Basınç düşüşü değerleri için YSA da elde edilen tahminsel modelin MAE (0.34) ve RMSE (0.671) hata analiz sonuçlarına göre başarılı bir tahmin yaptığı söylenebilir. Farklı tip türbülantör kullanılarak daha fazla veriler elde edilebilir ve bu veriler ile farklı hesapsal zeka yöntemleri kullanarak daha başarılı tahminsel modeller oluşturulabilir.

Kaynaklar

- [1] Kahraman N, Sekmen U, Çeper B, Akansu S.O. Boru İçi Akışlarda Türbülantörlerin Isı Transferine Olan Etkisinin Sayısal İncelenmesi. *Journal of Thermal Science and Technology* 2008; 28(2).
- [2] Sekmen U. Boru İçi Akışlarda Boru İçerisine Yerleştirilmiş Değişik Geometrideki Şekillerin Basınç Dağılımı, Hız Dağılımı Ve Isı Transferine Olan Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2006.
- [3] Sparrow E.M, Chaboki A. Turbulent Fluid Flow and Heat Transfer in a Circular Tube. *ASME Journal of Heat Transfer* 1984; 106, 766-773.
- [4] Verma T.N, Nashine P, Singh D.V, Singh T.S, Panwar D. ANN: Prediction of an experimental heat transfer analysis of concentric tube heat exchanger with corrugated inner tubes. *Applied Thermal Engineering* 2017; 120, 219-227.
- [5] Neuber A. Finite Rate Chemistry and NO Molefraction in Non-Premixed Turbulent Flames. *Combustion and Flame* 1998; 113, 198-211.
- [6] Çakmak G, Yıldız C. Konsantrik ısı değiştirgeçlerine yerleştirilen enjektörlü elemanların optimizasyonu, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2003; 15(4),589-600.
- [7] Lozza G, Merlo U. An Experimental investigation of Heat Transfer and Friction Losses of Interrupted and Wavy Fins for Fin-And-Tube Heat Exchangers. *International Journal of Refrigeration* 2001; 24, 409-416.
- [8] Yıldız C, Biçer Y, Pehlivan D. Effect of Twisted Strips on Heat Transfer and Pressure Drop in Heat Exchanger. *Energy Conversion & Management* 1998; 39, 331-336.
- [9] Zaherzadeh N.H, Jagadish B.S. Heat Transfer in Decaying Swirl Flows, *Int. J. Heat Mass Transfer* 1975; 18(7) ,941-944.
- [10] Moya-Rico J.D, Molina A.E, Belmonte J., Tendero J. C, Almendros-Ibáñez J.A. Characterization of a triple concentric-tube heat exchanger with corrugated tubes using Artificial Neural Networks (ANN). *Applied Thermal Engineering* 2019; 147, 1036-1046.
- [11] Yılmaz T. ve Ayhan T. Birbirleriyle Bağlantılı Daralan -Genişleyen Kanallarda Isı Transferi, Isı Bilimi ve Tekniği 4. Ulusal Kongresi 1983; 133-149.
- [12] Kakaç S. Isı İletimi, ODTÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın No: 52, Ankara, 1987.
- [13] Çakmak G. Boru Girişinde Enjektörlü Türbülans Üreticisi Bulunan Isı Değiştirgeçlerinde Isı Transferinin ve Basınç Düşüşünün İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2000.
- [14] Özdemir M.B, Aktaş M, Şevik S, Khanlari A. Modeling of a convective-infrared kiwifruit drying process. *International Journal of Hydrogen Energy* 2017; 28, 18005-18013.
- [15] Teti R, Jemielniak K, O'Donnell G, Dornfeld D. Advanced monitoring of machining operations. *CirpAnnals-Manufacturing Technology* 2010; 59, 717-739.

Sosyal Etkileşim Alanı Olarak Üniversite Kampüsünde Tasarlanan Kafeterya; Green House

Hasan POLAT^{1*}, Nihal Arda AKYILDIZ²

¹ Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ hpolat@firat.edu.tr, ² nihalarada@hotmail.com

(Geliş/Received: 08/01/2019;

Kabul/Accepted: 10/06/2019)

Öz: Sosyal yaşam için mekân düzenleme çeşitliliklerine alternatif olarak planlanan kafeteryalar, toplumsal hayata sunduğu etkileşim ve iletişim ortamlarıyla önemli katkı sunmaktadır. Her toplum bulunduğu coğrafya, gündelik yaşam talepleri, kültürel ve sosyal yapıya bağlı olarak biçimlenen kafeler açık ve kapalı mekân alternatifleriyle hemen her yaş grubu için sosyal yaşamımızın her seviyesinde toplumsal yaşamımızın ayrılmaz parçalarıdır. Çalışma konumuz olan kafeteryaların üniversite kampüslerinde pek çok kültür, etnik yapı ve düşünceye sahip genç yaş grubunun sosyal hayatını yakından etkileme kapasitesi nedeniyle incelenmiş olup, Fırat Üniversite kampüsü için projelendirilmiş ve uygulanmıştır. Kampüs içinde doğal çevresiyle birlikte tasarlanması gereken gündelik yaşamda etkileşim, karşılaşma ve kaynaşma araçlarından olan kafeteryaların, kampüsün doğal çevresine saygılı, kampüs kullanıcılarının taleplerini karşılayabilecek proje sunumuyla konuya katkı sağlamak hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Tüketim Alışkanlığı, Kafeterya, Üniversite Kampüsü, Sürdürülebilirlik, Ekolojik Mekânsal Tasarım.

A Cafeteria Designed as a Field of Social Interaction in the University Campus; Green house

Abstract: Cafeterias, planned as an alternative spatial arrangement for social life, make an important contribution to the social life through the interaction and communication environments. The geography of every society, the demands of daily life, the cafes shaped depending on the cultural and social structure are indispensable parts of our social life at every level of our social life for almost every age group with open and closed alternatives.

The cafeterias, which are the subject of our study, have been studied and applied for the campus of Fırat University because of their capacity to closely affect the social life of the young age group with many cultures, ethnicities and thoughts in the university campuses. In the campus, it is aimed to contribute to the subject with the project presentation which will be able to meet the demands of the campus users.

Key words: Consumption habits, cafeteria, university campus, sustainability, ecological spatial design

1. Giriş

Mekân tasarım yapılan alan çevresini bazen sınırlayarak, bazen de yeniden tanımlayarak yeni bir işlev ve fonksiyon vererek kendine ait ontolojisini gerçekleştirir. Harvey'e göre, mekân bir olgu olarak ele alındığında, maddeden ayrı bir "kendinden şey" haline gelir; böylece ayırt edici ve sınıflandırıcı bir yapıya dönüşür [1]. Aslında mekân tasarlandıktan sonra artık çevresini yeni bir anlama dönüştürür.

Günümüzde değişen toplumsal yapıyla birlikte mekân fonksiyonları, talepleri ve mekân kullanım alışkanlıkları da büyük değişimler yaşamıştır. Yirminci yüzyıla başlayan yeni modernleşme anlayışı tüketici toplum alışkanlıklarını yaratmış ve mekânsal talepler de bu anlamda evrilmiştir. Tüketici toplum anlayışının sosyal etkisi yaratıcı bir süreç olarak, hem sosyal ilişkilerde hem de kültürde yeni değerlerin ortaya çıkmasında etkili olmuştur. Toffler'e göre değişen dünyada post modern dalğanın temel özellikleri olan parçalanma ve bireyselleşmenin artan değişim hızıyla insanlar için; tüketim alışkanlıkları ve mimari mekânların anlamları da "tüketiliyor" [2]. Jencks'e göre post modern dönemin özellikleri, küresel görünüme yönelik post modernizm tadıyla kültür ve türe bağlı olarak çokuluslu, çoğulcu eklektik ve kapsayıcılıkla döngüsel modelde hızlı bir değişim gücüdür [3]. Bu anlamda ele alındığında tüm kavramlar gibi mekân kavramı da bir metafordan ibaret olmayıp, siyasî erklerin, küreselleşme tasavvurlarını hayata geçirmek için yapılan operasyonlar olarak, toplumlarda çarpıcı bir biçimde görünür hale gelmiştir [4].

Küreselleşen dünyada hemen her ülkede zincirler halinde aynı dekorasyon kararlarıyla tasarlanan kafeler, günümüzde Adorno'un da değindiği 'kültürün her şeye benzerlik bulaştırma özelliğiyle'[5] sosyal yaşam

* Sorumlu yazar: hpolat@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-4935-0111, ² 0000-0003-1948-188X

taleplerimizi de benzer biçimlerde yapılandırmaktadır. Böyle bir ortamda gerçekleşen yaşam tarzı, değerlerin gerekçesiz olarak ihmal edilmesine neden olan bir değişimle adeta simülasyon yaşamaktadır. Bir meta olarak tüketim nesnesi yalnızca değer ve değişime sahip değildir. Ahlavya'nın da değindiği, böyle bir tüketici toplumunda bir metanın işaret ve sembol değerlerine sahip olması ve onu belirleyen kod mitle ilişkili olması onu daha faydalı ve değerli kılmaktadır[6]. Günümüzde bu semboller mekânların fonksiyonlarına, anlamlarına da hükmetmektedir.

2. Tüketim Alışkanlığının Mekânsal Tasarıma Etkileri

Farklı yaşam tarzları ve kültürler, farklı türlerde yiyecek tüketme davranışlarına yol açmıştır. Bu yiyecek tüketim davranışı eğlence, ruh durumu ve popüler eğilimden çok daha fazlası olmuştur [7]. Başlangıçta ev içi bir faaliyet olan ancak liberal ekonomilerle birlikte evin dışında da gerçekleşen yiyecek tüketimi; zevk almak için zaman harcama ve eğlence etkinliği haline gelmiştir. Özellikle yeşil alanlarla birlikte tasarlanan ekolojik mekânsal tasarım anlayışıyla planlanan kafeteryalar daha fazla rağbet görmektedir. Bu nedenle tüketim toplumu hemen her konuda taleplerini yenilerken gündelik yaşamımıza yeşille desteklenmiş mekanlar olabilen lokanta ve kafeteryaların yiyecek ve içecek taleplerimizi karşılayan alternatif alanlar olarak sosyal hayatımızı renklendirmektedir. Bu anlamda hizmet veren çeşitli alanlar; mekânsal boyut devingenlikten kaynaklı olarak, sayısız farklı yaşantılar üretebilmeye özelliğiyle, tasarımın 'n'inci boyut'undan söz etmeyi olanaklı kılmaktadır [8].

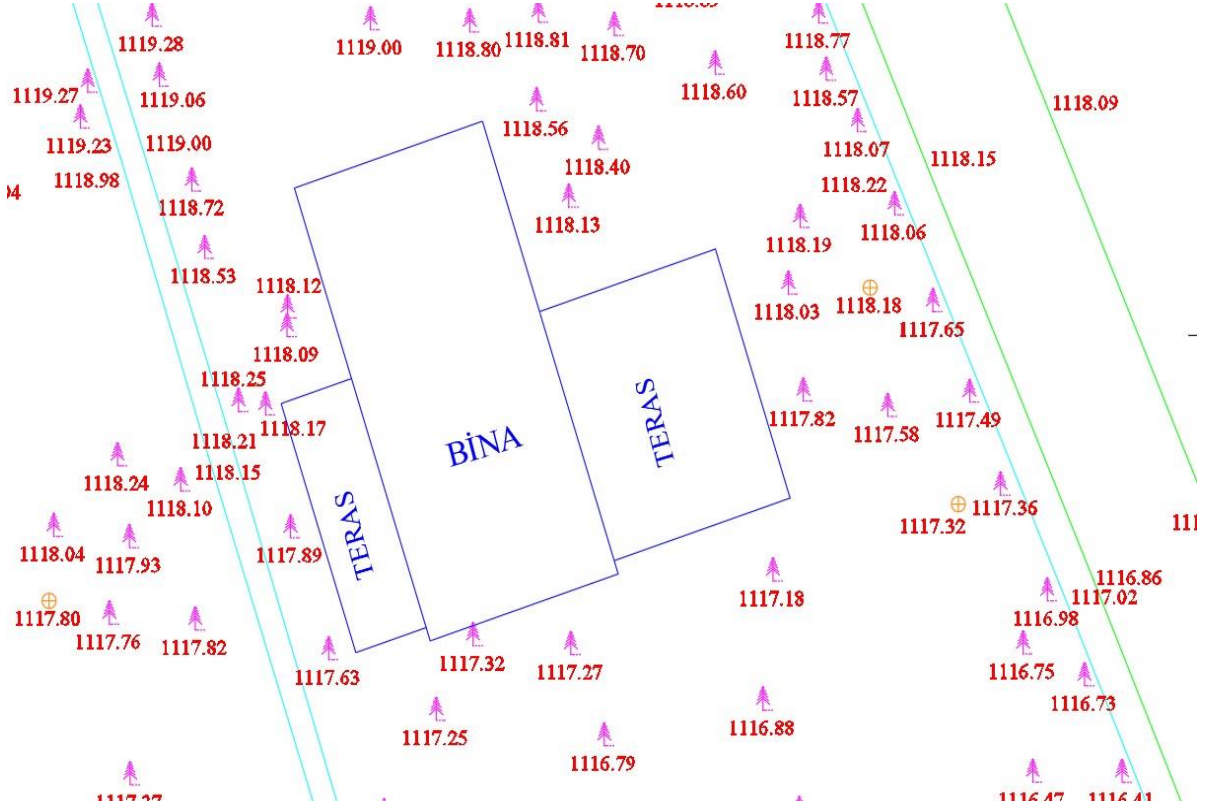
Sosyal bilimler açısından, tüketici toplum tarafından mekânların metalaştırılması konusundaki araştırmalar; yemek mekânıyla ilgili seçimlerin, fiziksel koşullar ve sosyal şartlardan güçlü bir şekilde etkilendiğini göstermektedir [9]. Günümüzde tüketim ürünlerini satın almak, kullanmak veya elden çıkarmak; hayal gücümüzün ötesinde bizi diğer insanlara ve diğer yerlere bir şekilde bağlar. Birçok birey için tüketim alışkanlığının yarattığı mekânsal düzlemler, çağdaş toplumda gündelik hayatın, hem görünür hem de yaygın bir parçasıdır. Bir kafeterya veya restoranda harcanacak zaman ve etkinlik, birçok insan için günlük yaşamın kabul görmüş bir yönü ve gündelik alışkanlığıdır. Ancak bu eylem, mekânın yaratılması ve ifade edilmesinde kritik bir rol oynar. Çağdaş bir toplum için hemen her coğrafyada tüketimin ve onun yarattığı mekânsal kararların nasıl oluştuğu, ifade edildiği ve yaşandığı konusu bu sektör için temel argüman olmuştur. Asıl konu, tüketimin kabul edilmesinin gerekliliğiyle birlikte mekân ve zaman içinde hangi düzlemlerle yaratıldığı, ifade edildiği ve anlam kazandığı olmuştur. Tüketim akışkan ve bağlamsal olduğundan mekânsal düzlemlerde de farklı ve düzensiz bir şekilde üretilir [10]. Yiyeceklerle ilgili tercihler geçici kişisel nitelikleri gösterebildiği gibi; seçilen restoran veya kafeler de kişilerin ruh durumlarını ifade etmektedir. Söz konusu mekânlar, sadece bireyler için değil, bazı şehirler için bile semboller olarak görülmektedir [7], özellikle de şehrin doğayla olan bağlarını destekleyen ekolojide saygılı mekan alternatifleri hemen her kent için tercih edilen kafeterya ve lokantalar olmaktadır. Yemek yeme eylemi için seçilen yerler bize kendimiz ve bulunduğumuz durum hakkında bir şeyler söyleyebilir [11]. Doğal ekolojik çevresiyle birlikte tasarlanan bir kafeterya da kentin taleplerinin hala doğadan yana olduğunu ortaya koymaktadır.

Kafeteryalardaki mekânsal organizasyon ve tasarım kararları, yemek ve içecek için tasarlanan alandaki makine, ekipman, mobilya ve oturma düzeni gibi nesnelerin düzenlenme organizasyonunu da etkiler bu nedenle hepsi bir arada mekânı ifade eder. [12]. Yapılan yerleşim düzeni, gençlerin kalite algısı, mutluluk düzeyi ve dolaylı olarak tekrar aynı mekânı seçme isteği üzerinde bir etki yaratmaktadır. Bu nedenle, mekânı tasarlayanın ve işletenin, gençlerin kafeye tekrar gelme sıklığını artırabilmek için yemek ve içecek alanlarının konforuna ve organizasyonuna dikkat etmeleri önemlidir. Bu tarz tüketim mekânlarına -restoran, kafeterya vb- girildiğinde mekânın estetiği ve çekiciliği, mekânsal organizasyondaki uyuma dayanarak değerlendirmeyi amaçladığı için önemlidir. Gençler, yemek yeme mekânının estetik ve dekorasyonundaki cazibeyi gözlemlemek, hissetmek ve değerlendirmek için saatlerini harcayabilmektedir. Bu değerlendirmedeki kanaatleri onların yemek ve içeceklere yönelik tutum ve değerlendirmelerini bile etkilemesi muhtemeldir [13]. Bu nedenle tasarım ve dekorasyondaki herhangi bir eksiklik gençlerin kendilerini rahatsız hissetmelerini sağlayabildiği gibi, çekici bir ortamın yarattığı benzersiz bir atmosfer de mekânın tercih edilebilme kapasitesini artırarak tercihleri belirler. Kivela bu nedenle gençlerin mekân tercihlerinin bu tür mekânsal organizasyonlardaki estetikle koşut oluştuğunu [14] ve onları yer seçme konusunda da etkilediğini ifade etmektedir.

3. Üniversite Kampüs Kafeteryası; Green House

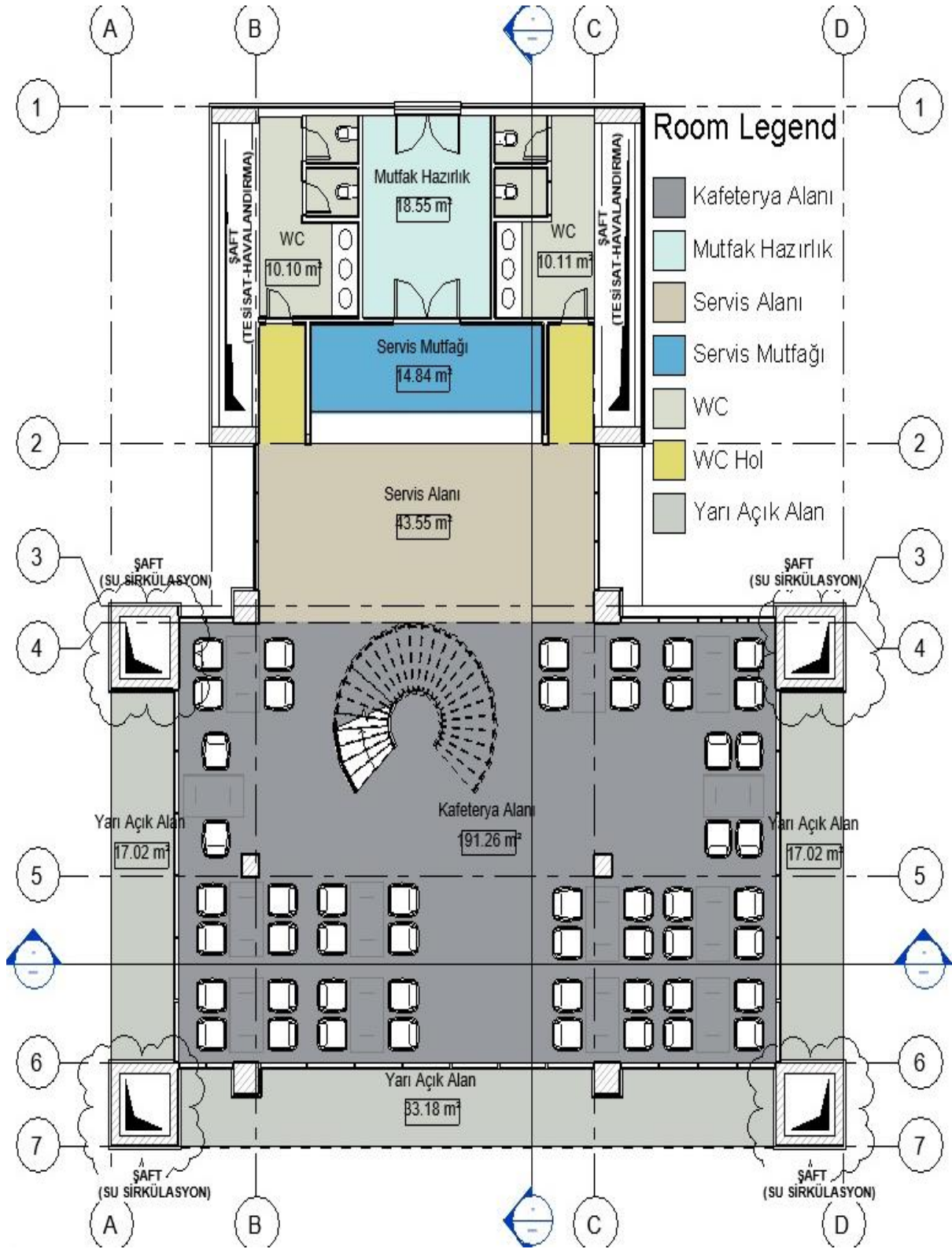
Green House, Elazığ Fırat Üniversitesi Mühendislik Kampüsü içinde doğal çevreye saygılı ekolojik mekan anlayışını referans alan bir kafeterya tasarlanmış ve şu an üniversite gençlerinin severek sıklıkla kullandıkları bir mekân olarak işlevini sürdürmektedir. Kafeterya 'Green House' adını etrafını saran üniversitenin doğal yeşil çevresi nedeniyle almıştır. Proje kurgusu ve tasarımı tamamen doğa ile uyum fikrini esas almış ekolojinin insan ve doğa bağına sürdürmeyi hedeflemiştir. Proje tasarımına başlamadan yapının yapılacağı alanın hâlihazır alımı yapılarak mevcut ağaçlar dwg ortamına aktarılarak, bütün ağaçların korunması sağlanmıştır. Yapı kütlesinin

formu, tamamen doğaya saygı çerçevesiyle mevcut ağaçların izin verdiği ölçüde planlanmış ve ortamın ekolojisine göre şekil almıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Proje Alanı - Hâlihazır Haritası

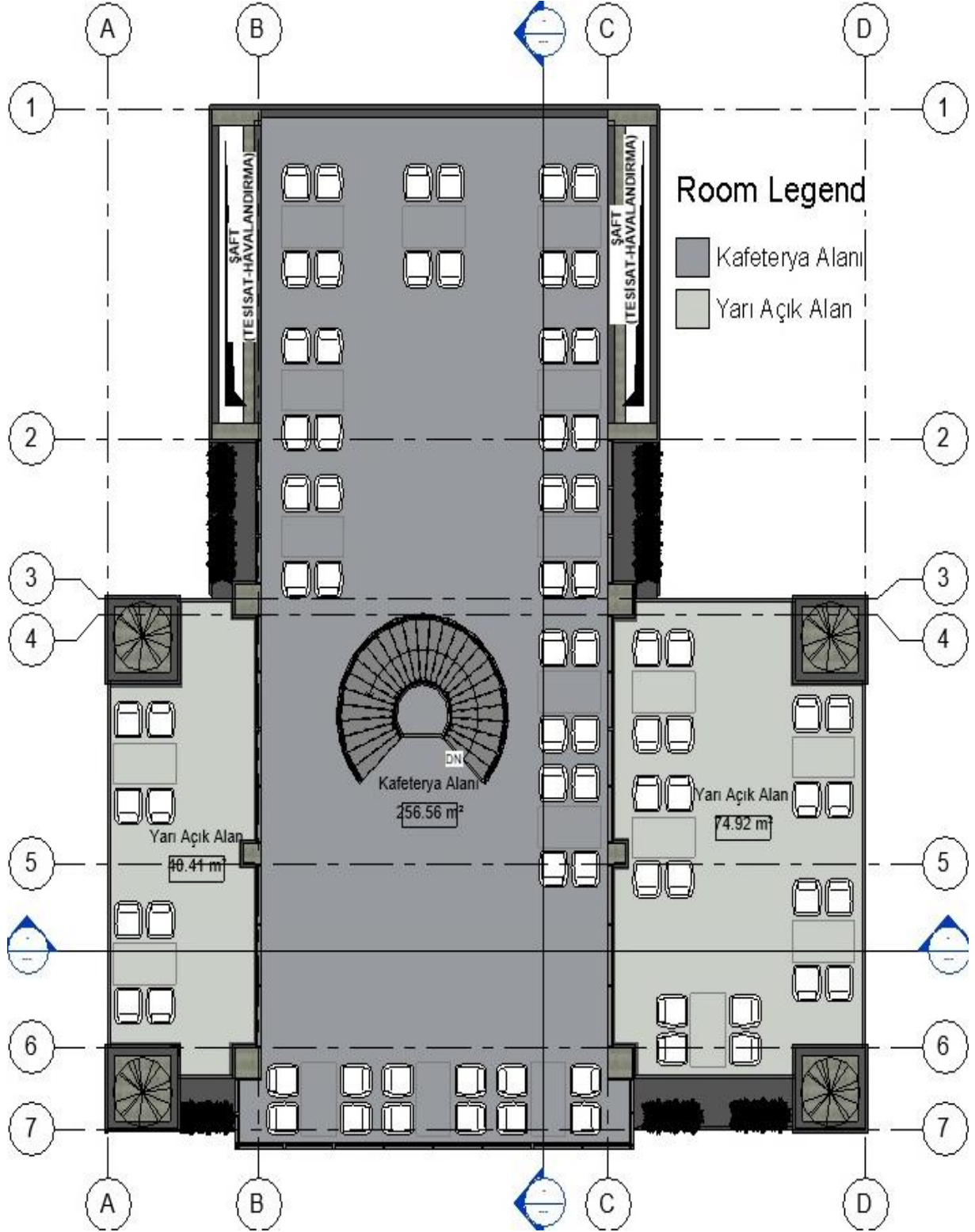
Bina zemin ve birinci kattan ibarettir. Açık alan, yarı açık alan ve kapalı alan temelinde oluşan mekânlar basit geometrilerle oluşturulmuştur. Mekânsal düzenlemede, doğal yapısal çevreden maksimum faydalanarak mekân üretmek temel referans noktası olarak alındığından açık alanlarla kapalı alan ilişkisi pek çok noktada sağlanmış ve görsel temas da kesilmemeye gayret edilmiştir. Zemin katta sol yan cephe ve sağ yan cepheden servis alanına giriş yapılarak fonksiyon farklılığı ile kapalı oturma alanı ile mutfak alanı birbirinden ayrılmıştır. Böylelikle kapalı oturma alanında net kullanım alanı da elde edilmiştir. Kapalı oturma alanından yarı açık alanlara geçiş ve kullanılan alternatifli açık alanlar mevsim olanakları dâhilinde sağlanmıştır. Bu durum yarı açık alan ile kapalı alanın bütünlüğünü sağlamaktadır. Bina servisini sağlayan tüm mekânlar (mutfak, ıslak hacimler vb.) zemin katta çözülmüştür. Böylelikle birinci katta bir takım sosyal etkinliklerin yapılabileceği (doğum günü organizasyonları, canlı müzik, öğrenci toplantı ve etkinlikleri gibi) net bir alan elde edilmiş ve üniversitenin doğal yapısal çevresinin seyrinin mümkün olması için özen gösterilmiştir. Ayrıca birinci kat alanının önemli bir bölümü yapının etrafını saran yeşil ekolojik örtüsüyle (Şekil 2) birliktelik sağlayabilmek amacıyla yarı açık alan olarak tasarlanmıştır (Şekil 3).



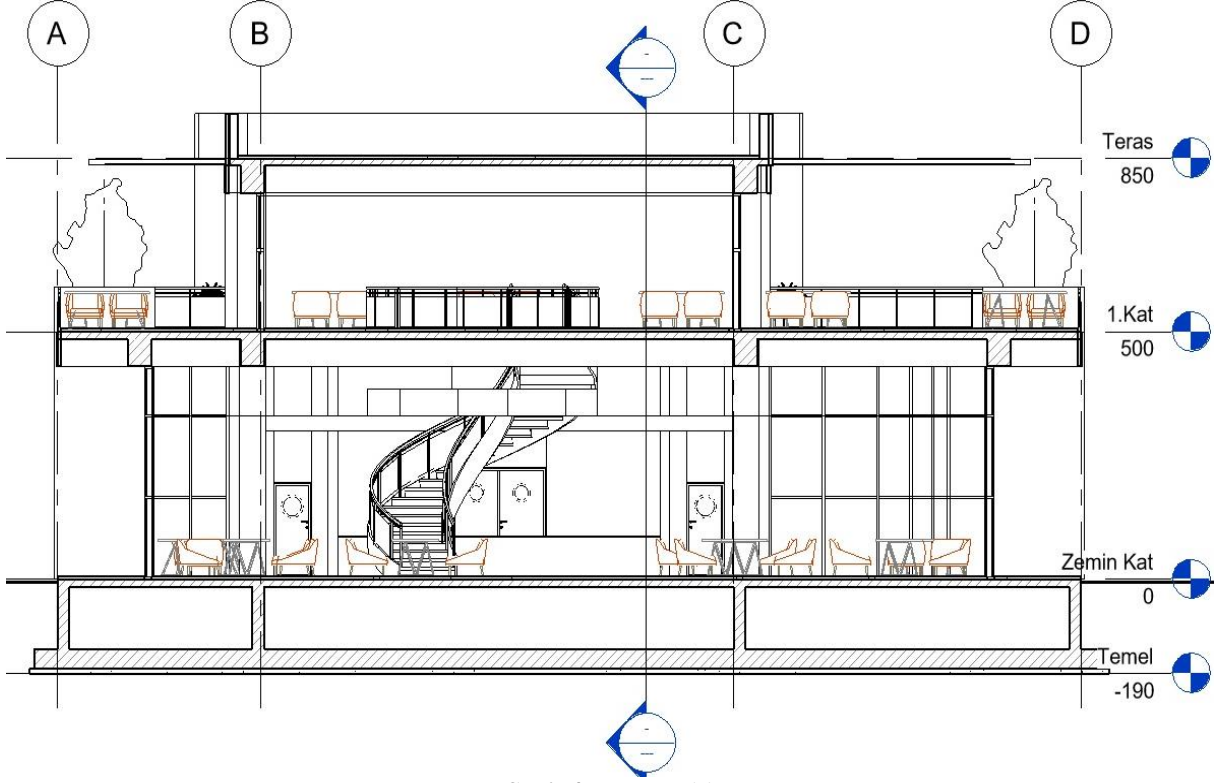
Şekil 2. Zemin Kat Planı

Zemin kat planında görülen su sirkülasyonu olarak belirtilen şaftlar (4 adet) 1.katın terasında yer alan yeşil elemanların ve terasta biriken suların doğal zemine aktarılmasını sağlamaktadır. Bu sayede su tahliyesi için

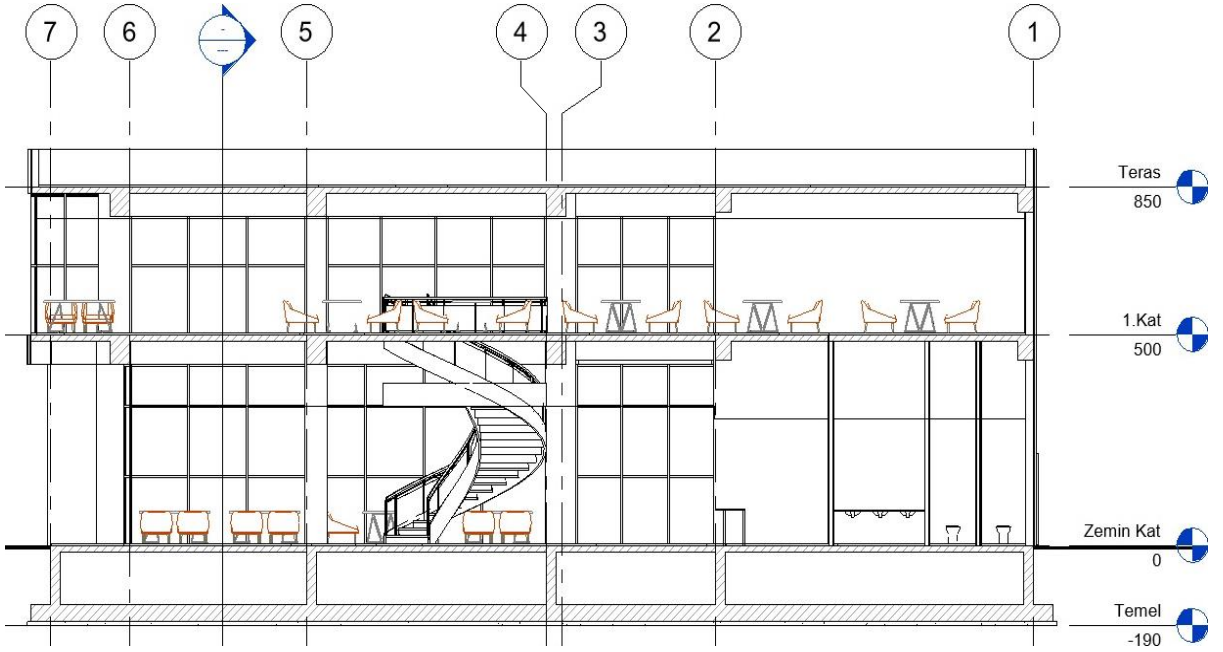
dışarıdan iniş borusu yapılmasına gerek kalmamakla birlikte 1.kat terasında doğal bitki/ağaç ekimine olanak sağlanmıştır. Ayrıca bu şaftların çevrelediği alan doğal olarak zemin katta yarı açık alan oluşturmuştur.



Yapı yüksekliği yine içinde bulunduğu ekolojik çevresindeki yeşil örtünün kotları gözetilerek 8.50'de bitirilmiş böylece mekânsal tasarımda doğal yeşil çevre esas alınmıştır. Zemin katta brüt kat yüksekliği 5,00 mt (Şekil 4,), 1.katta ise 3,50mt dir (Şekil 5).

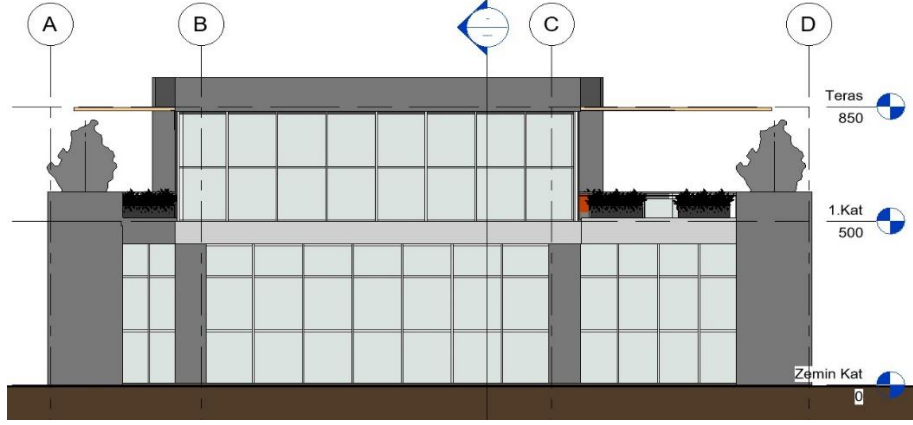


Şekil 4. A-A Kesiti

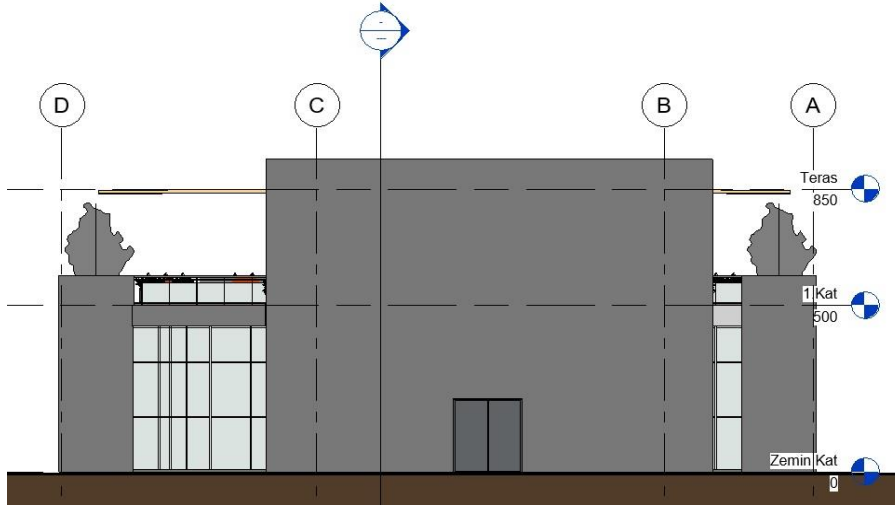


Şekil 5. B-B Kesiti

Bina cephesi kurgulanırken güney (Şekil 6), doğu (Şekil 8) ve batıya (Şekil 9) yönlendirilen ön ve yan cephelerde şeffaf yüzeyler kullanılmıştır. Bu seçimde gün ışığının ve manzaranın etkisi önemli etkenlerdir. Kuzeye yönlendirilen arka cephede ise (Şekil 7) ıslak mekânlar konumlandırılarak masif yüzey elde edilmiştir. Böylelikle hem mahremiyet olgusu sağlanmış hem de ısı kayıpları minimize edilmeye çalışılarak mekânsal tasarımda enerji tüketimi ve sürdürülebilirlik konularına da hassasiyet gösterilmiştir.

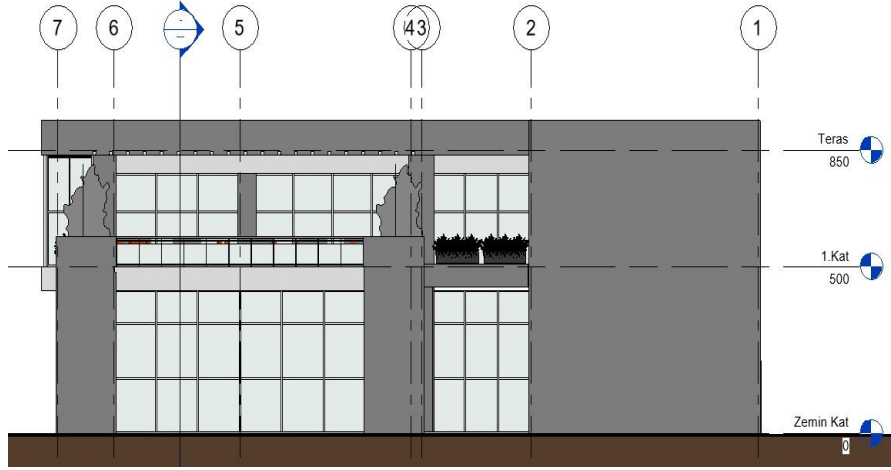


Şekil 6. Ön Görünüş

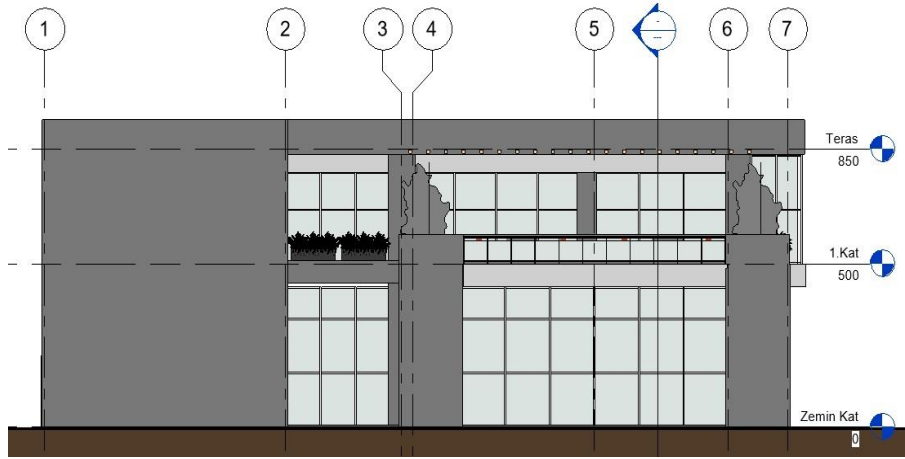


Şekil 7. Arka Görünüş

Görünüşlerde doğal yapısal çevreden maksimum faydalanabilmeyi esas alarak geniş şeffaf açıklıklarla tasarım yapılmış, enerji tüketimi ve mimari sürdürülebilirlik de dikkate alınarak cephe kararları verilmiştir.



Şekil 8. Sağ Yan Görünüş



Şekil 9. Sol Yan Görünüş



Şekil 10. Perspektifler a) güneydoğu



Şekil 10. Perspektifler b) güneybatı



Şekil 11. Perspektifler a) üst teras



Şekil 11. Perspektifler b) bahçe terası



Şekil 12. Perspektifler a) iç mekân yerleşimi



Şekil 12. Perspektifler b) iç merdiven

Perspektiflerden de anlaşıldığı gibi, üniversite gençleri için kaynaşma, karşılaşma ve etkileşim alanı olma niteliğiyle (Şekil 10 a ve b) green house; doğal çevresiyle simbiyotik bir ilişki kurarak (Şekil 11 a ve b) gençlerin psikolojik ve ruhsal yapılarına da destek olacak bir dinlenme ve etkinlik alanı olarak (Şekil 12 a ve b) fonksiyonunu başarıyla yürütmektedir.

4. Proje Künyesi

4.1. Proje Nicelikleri ile İlgili Bilgiler

Proje ihtiyaç programı işveren ile birlikte kullanıcı sayısı ve ekonomik olanaklar kapsamında tasarımcı ile birlikte hazırlanmıştır. Belirlenen ihtiyaç programı kapsamında kesin proje ve uygulama Tablo 1. de gösterildiği gibidir.

Tablo 1. Proje Alan Tablosu

Kat Adı	Kapalı Alanı (m ²)	Yarı Açık Alan (m ²)	Toplam Alan (m ²)
Zemin Kat	304,00	41,00	345,00
1.Kat	260,00	85,00	345,00
Genel	564,00	126,00	690,00

4.2. Proje ve Yapım Bilgileri

Mimari Tasarım	: Hasan POLAT Dr. Mimar
Uygulama Projesi	: Hasan POLAT, Dr. Mimar - Adem FİL, Yapı Ressamı
Statik Proje	: Miraç GÖKDOĞAN, İnşaat Mühendisi
Mekanik Proje	: Çiğdem BOZDAĞ, Makine Mühendisi
Elektrik Projesi	: Erhan AZTEKİN, Elektrik Mühendisi

İşveren	: Fırat Üniversitesi Rektörlüğü
Kontrol	: Fırat Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı
Yüklenici	: Özcan ÇELİK
Sözleşme Tarihi	: 21.05.2014
Bitiş Tarihi	: 12.05.2015

5. Sonuç ve Değerlendirme

Günümüzün tüketim toplumlarında mekânsal tasarım estetikle desteklenmiş bir atmosferle planlanmaktadır. Tüketici bir toplumdaki mekânsal fikirler toplumsal taleplerle birlikte yeniden dizayn edilerek aslında mekânın yeniden anlamlandırılması sağlamaktadır. Tüketim alışkanlıklarının mekânsal tasarım çeşitliliğine sunduğu katkıyla birlikte doğal yapısal çevreye saygılı ekolojik mekan üretim örneklerinin artırılması gerekmektedir. Bu çerçevede tüketime hizmet eden tasarımların üretilmesi bir takım metalar olarak; çevremizdeki insan arzularını karşılayan nesnelere, ayrıca sembolik değerlerle de müşteri memnuniyetine servis edilen alanlardır. Bu post modern sembolik değer anlayışı; tasarım yapılan nesneyi ifade ederken, değişim değeri onun ticaretini ve işletmesini ifade etmektedir. Mimari tüm ürünler tanımı gereği, insanların yaşamları için tasarlanıp inşa edilmektedir. Ancak ortaya çıkan tasarım ürünü sadece estetik değil, etrafındaki doğayla da iç içe planlanmalı ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemelidir.

Üniversite kampüslerinde tasarlanarak inşa edilen restoran ve kafeterya gibi; ekonomik boyutuyla tüketimi, sosyal boyutuyla etkileşimi temsil eden mekân örnekleri özellikle kamusal işlevlerle bütünleşmiş durumdadır. Bu önemli özellikleriyle özellikle genç neslin yaşamında ağırlık merkezi olma niteliğiyle konu önem arz etmektedir. Konuya katkı sunmak üzere doğal çevreye saygılı, ağaç kesmemeye gayret edilerek tasarlanan kafeterya örneğinde gençlerin sosyal ve mekânsal taleplerini karşılamak esas alınmıştır.

Bu anlamda konu ele alındığında özellikle mekânsal tasarım sadece bir fonksiyon veya estetik değil, insanların faaliyetlerini destekleyen, biçimlendiren aynı zamanda da yaşam tarzını belirleyen argümanlardır. Sosyal hayatı destekleyen yönüyle tasarımın önemi düşünülürse; tasarımcıların doğayla iç içe, kentin ekolojik dokusuna katkı sunan sürdürülebilir mimari tasarımlar yapmaya özen göstermeleri gerekmektedir.

Teşekkür

Projenin hayata geçirilmesinde Fırat Üniversitesi Rektörlüğü, Mimarlık Fakültesi Dekanlığı ve Yapı İşleri Daire Başkanlığı'na teşekkür ederiz. Projeyi H.P. tasarlamış, makaleyi H.P ve N.A.A. yazmıştır.

Kaynaklar

- [1] Harvey, D. (2013), *Sosyal Adalet ve Şehir*, Çev.: Morali, Metis Yay., İstanbul.
- [2] Toffler, A. (1970), *Future Shock*, Toronto: Bantam Book
- [3] Jencks, C. (1987), *What is Post Modernism?*, New York: Academy Edition
- [4] Öncü, A. & Weyland, P. (2013), *Mekân, Kültür, İktidar-Küreselleşen Kentlerde Yeni Kimlikler*, İletişim Yay., İstanbul.
- [5] Adorno, T.W. (2012), *Kültür Endüstrisi*, Çev. N.Ülner, M.Tüzel, E.Gen, 7.Baskı, İletişim Yay., İstanbul.
- [6] Ahlava, A. (2002), *Architecture in Consumer Society*, The University of Art and Design. Ylioppistopaino. Helsinki. Finland.
- [7] Sloan, D. (2004), *Culinary taste: Consumer Behaviour in the International Restaurant Sector*, Routledge.
- [8] Sözen, M. & Tanyeli, U. (1986), *Sanat Kavram ve Terimleri Sözlüğü*, Evrim Matbaacılık, İstanbul.
- [9] Urry, J. (1995), *Consuming Places*, London and New York: Routledge.
- [10] Mansvelt, J. (2005), *Geographies of Consumption*, SAGE Publications Ltd. London.
- [11] Bell, D. & Valentine, G. (1997), *Consuming Geographies*, London; New York: Routledge.
- [12] Heung, V. & Gu, T. (2012), *Influence of restaurant atmospherics on patron satisfaction and behavioral intentions*, International Journal of Hospitality Management, 31, 1167-1177.
- [13] Ryu, K. (2005), *Dinescape, emotions and behavioral intentions in upscale restaurants*, Kansas State University.
- [14] Kivela, J.J. (1997), *Restaurant marketing: selection and segmentation in Hong Kong*, International Journal of Contemporary Hospitality Management, 9(3), 116-123.

Meme Kanseri Histopatolojik Görüntülerinin Evrişimsel Sinir Ağları ile Sınıflandırılması

Muhammed TALO*

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Munzur Üniversitesi, Tunceli, Türkiye
muhammedtalo@munzur.edu.tr

(Geliş/Received: 25/01/2019;

Kabul/Accepted: 20/05/2019)

Öz: Meme kanseri, dünya çapında kadınlar arasında en fazla ölümün görüldüğü kanser türüdür. Meme kanseri imgelerinin bilgisayar destekli sistemler yardımıyla hızlı ve doğru bir şekilde sınıflandırılması hayati önem arz etmektedir. Bu çalışmada, meme kanseri imgelerini iyi ve kötü huylu olarak sınıflandırmak için ResNet-50 mimarisi önerilmiştir. Evrişimsel Sinir Ağı tabanlı ResNet-50 mimarisi kullanılarak, açık kaynak BreakHis veri setindeki, meme kanseri imgelerinin ikili sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. ResNet-50 mimarisinin eğitiminde transfer öğrenme yöntemi uygulanmıştır. Önerilen modelin sınıflandırma başarısının, literatürdeki mevcut çalışmalara kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca önerilen model, meme kanseri imgeleri üzerinde herhangi bir ön işleme yapmadan verileri otomatik olarak sınıflandırmaktadır.

Anahtar kelimeler: Meme kanseri, Tıbbi imge analizi, Derin öğrenme, Evrişimsel sinir ağı.

Classification of Histopathological Breast Cancer Images using Convolutional Neural Networks

Abstract: Breast cancer is the most common form of cancer among women worldwide. Fast and accurate classification of breast cancer images with computer aided systems is of vital importance. In this study, ResNet-50 architecture was proposed to classify breast cancer images as benign and malignant. Convolutional neural network based ResNet-50 architecture was employed to classify breast cancer images into two categories using open source BreakHis dataset. Transfer learning method was applied during the training process of ResNet-50 architecture. The classification performance of the proposed model was higher than existing state-of-the-art studies in the literature. In addition, the proposed model automatically classifies images without requiring any pre-processing on raw data.

Key words: Breast cancer, Medical image analysis, Deep learning, Convolutional neural network.

1. Giriş

Meme kanseri, kadınlar arasında yaygın görülen bir kanser türü olmakla birlikte kadınları en fazla etkileyen tehlikeli bir kanser türüdür. Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization-WHO) raporlarına göre her yıl yaklaşık 2 milyon kadın meme kanserinden yaşamını yitirmektedir. 2018 yılında meme kanseri sebebiyle yaklaşık 627, 000 kadın hayatını kaybetmiştir [1]. Bu nedenle, erken teşhis çalışmaları kritik öneme sahiptir.

Meme kanseri histopatolojik imgelerinin otomatik olarak bilgisayar destekli tanı sistemleri yardımıyla iyi ve kötü huylu kanser olarak sınıflandırılması ve bu doğrultuda erken tedaviye başlanması hayati önem arz etmektedir. Meme kanserinin tespiti; mamografi, Manyetik Rezonans Görüntüleme (Magnetic Resonance Imaging, MRI), ultrason ve tomografi gibi görüntüleme teknikleri ile sağlanabilirken kesin teşhisi için meme dokusunun biyopsisi gereklidir [2,3]. Patologlar biyopsi yöntemiyle vücuttan alınan hücre veya doku histolojik örneklerini, mikroskop altında inceleyerek memede oluşan değişim hakkında kesin teşhis komaya çalışırlar [4]. Patologlar, meme dokusunun biyopsisi ile iyi huylu (benign), kötü huylu (malignant) ve normal dokular arasında sınıflandırma yapmaya çalışırlar.

Biyopsi ile alınan doku örnekleri farklı mikroskopik büyütme oranları ile analiz edilmektedir. Histopatolojik imgelerin analizi zaman alıcı bir süreç olduğu için bu imgelerin doğru tanı ve teşhisi için bilgisayar destekli yöntemlerle değerlendirilmesi ciddi katkı sağlayacaktır. Bu imgelerin analizi sırasında patologların deneyim ve dikkatleri, teşhis ve tanının doğru bir şekilde yapılabilmesi için büyük bir öneme sahiptir. Bilgisayar destek sistemleri, patologların günlük hayatlarında oluşabilecek yorgunluk ve dikkat dağılması gibi olumsuz faktörlerden etkilenerek yapılabilecek yanlış teşhisleri minimuma indirebilir. Böylece uzmanların tanı konulması zor vakalara odaklanabilmelerini sağlayabilir [5].

* Sorumlu yazar: muhammedtalo@munzur.edu.tr. Yazarın ORCID Numarası: 0000-0002-1595-5681.

Histopatolojik imge işleme alanında meme kanserinin tanısı için dijital görüntüleme teknikleri kullanılarak birçok önemli çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların başında özellikle iyi ve kötü huylu meme kanser türlerinin otomatik olarak sınıflandırılması gelmektedir. Bilgisayar destekli tanı sistemleri kullanılarak meme kanseri tespiti ve teşhisi için, öncelikle çeşitli sığ yapıli makine öğrenmesi algoritmalarından; Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks, ANN), Rastgele Orman (Random Forest, RF), Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines SVM) ve Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis, PCA) gibi yöntemler kullanılmıştır.

Meme kanseri sınıflandırması için Spanhol ve arkadaşları [6], 82 hastadan elde edilen 7,909 histopatolojik meme kanseri imgelerinden oluşan BreakHis veri setini açık kaynak olarak yayınlamışlardır. Yazarlar, LeNet ve AlexNet modellerini histopatolojik imgelerin sınıflandırılması için önermişlerdir. Bu çalışmada, AlexNet modelinin histopatolojik imgeleri sınıflandırmadaki başarısının, LeNet modelinden daha iyi olduğu rapor edilmiştir. AlexNet'e sunulan imgelerin boyutları, 32×32 veya 64×64 piksel boyutlarında tanımlanmıştır. Maksimum, çarpım ve toplam gibi basit füzyon kuralları, önerilen modellerde uygulamış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yazarlar, ikili meme kanseri imge sınıflandırması için önerdikleri AlexNet modeli ile en yüksek 85.6 ± 4.8 sınıflandırma başarısı elde etmişlerdir.

2017 yılında Han ve ark. [7], iyi ve kötü huylu meme kanseri imgelerini sınıflandırmak için Sınıf Temelli Evrişimsel Sinir Ağı (Class Structure-based Deep Convolutional Neural Network, CSDCNN) modelini kullanmışlardır. CSDCNN derin öğrenme modeline giriş olarak verilen imgelerin büyüklükleri, 256×256 olacak şekilde yeniden boyutlandırılmıştır. Evrişim katmanlarında 3×3 , 5×5 veya 7×7 büyüklüklerinde filtreler uygulanmıştır. Modelin eğitiminde iki farklı yol denenmiştir. Öncelikle, BreakHis veri seti üzerinde modelin eğitimi sıfırdan yapılmıştır fakat kötü sonuç alındığı görülünce, ikinci yol olarak transfer öğrenme yöntemi ile ImageNet üzerinde eğitilen modelin ağırlıkları kullanılmıştır. Önerilen model, imgelerin ikili sınıflandırılmasında en yüksek 96.9 ± 1.9 performansına ulaşmıştır. Aynı yıl, Kahya ve ark. [8], Adaptif Seyrek Destek Vektör Makinası (Adaptive Sparse Support Vector Machine, ASSVM) yaklaşımını kullanarak farklı büyütme oranlarındaki imgeler üzerinde en fazla 94.97 oranında sınıflandırma doğruluğu bildirmişlerdir. Önerilen yöntemde, özellik çıkarımı için, destek vektör makineleri, ağırlıklı L1-normuyla birleştirilerek kullanılmıştır.

Kowal ve arkadaşları [9], 50 hastadan elde edilen 500 imgeden oluşan veri setinde çekirdek segmentasyonu için, dört farklı kümeleme algoritmasını (K-ortalama, bulanık, C-ortalama, rekabetçi öğrenme sinir ağları ve Gauss karışım modeli) karşılaştırarak $96 - 100$ aralığında sınıflandırma performansı elde etmişlerdir. Zhang ve arkadaşları [10], meme kanseri histopatolojik imgelerinin iyi huylu ve kötü huylu olanlarını sınıflandırmak için önerdikleri PCA yöntemi ile 92 oranında bir sınıflandırma başarısı rapor etmişlerdir. Bir başka çalışmalarında ise cascade yaklaşımı ile $40 \times$ büyütme oranına sahip 361 imgeden oluşan bir veri serisinde 97 başarı oranı bildirmişlerdir [11]. Benzer bir çalışmada da meme kanseri imgelerinin sınıflandırılması için 92 imgeden oluşan bir veri seti üzerinde ANN ve SVM gibi farklı makine öğrenme modelleri kullanılarak 94 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir [12]. Filipczuk ve arkadaşları [13], 737 adet meme kanseri imgesini iyi huylu veya kötü huylu olarak ayırt etmek için 25 boyutlu bir özellik vektörü ile eğitilmiş dört farklı sınıflandırıcı kullanarak, 98 oranında bir performans elde etmişlerdir. Gupta ve Bhavsar, SVM, En Yakın Komşu Sınıflandırıcısı (K-Nearest Neighbors, K-NN), Karar Ağacı (Decision Tree, DT), ayırt edici analiz ve topluluk sınıflandırıcıları makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak meme kanseri imgelerinin hasta seviyesinde sınıflandırılması ile ortalama 87.53 oranında bir başarıya ulaşmışlardır [14].

Son yıllarda derin öğrenme yaklaşımları kullanılarak meme kanseri imgelerinin sınıflandırıldığı birçok çalışma yapılmıştır. 2017 yılında yapılan bir çalışmada, Evrişimsel Sinir Ağı (Convolutional Neural Network, CNN) kullanılarak imge seviyesinde 86.3 ve 84.2 oranında tanıma doğruluğu elde edilmiştir [15]. Terasa ve arkadaşları [16], meme kanseri imgelerinin sınıflandırması için AlexNet'e benzer bir model ile imgeleri hasta seviyesinde sınıflandırmışlardır. Bu çalışmada farklı füzyon teknikleri kullanılarak maksimum füzyon yöntemiyle ortalama 90 ve 85.6 tanıma doğruluğu bildirilmiştir. Bir başka çalışmada CNN ve çok görevli CNN (Multi-Task Cascaded Convolutional Networks, MTCNN) modelleri kullanılarak hasta düzeyinde 83.25 sınıflandırma başarısı elde edilmiştir [17]. 2018 yılında Alom ve diğ. [18], Başlangıç Tekrarlayan Rezidüel Evrişimsel Sinir Ağı (Inception Recurrent Residual Convolutional Neural Network, IRRCNN) modelini kullanarak ikili ve çok sınıflı meme kanseri sınıflandırmasını hasta ve imge seviyesinde gerçekleştirmişlerdir. Önerilen model, Inception-v4, ResNet ve Tekrarlayan Evrişimsel Sinir Ağı modellerinin birleşiminden oluşan bir mimariye sahiptir. Modelin inşası için kullanılan bloklarda sırasıyla 128, 256, 512 ve 1024 özellik haritaları kullanılmıştır. Model yaklaşık 9,3 milyon parametre içermektedir. Modele sunulan imgeler rasgele kırılarak veya üst üste binmeyen yamalar halinde

dikkate alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan model ile hem resim hem de hasta seviyesi sınıflandırması için ortalama %97 oranında bir performans elde edilmiştir. [19]'da meme kanseri histolojik görüntü analizi alanında yapılan farklı imge işleme teknikleri ve uygulama alanları hakkında genel bir bakış açısı sunmaktadır.

Bu çalışmada, histopatolojik meme kanseri imgelerinin iyi huylu ve kötü huylu olarak sınıflandırılmasını sağlayacak uçtan uca derin öğrenme tabanlı bir mimari önerilmiştir. Sınıflandırma için ResNet-50 [20] CNN tabanlı model seçilerek transfer öğrenme yöntemi kullanılmıştır. Bu mimari ile herhangi bir ön işleme tabi tutulmayan ham histopatolojik meme kanseri imgelerinin otomatik olarak sınıflandırılması sağlanmıştır. Önerilen model ile iyi ve kötü huylu meme kanseri imgelerinin sınıflandırılmasında 40×, 100×, 200× ve 400× büyütme oranlarındaki imgelerde, %97 - %98 aralığında değişen yüksek sınıflandırma başarısı elde edilmiştir.

Makalenin devamı şu şekilde düzenlenmiştir: materyal ve yöntem bölümünde, ResNet-50 modelinin ayrıntılı mimarisi, katmanları verilmiş ve eğitim aşamasında kullanılan transfer öğrenme yönteminin detayları izah edilmiştir. Ayrıca modelin eğitimi için kullanılan BreakHis veri seti tanıtılmıştır. 3.bölümde modelin eğitim aşamaları anlatılmış ve önerilen modelin başarısı, literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Son bölüm ise sonuç kısmına ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara ayrılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Derin öğrenme, beyinin yapısından ilham alınarak ortaya çıkmış makine öğrenmesi alanının bir alt koludur. Son yıllarda kullanılan derin öğrenme teknikleri birçok alanda olduğu gibi tıbbi görüntü işleme alanında da etkileyici bir performans sergilemeye devam etmektedir.

Derin öğrenme teknikleri tıbbi verilere uygulanarak, tıbbi verilerden anlamlı sonuçlar çıkarılmaya çalışılmıştır. Derin öğrenme modelleri; tıbbi verilerin, sınıflandırılması, segmentasyonu ve lezyon tespiti gibi birçok alanda başarıyla kullanılmıştır. MRI, Bilgisayarlı Tomografi (Computed Tomography, CT) ve Elektrokardiyogram (Electrocardiogram, ECG) gibi tıbbi imgeleme teknikleri ile elde edilen imge ve sinyal verilerinin, derin öğrenme modelleri yardımıyla analizi ve bu analizler sonucunda beyin tümörü, cilt ve meme kanseri gibi hastalıkların tespit ve teşhisinde uzmanlara kolaylık sağlanmaktadır [21-24].

Derin öğrenme alanında yaygın bir şekilde kullanılan transfer öğrenme yöntemi ile büyük bir veri seti üzerinde önceden eğitilmiş modelin kazandığı bilgilerin, eğitimi yapılacak olan modele aktarımı gerçekleştirilir. Bu sayede imgeler üzerinde hiçbir bilgisi olmayan bir model yerine önceden eğitilmiş bir modelin birikiminden istifade edilir.

Tıbbi verilerin analizinde, araştırmacıların karşılaştıkları en büyük zorlukların başında mevcut veri setlerinin sınırlı sayıda olması gelmektedir. Derin öğrenme modelleri genellikle çok sayıda veriye ihtiyaç duymaktadır. Bu verilerin uzmanlar tarafından etiketlenmesi hem masraflı hem de zaman alıcı bir işittir. Transfer öğrenme yöntemin en büyük avantajı; daha az veri kümesine sahip verilerin eğitimine olanak sağlayarak daha az hesaplama maliyeti gerektirmesidir.

2.1. Derin öğrenme modeli

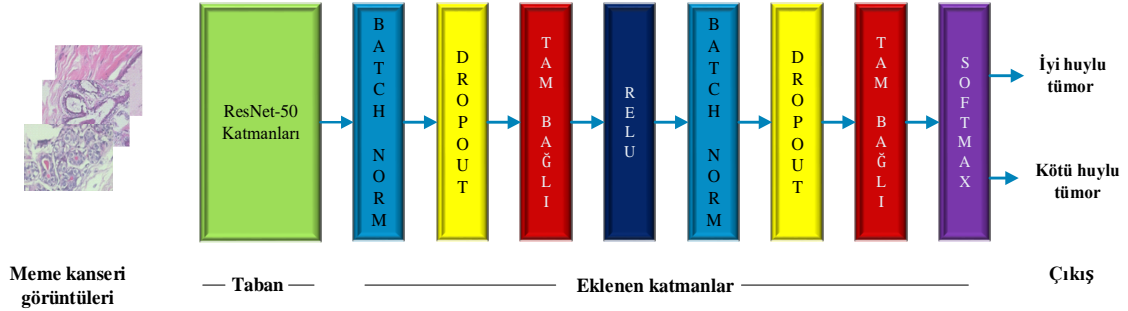
Bu çalışmada, bilgisayar görüntü analizi alanında yeni modeller inşa eden açık kaynak CNN tabanlı ResNet-50 mimarisi, önerilen yeni modele taban olarak giydirilmiştir. ResNet mimarisi ILSVRC 2015 ve COCO 2015 yarışmalarında birincilik kazanan bir model olmakla birlikte farklı veri setlerinde kullanımı oldukça kolaydır. 50 katmandan oluşan Resnet-50 mimarisinin inşasında beş evrimsel blok kullanılmıştır. Bu bloklar, 1×1, 3×3 ve 1×1 evrişim katmanlarından meydana gelmektedir. 1×1 evrişimleri ile giriş imgeleri daha düşük boyuta indirgenirmiş ve 3×3 evrişimleri ile daha yüksek boyutlarda filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Mimaride boyut küçültme amacıyla, global ortalama havuz katmanı kullanılmış ve iki adımlık örnekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Mimarinin tam bağlı katmanında, Softmax aktivasyon fonksiyonu kullanılmış ve imgelerin sınıflandırması için 1000 kategorilik bir çıkış verilmiştir. ResNet-50 mimarisi 25,6 milyon parametreden oluşmaktadır. ResNet50 evrimsel sinir ağı genel olarak; konvolüsyon katmanı, aktivasyon katmanı, alt-örnekleme (pooling) katmanı ve tam bağlı katman (fully-connected) gruplarından meydana gelmektedir.

Bu çalışmada, ResNet-50 modelinin konvolüsyon, aktivasyon ve alt-örnekleme katmanları çıkarılarak, oluşturulan yeni modelde taban olarak kullanılmıştır. Bu taban üzerine iki farklı tam bağlı katman yerleştirilmiştir. Çıkış katmanında tanımlanan tam bağlı katman, Softmax aktivasyon fonksiyonu yardımı ile imgeleri iyi ve kötü

huylu olarak sınıflandırmaktadır. Ayrıca modelin eğitim verilerini ezberlemesini engellemek için bazı nöronları rasgele etkisiz hale getirmek amacıyla model seyretme (dropout) katmanları eklenmiştir. Toplu Normalleştirme (Batch Normalization) yöntemi, sinir ağlarının her bir katmanını giriş değerlerine göre normalleştirerek modelin daha hızlı ve kararlı bir şekilde eğitilmesini sağlamaktadır. Histopatolojik meme kanseri imgelerinin iyi ve kötü huylu olarak sınıflandırmasını sağlayan CNN mimarisi Şekil 1’ de verilmiştir. Bu mimarinin katmanları ve parametre sayıları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Önerilen mimarinin katmanları, çıkış boyutları ve parametre sayıları.

Katmanlar	Çıkış boyutu (genişlik, yükseklik)	Parametre sayısı
ResNet50	(64,2048)	23,508,032
BatchNorm	(64, 4096)	8,192
Dropout	(64, 4096)	0
Tam bağlı	(64, 512)	2,097,664
ReLU	(64, 512)	0
BatchNorm	(64, 512)	1,024
Dropout	(64,512)	0
Tam bağlı	(64, 2)	1,026
SoftMax	(64, 2)	0



Şekil 1. ResNet-50 tabanlı CNN mimarisi

Az sayıda veriye sahip sınıflandırma problemlerinin çözümünde transfer öğrenme yöntemi büyük bir öneme sahiptir. Evrişimsel sinir ağlarının eğitimi için, büyük miktarda etiketlenmiş veri kümelerine ve yüksek hesaplama gücüne sahip grafik kartlarına ihtiyaç vardır. Tıbbi görüntü işleme alanındaki temel problemlerden biri etiketli veri sayısının az olmasıdır. Uzman doktorların tıbbi verileri etiketleme süreci pahalı ve zaman alıcı bir süreçtir. Bu nedenle, CNN modelini sıfırdan eğitmek yerine, önceden farklı bir veri seti üzerinde eğitilmiş modelin tecrübeleri eldeki modele transfer edilir. Başka bir deyişle, transfer öğrenme yöntemi kullanılarak, önceden eğitilmiş modellerin ağırlıkları mevcut modele aktarılır. Transfer öğrenme yöntemi kullanılarak, az veri setlerine sahip olan problemler başarılı bir şekilde eğitilebilirler. Ayrıca kullanılan bu yöntem, daha düşük hesaplama maliyeti gerektirir.

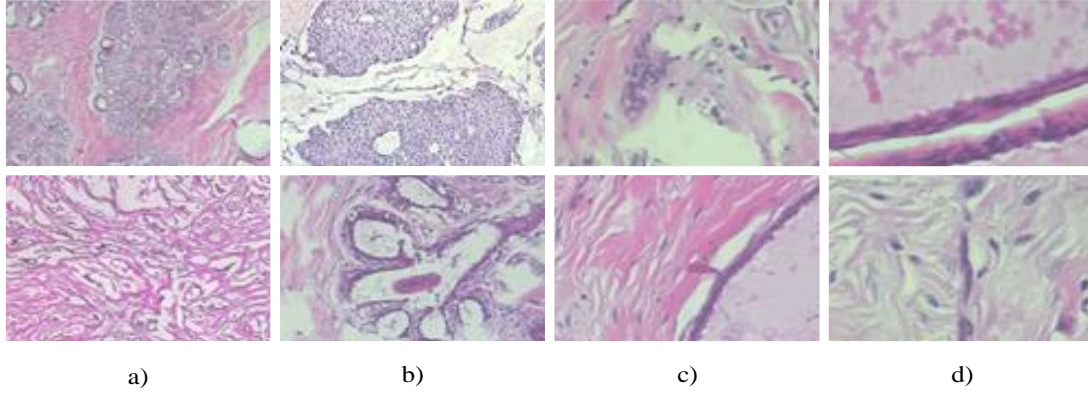
2.2 Veri seti

Bu çalışmada kullanılan meme kanseri imgeleri, açık kaynak BreakHis veri setinden sağlanmıştır [6]. BreakHis veri seti 82 hastadan alınan iyi ve kötü huylu mikroskopik meme tümör imgelerinden oluşmaktadır. Veri setinde 2,440 iyi huylu, 5,429 kötü huylu olmak üzere toplam 7,909 tümör imgesi bulunmaktadır. Tablo 2’de BreakHis veri setine ait histopatolojik tümör imgelerinin dağılımı verilmiştir.

Tablo 2. BreakHis veri setindeki histopatolojik tümör imgelerin dağılımı.

Büyütme oranı	İyi Huylu	Kötü Huylu	Toplam
40×	625	1370	1995
100×	644	1437	2081
200×	623	1390	2013
400×	588	1232	1820
Toplam	2480	5429	7909

BreakHis veri setindeki mikroskobik imgeler 40×, 100×, 200× ve 400× farklı büyütme katsayıları ile verilmiştir. Veri setindeki örnekler, 8 bit derinliğinde ve 700 × 460 boyutunda üç kanallı RGB imgelerinden oluşmaktadır. Şekil 2’de BreakHis veri setinden farklı büyütme oranlarındaki örnek imgeler verilmiştir.



Şekil 2. BreakHis veri setinden alınan farklı büyüklükteki meme kanseri imge örnekleri:
a) 40×, b) 100×, c) 200× ve d) 400×

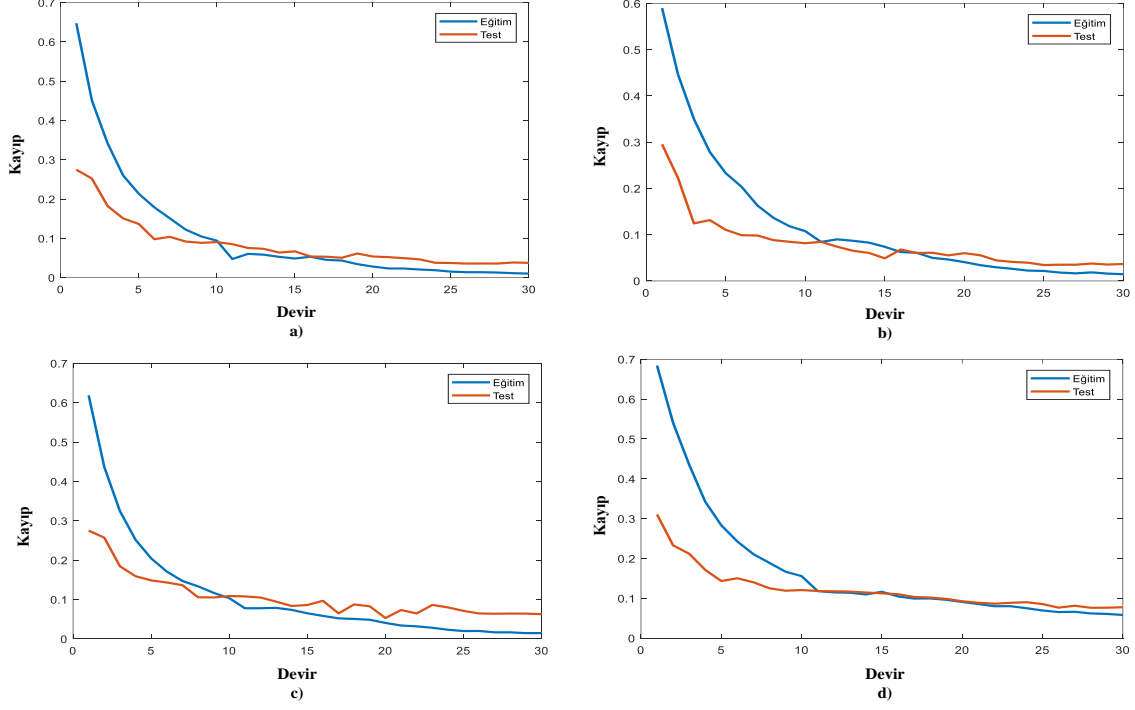
3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Derin öğrenme modelinin eğitimi için Python programlama dili destekli PyTorch kütüphaneleri kullanılmıştır. PyTorch derin öğrenme kütüphanesi, Python programlama dili kullanılarak oluşturulmuştur. Güçlü GPU altyapısına sahip olan bu kütüphane, dinamik hesaplama grafiklerinin hızlı bir şekilde oluşumunu sağlamaktadır.

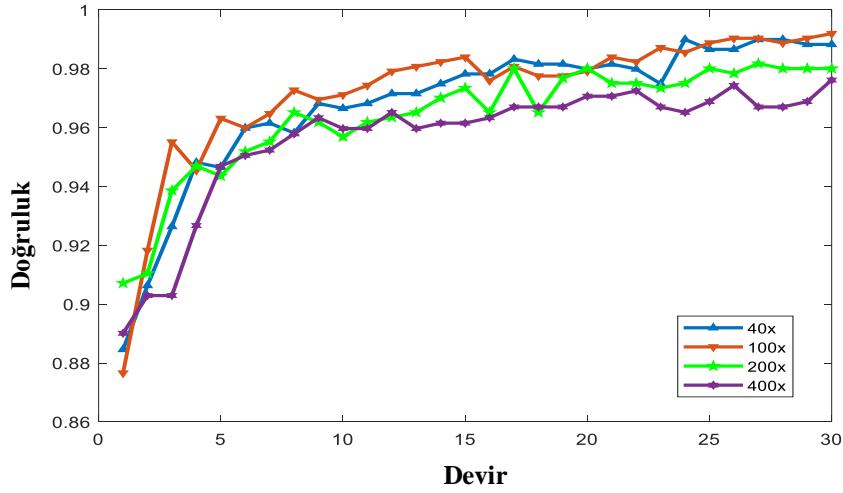
Tüm deneyler, üzerinde 11 GB hafızaya sahip, NVIDIA GeForce GTX 1080 TI ekran kartı bulunduran Ubuntu 16.04 işletim sistemi kurulumlu bir Linux sunucusunda gerçekleştirilmiştir. BreakHis veri seti makalesindeki [6] deneysel protokol uygulanarak mevcut veri, %70 oranında eğitim ve %30 oranında test kümeleri için bölünmüştür. Modelin eğitiminde ağırlık parametrelerinin güncellenmesi için karekök ortalama hata olasılığı (RMSprop) optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Modele eklenen dropout katmanları için parametre değerleri sırasıyla 0.25 ve 0.50 olarak seçilmiştir.

Modelin eğitiminde öncelikle, ResNet-50 mimarisinden transfer öğrenme yöntemi ile elde edilen taban katmanlarının ağırlık değerleri dondurulmuş ve sadece bu tabana eklenmiş olan yeni katmanların eğitimi gerçekleştirilmiştir. Bu eğitim için öğrenme oranı $1e-3$ olarak rasgele seçilmiş ve 10 devir (epochs) eğitim yapılmıştır. Daha sonra modelin tüm katmanları eğitilmiş ve öğrenme oranı $[1e-6, 1e-4]$ aralığında seçilmiştir. Modelin başlangıç katmanları önceden eğitildiğinden, bu kısımdaki öğrenme oranı için küçük bir değer ($1e-6$) seçilmiştir. En son katmanlar ilk katmanlara nispeten daha fazla parametre güncellemesine ihtiyaç duyulduğundan, son katmanlardaki öğrenme oranı daha büyük bir değer ($1e-4$) seçilmiştir. Ara katmanların parametre güncellemelerinde öğrenme oranı bu iki değer $[1e-6, 1e-4]$ arasında seçilerek katman derinliğine bağlı olacak şekilde dereceli bir eğitim gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelin 40×, 100×, 200× ve 400× büyütme oranlarındaki eğitim ve test kayıp (loss) grafik örnekleri Şekil 3’de verilmiştir. Ayrıca, modelin farklı büyütme oranlarındaki

test imgeleri için başarımların grafiği Şekil 4’de sunulmuştur. Eğitim ve test kayıplarının eş zamanlı azalması, modelin eğitiminde aşırı öğrenmenin (overfitting) gerçekleşmediğini göstermektedir. Bir başka deyişle model, eğitim verilerini ezberlemeden eğitim kümesinde sergilediği yüksek başarıyı test verilerinde de sergilemiştir.



Şekil 3. Önerilen modelin, 40×, 100×, 200× ve 400× büyütme oranındaki meme kanseri imgeleri üzerindeki eğitim (mavi) ve test (kırmızı) kayıp grafikleri. a) 40×, b) 100×, c) 200×, d) 400×



Şekil 4. Resnet-50 modelin, 40×, 100×, 200× ve 400× büyütme oranlarındaki test görüntüleri için başarımların grafiği.

Bu çalışmada, meme kanseri imgelerinin farklı büyütme oranları için testler beş defa tekrarlanmış, sonuçlar bu denemelerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Tablo 3’ de BreakHis veri setini kullanarak, iyi ve kötü huylu tümör sınıflandırması yapan derin öğrenme modelleri ile bu çalışmanın sınıflandırma sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tablo 3. BreakHis veri setini kullanılarak, meme kanseri imgelerinin ikili sınıflandırması için yapılan çalışmaların karşılaştırılması (Doğruluk \pm standart sapma).

Yazarlar	Yöntem	Farklı Büyütme Oranlarındaki Sınıflandırma Başarısı (%)			
		40×	100×	200×	400×
Spanhol ve diğ. [6] (2016)	AlexNet + fizyon	85.6 \pm 4.8	83.5 \pm 3.9	83.1 \pm 1.9	80.8 \pm 3.0
Han ve diğ. [7] (2017)	CSDCNN + veri artırma	95.80 \pm 3.1	96.9 \pm 1.9	96.7 \pm 2.0	94.90 \pm 2.8
Kahya ve diğ. [8] (2017)	ASSVM	94.97	93.62	94.54	94.42
Alom ve diğ. [18] (2018)	IRRCNN	97.16 \pm 1.37	96.84 \pm 1.34	96.61 \pm 1.31	95.78 \pm 1.44
Alom ve diğ. [18] (2018)	IRCNN + veri artırma	97.95 \pm 1.07	97.57 \pm 1.05	97.32 \pm 1.22	97.36 \pm 1.02
Önerilen (2019)	Transfer öğr. (ResNet-50)	98.83 \pm 0.33	98.46 \pm 0.58	97.54 \pm 0.64	97.47 \pm 0.47

Tablo 3’de görüldüğü gibi, önerilen modelin, meme kanseri imgelerinin ikili sınıflandırılmasındaki başarısı, güncel çalışmalarda verilen yöntemlerden daha başarılıdır. Ayrıca, ResNet-50 modeli, farklı büyütme oranlarındaki meme kanseri imgelerin tümünde, veri artırması (augmentation) yapmadığı halde, mevcut çalışmalara nispeten daha başarılı sınıflandırma performansı göstermiştir. BreakHis meme kanseri veri kümesi üzerinde yapılan önceki çalışmalarda, geleneksel makine öğrenme yöntemleri (AVSSVM) veya ilk dönem derin öğrenme modelleri (AlexNet, IRCNN) kullanılmıştır. Derin öğrenme modelleri, imgeler üzerinde elle özellik çıkarımı gerektirmeyen modern yapılardır. Makine öğrenmesi yöntemleri ile manuel olarak bulunmaya çalışılan kıymetli özellikler, derin öğrenme yönteminde model tarafından otomatik bir şekilde ortaya çıkarılmaktadır. Bu çalışmada önerilen derin öğrenme tabanlı ResNet-50 mimarisi, ilk dönem mimarilerine (AlexNet) kıyasla daha fazla katmana sahiptir. Mimarinin katman sayısı arttıkça genellikle modelin başarısı artmaktadır. Fakat dikkat edilmelidir ki katman sayısının bir noktadan sonra artması, modelin eğitimi sırasında bilgi kaybına neden olabilmektedir. Bu çalışmada önerilen ResNet-50 modeli sahip olduğu özel bağlantılar yardımıyla, ilk katmanlarda öğrenilen bilgileri (ağırlık değerlerini) sonraki katmanlara taşıyarak modelin eğitimi sırasında meydana gelebilecek bilgi kaybını önlemektedir. Dolayısıyla önerilen mimari ile yapılan testlerde yüksek başarı gözlemlenmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, ResNet-50 derin öğrenme modeli taban olarak kullanılarak transfer öğrenme yöntemi yardımıyla BreakHis veri setinden elde edilen meme kanseri imgelerinin iyi ve kötü huylu olarak ikili sınıflandırması yapılmıştır. Önerilen model farklı büyütme oranlarındaki mikroskobik imgelerin tamamında kullanılabilir. Sınıflandırma işlemi, meme kanseri imgeleri üzerinde herhangi bir ön işleme yapılmaksızın gerçekleştirilmiştir. Sonraki çalışmalarda veri seti artırımı yaptırılarak farklı CNN modellerinin başarısı test edilebilir.

Kaynaklar

- [1] Yassin N, Omran S, El Houbay M, Allam H. Machine learning techniques for breast cancer computer aided diagnosis using different image modalities: A systematic review. *Comput Meth Prog Bio* 2018; 156(1): 25-45.
- [2] Loukas C, Kostopoulos S, Tanoglidi A, Glotsos D, Sfikas C, Cavouras D. Breast cancer characterization based on image classification of tissue sections visualized under low magnification. *Comput Math Method M* 2013; 13(4): 47- 55.
- [3] Joy J, Penhoet E, Petititti D. Saving women's lives: strategies for improving breast cancer detection and diagnosis. National Academies Press, 2005.
- [4] Veta M, Pluim J, Diest P, Viergever M. Breast cancer histopathology image analysis: A review. *IEEE T Bio-Med Eng* 2014; 61(3): 140-151.

- [5] Gupta V, Bhavsar A. Breast cancer histopathological image classification: is magnification important? In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. 2017; pp. 17-24.
- [6] Spanhol F, Oliveira E, Petitjean, C, Heutte L. Breast cancer histopathological image classification using Convolutional Neural Networks. International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) 2016; 32(4): 2560-2567.
- [7] Han Z, Wei B, Zheng, Y, Yin Y, Li K, Li S. Breast cancer multi-classification from histopathological images with structured deep learning model. Scientific reports 2017; 7(1): 4172-4182.
- [8] Kahya A, Al-Hayani W, Algamal Y. Classification of breast cancer histopathology images based on adaptive sparse support vector machine. Journal of Applied Mathematics and Bioinformatics 2017; 7(1): 49-56
- [9] Kowal M, Filipczuk P, Obuchowicz, A, Korbicz J, Monczak R. Computer-aided diagnosis of breast cancer based on fine needle biopsy microscopic images. Comput Biol Med 2013; 43(10): 1563-1572.
- [10] Zhang Y, Zhang B, Coenen F, Xiao J, Lu W. One-class kernel subspace ensemble for medical image classification. Eurasip J Adv Sig Pr 2014; 14(1): 17-26
- [11] Zhang Y, Zhang B, Coenen F, Lu W. Breast cancer diagnosis from biopsy images with highly reliable random subspace classifier ensembles. Mach Vision Appl 2013; 24(7): 1405-1420.
- [12] George M, Zayed H, Roushdy I, Elbagoury M. Remote computer-aided breast cancer detection and diagnosis system based on cytological images. IEEE Syst J 2014; 8(3): 949-964.
- [13] Filipczuk P, Fevens T, Krzyzak A, Monczak R. Computer-Aided Breast Cancer Diagnosis Based on the Analysis of Cytological Images of Fine Needle Biopsies. IEEE Trans. Med. Imaging 2013; 32(12): 2169-2178.
- [14] Gupta V, Bhavsar. Breast cancer histopathological image classification: is magnification important? In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. 2017; pp. 17-24.
- [15] Spanhol A, Oliveira S, Cavalin R, Petitjean C, Heutte L. Deep features for breast cancer histopathological image classification. 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). 2017; pp. 1868-1873.
- [16] Araújo T, Aresta G, Castro E, Rouco J, Aguiar P, Eloy C, Polónia A, Campilho A. Classification of breast cancer histology images using convolutional neural networks. Plos One 2017; 12(6): e0177544.
- [17] Bayramoglu N, Kannala J, Heikkilä J. Deep learning for magnification independent breast cancer histopathology image classification. 23rd International conference on pattern recognition (ICPR). 2016; pp. 2440-2445.
- [18] Alom Z, Yakopcic C, Taha M, Asari K. Breast Cancer Classification from Histopathological Images with Inception Recurrent Residual Convolutional Neural Network. J Digit Imaging 2019; 45(3): 1-13.
- [19] Veta M, Pluim P, Van J, Viergever A. Breast cancer histopathology image analysis: A review. IEEE T BIO-MED ENG 2014; 61(5): 1400-1411.
- [20] He K, Zhang X, Ren S, Sun J. Deep residual learning for image recognition. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016; pp. 770-778.
- [21] Yildirim Ö. A novel wavelet sequence based on deep bidirectional LSTM network model for ECG signal classification. Comput Biol Med 2018; 96(4): 189-202.
- [22] Baloglu B, Talo M, Yildirim O, Tan R, Acharya R. Classification of myocardial infarction with multi-lead ECG signals and deep CNN. Pattern Recogn Lett 2019; 122(2): 23-30.
- [23] Yildirim Ö, Pławiak P, Tan S, Acharya R. Arrhythmia detection using deep convolutional neural network with long duration ECG signals. Comput Biol Med 2018; (102)3: 411-420.
- [24] Talo M, Baloglu B, Yildirim Ö, Acharya R. Application of deep transfer learning for automated brain abnormality classification using MR images. Cogn Syst Res 2018; 54(4): 176-188.

Zemin Taşıma Gücünün Rijit ve Esnek Üstyapıların Kalınlıklarına ve Maliyetlerine Etkisi

Tacettin GEÇKİL¹, Mehmet Mahmut TANYILDIZI^{2*}

¹ İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

² 2'nci Ordu Komutanlığı, Malatya, Türkiye

¹tacettin.geckil@inonu.edu.tr, ²mmtanyildizi@hotmail.com

(Geliş/Received: 02/02/2019;

Kabul/Accepted: 20/05/2019)

Öz: Yol otoriteleri, minimum bakım gerektiren, trafik güvenliği yüksek, uzun ömürlü ve ekonomik yolları hedeflemektedirler. Taşıma gücü zayıf zeminlerde ekonomik bir üstyapı inşası güç olmaktadır. Bu nedenle, esnek ve rijit üstyapıların projelendirilmesinde kullanılan zemin parametrelerinin seçiminde, ortam ve koşullara göre en uygun seçeneğin tercih edilmesi ekonomik açıdan önem arz etmektedir. Bu çalışmada, esnek ve rijit yol üstyapısının projelendirilmesinde kullanılan AASHTO (1986) (American Association of State Highway and Transportation Officials) metodundaki 'Taban Zemini Esneklik Modülü M_R (psi)' ile 'Yatak Katsayısı k (pci)' parametreleri, esnek ve rijit üstyapılarda hem maliyet hem de tabaka kalınlıkları açısından araştırılmıştır. Bu amaçla, esnek üstyapılarda esnek üstyapı sayısını en çok etkileyen parametre taban zemini esneklik modülü (M_R) iken rijit üstyapılarda yatak katsayısı (k) üstyapı beton kaplama kalınlığını en az etkileyen parametre olarak tespit edilmiştir. Esnek üstyapılarda taban zemini esneklik modülü M_R 'nin gerçek değerinden %50 küçük değerin alınmış olması durumunda çift şeritli bölünmüş (platform genişliği 20 m) 100 km uzunluğundaki esnek bir üstyapıda maliyetin yaklaşık 2.568.000 TL artış gösterdiği, rijit üstyapıda ise yatak katsayısı (k)'nın gerçek değerinden %50 küçük değerin alınmış olması durumunda çift şeritli bölünmüş (platform genişliği 20 m) 100 km uzunluğundaki rijit bir üstyapıda maliyetin yaklaşık 114.000 TL artış gösterdiği tespit edilmiştir. Sonuçta, karayolu üstyapılarının tasarımı; tasarım ömrü boyunca tahmin edilen trafik yükleri ve çevre koşulları için üstyapı tabaka kalınlıklarının hesabı ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi esasına dayandığından, ' M_R ' değerinin gerçek değerinden küçük alınması durumunda yatırım giderlerinin gereksiz yere artırılmış ve bu durumun ekonomik zararlara yol açabileceği, ' k ' değerinin ise üstyapı maliyetine önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Rijit üstyapı, esnek üstyapı, AASHTO metodu, taban zemini esneklik modülü, yatak katsayısı.

Effect of Bearing Capacity of Soil on the Thickness and Cost of Rigid and Flexible Superstructures

Abstract: Road authorities aim at long-lasting and economic roads that require minimal maintenance with high traffic safety. It is difficult to build an economic superstructure on poor bearing soil. Thus, it is economically important to choose the most suitable option for the environment and conditions in the selection of the floor parameters used for the design of flexible and rigid top structures. In this study, 'Floor Base Flexibility Module M_R (psi)' and 'coefficient of soil reaction k (pci)' parameters in AASHTO (1986) (American Association of State Highway and Transportation Officials) method that have been used in the design of flexible and rigid road superstructure were investigated in flexible and rigid superstructures in terms of both cost and layer thicknesses. For this purpose, it has been determined that while the parameter that affects the flexible superstructure number in superstructures most is floor flexibility module (M_R), the bed coefficient (k) in the rigid superstructures is the parameter that affects the thickness of the superstructure concrete cladding least. It is evaluated that the cost of a flexible pavilion with a double-stranded split (platform width 20 m) with a length of 100 kilometres increases by approximately 2.568.000 TL in the event that the base floor flexibility module has a value of %50 smaller than the actual value of M_R in flexible superstructures, however it has also been determined in rigid superstructures that if a value which is %50 smaller than the actual value of the bed coefficient (k) is taken, the cost of a rigid superstructure with a double-strand split (platform width 20 m) is reduced by approximately 114.000 TL. As a result, it has been determined that since the design of the highway pavements is based on the determination of the superstructure layer thicknesses and material properties for the estimated traffic loads and environmental conditions throughout the design life, the investment costs are increased unnecessarily and this can cause economic losses if the ' M_R ' value is greater than the actual value, and ' k ' value has no significant effect on the cost of superstructure.

Key words: Rigid pavement, flexible pavement, AASHTO Method, base floor elasticity module, bearing coefficient.

1. Giriş

Yollar, bölgenin sosyo-ekonomik durumuna bağlı olarak ihtiyaç ve talepleri karşılayacak şekilde tasarlanmaktadır. Yol kullanıcısı olarak sürücüler, düzgün, konforlu, kayma direnci yüksek, hızlı erişimli, ulaşım

* Sorumlu yazar: mmtanyildizi@hotmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0001-8070-6836, ²0000-0001-5992-2665

maliyeti ve gürültü seviyesi düşük yollar talep ederken, yol otoriteleri, dayanıklı minimum bakım gerektiren, kalıcı deformasyonlara karşı dirençli, trafik güvenliği yüksek, uzun ömürlü yolları hedeflemektedirler [1].

Bir yol üstyapısı değişik elemanlardan oluşur. Bu elemanlar, üstyapının proje ömrü boyunca emniyetli bir şekilde ve her türlü iklim koşulları altında hizmet verebilmesini ayrıca çok sayıda aracın üzerinden geçmesini sağlayacak koşulları yerine getirebilmelidir [2]. Üstyapı tasarımında ampirik, ampirik analitik ve analitik olmak üzere üç yöntem kullanılmaktadır. Ampirik yöntemler uygulamalardan kaynaklanan bilgi birikimleri ve özel olarak yapılmış deneme yollarından edinilen deneyimlere dayanmaktadır. Dolayısıyla ampirik yöntemler, üzerinde uygulandığı deneme yolunun koşullarından daha farklı koşullarda uygun sonuç vermemektedir. Buna karşılık analitik yöntem; teorik analiz ve bitümlü malzemelerin mekanik özelliklerini kullanmakta ve her türlü koşulda uygulanabilmektedir [3]. Bu mekanik özellikler kapsamında stabilizasyonla zeminin; mukavemet, rijitlik, basınç dayanımı, geçirgenlik, drenaj ve donma hassasiyeti gibi özellikleri iyileştirilebilir. Yol altyapısını stabil bir duruma getirmek için birçok stabilizasyon metotları mevcuttur. Ülkemizde genellikle mekanik stabilizasyon metodu uygulanmaktadır. Kireç ve çimento çok miktarda bulunması nedeniyle zemin-kireç ve zemin-çimento stabilizasyonu da karayollarımızda kullanılmaktadır. Zemin-asfalt stabilizasyonu ile zeminin su tutması azaltılarak geçirimsizliği sağlanır, zemin daneleri birbirine bağlanarak zeminin kohezyonu ve stabilitesi artırılıp üstyapı kalınlığı azaltılabilir [4]. Ayrıca, kaplama tabakasında kullanılan bitümlü sıcak karışımların mühendislik özelliklerini iyileştirmek için iki temel yoldan birisi gradasyonu ve dolayısıyla asfalt çimentosu oranlarını değiştirmektir. Diğer bir yol ise ya bitüme ya da doğrudan karışıma ilave edilen katkı maddeleriyle bitümlü sıcak karışım özelliklerini iyileştirmektir. Temel ve alttemel tabakalarında ise kalitesi yüksek malzeme kullanımı ve uygun gradasyon seçimi ile iyileştirmeler yapılmaktadır. Bu üç tabaka yüksek kalitede imal edilmiş olsalar da üzerine oturdukları zemin yeterli taşıma gücüne sahip değil ise yollarda altyapı kusurundan kaynaklanan tekerlek izi, oturmalar ve çatlamlar gibi bozulmalar meydana gelmektedir. Bu gibi kusurları önlemek ya zemin taşıma gücünü artırmakla ya da yüksek maliyetlere neden olan tabaka kalınlıklarının artırılmasıyla mümkündür [5]. Prabakar, Dendorkar ve Morchhale (2004) üç farklı zemine %9-46 oranlarında uçucu kül ilave ederek bu zeminlerin Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) değerleri, kesme gerilmesi parametreleri ve şişme potansiyellerini incelemiştir. Sonuçta uçucu kül ilavesinin, likit limit ve plastisite indisi en düşük olan CL sınıfındaki zeminde en fazla iyileştirme yaptığı belirtilmiştir [6]. Senol, Edil, Bin-Shafque, Acosta ve Benson (2006) ince gradasyonlu killi zeminlerde (CL-CH) yüksek kalsiyum içerikli uçucu kül ve çimento ile stabilizasyonun etkinliğini incelemiştir. Değişik oranlardaki uçucu kül ve çimento karışımli numunelerin elastisite modülleri ve 90 günlük basınç dayanımları ve CBR değerleri tespit edilmiştir. Uçucu kül ve çimento ile iyileştirilmiş killi zemin üzerindeki esnek üst yapının analizi yapılarak geleneksel üstyapılar ile karşılaştırılmış ve stabilizasyonun teknik faydaları açıkça ortaya konulmuştur. Dört ayrı tesisten elde edilen, ikisi yüksek oranda CaO, ikisi de yüksek oranda karbon içeren uçucu küllerin yumuşak zeminlerin stabilizasyonundaki etkilerinin incelendiği çalışmada, kül içeriğinin artması ile değişik zemin cinslerine göre CBR değerinin 2 ile 18 kat arasında, basınç mukavemetinin ise 2 ile 7 kat arasında arttığı, en fazla artışın %20 uçucu kül içerikli CL sınıfındaki zeminde olduğu belirtilmiştir [7]. Lav ve Goktepe (2006) gerçekleştirdikleri çalışma ile çimento stabilizasyonlu uçucu kül malzemesinin temel malzemesi olarak kullanılabilmesi için çimento miktarının en az %8, tabaka kalınlığının ise 30 cm olması gerektiğini tespit etmişlerdir [8]. Chauhan, Mittal ve Mohanty (2008) optimum uçucu kül oranı tek eksenli basınç deneyi sonuçları dikkate alınarak yaptıkları çalışmada en iyi sonuca %70 kum ve %30 uçucu kül karışımının sahip olduğunu, bu karışıma %1 polipropilen lif ilavesinin tek eksenli basınç değerini önemli ölçüde artırdığını belirtmişlerdir [9]. Cai, Shi ve Tang (2006) lif katkısı ve kireç içeren başka bir çalışmada en yüksek basınç dayanımlarının ve içsel sürtünme açılarının %0,25 lif ve %5 kireç kullanılması durumunda elde edildiğini ve kireç oranının artması ile şişme potansiyelinin azaldığını belirtmişlerdir [10]. Gerald, Miller ve Azadb (2000) portlant çimentosu üretiminde açığa çıkan atık malzemenin (çimento fırın tozu, CKD) düşük ve yüksek plastik zeminlerde stabilize malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Sonuçta CKD ilavesi ile tek eksenli basınç dayanımının iyileştiği, bu iyileşmenin düşük PI değerlerine sahip zeminlerde daha fazla olduğu, CKD katkılı zeminlerin basınç dayanımlarının 7-14 gün içerisinde hızlı bir şekilde arttığı daha sonra artış hızının azaldığı, CKD ilavesi ile optimum su oranının arttığı ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının azaldığı belirtilmiştir [11]. Dermataş ve Meng (2003) içerisinde Ca, Mg, Si ve Al oksit içeren atık malzemelerle zemin stabilizasyonu yaparak zeminlerin şişme potansiyellerini ve tek eksenli basınç dayanımlarını incelemiştir. Sonuçta şişme potansiyelini azaltmada önemli bir etkiye sahip olabilmesi için kirecin %4 oranından fazla kullanılması gerektiği, aynı orandaki MgO'nin en iyi performansı gösterdiği belirtilmiştir. Uçucu kül içerisinde bulunan CaO'nin puzulanik bir etki yaptığı %25 uçucu kül ile %10 kireç katkılı zeminlerin basınç dayanımlarının çok yüksek olduğu belirtilmiştir [12]. Eren ve Filiz (2009) yaptıkları çalışmada değişik oranlarda çimento ve kireç katkılı zeminin CBR değerlerini incelemiştir. Kireç oranının %8 değerine kadar CBR değerinin arttığı daha sonra düşüşe geçtiği kireç katkılı zeminin hiç şişme göstermediği tespit edilmiştir [13].

Wu, Zhang ve Tao (2010) kalsiyum sülfat katkılı ve yüksek fırın cürufu içeren, kalsiyum sülfat katkılı ve uçucu kül içeren ve kırma taştan yapılmış temel tabakalarından oluşan üç farklı kesit hazırlamışlardır. Tekerlek izi deneyinden, 12,5 mm tekerlek izinde kalsiyum sülfat katkılı yüksek fırın cürufu ve kalsiyum sülfatlı uçucu küllü kesitlerde yorulma çatlağı ve timsah sırtı çatlakların oluşmadığı buna karşın temel tabakası kırma taştan oluşan kesitte ciddi derecede çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda zemin stabilizasyonunda kireç, çimento, uçucu kül gibi malzemeler ayrı ayrı yada birlikte kullanılarak zeminlerin taşıma gücüne olan olumlu etkileri ayrıca likit limit, plastisite indisi değerlerini nasıl etkilediği belirtilmiştir [14].

Bu çalışmada; AASHTO (1986) metodundaki zemin parametrelerinin rijit ve esnek üstyapıların kalınlıklarına ve maliyetlerine etkisi araştırılmış, taban zemini esneklik modülü M_R (psi) ile yatak katsayısı k (pci) parametrelerinin gerçek değerinden %50 eksik alınması durumunda, beton kaplama kalınlığını ve esnek üstyapı sayısını ne ölçüde etkilediği ve sonuçta üstyapıyı oluşturan tabakaların değişik zemin taşıma gücüne göre üstyapı maliyetine etkisi tespit edilmiştir. Maliyetlerin hesaplanmasında 2018 birim fiyatları kullanılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada materyal olarak esnek ve rijit üstyapı projelendirme yöntemleri kullanılmıştır. Sırasıyla Grup İndeksi metodu (GI), CBR metodu ve AASHTO hesap yöntemleri anlatılmıştır.

2.1.1 Grup İndeksi Yöntemi (GI)

Bu metot 1945 yılında Steele tarafından ABD'de geliştirilmiş olup, taban zemininin granülometrisine ve plastisitesine bağlıdır. Grup indeksi (1) numaralı formül ile bulunur. Eğer temel ve alt temel in yeteri kadar sıkıştırıldığı kabul edilirse, üstyapının kalınlığını tayin edecek en önemli etken taban direnci olur.

$$GI=0.2 \times a + 0.005 \times (a \times c) + 0.01 \times (b \times d) \quad (1)$$

Burada;

- a: Zeminin 200 nolu elekten geçen kısmının %35'den büyük, fakat %75'den küçük olan miktarıdır,
- b: Zeminin 200 nolu elekten geçen kısmının %15'den büyük, fakat %55'den küçük olan miktarıdır,
- c: Zeminin numere likitlik limitinin 40'dan büyük, fakat 60'dan küçük olan kısmıdır,
- d: Zeminin numere plastiklik indisinin 10'dan büyük, fakat 30'dan küçük olan kısmıdır.

GI, 0 ile 20 arasında bir değer alır. GI=0 değeri çok iyi bir malzemeyi (yüksek taşıma kapasitesi) ve GI=20 değeri çok kötü bir malzemeyi (düşük taşıma kapasitesi) temsil eder.

2.1.2 CBR Metodu

1930'lu yıllarda Kaliforniya'da O.T. Porter tarafından geliştirilmiştir. İlk yıllarda havaalanı kalınlık tasarımında kullanılmış ve daha sonraları yol üstyapıları için de kullanılmaya başlamıştır. Zeminin ve granüler malzemenin CBR değeri göz önüne alınarak üstyapı kalınlığı hesaplanır [15].

CBR deneyi şu şekilde yapılır:

1. Yaklaşık 4000 gr lık ve değişik nem değerlerinde bulunan birkaç örselenmiş zemin örneği 140 kg/cm^2 bir statik yük ile 15 cm çaplı ve 20 cm yükseklikteki silindirik kalın kenarlı çelik kalıplar içinde sıkıştırılır. Elde edilen numune epruvetinin yüksekliği 10 cm kadardır.

2. Nem-yoğunluk eğrisi çizilir ve en büyük kuru yoğunluk değerini veren numune seçilir.

3. Bu numune, içinde bulunduğu kalıpla birlikte suya bastırılır ve uygulamada elde edilecek doygunluk derecesine ulaşması amacıyla dört gün süre ile su içinde bırakılır.

Taban alanı 20 cm^2 olan küçük bir silindirik piston silindirik çelik kalıp içinde bulunan numuneye batırılır. Bu sırada piston numuneye saplandıkça yük deformasyon bilgileri toplanır. Genellikle piston 4.5 kg ağırlığında bir sürşarj halkası içinden geçer. Bu halka numune yüzeyini sınırlar ve uygulamada yol temel ve zemin tabakalarının ağırlığını temsil eder. CBR değeri eşitlik (2) ile bulunur.

$$CBR = \frac{\text{Pistonun numune yüzeyine } 0.25 \text{ cm batması için yeterli yük}}{\text{Standart kırma kaya temelde pistonun } 0.25 \text{ cm batması için gerekli olan yük}} \quad (2)$$

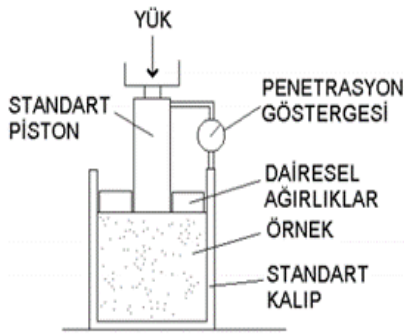
CBR değeri % olarak ifade edilir ve CBR değeri yükseldikçe zemin sertleşir. Yatak katsayısı (k) ile taban zemini esneklik modülü (M_R) arasındaki bağıntı eşitlik (3) ile verilmiştir.

$$k = M_R / 19.4 \quad (3)$$

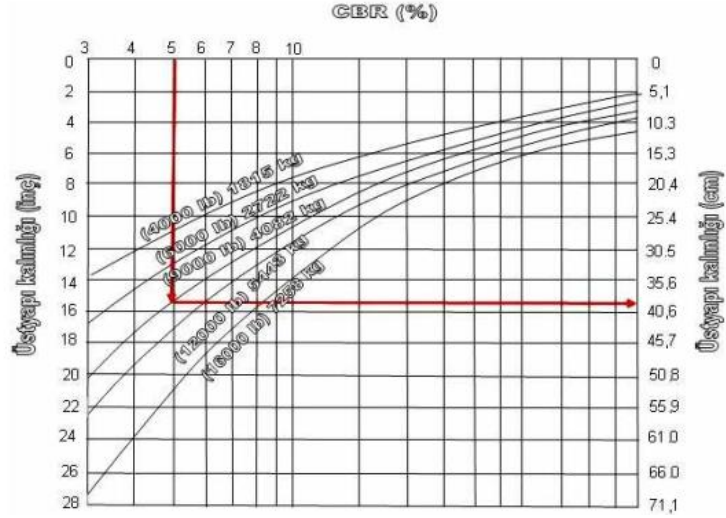
Burada;

k : Yatak katsayısı (Plaka yükleme testi ile) (pci)

M_R : Taban zemini esneklik modülü (Üç eksenli test ile) (psi)



Şekil 1. CBR deney düzeneği.



Şekil 2. CBR metodu ile üstyapı kalınlık hesap eğrisi.

2.1.3 AASHTO metodu ile rijit üstyapı tasarımında zemin yatak katsayısının analitik incelenmesi

AASHTO (1986) metodu, yol testi sonuçları ile standart dingil yükü tekrür sayısının kaplamanın performansına etkisi dikkate alınarak geliştirilmiştir. Esnek kaplamaların tasarımında olduğu gibi, kaplamanın servis yeteneğindeki azalma göz önüne alınmaktadır. Beton kaplamanın performansı için AASHTO (1986) yol testinden denklem (4) deki eşitlik elde edilmiştir [16].

$$\begin{aligned} \log_{10} W_{8.2} = & Z_R \times S_0 + 7.35 \times \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10}[\Delta PSI / (4.5-1.5)]}{1 + [1.624 \times 10^7 / (D+1)^{8.46}]} \\ & + (4.22 - 0.32 \times P_t) \times \log_{10} \frac{S'_c \times C_d \times [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 \times J \times [D^{0.75} - [18.42 / (E_c / k)^{0.25}]]} \end{aligned} \quad (4)$$

Burada;

$W_{8.2}$: 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekrür sayısı

Z_R : Standart normal sapma

S_0 : Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası

D : Rijit üstyapı beton kaplama kalınlığı (inç)

ΔPSI : $P_0 - P_t$ (Servis kabiliyetinde azalma miktarı)

P_0 : Başlangıç servis kabiliyeti indeksi

P_t : Nihai servis kabiliyeti indeksi

S'_c : Betonun kopma modülü (Eğilmede çekme mukavemeti) (psi)

J : Yük transfer katsayısı

C_d : Drenaj katsayısı

E_c : Betonun elastisite modülü (psi)

k : Zemin yatak katsayısı (pci)

Bu çalışmada; 8.2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekrür sayısı $W_{8.2}=45$ milyon, yük transfer katsayısı $J=3.2$, drenaj katsayısı $C_d=1.0$, Betonun elastisite modülü $E_c=5$ milyon ve servis yeteneği kaybı $\Delta PSI=2$ olarak alınmış, zemin yatak katsayısı k 'nın, rijit üstyapı beton kaplama kalınlığı ile değişimi incelenmiştir.

Yatak katsayısı 50-1600 psi arasında, trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası %10-%60 arasında, güvenilirlik %5-%99 arasında seçilmiştir.

Yatak katsayısının (k)'nın rijit üstyapı beton kaplama kalınlığına etkisi Tablo 1'de verilmiştir. Tablodaki değerlerin değişimi Şekil 3'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 3'den de görüldüğü gibi yatak katsayısının küçük değerlerinde üstyapı beton kaplama kalınlığı büyük değerler almaktadır. Yatak katsayısı arttıkça üstyapı beton kaplama kalınlığı azalmaktadır.

Yatak katsayısı (k)'nın gerçek değerinden %50 küçük değer alınmış olması durumunda (Kabul edilen ' k ' değerinin 600 yerine herhangi bir nedenle hata yapılarak 300 alınması) üstyapı beton kaplama kalınlığında % 3.494'lük fazla değer elde edilmiş olmaktadır.

$$ED = ((D - DE) \times 100) / D \quad (5)$$

ED : Yüzdellik hata

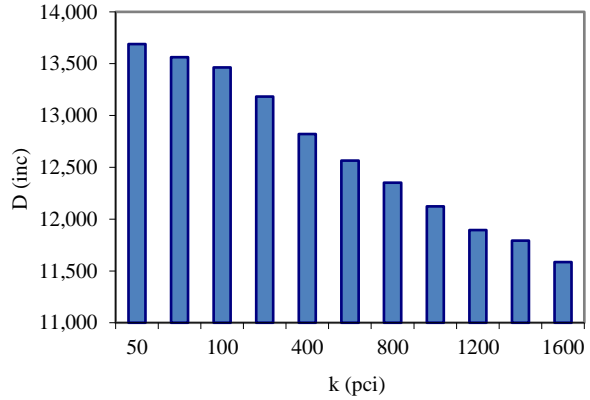
D : Gerçek girdi parametresi kullanılarak hesaplanan üstyapı sayısı

DE : Girdi parametrelerinde tahmini bir hata kullanılarak hesaplanan üstyapı sayısı

$$ED = ((D - DE) \times 100) / D = ((13.002 - 12.563) \times 100) / 12.563 = \%3.494 \text{ olmaktadır.}$$

Tablo 1. Yatak katsayısındaki değişime göre diğer parametrelerdeki değişim.

$W_{8.2}$	k (pci)	S_o	Z_a	E_c	d (inc)	d (cm)
	50				13,688	34,768
	75				13,563	34,450
	100				13,463	34,196
	200				13,182	33,482
	400				12,822	32,568
45.000.000	600	0,35	-1,645	5.000.000	12,563	31,910
	800				12,350	31,369
	1000				12,124	30,795
	1200				11,895	30,213
	1400				11,793	29,954
	1600				11,586	29,428



Şekil 3. Kaplama kalınlığının yatak katsayısı ile değişimi.

2.1.4 AASHTO metodu ile esnek üstyapı tasarımında taban zemini taşıma gücünün analitik incelenmesi

AASHTO metodu ile esnek üstyapının projelendirilmesi kısmen deneyimlere dayandırılmakla beraber, taban zemini taşıma gücü, trafik dingil yükleri ve tekrürü ile yerel koşullar, ayrıca üstyapıda kullanılan malzemelerin birbirlerine oranla, direnç özellikleri de hesaba katılmaktadır. AASHTO yol deneyinden yararlanılarak üstyapı kalınlıklarının hesabında kullanılmak üzere üstyapıya etkiyen faktörleri içine alan AASHTO (1986) deney yolu denklemi (6) numaralı eşitlik ile verilmiştir [17].

$$\text{Log} T_{80} = Z_R \times S_o + 9.36 \times \text{log}_{10}(\text{SN} + 1) - 0.20 + \frac{\text{log}_{10}[\Delta \text{PSI} / (4.2 - 1.5)]}{0.40 + [1094 / (\text{SN} + 1)^{5.19}]} + 2.32 \text{Log}_{10} \times (0.145 \times M_R) - 8.07 \quad (6)$$

Üst yapısı hesaplanacak yolun oturacağı taban zemininin AASHTO ile M_R değeri tespit edilmektedir. Zeminin CBR değeri ile M_R değeri arasında Psi cinsinden $M_R=1500 \times CBR$ gibi bir ilişki mevcut olduğundan dolayı taban zemininin CBR değeri bilinmesi halinde M_R değeri yaklaşık olarak tayin edilebilmektedir.

Burada;

T_{80} : Projelendirilecek yolun hizmete açılmasından, hizmet kabiliyeti indeksinin seçilen değere düşeceği değere kadar hesap şeridinin taşıyacağı tahmin edilen toplam trafiktir. (Eşdeğer standart dingil sayısı olarak)

M_R : Taban zemini esneklik modülü (psi)

S_0 : Standart sapma

Z_R : Normal standart sapma

SN : Üstyapı sayısı

ΔPSI : Servis kabiliyeti indeksi

Bu çalışmada, taban zemini esneklik modülü M_R 'nin, üstyapı sayısı SN ile değişimi incelenmiştir. Eşdeğer standart dingil yükü tekerrür sayısı $T_{80}=10$ milyon, standart sapma $S_0=0.60$, Servis kabiliyeti indeksi $\Delta PSI=2.2$, taban zemini esneklik modülü 10.000 ile 250.000 arasında seçilmiştir.

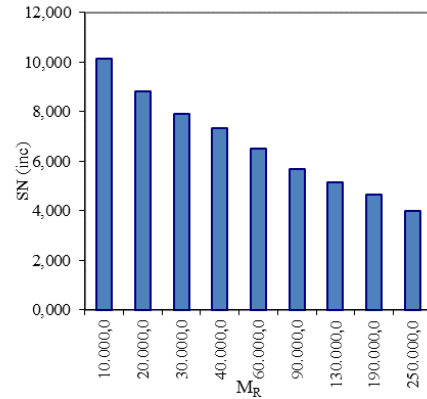
Tablo 2'de M_R 'nin üstyapı sayısına etkisini belirlemek için ele alınan parametrelerin değerleri, Şekil 4'de ise M_R 'nin üstyapı sayısına etkisi verilmiştir. Şekil 4'den görüldüğü üzere, M_R 'nin küçük değerlerinde, üstyapı sayısı büyük değerler almaktadır. Zeminin taşıma gücü arttıkça, üstyapı sayısı küçülmektedir.

M_R 'nin gerçek değerinden %50 küçük değer alınmış olması durumunda (Kabul edilen ' M_R ' değerinin 60.000 yerine herhangi bir nedenle hata yapılarak 30.000 alınması) üstyapı sayısında %21.34'lük fazla değer elde edilmiş olmaktadır.

$$ED = ((D - DE) \times 100) / D = ((7,913 - 6.521) \times 100) / 6.521 = \%21.34 \text{ olmaktadır.}$$

Tablo 2. M_R İle SN arasındaki ilişki.

T_{80}	M_R	S_0	R_E	Z_R	ΔP	SN (inc)	SN (cm)
	10.000,00					10,115	25,692
	20.000,00					8,798	22,347
	30.000,00					7,913	20,099
	40.000,00					7,336	18,633
10.000.000	60.000,00	0,6	0,999	-3,090	2,20	6,521	16,563
	90.000,00					5,672	14,407
	130.000,00					5,154	13,091
	190.000,00					4,652	11,816
	250.000,00					4,012	10,190



Şekil 4. SN'nin M_R ile değişimi.

2.1.5 AASHTO metodu ile esnek ve rijit üstyapıda taban zemini taşıma gücünün ekonomik analizi

Yol üstyapısını oluşturan her bir tabaka kalınlığının alt ve üst limitleri bulunmaktadır. Genel olarak bir defada serilip sıkıştırılmış bitümlü karışımların tabaka kalınlığı, karışımdaki en büyük dane boyutunun 1.5 ile 3 katı arasında, temel ve alttemel tabakaları için ise bu değer 20 cm olmalıdır [18].

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) birim fiyatlarında, aşınma, binder ve bitümlü temel tabakaları için farklı kalınlıklardaki $1m^2$ maliyetleri, temel ve alttemel tabakaları için ise m^3 ve ton maliyetleri verilmiştir. Bu çalışmada, tabaka kalınlıklarına göre verilen maliyet değerleri, tabaka kalınlıklarına bölünerek m^2/cm miktarının maliyeti bulunmuş ve bu değerlerin de ortalaması alınmıştır. AASHTO (1986) metodunda taban zemini taşıma gücünün ekonomik analizi için 2018 yılı KGM birim fiyatları esas alınmıştır. Tablo 3'de analizde kullanılacak birim maliyetler verilmiştir [19].

Bu çalışmada tabaka cinslerine göre birim maliyet tespitinde, aşınma tabakası (asfalt betonu) 5 cm, binder tabakası (asfalt betonu) 8 cm, bitümlü temel tabakası 12 cm, granüler temel tabakası 20 cm ve alttemel tabakası 20 cm alınmıştır.

Tablo 3. Tabaka cinslerine göre birim maliyetler.

Poz No	Tanım	Birimi	Birim Fiyat (TL)	m ² /cm Maliyeti (TL)
KGM/6405/S	5 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu aşınma tabakası yapılıması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	9.27	1.85
KGM/6308	8 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu binder tabakası yapılıması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	13.11	1.64
KGM/6212-A	12 cm sıkışmış kalınlıkta 1 m ² asfalt betonu bitümlü sıcak temel tabakası yapılıması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile)	m ²	18.21	1.52
KGM/6100/3	Plentmix temel yapılıması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile) Not: Kaplama yoğunluğu 2.4 gr/cm ³	ton	37.63	0.90
KGM/6010	Elenmiş çakıllı malzeme ile alttemel yapılıması (kum-çakıl alttemel)	m ³	11.32	0.11

Tablo 3’de verilen bilgiler ışığında, aşınma tabakası maliyeti (m²/cm)=1.85 TL, binder tabakası maliyeti (m²/cm)=1.64 TL, bitümlü sıcak temel tabakası maliyeti (m²/cm)=1.52 TL, plentmix temel tabakası maliyeti (m²/cm)=0,90 TL, alttemel tabakası maliyeti (m²/cm)=0.11 TL ve toplam maliyet (m²/cm)=6.02 TL olarak bulunmuştur.

Esnek üstyapılarda M_R’nin gerçek değerinden %50 küçük değer alınmış olması durumunda üstyapıda %21.34’lük fazla değer elde edilmiş olmakta ve bu durum 1 m² üstyapı maliyetini 6.02×21.34/100=1.284 TL artırmaktadır. Çift şeritli bölünmüş (platform genişliği 20 m) 100 km uzunluğundaki esnek bir üstyapıda 20×100.000×1.284=2.568.000 TL maliyet artışına sebep olmaktadır.

Tablo 4. C25 Betonun birim maliyeti

Poz No	Tanım	Birimi	Birim Fiyat (TL)	m ² /cm Maliyeti (TL)
Y.16.050/05	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 25/30 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	165.03	1.65

Benzer şekilde alttemel ve temel tabakası mevcut bir rijit üstyapıda, k’ının gerçek değerinden %50 küçük değer alınmış olması durumunda kaplama kalınlığı %3.494 artmakta ve bu durum 1 m² üstyapı maliyetini 1.65×3.494/100=0.057 TL artırmaktadır. Çift şeritli bölünmüş (platform genişliği 20 m) 100 km uzunluğundaki rijit bir üstyapıda 20×100.000×0.057=114.000 TL maliyetin artmasına sebep olmaktadır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, rijit ve esnek üstyapıların projelendirilmesinde kullanılan AASHTO (1986) metodundaki taban zemini esneklik modülü M_R (psi) ile yatak katsayısı k (pci) parametrelerinin, rijit üstyapı beton kaplama kalınlığını ve esnek üstyapı sayısını ne ölçüde etkilediği araştırılmış ve zemin taşıma gücünün üstyapı maliyetine etkisi tespit edilmiştir.

Esnek üstyapılarda, esnek üstyapı sayısını en çok etkileyen parametre taban zemini esneklik modülü M_R olmaktadır. Esnek üstyapılarda zeminin taşıma gücü M_R’nin gerçek değerinden %50 küçük değer alınmış

olması durumunda çift şeritli bölünmüş (platform genişliği 20 m) 100 km uzunluğundaki esnek bir üstyapıda maliyetin yaklaşık 2.568.000 TL artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle esnek üstyapılarda M_R değerinin gerçek değerinden küçük alınması durumunda yatırım giderleri gereksiz yere artırılmış ve bu durumun ekonomik zararlara yol açabileceği tespit edilmiştir.

Rijit üstyapılarda; yatak katsayısı (k) üstyapı beton kaplama kalınlığını en az etkileyen parametre olarak belirlenmiştir. Rijit üstyapıda yatak katsayısının (k)'nın gerçek değerinden %50 küçük değerin alınmış olması durumunda çift şeritli bölünmüş (platform genişliği 20 m) 100 km uzunluğundaki rijit bir üstyapıda maliyetin yaklaşık 114.000 TL artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle rijit üstyapılarda kullanılacak beton kalitesinin artırılması ile daha az kalınlıkta beton tabaka imal edilebileceğinden ya da aynı kalınlıkta daha fazla trafik yüküne deforme olmadan direnç gösterebilecek bir kaplama oluşturulabileceğinden, tamamen yerli kaynaklarla üretilecek kaliteli betonlar ile ekonomik açıdan önemli bir kazanç sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Kaynaklar

- [1] Önal M.A, Temren, Z. Türkiye İle Bazı Avrupa Ülkelerinin Esnek Üstyapı Tasarımlarının Karşılaştırılması. 4'üncü Ulusal Asfalt Sempozyumu 2004; 224-243.
- [2] Birinci F., Kalyoncuoğlu E.F., Saltan Ş, Tığdemir M. Yol Üstyapısı Ders Notu. Samsun, 2003.
- [3] Whiteoak D., Lav A. H., Lav A. 2004, Shell Bitüm El kitabı, İsfalt, İstanbul.
- [4] Cilason N. Toprak Stabilizasyonu, K.G.M., Yayın No:122, Ankara. 1964.
- [5] Kök B.V, Yılmaz M, Geçkil A. Çimento Stabilizasyonlu Zeminin Esnek Üstyapı Maliyetine Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 18, Sayı 3, 2012, Sayfa 165-172.
- [6] Prabakar J, Dendorkar N, Morchhale R.K. Influence of Fly Ash on Strength Behavior of Typical Soils. Construction and Building Materials. 2004; 263–267.
- [7] Senol A., Edil T.B., Bin-Shafque M.S., Acosta H.A., Benson C.H. Soft Subgrades' Stabilization by Using Various Fly Ashes. Resources, Conservation and Recycling. 2006; 365–376.
- [8] Lav A.H., Lav M.A., Goktepe A.B. Analysis and Design of a Stabilized Fly Ash as Pavement Base Material Fuel. 2006; 85, 2359–2370.
- [9] Chauhan M.S., Mittal S., Mohanty B. Performance Evaluation of Silty Sand Subgrade Reinforced With Fly Ash and Fibre. Geotextiles and Geomembranes. 2008 429–435
- [10] Cai Y., Shi B., Charles W.W., Ng, Tang, C. Effect of Polypropylene Fibre and Lime Admixture on Engineering Properties of Clayey. Soil Engineering Geology. 2006; 230–240.
- [11] Gerald A., Miller U., Azadb S. Influence of Soil Type on Stabilization With Cement Kiln Dust. Construction and Building Materials. 2000; 89-97
- [12] Dermatas D., Meng X. Utilization of Fly Ash For Stabilization/Solidification of Heavy Metal Contaminated Soils. Engineering Geology. 2003; 377–394.
- [13] Eren S., Filiz M. Comparing the Conventional Soil Stabilization Methods To The Consolid System Used as an Alternative Admixture Matter in Isparta Darıdere Material. Construction and Building Materials. 2009; 2473–2480.
- [14] Wu Z., Zhang Z., Tao M. Stabilizing Blended Calcium Sulfate Materials For Roadway Base Construction. Construction and Building Materials. 2010; 1861–1868.
- [15] Porter O. James. Development of the Original Method for Highway Design. Transactions, American Society of Civil Engineers, 1950; 461-67.
- [16] American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C.: 1993.
- [17] Ağar E., Sütaş İ., Öztaş G. Beton Yollar. İstanbul. İTÜ Yayınları,1998.
- [18] Karayolları Genel Müdürlüğü, Yollar Fenni Şartnamesi. 170/2, 1989.
- [19] <http://www.birimfiyat.net>, 2018.

Faz Değiştiren Madde Olarak Nano Katkılı Stearik Asit ve Palmitik Asidin Termofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Taylan Gazi ÜREGEN^{1*}, Gamzepelin AKSOY², Ahmet KOCA³

¹Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

²Yazılım Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

³Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹tguregen@gmail.com, ²gamzepelina@gmail.com, ³dr.koca.ahmet@gmail.com

(Geliş/Received: 20/02/2019;

Kabul/Accepted: 29/04/2019)

Öz: Günümüzde faz değiştiren maddeler ısı depolama sistemlerindeki mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu maddeler, ısı sistemlerinde, ısı enerjisi depolama elemanı olarak tercih edilirler. Isı depolama sistemlerinin geliştirilebilmesi için, faz değiştiren maddelerin seçimi ısı transfer mekanizmasına ek olarak önemli bir rol oynamaktadır. Faz değiştiren maddelerde nano parçacık katkısının termofiziksel özelliklerin iyileştirilmesinde önemli bir etkisi vardır. Bu çalışmada, faz değiştiren maddelerden olan Stearik asit ve Palmitik asit kimyasallarına ağırlıkça %1, %3, %5, %10 oranlarında Grafit nano parçacığı eklenmiştir. Hazırlanan karışımların termofiziksel özellikleri belirlenmiştir. Hazırlanan homojen karışımların, saf Stearik asit ve Palmitik aside göre ısı iletkenlik değerlerinde artma, gizli ısı değerlerinde azalma görülmüştür. En yüksek ısı iletkenlik artışı Stearik asit-%5 Grafit karışımında %89, Palmitik asit-%10 Grafit karışımında ise %64 olarak tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Stearik Asit, Palmitik Asit, Grafit Nano Parçacık, Nano Parçacık, Faz Değiştiren Maddeler.

Determination of the Thermal Properties of Nano Doped Stearic Acid and Palmitic Acid as Phase Change Material

Abstract: Phase Change Materials (PCM) are widely used in engineering applications on heat storage system nowadays. In order to improvement heat storage systems, the choice of Phase Change Materials plays an important role in addition to the heat transfer mechanism. The nanoparticle addition in Phase Change Materials has a significant effect on the improvement of the thermophysical properties. In this study, 1%, 3%, 5%, 10% by weight Graphite nano particles were added to the Stearic Acid and Palmitic Acid chemicals which are of Phase Change Materials. The thermophysical properties of the prepared mixtures were determined. The homogeneous mixtures, the increase in thermal conductivity values of pure stearic acid and palmitic acid, and a decrease in latent heat were observed. The highest thermal conductivity increase is determined as 89% in the stearic acid-5% graphite mixture and 64% in the Palmitic acid-10% graphite mixture.

Key words: Stearic Acid, Palmitic Acid, Graphite Nano Particles, Nano Particle, Phase Change Material.

1. Giriş

Günümüzde artan enerji talebi yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji depolama tekniklerinin önemini arttırmaktadır. Enerji üretimi, genel olarak fosil yakıtlarla karşılanmaktadır. Ancak fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ gazı küresel ısınmanın gerekçesi olarak görülmektedir [1]. Bu amaçla, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları ile etkin ve ucuz ısı depolama sistemlerinin geliştirilmesine yönelik yoğun tetkikler devam ettirilmektedir.

Uygun enerji depolama tekniklerinden biri olan Faz Değiştiren Maddeler (FDM), yıllardan beri çeşitli ısı sistemlerinde, depolama materyali olarak kullanılmaktadır. Bu maddeler, faz değişimi sırasında çevresinden aldığı veya verdiği ısıyı, gizli ısı olarak depolamaktadırlar [2,3]. Ayrıca FDM yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en etkili olanlardan biridir. Bunun nedeni, FDM'in geniş bir uygulama alanına sahip olmasıdır. Bir enerji depolama sisteminin verimli kullanımını sağlamanın en temel gereksinimlerinden biri; belirli bir sürede mümkün olan en fazla enerjiyi depolamaktır. Diğer bir deyişle, enerjinin fazla olduğu bir zamanda enerjiyi depolayarak ihtiyaç duyulduğu zaman kullanıma sunabilmektir [4]. FDM düşük erime/katılma sıcaklığına ve yüksek enerji depolama özelliklerine sahiptir. Faz değişim işlemi tersinir olarak gerçekleşir. Endotermik (ısı alan) ve ekzotermik

* Sorumlu yazar: tguregen@gmail.com Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-1121-3039, ² 0000-0002-5328-2983, ³ 0000-0002-0137-6988

(ısı veren) FDM'ler bu süreçlerde faz değişimine uğrar. Bir madde faz değişim sıcaklığına ulaştığı zaman erimeye başlar ve bu işlem sırasında sıcaklık sabit kalır. Madde erime esnasında enerjiyi gizli ısı olarak depolar [5].

Son yıllarda araştırmacılar, FDM'lerin termofiziksel özelliklerini arttırmaya yönelik çalışmalar yapmaktadırlar. Konu ile ilgili yapılan çeşitli sayısal çalışmalar mevcuttur [6,7]. Ayrıca deneysel çalışmalarda iki ya da daha fazla FDM'yi belirli oranlarda karıştırarak, termofiziksel özellikleri daha iyi olan FDM'ler elde etmişlerdir [8]. FDM'lere ısı iletkenlikleri yüksek olan Bakır Oksit, Alüminyum Oksit, Grafit, Karbon nanotüp vb. nano parçacıklar katılarak, FDM'lerin ısı iletkenliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışmalarda FDM'ler farklı alanlara uygulanmıştır. Sarı Palmitik asit, Miristik asit, Stearik asit, Laurik asit gibi farklı FDM'leri kullanarak bu asitlerin gizli ısı ve erime sıcaklıklarını Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı ile belirlemiştir [9]. Feldman vd., farklı yağ asidi karışımları hazırlayarak, bunların ısı depolama özelliklerini incelemiş ve yağ asitlerinin alan ısıtma için FDM olarak kullanılabilceğini belirtmiştir [10]. Nazir vd., gizli ısı depolama sistemleri için Stearik asit, Palmitik asit, Laurik asit ve Mistik asit kullanarak ötektik karışımlar hazırlamışlardır. Hazırlanan kompozitlerin termofiziksel özellikleri DSC ile belirlemiştir [11]. Cedeno vd., DSC cihazı ile saf yağ asitleri Oleik asit, Stearik asit, Palmitik asit ve bunların ikili üçlü karışımlarını hazırlamışlardır. Erime sıcaklıkları ve gizli ısı gibi ısı özellikleri ile ilgili çalışma yapmışlardır [12]. Gürtürk, Elazığ ilinde ve güneş ışınımının düşük olduğu Kasım ayında, sıcak su tankının, sıcak su ve yalıtım malzemesi arasına FDM'nin bırakılacağı bir depo yaparak, bu depoya, iki farklı saf FDM'nin karışımı ile elde edilen ötektik FDM eklenmiştir. Sistemin FDM'li ve FDM'siz olarak enerji analizlerini yapmıştır [13]. Koca vd, düz plakalı güneş kollektöründe gizli ısı depolama sistemi için FDM kullanarak, enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. Ekim ayında yapmış oldukları analizlerin ortalama net enerjisinin ve ekserjisinin verimlerinin sırasıyla %45 ve %2,2 olduğunu belirtmişlerdir [14]. Literatürde, FDM'nin ısı özelliklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmaların yanı sıra, FDM'nin ısı özelliklerini iyileştirmek için yapılan çalışmalarda mevcuttur.

Khodadadi ve Hosseinizadeh, nano parçacık katkı FDM'nin incelendiği bir araştırma sunmuşlardır. Elde edilen Nano Katkılı Faz Değiştiren Maddelerin (NKFDm), temel malzemelerle kıyaslandığında gelişmiş ısı iletkenlik özelliği sergilediğini göstermişlerdir [15]. Ma vd., Stearik asit ve Benzamid'in ikili karışımlarını hazırlamışlardır. Düşük ısı iletkenliğe sahip ikili karışıma ağırlıkça %12 genişletilmiş Grafit (EG) ekleyerek ısı iletkenliğinin artırıldığı gözlemlenmiştir [16]. Xia vd., %0 ile %10 arasında değişen EG kütle oranı ile parafin maddesinin farklı oranlarda hazırlanması ve bu kompozitlerin ısı karakteristikliği üzerine çalışma yapmışlardır [17]. Şahan ve Paksoy, ısı enerji depolamada kullanılan FDM'lere ısı özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla nano Magnetit (Fe₃O₄) ve Karbon nanotüp eklentisi yapmışlardır. FDM olarak tercih edilen parafinin nano kompozitleri hazırlanarak karakterizasyonu yapmış ve ısı özelliklerini araştırmışlardır [18]. Taşkıran, ısı iletkenlikleri yüksek olan nano parçacıkları, ısı iletkenlikleri düşük olan ötektik FDM içerisine ekleyerek, NKFDm hazırlayarak silindirik bir depo içinde erime katılma süreçlerini incelemiştir. Erime ve katılma zamanının NKFDm'nin ötektik FDM'ye göre azaldığını belirtmiştir [5]. Lin vd., Palmitik asit ve Polivinil butiral kompozitlerine %3, %5 ve %7 oranlarında genişletilmiş Grafit eklemiştir. Bu kompozitlerin ısı iletkenliklerini, entalpi değerlerini, kimyasal ve kristal yapılarını incelemiştir [19].

Bu çalışmada Stearik asit ve Palmitik asit FDM'lerine belirli oranlarda (%1, %3, %5, %10) grafit nano parçacığı eklenerek gizli ısı, erime noktası ve ısı iletkenlik gibi termofiziksel özellikleri belirlenmiştir.

2. Materyal Metod

Çalışma iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bunlar;

- ✓ Nano parçacık katkıli homojen karışımların hazırlanması,
- ✓ Hazırlanan karışımların bazı termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi şeklindedir.

Deneysel çalışmada, %99 saflıkta Stearik Asit (C₁₇H₃₅COOH) ve Palmitik Asit (C₁₆H₃₂O₂) organik FDM'ler MERCK firmasından temin edilmiştir. Kullanılan malzemelerin bilinen fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Malzemelerin fiziksel özellikleri [20].

Malzemeler	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Yoğunluk (g/cm ³)	Erime Noktası (°C)
Stearik Asit	284,48	0,845	67-72
Palmitik Asit	256,42	0,852	61-63
Grafit	348,48	2,2	-

Deneilerin doğru şekilde yapılabilmesi için ısıl kararlılığa sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle, karışımlar hazırlanırken malzemeleri homojen hale getirmek için manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Manyetik karıştırıcının sıcaklık parametresi, karıştırılacak malzemenin erime noktası ve parlama noktası dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu kimyasal malzemelerin erime sıcaklığının üzerinde bir sıcaklık değeri belirlenerek, hazırlanan karışımların faz değiştirerek homojen olarak karıştırılması amaçlanmıştır. Saf malzemelere belirli ağırlık oranlarında Grafit nano parçacık eklenerek hazırlanan NKFDMD'ler, manyetik karıştırıcı ile malzeme homojen olana kadar dokuz saat 85 °C'de karıştırılmıştır. Şekil 1'de karışımların hazırlanması gösterilmektedir.



Şekil 1. Karışımların manyetik karıştırıcıda hazırlanması.

Hazırlanan numunelerin erime noktası ve gizli ısı değerlerinin belirlenebilmesi için HITACHI 7010 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) kullanılmıştır. DSC, numune ısıtılırken, soğutulurken ya da sabit bir sıcaklıkta tutulurken soğutulan ya da salıverilen enerji miktarını ölçer. Bu teknik ile referans ve numuneden gelen ya da uzaklaşan ısı farkı, sıcaklığa veya zamana bağlı olarak gösterilmektedir [21]. Numunelerin, azot atmosferinde 10 °C/dak ısıtma hızıyla 15 °C'den başlayarak 90 °C'ye kadar ısıtılarak, DSC eğrileri alınmıştır. DSC eğrileri sonucunda TA7000 standart analiz programı yardımıyla erime sıcaklığı ve gizli ısı değeri belirlenmiştir. NKFDMD'lerin ısıl iletkenlik değerlerinin belirlenmesinde KD2-Pro ısıl özellik analiz cihazı kullanılmıştır. Homojen karışımlar steril plastik tüpler içine konularak cihazın SH-1 iğnesi ile ölçümler alınmıştır.

3. Bulgular

72°C'de katı-sıvı faz geçişine sahip Stearik asit ve 61-62,5°C'de katı-sıvı faz geçişine sahip Palmitik asit ile deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, asitlerin ısıl özelliklerini geliştirmek için ağırlıkça %1, %3, %5 ve %10 kütle oranında grafit nano parçacıkları eklenmiştir. Palmitik asit, Stearik asit ve Grafit nano parçacığının çalışma için kullanılan miktarları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Karışımlardaki maddelerin kütlece değerleri

Kütlece Grafit Oranları (%)	Palmitik Asit (gr)	Stearik Asit (gr)	Grafit (gr)
1	1,2	1,2	0,024
3	1,2	1,2	0,072
5	1,2	1,2	0,12
10	1,2	1,2	0,24

Kullanılan Palmitik asit, Stearik asit ve Grafit nano parçacığının ısıl iletkenlik değerleri Tablo 3'de yer almaktadır.

Tablo 3. Maddelerin ısı iletkenlik değerleri.

Malzemeler	Ölçüm	Isıl İletkenlik (W/mK)	Sıcaklık (°C)
Stearik asit	1. Ölçüm	0,148	26,75
	2. Ölçüm	0,150	27,12
	3. Ölçüm	0,153	32,66
	Ortalama	0,150	
Palmitik asit	1. Ölçüm	0,172	30,91
	2. Ölçüm	0,157	33,73
	3. Ölçüm	0,165	34,90
	Ortalama	0,164	
Grafit	1. Ölçüm	0,143	25,45
	2. Ölçüm	0,147	24,96
	3. Ölçüm	0,149	25,26
	Ortalama	0,146	

Bu kimyasal malzemelerinin saf hallerinin ısı iletkenlik değerleri ölçülmüş olup, sırasıyla 0,150, 0,164, 0,146 W/mK olarak bulunmuştur. Stearik Asit ve nano parçacık katkısı ile hazırlanan NKFDMD'lerin KD2 Pro ile elde edilen ısı iletkenlik değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. NKFDMD (Stearik asit – Grafit) ısı iletkenlik değerleri.

NKFDMD	Ölçüm	Isıl İletkenlik (W/mK)	Sıcaklık (°C)
Stearik Asit- %1 Grafit	1. Ölçüm	0,191	28,29
	2. Ölçüm	0,190	32,10
	3. Ölçüm	0,189	35,50
Ortalama	0,190		
Stearik Asit- %3 Grafit	1. Ölçüm	0,202	27,13
	2. Ölçüm	0,189	32,34
	3. Ölçüm	0,188	34,60
Ortalama	0,193		
Stearik Asit- %5 Grafit	1. Ölçüm	0,298	26,00
	2. Ölçüm	0,285	29,86
	3. Ölçüm	0,271	28,41
Ortalama	0,284		
Stearik Asit- %10 Grafit	1. Ölçüm	0,255	27,95
	2. Ölçüm	0,255	29,42
	3. Ölçüm	0,259	29,35
Ortalama	0,256		

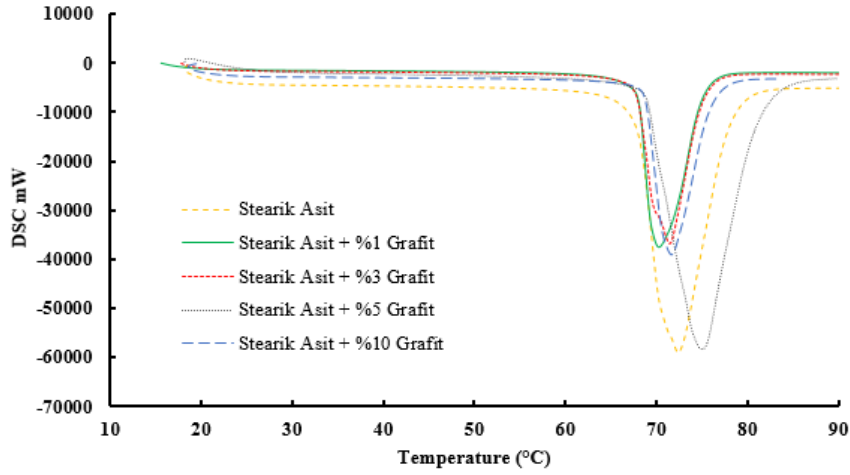
Tablo 4'de verilen sonuçlar göz önüne alındığında Stearik aside %5 Grafit nano parçacığı eklentisi yapıldığında ısı iletkenlik değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmaya göre nano parçacık katkısının FDM'nin saf haline göre ısı iletkenlik değerini arttırdığı gözlemlenmektedir.

Tablo 5'de Palmitik asit ve Grafit nano parçacık katkısı ile hazırlanan NKFDMD'lerin KD2 Pro ile elde edilen ısı iletkenlik değerleri verilmektedir. Tablo 5'de ki sonuçlara göre Palmitik asit %10 Grafit nano parçacığı eklentisi yapıldığında ısı iletkenlik değerinin diğer numune sonuçları incelendiğinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu çalışmada da Stearik asit ile hazırlanan NKFDMD'lerde olduğu gibi, nano parçacık katkısının FDM'nin saf haline göre ısı iletkenlik değerini arttırdığı gözlemlenmektedir.

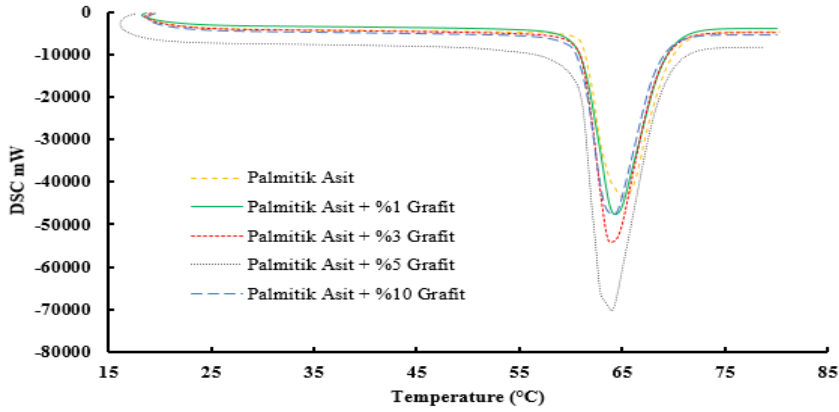
Tablo 5. NKFDMD (Palmitik asit – Grafit) ısı iletkenlik değerleri.

NKFDMD	Ölçüm	Isıl İletkenlik (W/mK)	Sıcaklık (°C)
Palmitik	1. Ölçüm	0,185	29,91
Asit- %1	2. Ölçüm	0,186	31,69
Grafit	3. Ölçüm	0,183	33,02
	Ortalama	0,184	
Palmitik	1. Ölçüm	0,221	30,75
Asit- %3	2. Ölçüm	0,202	32,26
Grafit	3. Ölçüm	0,208	33,55
	Ortalama	0,210	
Palmitik	1. Ölçüm	0,200	32,94
Asit- %5	2. Ölçüm	0,197	33,23
Grafit	3. Ölçüm	0,198	33,74
	Ortalama	0,198	
Palmitik	1. Ölçüm	0,282	31,84
Asit- %10	2. Ölçüm	0,271	32,47
Grafit	3. Ölçüm	0,259	32,70
	Ortalama	0,270	

Şekil 2’de Stearik asit-Grafit karışımlarının, Şekil 3’ te ise Palmitik asit-Grafit karışımlarının DSC analizleri yer almaktadır.



Şekil 2. Stearik asit- Grafit karışımlarının DSC grafikleri.



Şekil 3. Palmitik asit- Grafit karışımlarının DSC grafikleri.

Saf Stearik asit, nano katkı karışımlara göre daha fazla oranda enerjiyi absorbe etmiştir. Ayrıca erime başlangıç-bitiş sıcaklığı arasında farklılıklar görülmemiştir. Ancak %5 nano Grafit katkı Stearik asitte bu durumun farklı olduğu görülmektedir. Palmitik asitte ise nano katkının erime başlangıç bitiş sıcaklığı arasında etkili olmadığı bulunmuştur. Palmitik asite yapılan %5'lik nano katkının daha fazla enerjiyi absorbe ettiği görülmüştür. %5'lik nano katkının asit bazlı FDM grubunda enerji absorbe oranını değiştirdiği belirlenmiştir. DSC sonuçları incelendiğinde NKFDMD'lerden elde edilen veriler Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6. NKFDMD'lerin DSC ile elde edilen termofiziksel değerleri.

NKFDMD	Gizli Isı (J/g)	Erime Sıcaklığı (°C)
Stearik asit	226	72,4
Stearik asit - %1 Grafit	226	70,21
Stearik asit - %3 Grafit	211	71,6
Stearik asit - %5 Grafit	202	74,9
Stearik asit - %10 Grafit	192	71,74
Palmitik asit	222	65,07
Palmitik asit - %1 Grafit	204	64,37
Palmitik asit - %3 Grafit	210	63,95
Palmitik asit - %5 Grafit	220	63,88
Palmitik asit - %10 Grafit	197	64,17

NKFDMD'lerin gizli ısı ve erime sıcaklığı değerlerine göre Stearik asit için %1 Grafit katkı, Palmitik asit için ise %5 Grafit katkı hallerinin gizli ısı depolama kapasitesinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Tablo 7'de ısıl iletkenlik değerlerinin oransal olarak karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 7. Isıl iletkenliklerin oransal olarak karşılaştırılması.

Nano oranları	Stearik Asit	Palmitik Asit
%0	0,150	0,164
%1	0,190 (+%26)	0,184 (+%12)
%3	0,193 (+%28)	0,210 (+%28)
%5	0,284 (+%89)	0,198 (+%20)
%10	0,256 (+%70)	0,270 (+%64)

Nano katkı eklendiğince ısıl iletkenliğin arttığı gözlemlenmiştir. Optimum değer için nano katkı oranının oransal değeri önemlidir.

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada öncelikle saf Stearik asit ve Palmitik asit FDM'lerinin erime sıcaklığı gizli ısı depolama kapasitesi, ısıl iletkenlik gibi termofiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bu FDM'lere farklı kütle oranlarında (%1, %3, %5, %10) Grafit nano parçacık eklenerek, termofiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir.

Deneysel bulgular neticesinde nano parçacık eklentisinin FDM'lerin ısıl iletkenlik değerlerinin saf hallerine göre arttırdığı gözlemlenmiştir. Yapılan nano parçacık katkısı ile birlikte erime sıcaklığı değerlerinin Stearik asit için 70,21 ile 74,9 °C, Palmitik asit için ise 63,88 ile 64,37 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Bunlara ek olarak gizli ısı depolama kapasitesinin Stearik asitte, nano parçacık katkısının kütle olarak artan oranlarda yapılması durumunda azaldığı, Palmitik asitte, kütlece %1, %3, %10 oranında yapılan nano parçacık eklentisinde azaldığı, %5'te ise saf halindeki gizli ısı depolama kapasitesine yakın olduğu sonucu elde edilmiştir.

Elde edilen Nano Katkılı Faz Değiştiren Maddelerin, saf halleriyle kıyaslandığında gelişmiş ısıl iletkenlik özelliği sergilediği görülmektedir. Stearik asit için %5, Palmitik asit için %10 Grafit nano parçacığı eklendiğinde ısıl iletkenlik değerlerinin, diğer nano katkı oranlarına göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Erime sıcaklığını başlama ve bitiş değerleri açısından Stearik asitin nano katkısıyla daha dar bir aralıkta gerçekteştiği görülmüştür. Bu parametrelere göre değerlendirildiğinde uygulama yerine uygun NKFDMD'nin seçilmesinde elde edilen bu bulguların faydalı olacağı düşünölmektedir.

Kaynaklar

- [1] Yılmazoğlu, M.Z. Isı depolama yöntemleri ve binalarda uygulanması, *Politeknik Dergisi*, 2010; 13: 33-42.
- [2] Konuklu, Y., Ersoy, O., Paksoy, H.Ö., Evcimen, S., Çelik, S. ve Toraman, Ö.Y. Termal enerji depolama materyali olarak diatomit/faz değıştiren madde kompozitlerinin üretilmesi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2017; 6(1): 238-243.
- [3] Sharma, S.D. and Sagara, K. Latent heat storage materials and system: A review, *International Journal of Green Energy*, 2005; 2: 1-56.
- [4] Dincer, İ. and Rosen, M.A. Thermal energy storage systems and applications. Canada: Wiley Publication, 2011.
- [5] Taşkıran, A. Nano boyutlu parçacık katkılı yeni nesil faz değıştiren maddelerin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2013.
- [6] Koca, A., Yamaç, H.İ. and Üregen, T.G. Computational Fluid Dynamic Analysis of Phase Change Material Heat Storage Tank Have Spiral Coil Pipe. 1st International Engineering and Technology Symposium; 3-5 May 2018 , Batman: pp. 34-37.
- [7] Yamaç, H.İ. and Koca, A. Numerical Analysis on Phase Change Materials Used in Thermal Energy Storage Tank. International Conference on Innovative Engineering Applications, 20-22 September 2018, Sivas: pp. 841-847.
- [8] El-Bassuoni, A-M.A., Tayep, A.M., Helwa, N.H., and Fatyh, A.M. Modification of urea-sodium acetate trihydrate mixture for solar energy storage, *Renewable Energy*, 2003; 28: pp. 1629-1643.
- [9] Sarı, A. (2003). Thermal reliability test of some fatty acids as PCMs used for solar thermal latent heat storage applications, *Energy Conversion & Management*, 44(14): 2277-2287.
- [10] Feldman, D., Shapiro M.M., and Banu D. Organic phase change materials for thermal energy storage, *Solar Energy Materials*, 1986; 13(1): pp. 1-10.
- [11] Nazir, H., Batoöl, M., Ali, M. and Kannan, A.M. Fatty acids based eutectic phase change system for thermal energy storage applications, *Applied Thermal Engineering*, 2018; 142: pp. 466-475.
- [12] Cedeno, F.O., Prieto, M.M, Espina, A. and Gracia, J.R. Measurements of temperature and melting heat of some pure fatty acids and their binary and ternary mixtures by DSC, *Thermochimica Acta*, 2001; 369(1-2): pp. 39-50.
- [13] Gürtürk, M., Koca, A., Öztöp, H.F., Varol, Y. and Şekerci, M. Energy and exergy analysis of a heat storage tank with a novel eutectic phase change material layer of a solar heater system, *International Journal of Green Energy*, 2017; 14(12): pp. 1073-1080.
- [14] Koca, A., Öztöp, H.F., Koyun, T. and Varol, Y. Energy and exergy analysis of a latent heat storage system with phase change material for a solar collector, *Renewable Energy*, 2008; 33, pp. 567-574.
- [15] Khodadadi, J.M. and Hosseinizadeh, S.F. Nanoparticle-enhanced phase change materials (NEPCM) with great potential for improved thermal energy storage, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2007; 34(5): pp. 534-543.
- [16] Ma, G., Sun, J., Zhang, Y., Jing, Y. and Jia, Y. Preparation and thermal properties of stearic acid-benzamide eutectic mixture/expanded graphite composites as phase change materials for thermal energy storage, *Powder Technology*, 2019; 342: pp. 131-140.
- [17] Xia, L., Zhang, P. and Wang, R.Z. Preparation and thermal characterization of expanded graphite/paraffin composite phase change material, *Carbon*, 2010; 48(9): pp. 38-48.
- [18] Şahan, N. ve Paksoy, H.Ö. Faz değıştiren maddelerin nano malzemelerle kullanımının araştırılması, *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2013; 29(4): 24-30.
- [19] Lin, Y., Zhu, C., Alva, G. and Fang, G. Palmitic acid/polyvinyl butyral/expanded graphite composites as formstable phase change materials for solar thermal energy storage, *Applied Energy*, 2018; 228: pp. 1801-1809.
- [20] <http://www.merckmillipore.com>, 12 Kasım 2018.
- [21] Beşergil, B., *Enstrümantal Analiz Temel İlkeler*. Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi: 2015.

Sabit Yataklı Kolonda Şeftali Çekirdeği Kabuğu Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Basic Yellow 51'in Giderimi

İbrahim POLAT¹, Ramazan ORHAN^{2*}

¹Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Elazığ

²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Elazığ

¹152118102@firat.edu.tr, ²*rorhan@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 04/08/2019;

Kabul/Accepted: 23/08/2019)

Öz: Sabit yataklı kolon sisteminde sulu çözeltiden Basic Yellow 51 (BY51) boyar maddesinin uzaklaştırılması için tarımsal bir atık olan şeftali çekirdeği kabuğu adsorbent olarak kullanılmıştır. Adsorbentin adsorpsiyon özellikleri üzerine başlangıç BY51 boyar madde konsantrasyonu (20-60 mg/L), akış hızı (5-10 mL/dk) ve adsorbent miktarının (1.5-2.5 g) etkisi incelendi. Veriler, breakthrough (kırılma) eğrilerinin akış hızına, başlangıç boyar madde konsantrasyonuna ve adsorbent miktarına bağlı olduğunu gösterdi. En fazla adsorpsiyon kapasitesi 28.12 mg/g olarak 60 mg/L BY51 boyar madde konsantrasyonu, 5 mL/dk'lık çözelti akış hızı ve 2.0 g adsorbent miktarında elde edildi. Thomas ve Yoon-Nelson modelleri kırılma eğrilerini tahmin etmek için elde edilen deneysel verilere başarılı bir şekilde uygulandı.

Anahtar kelimeler: Şeftali çekirdeği kabuğu, Bazik sarı 51, Sabit yataklı kolon, Kırılma eğrisi.

Removal of Basic Yellow 51 from Aqueous Solutions Using Peach Stone Shell in Fixed Bed Column

Abstract: In the fixed bed column system, the peach stone shell, which is an agricultural waste was used as adsorbent for the removal of Basic Yellow 51 (BY51) dye from the aqueous solution. The effects of initial BY51 dye concentration (20-60 mg / L), flow rate (5-10 mL / min) and adsorbent amount (1.5-2.5 g) on the adsorption properties of the adsorbent were examined. Data showed that breakthrough curves were dependent on flow rate, initial dye concentration and adsorbent amount. The highest adsorption capacity was obtained as 28.12 mg / g at the initial dye concentration of 60 mg / L, the solution flow rate of 5 mL / min and the adsorbent amount of 2.0 g. The Thomas and Yoon-Nelson models were successfully applied to the experimental data obtained to estimate the breakthrough curves.

Key words: Peach stone shell, Basic Yellow 51, Fixed-bed column, Breakthrough curve.

1. Giriş

Boyar madde içeren atık suların arıtılmadan doğal su ortamlarına boşaltılması en önemli çevresel sorunlardan biridir. Boyar maddeler, tekstil, kağıt, kozmetik, plastik ve gıda dahil olmak üzere çeşitli endüstri alanlarında yaygın olarak kullanılan karmaşık aromatik yapılara sahip sentetik kimyasal bileşiklerdir [1]. Bu yapıları onları daha stabil yapar ve biyolojik olarak parçalanmalarını zorlaştırır. Sudaki bu sentetik boyar maddelerin varlığı, insan üzerindeki toksik ve mutajenik etkileri nedeniyle insan sağlığı ve çevre için oldukça zararlıdır [2]. Düşük konsantrasyonda (1 ppm) bile boyar maddeler oldukça belirgin olabilir ve estetik kirlenmeye ve ekosistem ve su kaynaklarında bozulmaya neden olabilir [3]. Bu nedenle, endüstriyel atıklar deşarj edilmeden önce boyarmaddelerin uzaklaştırılması gereklidir.

Atık su arıtımında, boyar maddeleri uzaklaştırmak için fotokatalitik bozunma [4], membran ayırma [5], kimyasal oksidasyon [6], adsorpsiyon [7] ve elektrokimyasal işlem gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu boyar madde giderim yöntemleri arasında adsorpsiyon işlemi, hem farklı tip renklendirme maddelerinin giderilmesinde kullanılabilmesi için iyi sonuçlar verir [7] hem de yüksek verimliliği, esnekliği, tasarım basitliği, kolay kullanımı ve ekonomik uygulanabilirliği gibi avantajlarından dolayı daha çok kullanılan bir yöntemdir [8]. Aktif karbon, etkili bir adsorbenttir ve boyar maddelerin arıtılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu adsorbent, yüksek maliyeti nedeniyle pratikte sınırlı kalmıştır. Bu nedenle, ucuz ve etkili alternatif malzemeler çevre bilimcileri için büyük ilgi kaynağı olmuştur. Şimdiye kadar, sulu çözeltilerden boyar madde uzaklaştırılması için çeşitli doğal adsorbentler kullanılmıştır [9]. Adsorbent olarak kullanılan kırsal ürünler hurma çekirdeği lifi [10], pirinç kabuğu [11], talaş [12], yer fıstığı kabuğu [10], yağsız jojoba [13], şeker pancarı küspesi [14] vs.'dir. Şeftali (*Prunus persica L. Batsch*) ülkemizde ve dünyada pek çok ülkede yetişen sert çekirdekli bir meyvedir.

* Sorumlu Yazar: rorhan@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0002-6437-228X, ²0000-0003-2287-4238

Meyvesi yendikten sonra kalan çekirdekli kısım önemli bir pratik faydası olmadığı için potansiyel bir atıktır. Şeftali çekirdeği kabuğunun boyar madde gideriminde biyosorbent olarak kullanılması, hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli bir alternatiftir.

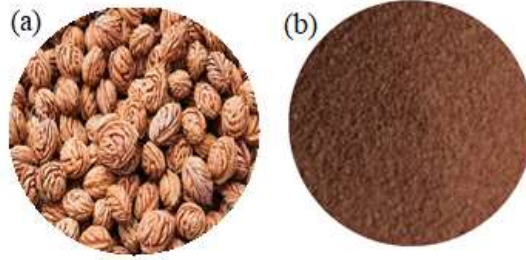
Bu deneysel çalışmada; boyar madde gideriminde bolluğu, kullanılabilirliği, çevre dostu ve maliyet açısından daha ekonomik bir biyosorbent olan şeftali çekirdeği kabuğu kullanılmıştır. Bunun için, sabit yataklı kolonda adsorpsiyon ile Basic Yellow 51 (BY51) boyar maddesinin giderimi üzerine adsorbent miktarı, çözelti akış hızı ve başlangıç BY51 boyar madde konsantrasyonu gibi farklı çalışma parametreleri ile breakthrough eğrilerini belirlemek için bir seri kolon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel verilerin Thomas ve Yoon-Nelson modeline uygunluğu araştırılmış ve modellerin dinamik kinetik parametreleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyaller

Bu çalışmada adsorbent olarak -50+100 mesh tane boyutuna öğütülmüş şeftali çekirdeği kabuğu (Şekil 1), boyar madde olarak da katyonik bir boyar madde olan Basic Yellow 51 (BY51) kullanıldı. Boyar madde DyStar firmasından temin edildi ve saflaştırma işlemi yapılmadan kullanıldı. Boyar maddenin yapısı ve özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.

Deneylerde kullanılan BY51 boyar maddesinin stok çözeltisi, 1000 mg 'lık boyar madde tartılıp 1 L damıtılmış suda çözündürülmesiyle 1 g/L (1000 ppm) derişiminde hazırlandı. Farklı başlangıç boyarmadde konsantrasyonlarında (20-60 mg/L) boyar madde çözeltisi, stok boyar madde çözeltisinden gerekli seyreltmeler yapılarak hazırlandı. Çözeltilerin pH'sını ayarlamak için 0.1 M HCl ve 0.1 M NaOH çözeltisi kullanıldı.



Şekil 1. Şeftali çekirdeği (a), -50+100 mesh öğütülmüş şeftali çekirdeği kabuğu (b)

Tablo 1. BY51'in Özellikleri

Boyar madde	Kimyasal yapısı	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Kimyasal formülü	λ_{max} (nm)
Basic Yellow 51	<p>Basic Yellow 51 kimyasal yapısı, bir benzimidazol türevidir. Yapıda, bir benzimidazol halkası, bir metil grubu (CH₃) ve bir metil sülfonat grubu (CH₃OSO₃⁻) ile değiştirilmiştir. Ayrıca, bir metil grubu (CH₃) ve bir metil sülfonat grubu (CH₃OSO₃⁻) ile değiştirilmiştir.</p>	403.5	C ₂₀ H ₂₅ N ₃ O ₄ S	425

2.2. Sabit yataklı kolon ve örnek toplama

Sabit yataklı kolon çalışmaları 30±2°C sıcaklıkta 1.4 cm iç çap ve 22 cm uzunluğundaki soğutma ceketli cam kolonda gerçekleştirildi (Şekil 2). Adsorbent, alt ve üst kısımdan cam yünü ile destekli bir şekilde kolona yerleştirildi. BY51 boyar madde çözeltisinin 20-60 mg/L konsantrasyonundaki çözeltisi kolona alt kısımdan Watson Marlow 120S marka peristaltik pompa ile istenilen akış hızında (5-10 mL/dk) breakthrough eğrisi oluşturulana kadar beslendi ve daha sonra kolonun üst kısmından numuler alınarak analiz yapıldı. Örneklerin pH'sı Adwa 1030 Model pH metre kullanılarak ölçüldü. Elde edilen süzüntülerdeki boyar madde analizi Bausch and Lomb Spektrometrik 20 spektrofotometresi kullanılarak yapıldı.

2.3. Kolon veri analizi

Sabit yataklı, sürekli sistem adsorpsiyon kolonlarında kolonun adsorpsiyon verimi Breakthrough (kırılma) eğrileri vasıtasıyla hesaplanır. Kırılma eğrisi, verilen yatak yüksekliği için, çıkış hacmi veya zamanın fonksiyonu olarak C_t (çıkış konsantrasyonu)/ C_o (giriş konsantrasyonu) oranının değişimi olarak tanımlanır. Çıkış hacmi (V_{eff}) Denklem 1 kullanılarak bulunur [15].

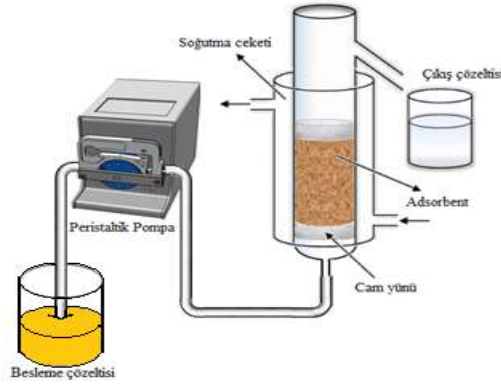
$$V_{eff} = Q \cdot t_{top} \quad (1)$$

Burada; Q , hacimsel akış hızı (mL/dk), t_{top} ise toplam adsorpsiyon süresini göstermektedir. Kırılma eğrisinin altında kalan alan toplam adsorbe edilmiş adsorbat miktarını verir. Kolonda toplam adsorplanan boyar madde miktarı ise Denklem 2 kullanılarak hesaplanır [16].

$$q_{top} = \frac{Q}{1000} \int_{t=0}^{t=t_{top}} C_{ad} dt \quad (2)$$

Kolona gönderilen toplam boyar madde miktarı ise Denklem 3 yardımıyla hesaplanır [17].

$$m_{top} = \frac{C_o * Q * t_{top}}{1000} \quad (3)$$



Şekil 2. Deney sisteminin şematik gösterimi

Akış hacmine göre kirleticinin ayrılma yüzdesi yani kolon performansı, toplam adsorbe edilen boyar madde miktarının kolona gönderilen adsorbat miktarına oranından bulunur (Denklem 4) [17].

$$\% \text{ Giderim} = \frac{q_{top}}{m_{top}} \times 100 = \left(1 - \frac{C_e}{C_o} \times 100\right) \quad (4)$$

Kolonda, dengeye ulaştığında uzaklaştırılan boyar madde miktarı (maximum kolon kapasitesi) q_{denge} Denklem 5'deki bağıntı ile hesaplanır [16].

$$q_{denge} = \frac{q_{top}}{m} \quad (5)$$

Burada m , adsorbent miktarını (g) göstermektedir.

2.4. Kolon çalışmasının modellenmesi

Thomas ve Yoon-Nelson gibi matematiksel modeller, sabit yatak kolonunda kirleticilerin uzaklaştırılmasının dinamik davranışını tanımlamak için en çok kullanılanlardır. Bu nedenle, bu modeller çeşitli koşullar altında şeftali çekirdeği kabuğu kullanılarak BY51'in adsorpsiyonu için deneysel verilere uygulanmıştır.

2.4.1. Thomas modeli

Bir adsorbent maksimum adsorpsiyon kapasitesinin değeri, sabit yataklı adsorpsiyon kolonu tasarlanırken önemlidir. Thomas modeli [18] kolon performansını ortaya koymak için geliştirilmiş en yaygın olarak kullanılan modeldir ve doğrusallaştırılmış şekli aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\ln\left(\frac{C_o}{C_t} - 1\right) = \frac{k_{Th} q_0 m}{Q} - k_{Th} C_o t \quad (6)$$

Burada, k_{TH} , Thomas hız sabiti (mL/mg dk); q_0 , Adsorbentin maksimum adsorpsiyon kapasitesi (mg/g); m , Kolondaki adsorbentin kütlesi (g); Q , Akış hızı (mL/dk). Thomas hız sabiti k_{TH} ve adsorbentin maksimum adsorpsiyon kapasitesi q_0 değerleri, farklı deneysel şartlarda t 'ye karşı $\ln [(C_0/C_t)-1]$ grafiğe geçirilerek elde edilen doğrunun eğim ve kaymasından belirlenmektedir.

2.4.2. Yoon-Nelson Modeli

Yoon ve Nelson tarafından yapılan araştırmalar sonucunda gazların ve buharların aktif kömür üzerindeki adsorpsiyonu ve kırılma eğrilerinin davranışı için basit bir model geliştirilmiştir. Bu model, her bir adsorbat molekülü için adsorpsiyon sistemindeki azalma hızının adsorbentteki adsorbat atılımı ve adsorbat adsorpsiyonu ile orantılı olduğu varsayımına dayanmaktadır [19]. Tek bileşenli sistem için bu modelin doğrusallaştırılmış şekli aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\ln \left(\frac{C_t}{C_0 - C_t} \right) = k_{YN}t - \tau k_{YN} \quad (7)$$

Burada, k_{YN} , Hız sabiti (1/dk); τ , %50 BY51 kırılma eğrisi için gerekli zaman (dk); t_b , kırılma zamanı (dk). t 'ye karşı $\ln [(C_t/(C_0-C_t))]$ arasında çizilen doğrunun kesim noktasından τ ve eğiminden ise k_{YN} değerleri bulunmaktadır.

2.5. Hata analizi

En uygun izoterm modelini belirlemek için, deneysel verilerle izoterm modelinden hesaplanan değerler arasındaki farkı hesaplamak için hata analizi yapılmıştır. Hata analizi için bağıl matematiksel formül [20]:

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (y_d - y_h)^2}{N}} \quad (8)$$

Burada, y_d ve y_h , sırasıyla deneysel ve modele göre hesaplanan değerler ve N deneysel verilerin sayısıdır. Elde edilen istatistiksel parametreler göz önüne alındığında, en yüksek korelasyon katsayısı (R^2 değeri 1.0'e yakın) ve en düşük standart hata değerlerini (SE) dikkate alarak uygun model belirlendi.

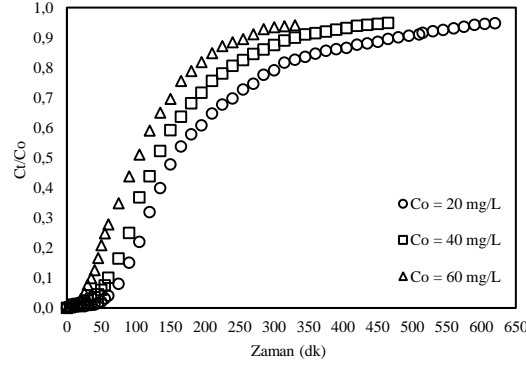
3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Başlangıç BY51 konsantrasyonunun etkisi

BY51 adsorpsiyonu üzerine başlangıç boyar madde konsantrasyonunun etkisi 20, 40 ve 60 mg/L arasında değişen konsantrasyonlarda incelenmiştir. Adsorbent miktarı 2.0 g ve akış hızı 8 mL/dk olarak sabit tutuldu. Elde edilen deney sonuçları Şekil 3'de verilmiştir. Başlangıç BY51 konsantrasyonu 20'den 60 mg/L'ye arttığında, kırılma zamanı (t_b) 65'ten 25 dk'ya azalmıştır (Tablo 2). Şekil 3'de görüldüğü gibi BY51 boyar maddesinin düşük giriş konsantrasyonları için, kırılma eğrisi daha geç meydana geldi ve adsorbentin yüzeyi daha uzun bir süre sonra BY51 boyar maddesi ile doygunluğa ulaştı, oysa daha yüksek BY51 konsantrasyonu için, kısa bir sürede kırılma eğrisi meydana geldi. Bu durum, difüzyon katsayısı veya kütle transfer katsayısındaki azalmadan dolayı, düşük konsantrasyon gradyentinin daha yavaş bir taşınımına neden olduğu gerçeği ile açıklanabilir [21].

Tablo 2. Farklı giriş BY51 konsantrasyonlarında, adsorbent miktarlarında ve akış hızlarında elde edilen kolon veri parametreleri.

C_0 (mg/L)	Q (mL/dk)	m (g)	t_b (dk)	t_{toplam} (dk)	m_{toplam} (mg)	q_{toplam} (mg)	$q_{e, denge}$ (mg/g)	V_{eff} (mL)	% Giderim
20	8	2.0	65	620	99.20	33.35	16.67	4960	33.62
40	8	2.0	50	465	148.80	50.74	25.37	3720	34.10
60	8	2.0	25	330	158.40	56.24	28.12	2640	35.51
40	5	2.0	80	705	141.00	53.45	26.72	3525	37.91
40	8	2.0	50	465	148.80	50.74	25.37	3720	34.10
40	10	2.0	25	375	150.00	47.28	23.64	3750	31.52
40	8	1.5	25	345	110.40	34.71	17.35	2760	31.44
40	8	2.0	50	465	148.80	50.74	25.37	3720	34.10
40	8	2.5	75	615	196.80	68.30	34.15	4920	35.00

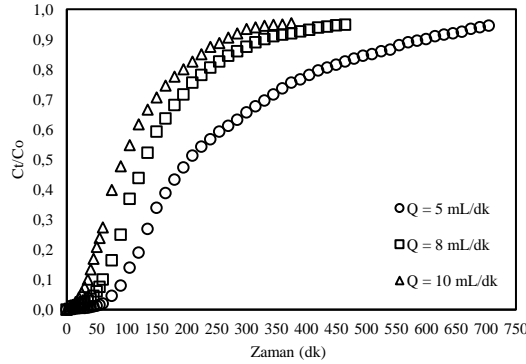


Şekil 3. Kırılma eğrileri üzerine farklı başlangıç konsantrasyonlarının etkisi ($Q=8$ mL/dk, $m=2.0$ g, $T=30 \pm 2^\circ\text{C}$)

Başlangıç konsantrasyonu ne kadar büyük olursa, kırılma eğrisinin eğimi daha diktir ve kırılma zamanı daha küçük olur. Bu sonuçlar, konsantrasyon gradyentindeki değişimin, doyum hızını ve kırılma zamanını etkilediğini veya difüzyon işleminin konsantrasyona bağlı olduğunu göstermektedir [22]. Metilen mavisinin pirinç kabuğu tarafından biyosorpsiyonu için benzer eğilimler elde edilmiştir [23]. Başlangıç boyar madde konsantrasyonunun artırılması ile adsorpsiyon kapasitesinin artması beklenir çünkü yüksek konsantrasyon farkı adsorpsiyon işlemi için yüksek itici güç sağlar [24]. Başlangıç BY51 boyar madde konsantrasyonunun 20'den 60 mg/L'ye artması ile denge anında adsorbent maksimum adsorpsiyon kapasitesi 16.67'den 28.12 mg/g'a arttığı görüldü.

3.2. Akış Hızının Etkisi

Şeftali çekirdeği kabuğu kullanarak BY51'in adsorpsiyonu üzerine akış hızının etkisi, sabit 40 mg/L başlangıç BY51 boyar madde konsantrasyonu ve sabit 2.0 g adsorbent miktarında, farklı akış hızları (5, 8 ve 10 mL/dk) ile araştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Kırılma eğrileri üzerine farklı akış hızlarının etkisi ($C_o = 40$ mg/L, $m = 2.0$ g, $T = 30 \pm 2^\circ\text{C}$)

Hız arttıkça adsorpsiyon hızını arttıran kütle transfer hızı artmıştır. Bu nedenle daha yüksek akış hızlarında erken kırılma eğrileri elde edilmiştir [25]. Akış hızındaki azalma ile doyumluğa ulaşma süresi ve kırılma zamanı önemli ölçüde artmıştır yani akış hızı 5'den 10 mL/dk'ya çıkartıldığı zaman kırılma zamanı (t_b) 80'den 25 dk'ya azalmıştır ayrıca denge anındaki adsorpsiyon kapasitesi 26.72'den 23.64 mg/g'a düşmüştür (Tablo 2). Bunun nedeni, ve dolayısı ile BY51 boyar madde çözeltisinin daha yüksek akış hızında BY51 iyonları ile adsorbent arasındaki temas süresinin daha az olmasıdır. Daha yüksek akış hızında, kolondaki BY51 çözeltisi daha az kalma süresi ve adsorbent gözeneklerine daha az difüzyonu nedeniyle adsorpsiyon kapasitesi daha düşük olmuştur ve bu nedenle BY51 boyar madde çözeltisi, denge oluşmadan önce kolondan ayrılmıştır [26].

3.3. Adsorbent miktarının Etkisi

8 mL/dk sabit akış hızında ve 40 mg/L sabit giriş BY51 konsantrasyonunda, 1.5, 2.0 ve 2.5 g farklı adsorbent miktarlarında şeftali çekirdeği kabuğu üzerine BY51'ün adsorpsiyonu için elde edilen kırılma eğrileri Şekil 5'de

verilmiştir. Şekil 5'ten, kırılma eğrisi süresinin artan adsorbent miktarı ile arttığı bulunmuştur. Adsorbent miktarını 1.5'dan 2.5 g'a arttırmak suretiyle kırılma zamanının 25'den 75 dk'ya ve kolonun boyar madde giderme kapasitesinin 17.35'den 34.15 mg/g'a yükseldiği görülmektedir (Tablo 2). Adsorbent miktarı arttıkça, daha fazla giderim verimine sebep olan adsorbent ile BY51 boyar maddesinin kolon içerisinde kalma süresi artmıştır ve kırılma eğrisinin eğimi azalmıştır bu da genişletilmiş bir kütle transfer bölgesinin oluştuğunu gösterir. Adsorpsiyon yüzeyindeki artışa bağlı olarak daha fazla adsorbent miktarında, adsorpsiyon için daha fazla bağlanma yeri oluşturarak yüksek adsorpsiyon kapasiteside gözlenmiştir [27]. Benzer sonuçlar farklı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir [28,29].

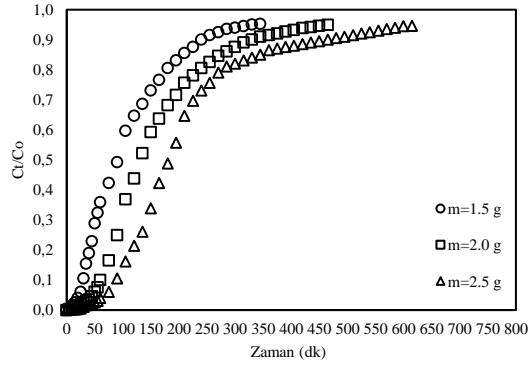
3.4. Dinamik Adsorpsiyon Modelleri

3.4.1. Thomas modeli

Sabit yataklı kolonda elde edilen veriler, Thomas hız sabitini (K_{Th}) ve maksimum katı faz konsantrasyonunu (q_0) hesaplamak için Thomas kinetik modeline uygulanmıştır. Denklem (6)'a göre lineer regresyon analizi kullanılarak belirlenen katsayılar ve bağlı sabitler elde edildi ve sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Farklı deneysel şartlarda BY51'in Thomas modeli parametreleri

C_0 (mg/L)	Q (mL/dk)	m (g)	Thomas			R^2	SE
			k_{Th} (mL/mg dk)	q_0 (mg/g)	$q_{0, denv.}$ (mg/g)		
20	8	2.0	0.65	22.92	16.68	0.815	0.177
40	8	2.0	0.42	33.11	25.37	0.870	0.137
60	8	2.0	0.35	34.47	28.12	0.875	0.100
40	5	2.0	0.29	34.67	26.72	0.827	0.162
40	8	2.0	0.42	33.11	25.37	0.870	0.137
40	10	2.0	0.45	29.42	23.64	0.882	0.106
40	8	1.5	0.49	28.66	23.14	0.852	0.107
40	8	2.0	0.42	33.11	25.37	0.870	0.137
40	8	2.5	0.35	36.76	27.32	0.817	0.171



Şekil 5. Kırılma eğrileri üzerine farklı adsorbent miktarlarının etkisi ($C_0=40$ mg/L, $Q=8$ mL/dk, $T=30 \pm 2^\circ\text{C}$).

Tablo 3'ten nispeten düşük lineer regresyon katsayısı değerleri ($0.815 < R^2 < 0.882$) ve düşük SE (< 0.177) değerleri bu modelin deneysel verilere çok uyumlu olmamakla birlikte Yoon Nelson modeline göre uyumlu olduğu söylenebilir. Tablo 3'ten görüldüğü gibi, giriş konsantrasyonu arttıkça q_0 'ın değeri arttı ancak k_{Th} 'ın değeri azaldı. Bunun nedeni, adsorpsiyon için itici gücün, adsorbent üzerindeki boyar madde ile çözelti içindeki boyar madde arasındaki konsantrasyon farkıdır [30]. Akış hızı artışı ile q_0 değeri azaldı, fakat k_{Th} değeri arttı. Adsorbent miktarı arttıkça, k_{Th} değeri azalırken q_0 değeri önemli ölçüde arttı. Bu nedenle daha düşük akış hızı, daha yüksek giriş konsantrasyonu ve daha fazla adsorbent miktarı şeftali çekirdeği kabuğuna BY51'in adsorpsiyonunu arttıracaktır.

3.4.2. Yoon–Nelson modeli

Şeftali çekirdeği kabuğu ile BY51'in adsorpsiyonundan elde edilen kolon verileri daha az karmaşık olan Yoon–Nelson modeline uygulandı. Denklem 7'e göre, t' 'ye karşı $\ln [(C_t/(C_0-C_t))]$ arasında çizilen grafikte,

doğrunun kesim noktasından τ (% 50 BY51 kırılma eğrisi için gereken süre) ve eğiminden ise Yoon-Nelson sabiti (k_{YN}) değerleri hesaplanarak Tablo 4’de verilmiştir. Nispeten düşük lineer regresyon katsayısı değerleri ($0.815 < R^2 < 0.882$) ve yüksek SE (7.663-16.854) değerlerinin Thomas modelinden daha fazla olduğu ve τ (dk)’nin hesaplanan değerlerinin deneysel değerlerle eşleşmediği Tablo 4’den görülmektedir. Hem daha yüksek akış hızı hem de başlangıç BY51 boyar madde konsantrasyonu ile daha yüksek k_{YN} değerine ulaşıldığı görülmüştür, ancak daha fazla adsorbent miktarı ile bu değer azalmıştır. Ayrıca, artan akış hızı ve başlangıç BY51 boyar madde konsantrasyonu ile τ ’nın değeri azalmış, fakat adsorbent miktarı artışı ile artmıştır. Bunun nedeni, başlangıç BY51 boyar madde konsantrasyonunun artmasının, adsorpsiyon bölgesi için boyar madde molekülleri arasındaki rekabeti arttırması ve bunun sonucunda da daha yüksek giderim oranı vermesi olabilir [31].

Regrasyon katsayısı (R^2) iki model içinde yaklaşık olarak yakın değerler olarak bulunmasına rağmen, hata değerleri (SE) açısından ise sıfıra yakınlık Thomas modelinde bulunmuştur. Yoon-Nelson modelindeki hata değerleri sıfırdan oldukça fazla değer olarak bulunduğundan yani deneysel verilerle modelden bulunan veriler arasında büyük fark oluştuğundan bu modelin bizim deneysel verilere uygun model olmadığını söyleyebiliriz.

Tablo 4. Farklı deneysel şartlarda Yoon–Nelson modeli parametreleri

C ₀ (mg/L)	Q (mL/dk)	m (g)	Yoon-Nelson			R ²	SE
			k _{YN} (1/dk)	τ (dk)	$\tau_{\%50, \text{deny.}}$ (dk)		
20	8	2.0	0.013	284.00	165	0.815	13.170
40	8	2.0	0.017	200.00	135	0.870	12.312
60	8	2.0	0.021	138.09	105	0.875	7.663
40	5	2.0	0.012	325.00	210	0.827	9.698
40	8	2.0	0.017	200.00	135	0.870	12.312
40	10	2.0	0.018	143.64	105	0.882	9.514
40	8	1.5	0.020	130.00	100	0.852	9.168
40	8	2.0	0.017	200.00	135	0.870	12.312
40	8	2.5	0.014	278.00	195	0.817	16.854

4. Sonuçlar

Bu çalışma, yerel olarak ve bol miktarda mevcut bir tarımsal atık olan şeftali çekirdeği kabuğunun, sulu çözeltiden BY51 boyar maddesinin uzaklaştırılması için ticari aktif karbona alternatif etkili ve çevre dostu bir adsorbent olarak kullanılabileceğini doğrulamıştır. Başlangıç boyar madde konsantrasyonunun adsorbent miktarının ve çözelti akış hızının kırılma eğrileri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar BY51’in adsorpsiyonunun başlangıç boyar madde konsantrasyonuna, adsorbent miktarına ve akış hızına bağlı olduğunu gösterdi. Sabit yatağın adsorpsiyon kapasitesi akış hızı artışı ile azalmış fakat başlangıç boyar madde konsantrasyonu ve yatak yüksekliği artışı ile artmıştır. Diğer taraftan maksimum kolon kapasitesi 5 mL/dk akış hızı, 20 mg/L başlangıç boyar madde konsantrasyonu ve 1.5 cm yatak yüksekliği için biyosorbentin gramında yaklaşık 17.07 mg BB3 olarak bulunmuştur. Breakthrough eğrilerini tahmin etmek için sabit yataklı kolonda yapılan dinamik çalışmada elde edilen deneysel verilere Thomas ve Yoon-Nelson modelleri, kolon proses tasarımında gerekli olan kolon kinetik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla uygulanmıştır. BB3 biyosorpsiyonu için kolon verilerinin Thomas modeline daha uygun olduğunu göstermiştir.

Kaynaklar

- [1] Yang Y, Wang G, Wang B, Li Z, Jia X, Zhou Q, Zhao Y. Biosorption of Acid Black 172 and Congo Red from aqueous solution by nonviable *Penicillium YW 01*: kinetic study, equilibrium isotherm and artificial neural network modeling. *Bioresour. Technol.* 2011; 102: 828-834.
- [2] Gupta VK, Mohan D, Sharma S, Sharma M. Removal of basic dyes (rhodamine B and methylene blue) from aqueous solutions using bagasse fly ash. *Sep. Sci. Technol.* 2000; 35 (13): 2097–2113.
- [3] Vimonses V, Jin B, Chow CWK. Insight into removal kinetic and mechanisms of anionic dye by calcined clay materials and lime. *J. Hazard. Mater.* 2010;177:420–427.
- [4] Sohrabi MR, Ghavami M. Photocatalytic Degradation of Direct Red 23 Dye Using UV/TiO₂: Effect of Operational Parameters. *J. Hazard. Mater.* 2008; 153 (3): 1235-1239.
- [5] Ciardelli G, Corsi L, Marcucci M. Membrane Separation for Wastewater Reuse in the Textile Industry. *Resour. Conserv. Recycl.* 2001; 31 (2): 189-197.
- [6] Tang H, Yin L, Lu H. Synthesis, Conformations and Cell-Penetrating Properties. *Biomacromolecules* 2012; 13 (9): 2609-2615.

- [7] Rafatullah M, Sulaiman O, Hashim R, Ahmad A. Adsorption of Methylene Blue on Low-cost Adsorbents: A Review. *J. Hazard Mater.* 2010; 177 (1): 70-80.
- [8] Aguedach A, Brosillon S, Morvan J, Lhadi EK. Photocatalytic degradation of azodyes reactive black 5 and reactive yellow 145 in water over a newly deposited titanium dioxide. *Appl. Catal. B Environ.* 2005; 57: 55–62.
- [9] Sharma P, Kaur H, Sharma M, Sahore V. A review on applicability of naturally available adsorbents for the removal of hazardous dyes from aqueous waste. *Environ. Monit. Assess.* 2011; 183: 151–195.
- [10] Altenor S, Ncibi MC, Emmanuel E, Gaspard S. Textural Characteristics, Physicochemical Properties and Adsorption Efficiencies of Caribbean Alga *Turbinaria Turbinata* and Its Derived Carbonaceous Materials for Water Treatment Application. *Biochem. Eng. J.* 2012; 1 (67): 35-44.
- [11] Malik PK. Use of activated carbons prepared from sawdust and rice-husk for adsorption of acid dyes: a case study of Acid Yellow 36. *Dyes Pigments.* 2003; 56: 239–249.
- [12] Kini SM, Saidutta MB, Murty VRC, Kadoli SV. Adsorption of basic dye from aqueous solution using HCl treated saw dust (*Lagerstroemia microcarpa*): kinetic, modeling of equilibrium, thermodynamic. *India, Int. Res. J. Env. Sci.* 2013; 2: 6-16.
- [13] Al-Anber ZA, Al-Anber MA, Matouq M, Al-Ayed O, Omari NM. Defatted Jojoba for the Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution: Thermodynamic and Kinetic Studies. *Desalination.* 2011; 276 (1): 169-174.
- [14] Malekbala M, Hosseini S, Yazdi SK, Masoudi SS. The Study of the Potential Capability of Sugar Beet Pulp on the Removal Efficiency of Two Cationic Dyes. *Chem. Eng. Res. Des.* 2013; 90 (5): 704-712.
- [15] Al-Degs YS, Khraisheh MA, Allen SJ, Ahmad MN. Adsorption characteristics of reactive dyes in columns of activated carbon. *J Hazard Mater* 2009;165(1-3):944-949.
- [16] Aksu Z, Gonen F. Biosorption of phenol by immobilized activated sludge in a continuous packed bed: prediction of breakthrough curves. *Process Biochem* 2004; 39: 599–613.
- [17] Yagub MT, Sen TK, Afroze S, Ang HM. Fixed-bed dynamic column adsorption study of methylene blue (MB) onto pine cone. *Desalin Water Treat* 2015; 55:1026-1039.
- [18] Thomas HC. Heterogeneous ion exchange in a flowing system, *J. Am. Chem. Soc.* 1944; 66: 1466-1664.
- [19] Yoon YH, Nelson J.H. Application of gas adsorption kinetics. I. A theoretical model for respirator cartridge service life. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1984; 45: 509-516.
- [20] Han R, Ding D, Xu Y, Zou W, Wang Y, Li Y, Zou L. Use of rice husk for the adsorption of Congo red from aqueous solution in column mode. *Biores. Technol.* 2008; 99: 2938-2946.
- [21] El-Kamash AM. Evaluation of zeolite A for the sorptive removal of Cs⁺ and Sr²⁺ ions from aqueous solutions using batch and fixed bed column operations. *J Hazard Mater.* 2008;151:432-445.
- [22] Goel J, Kadirvelu K, Rajagopal C, Garg VK. Removal of lead(II) by adsorption using treated granular activated carbon: batch and column studies, *J. Hazard. Mater. B* 2005; 125: 211-220.
- [23] Han R, Wang Y, Yu W, Zou W, Shi J, Liu H. Biosorption of methylene blue from aqueous solution by rice husk in a fixed-bed column. *J. Hazard. Mater.* 2007; 141: 713–718.
- [24] Sadaf S, Bhatti HN. Evaluation of peanut husk as a novel, low cost biosorbent for the removal of Indosol Orange RSN dye from aqueous solutions: batch and fixed bed studies. *Clean Technol Environ Policy* 2014;16: 527-544.
- [25] Sen TK, Mahajan SP, Khilar KC. Colloid-associated contaminant transport in porous media: 1. Experimental studies. *AIChE J* 2002; 48: 2366-2374.
- [26] Ozdemir O, Turan M, Turan AZ, Faki A, Engin AB. Feasibility analysis of color removal from textile dyeing wastewater in a fixed-bed column system by surfactant-modified zeolite (SMZ). *J. Hazard. Mater.* 2009; 166: 647–654.
- [27] Vijayaraghavan K, Jegan J, Palanivelu K, Velan M. Removal of nickel(II) ions from aqueous solution using crab shell particles in a packed bed up flow column, *J. Hazard. Mater.* 2004; 113B (1–3): 223–230.
- [28] Foroughi-dahr M, Esmaili M, Abolghasemi H, Shojamoradi A, Pouya ES. Continuous adsorption study of Congo red using tea waste in a fixed-bed column. *Desalin. Water Treat* 2016; 57: 8437–8446.
- [29] Mobasherpour I, Salahi E, Asjodi A. Research on the batch and fixed-bed column performance of red mud adsorbents for lead removal. *Canadian Chemical Transactions* 2014; 2 (1): 83-96.
- [30] Padmesh TVN, Vijayaraghavan K, Sekaran G, Velan M. Batch and column studies on biosorption of acid dyes on fresh water macro alga *Azolla filiculoides*. *J. Hazard. Mater.* 2005; B 125: 121–129.
- [31] Han RP, Wang Y, Zhao X, Wang YF, Xie FL, Cheng JM, et al. Adsorption of methylene blue by phoenix tree leaf powder in a fixed-bed column: experiments and prediction of breakthrough curves. *Desalination* 2009;245: 284-297.

Gelir Getirmeyen Su Oranının Azaltılması İçin Optimum Sayaç Değişirme Süresinin Hesaplanması

Salih YILMAZ¹, Özgür ÖZDEMİR², Mahmut FIRAT^{3*}

¹ Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Malatya, Türkiye

² Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Kayseri, Türkiye

³ İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

¹ salihyilmaz@maski.gov.tr, ² ozgurozd@hotmail.com, ³ mahmut.firat@inonu.edu.tr

(Geliş/Received: 06/03/2019;

Kabul/Accepted: 22/08/2019)

Öz: İçme suyu dağıtım sistemlerinde sayaç hataları ve kaçak kullanım gibi bileşenlerden oluşan idari kayıplar kurumlar için doğrudan gelir kaybı olarak ifade edilmektedir. Özellikle yasal konut abonelerinin sayaçlarında meydana gelen arızalar, eksik okuma veya hiç okumama gibi sonuçlar ortaya çıkarmakta bu da gelir getirmeyen su oranını arttırmaktadır. Su ve Kanal İdareleri sayaçlardan kaynaklanan gelir getirmeyen su oranının azaltılması için 10 yaşını doldurmuş sayaçları değiştirme yolunu izlemektedir. Bu sayaçlar değiştirilirken hatalı olanların belirlenip değiştirilmesi yerine aylık ya da yıllık hedeflenen belli sayıda rastgele değiştirme politikası uygulanmaktadır. İzlenen bu yol hatalı sayaç oranının az, tüketimin fazla olduğu bölgelerde ekonomik olmayan sonuçlar doğurabilmektedir. Özellikle ilk yatırım maliyetinin ve su kayıp oranının azaltılması için belli bir sistematığe bağlı olarak sayaç rehabilitasyonunun gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, içme suyu dağıtım sistemlerinde yasal kayıtlı konut türü sayaçlar için optimum değiştirme süresinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için Malatya İli uygulama alanı olarak seçilmiş ve 20 bölgede yer alan sayaçların ilk yatırım maliyetleri, arıza oranı, tüketim özellikleri gibi unsurlar dikkate alınarak ekonomik analiz gerçekleştirilmiş ve bölgeler için optimum değiştirme süreleri hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: İçmesuyu Dağıtım Sistemi, İdari Kayıplar, Sayaç Hataları, Sayaç Değişirme süresi.

Determination of Optimum Water Meter Replacement Period for Reducing the Non-revenue Water

Abstract: Apparent losses occurring from components such as water meter errors and illegal use in water distribution systems are expressed as direct loss of income for the Water Administrations. Especially, faults that occur in the water meters of authorized customers result in incomplete reading or no reading thus increase the non-revenue water ratio. The Water Authorities are following the way to replace the meters to fill 10 years of age in order to reduce the non-revenue water rate caused by the water meters. When these water meters are changed, instead of determining and changing the faulty ones, a certain number of monthly or yearly targeted random replacement policies are applied. This way could lead to uneconomical results in regions where the ratio of faulty meters is low and consumption is high. Especially, in order to reduce the initial investment cost and the water loss rate, it is very important to realize meter replacement depending on a certain system. For this reason, in this study, it is aimed to determine the optimum replacement period for the authorized residential type water meters in water distribution systems. For this, Malatya province is selected as study area. The economic analysis is carried out considering the factors such as the initial investment costs, failure rates of the water meters and consumption characteristics of the customers and the most suitable replacement periods for the regions are calculated.

Key words: Water distribution system, apparent losses, water meter faults, replacement period.

1. Giriş

İçme suyu dağıtım sistemlerinde, suyun kaynaktan aboneye kadar ulaştırılması aşamalarında çeşitli işletme ve üretim maliyetleri meydana gelmektedir. Kullanıcılardan bu maliyetlerin adil bir şekilde tahsis edilebilmesi için sayaçlar kullanılmaktadır. Ancak konutlarda kullanılan ve yasal kayıtlı abonelere ait bu sayaçlarda çeşitli sebeplerden dolayı arızalar meydana gelmektedir. Bu arızalar bazen sayacın olması gerekenden daha fazla okumasına sebep olurken bazen de eksik okuma yapmasına neden olmaktadır. Özellikle sayaç yaşının fazla olduğu bölgelerde genelde sayaçlarda eksik okuma gözlenmekte ve bu da Su ve Kanal İdareleri için “İdari Kayıp” olarak ifade edilen “Gelir Getirmeyen Su” miktarının artmasına sebep olmaktadır [1 ve 2]. Bu kaybın azaltılmasında soruna sebep olan faktörlerin analiz edilmesi ve en uygun stratejinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Sayaç hatalarından kaynaklanan gelir getirmeyen su oranının azaltılması için, ekiplerin belli bir program çerçevesinde

^{3*}Sorumlu yazar: mahmut.firat@inonu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0002-3206-1225, ²0000-0002-0573-9221, ³0000-0002-8010-9289

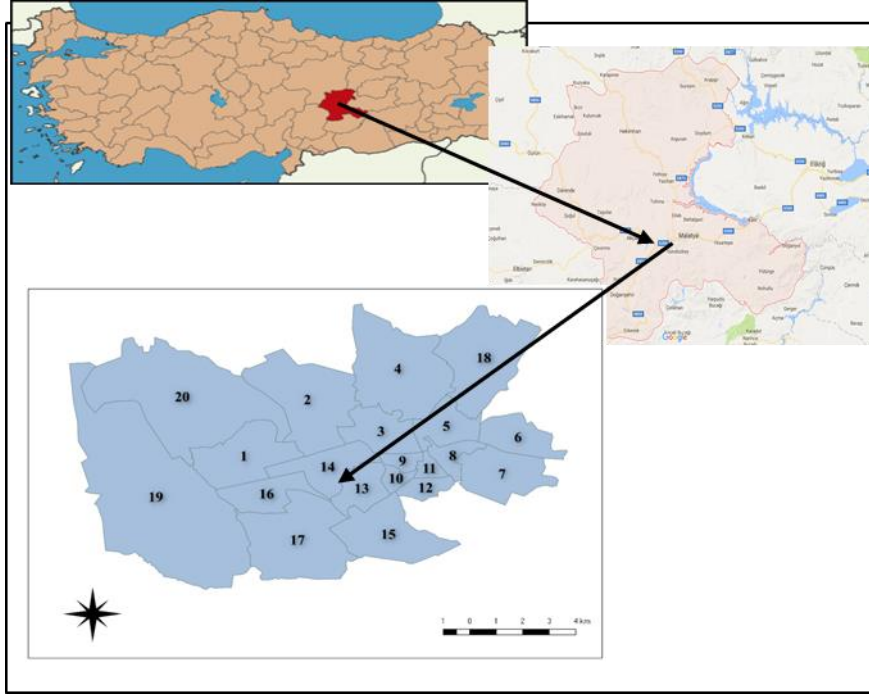
sahada denetim yaparak hatalı olduğu düşünülen sayaçların tespit edilmesi, kalibrasyon sorunu olan sayaçların kalibrasyonunun yapılması ve gerekli durumda bu sayaçların değiştirilmesi gerekmektedir [3]. Literatürde sayaç hataları ve değiştirilme sürelerinin hesaplanması üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Davis [4], IWA su denetim metodolojisinin önemli bileşenlerinden biri olan müşteri sayaçlarının yanlış ölçüm yapmasından kaynaklı kayıpları incelemiştir. Sayaç değişimlerinde belli standartların olmadığını ve genellikle 10 ila 20 yıl arasında değişim yapıldığını belirtmiştir. Bu konuda üç farklı akımda (düşük, orta ve yüksek) deneyler yaparak her türde akım rejimleri için ekonomik sayaç değişim yaşları tespit etmiştir. Arregui vd. [5] müşteriye iletilen, tüketilen ve faturalandırılmayan her su hacminin su dağıtım kurum veya şirketlerinde çok önemli bir etkiye neden olduğunu belirtmiştir. Uluslararası Su Birliği (IWA) tarafından önerilen standart su dengesi tablolarında İdari kayıplar, Kaçak kullanım ve Ölçüm hataları olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir. İlk bileşen doğrudan müşteri hizmetleri yönetimi ile ilgiliyken, ölçüm hataları bileşenin sayaçların doğru tipte ve boyutta seçilmesine doğrudan bağlı olduğu belirtmiştir. Su dağıtım şirketlerinin bu bileşenin büyüklüğünü azaltmak için sürekli performans analizleri yapmak zorunda olduklarını savunmuşlardır. Arregui vd. [6] su sayaç tiplerinin kendine özgü sorunlarını ortaya koymuşlardır. Hız Esaslı sayaçlarda düşük debili kullanım hassasiyeti olmadığından hata oluşabileceği, hacim esaslı sayaçlarda ise askıdaki katı maddelerin tıkanmasına bağlı yanlış ölçümler yapabileceği açıklanmıştır. Criminisi vd. [7] su dağıtım sistemlerinde idari kayıplara etki eden iki temel faktör, su sayacı yaşı ve binalardaki bireysel su depoları analiz edilmiştir. Bunun için sisteme kayıtlı ve 0-45 yaş aralığına sahip 180 sayaç göz önünde bulundurulmuştur. Çalışma sonucunda sayaç yaşına bağlı olarak idari kayıpların arttığı vurgulanmıştır. Stoker vd. [8] konutlarda kullanılan sayaçların doğruluğuna ve bozulmasına etki eden faktörlerin araştırılması amacıyla yaptıkları çalışmada, sayaçlarda bozulmanın, su kalitesi, su hızı, hacim, monte edilme şekli gibi etkenlerin bir fonksiyonu olduğu belirtilmiştir.

Joo vd. [9] akıllı sayaç uygulamalarının su tüketimine etkileri üzerine çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada bir hanede yaşayan kişi sayısı arttıkça günlük kişi başı su tüketiminin azaldığı görülmüştür. Akıllı sayaç kullanmaya başlayan 80 hanede günlük kişi başı su tüketim oranının %5.3 oranında azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak suyu ve enerjiyi koruma için akıllı şehirler oluşturulması gerektiği ve buna bağlı akıllı sayaç kullanımının artırılması tavsiye edilmiştir. Arregui vd. [10] su sayaçlarında modellere göre ağırlıklı hata oranını kullanıcı su tüketim profiline göre belirlemişlerdir. Aynı zamanda bu belirlenen hata oranlarının zamana göre değişimini laboratuvar ortamında test ederek, sayaçlar için en uygun değişim zamanlarını belirlemişlerdir. Tanverakul ve Lee [11] su ölçümlerinin konutlarda su tüketimine etkisi araştırmıştır. Çalışma sonucunda, 6 ay boyunca su tüketimi izlenen ve ölçülen konutlarda su tüketiminin azaldığı ve su tasarrufu açısından önemli katkılar sağladığı belirtilmiştir. Mbabazi vd. [12], sistem ve su tüketim karakteristikleri aynı olan iki farklı sayaç türünün (hacim ve hız esaslı) bozulma oranlarını analiz etmiştir. Çalışma sonucunda, bozulma oranlarının su sayacı değiştirmede kullanılabilirliği önermiştir. Ncube ve Taigbenu [13] 15 yıllık bir süreçte değiştirilen 58.000 sayaç üzerinde çalışma yapmışlardır. Buna bağlı yıllık bazda ortalama % 8'lik bir bozulma oranı mevcutken, hata oranının sayaçtan geçen her 1.000 kl için %0.64 arttığı görülmüştür. Su ve Kanalizasyon İdareleri, sayaç değişim çalışmalarında belli bir yaşın üstündeki sayaçları yılbaşında belirlenen hedef sayıda değiştirme yoluna gitmektedirler. Bu durum hatalı sayaç oranının az, tüketimin fazla olduğu bölgelerde ekonomik olmayan sonuçlar doğurabilmektedir. Özellikle ilk yatırım maliyetinin azaltılması ve su kayıp oranının azaltılması için belli bir sistematığe bağlı olarak sayaç rehabilitasyonunun gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, içme suyu dağıtım sistemlerinde yasal kayıtlı konut türü sayaçlar için optimum değiştirme süresinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için Malatya ilinde seçilen 20 bölgede yer alan sayaçların ilk yatırım maliyetleri, arıza oranı, tüketim özellikler dikkate alınarak optimum değiştirme süreleri hesaplanmıştır.

2. Uygulama Alanı

Sayaçların optimum değiştirme sürelerinin hesaplanabilmesi için Malatya ili uygulama alanı olarak seçilmiştir. Malatya ili yüz ölçümü 12.313 km² ve 2014 yılı nüfus kayıt sistemine göre toplam nüfusu 769.554 kişidir. Çalışma alanı, merkez ilçeler olan Battalgazi ve Yeşilyurt'a bağlı 78 mahalleden oluşmaktadır. Merkez ilçelere bağlı 78 mahalle benzer özelliklerine göre gruplandırılmış ve toplamda 20 bölge elde edilmiştir [3]. Gruplandırma yapılırken mahallelerin nüfus yoğunluk bilgileri, ortalama içme suyu şebeke basınçları, ortalama yıllık su tüketim miktarları, ortalama sayaç yaşları ve sayaç ağırlıklı hata oranları gibi veriler dikkate alınmıştır [3]. Oluşturulan bölgeler Şekil 1'de gösterilmektedir.

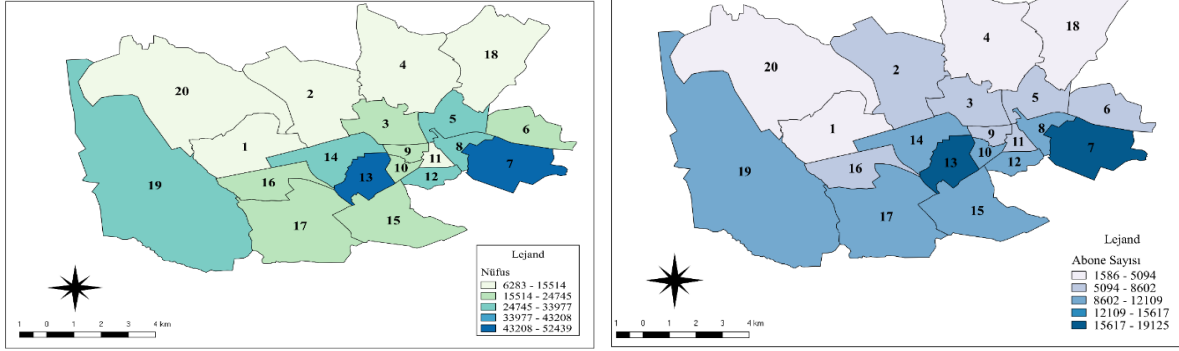


Şekil 1. Çalışma kapsamında oluşturulan bölgeler [3]

Ayrıca çalışma alanı içerisindeki 20 bölgede abone sayıları, tüketim verileri, ortalama sayaç yaşları ve ağırlıklı hata oranları hesaplanmış ve Tablo 1’de gösterilmiştir [3]. Ayrıca, uygulama alanı içerisinde bölgelere ait verilerin temin edilmesinde MASKİ bilgi işlem alt yapısı kullanılmıştır. Uygulama alanı sınırları içerisine düşen bölgelerin nüfus ve abone sayılarının dağılım haritaları sırasıyla Şekil 2a ve 2b’de gösterilmiştir [3].

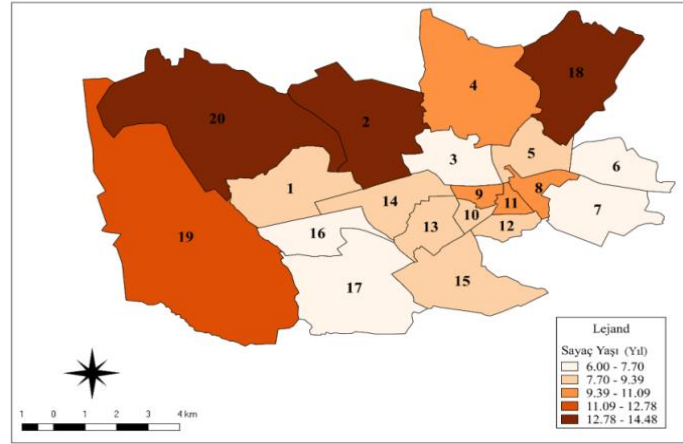
Tablo 1. Uygulama alanında seçilen bölgelere ait açıklayıcı bilgiler [3]

Bölge	Toplam Abone Sayısı	Toplam tüketim (m ³ /yıl)	Ortalama tüketim (m ³ /yıl/ abone)	Ağırlıklı hata (%)	Ortalama Sayaç Yaşı (yıl)
1	2067	303186	168.68	-2.07	8.36
2	7801	920101	117.95	-4.29	14.43
3	8164	1074133	131.57	-2.90	7.00
4	3220	272720	84.70	-7.08	9.70
5	8429	974976	115.67	-4.85	7.70
6	6309	910222	144.27	-3.82	7.34
7	18529	2776023	149.84	-1.83	6.86
8	11278	1887261	167.34	-3.01	9.41
9	7998	960175	120.05	-3.54	10.05
10	9493	1349945	142.20	-2.73	8.24
11	8362	1122244	134.21	-3.43	9.70
12	10358	1481370	143.02	-3.54	8.90
13	19125	4207086	219.98	-3.88	7.95
14	10114	1456951	144.05	-4.37	8.23
15	9083	912772	100.49	-4.84	9.26
16	6585	654191	99.35	-2.89	6.76
17	8658	1013857	117.10	-2.12	6.00
18	3893	305057	78.36	-6.55	14.48
19	9311	596588	64.07	-3.87	11.14
20	1586	105391	66.45	-6.90	13.54



Şekil 2. Uygulama Alanında a) Nüfus Dağılımı b) Abone Sayısı Dağılımı [3]

Sayaçlarda hatalara neden olan önemli faktörlerden biri olarak sayaç yaşı gösterilebilir. İdeal koşullarda 2 yılda bir kalibre edilmek şartıyla sayaç ömürleri 10 ile 15 yıl arasında değişmektedir. İlerleyen sayaç yaşları ölçümlerde hata oranını artırmaktadır. Çalışma alanında 20 bölgede yer alan sayaçların ortalama yaş dağılımı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Sayaç yaşlarına göre dağılım haritası [3]

Şekil 2 incelendiğinde, uygulama alanı içinde yer alan bölgelerde nüfus ağırlıklı olarak 7 ve 13. Bölgelerde fazla iken, 1, 2 ve 4. Bölgelerde nüfus diğer bölgelere göre daha düşük kalmıştır. Bu Bölgelerde yer alan mahalleler şehir merkezinde olup eski yerleşim alanlarını içermektedir. Diğer taraftan abone sayısı için değerlendirme yapılacak olursa, en yüksek abone sayısının 7 ve 13. Bölgelerde olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, çalışma bölgesi incelendiğinde ortalama sayaç yaşı 9.25 olduğu tespit edilmiştir. Sayaç yaşı bakımından en kötü durumdaki bölge 18. Bölge olurken (14.48), en düşük yaş ortalamasına sahip bölge (6.00) ile 17. Bölge olmuştur. Söz konusu 17. Bölge nispeten yeni yerleşim bölgelerine sahip olmaları nedeniyle sayaç yaşı bakımından diğer bölgelerden daha iyi durumdadır. Ayrıca sayaçların ağırlıklı hata oranlarının tespit edilebilmesi için, 2016-2017 yıllarında 20 bölgeden seçilen 5394 sayaç için, su sayaçları için test laboratuvarında standart ve yönetmeliklerde öngörülen debilerde belli miktarlarda su akımı sağlanmasının ardından, gerçek suyun miktarı ile ölçüm arasındaki fark tespit edilerek hata oranları hesaplanmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda sayaç ortalama yaşlarının en yüksek olduğu 2, 18 ve 20. Bölgelerin, ağırlıklı hata oranının da en yüksek olduğu bölgeler olduğu tespit edilmiştir.

3. Sayaçlar İçin Optimum Değişirme Süresinin Hesaplanması

Su sayaçları yaşlandıkça, hatalı ölçüm yapma eğilimleri vardır. Bunun bir sonucu olarak su kayıplarında dolayısıyla gelir getirmeyen su miktarlarında artış meydana gelmektedir. Sayaçlar uzun yıllar çalışsalar bile oluşan

ekonomik kayıplar, yaşlanan sayaçların yenileriyle değiştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Diğer taraftan birçok Su ve Kanal İdaresi hizmet alanında bulunan ve 10 yılını doldurmuş sayaçları değiştirme yoluna gitmektedir. Bu durum özellikle sayaç oranının fazla olduğu ve/veya hatalı sayaç oranının az olduğu mahalle ya da bölgelerde kurum açısından ekonomik olmayan sonuçlar ortaya çıkarmaktadır.

3.1. Optimum Değişirme Süresinin Bulunmasında Kullanılan Faktörler

Sayaçların optimum değiştirme süresinin belirlenmesinde önemli adımlardan biri göz önüne alınacak değişkenler gösterilebilir. Seçilecek değişkenlerin, problemi temsil etmesi, ölçülebilir olması, uygulanabilir olması ve en önemlisi de problem ile ilgili olması gibi ölçütleri sağlaması gerekmektedir. Sayaç değiştirmede önemli maliyet kalemi “İlk Yatırım Maliyeti” gösterilebilir. İlk Yatırım Maliyeti; bir sayaç değişimi sırasında sayacın kendi maliyeti dışında kurulum ve idari maliyetlerinin de dâhil edildiği maliyetler bütünüdür. Bir süreklilik arz etmez sadece ilk değişim sırasında dikkate alınmaktadır. Diğer taraftan sayacın hatalı ölçümünden kaynaklanan satılmayan su maliyeti, İdari kayıp olarak ifade edilen gelir getirmeyen su oluşmakta ve “Satılmayan Su Maliyeti” olarak hesaplamalara katılmaktadır. Oluşan bu kayıp, ölçülemeyen su hacmi ve suyun birim satış fiyatı ile doğru orantılı olup kurum için doğrudan gelir kaybı anlamı taşımaktadır. Ölçüm hataları sayacın kurulumundan itibaren kullanım süresi boyunca etkili bir parametredir. Bu nedenle bu değer sürekli olarak dikkate alınmalıdır. Sayaçların ölçüm yapmamasından kaynaklanan gelir kaybının hesaplanmasında Kurumun metre-küp başına abonelerden tahsilat yaptığı “Su Tarifesi” verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu parametre, tüketilen fakat faturalandırılmayan su miktarlarının maliyetini tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bölgedeki sayaçların eksik ölçümünden kaynaklanan su kayıp hacmi ve buna bağlı olarak kurum için oluşan doğrudan gelir kaybı sayaçların ağırlıklı hata oranlarına bağlı olarak değişmektedir. Sayacın ağırlıklı hata oranı, sayaç değişimi sırasında değerlendirilmesi yapılan bölgelerdeki sayaçların durumunun ortaya konulmasında önemli bir değişkendir. Satılmayan su maliyetinin hesaplanmasında esas faktörlerden biri olan sayaç hata oranları, aynı zamanda söz konusu bölgedeki sayaçların yasalarca öngörülen hata oranları (%5) arasında bulunup bulunmadığını da tespit etmeye yardımcı olacaktır. Bu çalışma kapsamında son olarak, “Enflasyon Oranı” olarak ifade edilen ve gelecekteki satılmayan su maliyetinin doğru şekilde hesaplanabilmesi için nominal iskonto oranı yerine gerçek iskonto oranı dikkate alınmalıdır [14].

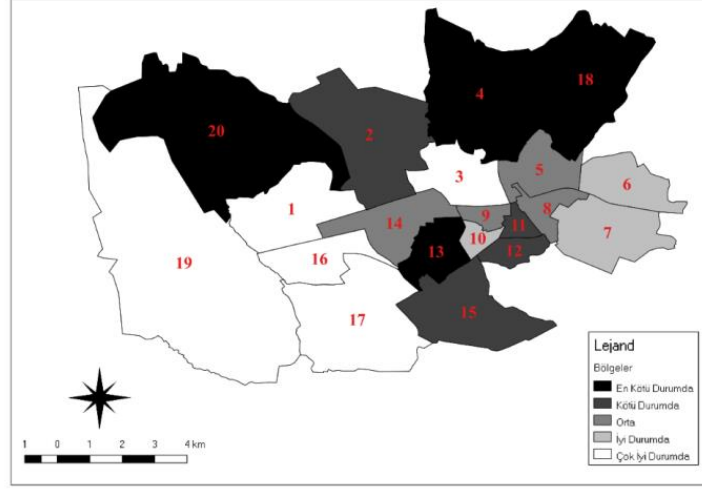
3.2. Sayaçların Değiştirilmesi ve Ekonomik Analizi

Çalışma alanı içerisinde 20 bölgenin abone başına tüketimi ve ağırlıklı hata oranları tespit edildikten sonra, bölgeler için optimum sayaç değişim süresi (C_f) eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır [15].

$$C_f = \left[C_{acq} + C_{inst} + C_{adm} + \sum_{i=1}^n V_i * \varepsilon_i * \frac{C_w}{(1+r')^{(i-1)}} \right] * \frac{(1+r')^n}{(1+r')^n - 1} \quad (1)$$

Burada, C_{acq} ; sayacın ilk yatırım bedelini, C_{inst} ; sayacın kurulum bedelini, C_{adm} ; idari masrafları, C_w ; suyun satış fiyatını (hesaplama dönemi boyunca sabit kabul edilir), V_i ; bir abone tarafından tüketilen ortalama hacmi, ε_i ; sayacın ağırlıklı hata oranını, n ; değiştirilme süresini (yıl), r' ; ifadesi ise gerçek iskonto oranını temsil etmektedir. Yılmaz [3] tarafından yapılan Yüksek Lisans tez çalışması kapsamında AHP ve ELECTRE ve TOPSIS yöntemlerinin birlikte kullanılması ile sayaç değişimi için öncelikli bölgeler belirlenmiştir. Bunun için su tüketim oranı, ortalama sayaç yaşı, arızalı sayaç oranı, tüketici bağlılık yüzdesi, ortalama işletme basıncı ve sayaç kalibrasyon yaşı gibi 7 faktör göz önünde bulundurulmuş ve Çalışma alanı bölümünde oluşturulan 20 bölge için uygulama gerçekleştirilmiştir. Sayaç değiştirilmesinde öncelikli bölgelerin belirlenmesinde ilk önce göz önüne alınan faktörlerin ağırlıklarının belirlenmesinde AHP yöntemi uygulanmıştır. Belirlenen ağırlık katsayıları ve 20 bölgede 7 faktöre ait gerçek saha verileri dikkate alınarak TOPSIS yöntemi uygulanarak sayaç değiştirilmesinde öncelikli bölgeler belirlenmiştir [3].

Tez çalışmasının sonucunda uygulama alanı içerisinde seçilen 20 bölgeden 4, 13, 18 ve 20. bölgelerin değiştirilmesi gereken öncelikli bölgeler olduğunu, 1, 3, 16 ve 17. bölgelerin ise en iyi durumda olan bölgeler olduğunu ortaya koymuştur. Bu kapsamda Yılmaz [3] tarafından yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenen ve sayaç değiştirmede öncelikli olarak ifade edilen bölgeler için optimum değiştirme süreleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 4. Sayaç değiştirmede öncelikli bölgeler [3]

Tablo 2. Değişimde öncelikli olması Beklenen bölgelerin optimum değiştirme süresi [3]

Parametre	4. Bölge	13. Bölge	18. Bölge	20. Bölge
r'	0.12	0.12	0.12	0.12
$C_{acq} (TL)$	-65.00	-65.00	-65.00	-65.00
$C_{inst} (TL)$	-15.00	-15.00	-15.00	-15.00
$C_{adm} (TL)$	-23.39	-33.29	-20.02	-17.88
V_{su}	84.7	219.98	78.36	66.45
W	0.0708	0.0388	0.0655	0.069
TI	3.90	3.90	3.90	3.90
Değiştirme Süresi	6 YIL	4 YIL	7 YIL	8 YIL

Benzer şekilde yine Yılmaz [3] tarafından sayaç verileri dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler sonucunda sayaçlar bakımından en iyi durumda olduğu belirtilen bölgeler için de optimum sayaç değiştirme süreleri (sayaçın mevcut koşullarda kalan ömrü) hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır (Tablo 3). Ayrıca uygulama alanında bu bölgeler için yapılan hesaplamalar diğer tüm bölgeler için yapılmış ve Şekil 5 ve Tablo 4 ve 5'te gösterilmiştir. Tablo 2 ve 3'de; bir adet sayaç bedeli 65.00 TL, sayaç bağlantı ve işçilik değeri 15.00 TL olarak kabul edilmiştir. Ayrıca her bölge için abone başına düşen yıllık tüketim değerleri (V_{su}) ve sayaç ağırlıklı hata oranları (W) Tablo 1'de sunulmuştur. İdari masraflar (C_{adm}) sayaç hatalarından kaynaklı satılmayan su bedelinin ($V_{su} * W$) maddi karşılığıdır. Söz konusu veriler eşitlik (1)'de her bir n değeri (Yıl) için hesaplanmıştır. Eşitliğin sonucunun negatif değerden pozitif değere döndüğü yıl, sayaçların kalan faydalı ömrünü yani mevcut şartlara göre bölgedeki sayaçların değiştirilme süresini ifade etmektedir.

Tablo 3. Değişimde öncelikli olması beklenmeyen bölgelerin optimum değiştirme süresi

Parametre	1. Bölge	3. Bölge	16. Bölge	17. Bölge
r'	0.12	0.12	0.12	0.12
$C_{acq} (TL)$	-65.00	-65.00	-65.00	-65.00
$C_{inst} (TL)$	-15.00	-15.00	-15.00	-15.00
$C_{adm} (TL)$	-11.84	-14.88	-11.20	-9.68
V_{su}	146.68	131.57	99.35	117.1
W	0.0207	0.029	0.0289	0.0212
TI	3.90	3.90	3.90	3.90
Değiştirme Süresi	16 YIL	10 YIL	18 YIL	30+ YIL

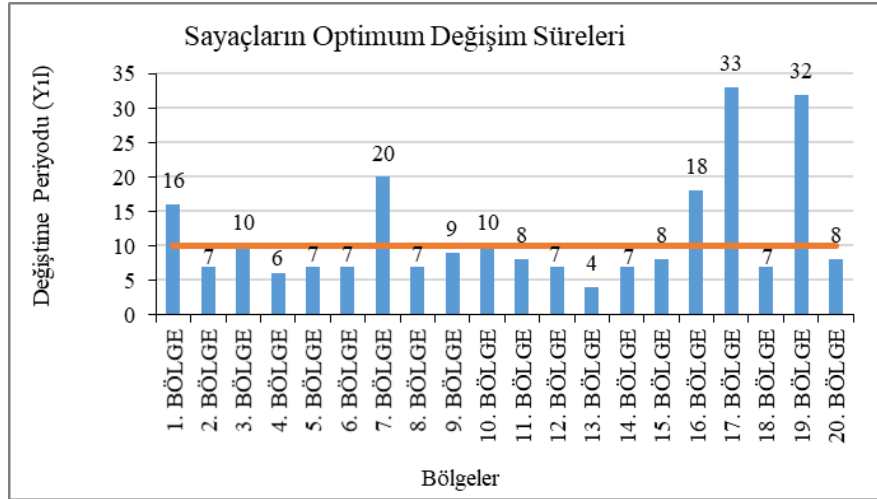
Tablo 4. Diğer bölgeler için optimum değiştirme süresi

Parametre	2. Bölge	5. Bölge	6. Bölge	7. Bölge	8. Bölge	9. Bölge
r'	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
$C_{acq} (TL)$	-65.0	-65.0	-65.0	-65.0	-65.0	-65.0
$C_{inst} (TL)$	-15.0	-15.0	-15.0	-15.0	-15.0	-15.0
$C_{adm} (TL)$	-19.7	-21.88	-21.47	-10.72	-19.61	-16.6
V_{su}	118.0	115.7	144.3	149.8	167.3	120.1
W	0.043	0.049	0.038	0.018	0.030	0.035
TI	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
<i>Değiştirme Süresi</i>	7 Yıl	7 Yıl	7 Yıl	20 Yıl	7 Yıl	9 Yıl

Tablo 5. Diğer bölgeler için optimum değiştirme süresi

Parametre	2. Bölge	5. Bölge	6. Bölge	7. Bölge	8. Bölge	9. Bölge
r'	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
$C_{acq} (TL)$	-65.00	-65.00	-65.00	-65.00	-65.0	-65.0
$C_{inst} (TL)$	-15.00	-15.00	-15.00	-15.00	-15.0	-15.0
$C_{adm} (TL)$	-15.11	-17.95	-19.72	-24.53	-18.9	-9.66
V_{su}	142.2	134.2	143.0	144.1	100.5	64.1
W	0.027	0.034	0.035	0.044	0.048	0.039
TI	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
<i>Değiştirme Süresi</i>	10 Yıl	8 Yıl	7 Yıl	7 Yıl	8 Yıl	+30 Yıl

Şekil 5'te sunulan grafik incelendiğinde değiştirme süreleri en düşük olan bölgenin, Şekil 4'te verilen haritaya göre sayaç değiştirmede öncelikli bölge olarak belirlenen 13. Bölge olduğu görülmektedir. Tablo 2 ve Tablo 3 incelendiğinde değişimde öncelikli olması beklenen bölgelerin, yapılan fayda/maliyet analizi sonucunda değiştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Her ne kadar bu bölgelerde sayaç değiştirmeden kaynaklanan ilk yatırım maliyeti artacak olsa da tüketildiği halde sayaç hatalarından dolayı eksik kaydedilen ya da hiç kayıt yapılmayan sudan kaynaklanan gelir kaybı en aza indirilmiş olacaktır. Ayrıca tüm bölgeler dikkate alındığında ideal yaş değiştirme yılı olan 10 yılın altında birçok bölge bulunmaktadır. Bu söz konusu bölgelerde sayaçlardaki hata oranları ve tüketimlerine bağlı olarak 10 yıldan önce değiştirilmesinin fayda sağlayacağını ifade etmektedir.

**Şekil 5.** Bölgesel Bazda Sayaçların Optimum Değişim Süreleri [3]

4. Sonuçlar

Bu çalışmada konut sayaç hatalarından kaynaklanan su kayıplarının azaltılması için optimum sayaç değiştirme süreleri hesaplanmıştır. Bunun için çalışma alanı 20 bölgeye ayrılmış ve bu bölgelere ait toplam tüketim, abone

sayısı ve sayaç ağırlıklı hata oranları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler doğrultusunda her bölge için fayda-maliyet hesapları yapılmış ve özellikle 4.Bölge, 13.Bölge, 18.Bölge ve 20. Bölgelerin optimum değişirme sürelerinin diğer bölgelere oranla daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. Bu bölgelerin sayaç ağırlıklı hata oranlarının yüksek olması (4, 18 ve 20. Bölgeler) önemli bir etken iken abone başı su tüketiminin diğer bölgelere oranla daha yüksek olması da (13. Bölge) değişirme sürelerini kısılmasında önemli etkenlerden biri olmuştur. Hesaplanan değerler doğrultusunda optimum değişim süreleri +10 yıl çıkan bölgelerde herhangi bir rehabilitasyon çalışmasına ihtiyaç duyulmadığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre sayaç rehabilitasyonunda öncelikli bölgelerin belirlenmesi ve bu bölgeler için sistematik bir değişim programının hazırlanması için, bölgelerin su tüketim verileri ve mevcut sayaçların durumları çok iyi bir şekilde analiz edilmelidir. Sonuç olarak bu çalışmadan elde edilen çıktıların özellikle sayaç yönetiminde Su ve Kanal İdareleri için referans teşkil edeceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, 2017 yılında Salih YILMAZ tarafından tamamlanan Yüksek Lisans Tezinden üretilmiş, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, İÜ-BAP 2016/135 numaralı projesi ile desteklenmiştir. Yazarlar, Desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne ve veri ve teknik desteklerinden dolayı MASKİ Genel Müdürlüğüne teşekkür etmektedir.

Kaynaklar

- [1] Farley M. Non Revenue Water - International Best Practice for Assessment, Monitoring and Control. 12th Annual CWWA Water, Wastewater and Solid Waste Conference, Atlantis, Paradise Island, Bahamas, 28 September - 3 October October 2003.
- [2] Farley M, Trow, S. 2003. Losses in water distribution networks : a practitioner's guide to assessment, monitoring and control. IWA Publishing Books, England.
- [3] Yılmaz S. Müşteri Sayaçlarının Su Kayıplarına Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye, 2017.
- [4] Davis S.E. Residential water meter economics. Leakage 2005. Halifax, Canada.
- [5] Arregui FJ, Pardo MA, Parra JC, Soriano J. Quantification of Meter Errors of Domestic Users: A Case Study. IWA Water Loss Conference. Bucharest September 23-26, 2007.
- [6] Arregui, F.J., Gavara, F.J., Soriano, J., Cobacho, R. 2014. Analysis of Domestic Water Meters Field Performance. Water Loss 2014, March 31-April 2, Vienna.
- [7] Criminisi A, Fontanazza CM, Freni G, Loggia GL. Evaluation of the Apparent Losses Caused by Water Meter under-Registration in Intermittent Water Supply. Water Sci and Technol 2009; 60: 2373–2383.
- [8] Stoker DM, Barfuss SL, Johnson MC. Flow measurement accuracies of in-service residential water meters. J Am Water Works Assoc 2012; 104: 637–642.
- [9] Joo HC, Je Oh H, Ahn H, Ko KR. Field Application of Waterworks Automated Meter Reading Systems and Analysis of Household Water Consumption. Desalin and Water Treat 2014; 54: 1-9.
- [10] Arregui F, Balaguer M, Soriano J. Quantifying measuring errors of new residential water meters considering different customer consumption patterns. Urban Water J 2015; 12: 1–13.
- [11] Tanverakul SA, Lee J. Impacts of metering on residential water use in California. J Am Water Works Assoc 2015; 107: 69–75.
- [12] Mbabazi D, Banadda N, Kiggundu N, Mutikanga H, Babu M. Determination of domestic water meter accuracy degradation rates in Uganda. Journal of Water Supply: Res and Technol—AQUA. 2015;64: 486.
- [13] Ncube M, Taigbenu AE. Meter Accuracy Degradation and Failure Probability based on Meter Tests and Meter Change Data. 4th YWP-ZA Biennial Conference and 1st African YWP Conference, at Pretoria, South Africa, 2015.
- [14] Bierman H, Smidt S. The Capital Budgeting Decision. Prentice-Hall. Upper Saddle River, NJ, US, 1993.
- [15] Arregui FJ, Cobacho R, Cabrera E, Espert V. Graphical method to calculate the optimum replacement period for water meters. J Water Resour Plan Manage 2011; 137: 143-146.

Reaktif Güç Desteği için Kullanılan Üç Seviyeli H-Köprü Evirici Tabanlı D-STATKOM'un dq-Eksen Akımlarının Bulanık Oransal İntegral Denetleyici ile Denetimi

Hakan AÇIKGÖZ^{1*}, Resul ÇÖTELİ²

¹Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik-Enerji Bölümü, Kilis

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Elazığ

*¹hakanacikgoz@kilis.edu.tr, ²rcoteli@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 18/03/2019;

Kabul/Accepted: 20/05/2019)

Öz: Güç sistemlerinde gerilim kararlılığı ve reaktif güç kompanzasyonu en önemli problemlerden biridir. Geleneksel olarak gerilim kararlılığı ve reaktif güç kompanzasyonu için kondansatör veya endüktans grupları kullanılmaktadır. Son yıllarda, iletim ve dağıtım sistemlerinin reaktif güç kompanzasyonunda geleneksel kompanzatlara göre cevap hızları daha iyi olan dönüştürücü tabanlı dağıtım kompanzatorleri kullanılmaktadırlar. Dağıtım Statik Senkron Kompanzator (D-STATKOM), dağıtım sistemlerinde yaygın olarak kullanılan dönüştürücü tabanlı bir dağıtım kompanzatorüdür. Bu çalışmada, üç seviyeli H-köprü evirici tabanlı D-STATKOM'un dq-eksen akımları Bulanık Oransal + İntegral (Bulanık-PI) denetleyici ile denetlenmiştir. Bu amaçla, D-STATKOM'un deneysel düzeneği hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalar için DS1103 denetleyici kart kullanılmıştır. Bulanık-PI akım denetimli D-STATKOM'un dinamik performansı bekleme durumundan kapasitif çalışma durumuna geçiş, bekleme durumundan endüktif çalışma durumuna geçiş, kapasitif çalışma durumundan endüktif çalışma durumuna geçiş ve son olarak endüktif çalışma durumundan kapasitif çalışma durumuna geçiş olmak üzere dört farklı çalışma şartı için test edilmiştir. Bu çalışma şartları altında Bulanık-PI akım denetimli D-STATKOM'un istenilen aktif (d-ekseni) ve reaktif (q-ekseni) akımı çok kısa sürede sağladığı, dq-eksen akım bileşenlerinde ve DA-hat gerilimlerinde sürekli durum hatasının olmadığı gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Reaktif güç kompanzasyonu, D-STATKOM, dq-eksen akımı, Bulanık-PI denetleyici

dq-axis Current Control of D-STATCOM Based Three Level H-Bridge Used for Reactive Power Support via Fuzzy Proportional Integral Controller

Abstract: Voltage stability and reactive power compensation are one of the most important problems in power systems. Conventionally, capacitor or inductance groups are used for voltage stability and reactive power compensation. Recently, the converter based distribution compensators that have better response than conventional compensators have been used in reactive power compensation of transmission and distribution systems. Distribution Static Synchronous Compensator (D-STATCOM) is a widely used converter-based distribution compensator. In this study, dq-axis currents of the three-level H-bridge inverter-based D-STATCOM was controlled by Fuzzy Proportional + Integral (Fuzzy-PI) controller. For this purpose, the experimental setup of D-STATCOM was prepared. DS1103 controller card was used for experimental studies. The dynamic performance of Fuzzy-PI current controlled D-STATCOM was investigated for four different operating conditions, transition from standby to capacitive operating state, transition from standby to inductive operating state, transition from capacitive operation to inductive operating state and finally transition from inductive to capacitive operation state. Under these operating conditions, it was observed that Fuzzy-PI current controlled D-STATCOM provides the desired active (d-axis) and reactive (q-axis) current in a very short time, and there was no continuous state error in the dq-axis current components and as well as DC-line voltages.

Key words: Reactive power compensation, D-STATCOM, dq-axis current, Fuzzy-PI controller

1. Giriş

Enerji sistemlerinin denetiminde en önemli problemlerden biri reaktif güç kompanzasyonudur. Reaktif güç, iletim sisteminde kayıpların artmasına, iletim hattının güç iletim kapasitesinin azalmasına ve hat sonundaki gerilimin genliğinde çok büyük değişmelere neden olur. Bu yüzden alternatif akım güç sistemlerinde iletilebilir gücü arttırmak ve kayıpları azaltmak için reaktif güç kompanzasyonu yapmak gerekir. Son yıllarda enerji iletim ve dağıtım sistemleri için hızlı kompanzasyon ihtiyacı giderek önem kazanmaktadır.

Günümüzde güç elektroniği elemanları, anahtarlar hızlarının yüksek olması nedeniyle kompanzasyon uygulamalarında tercih edilmektedirler. Güç sistemlerinde kompanzasyonunun yarı iletken anahtarlar ile yapılması durumunda, gerilim çökmelerinin önlenilebileceği, geçici ve dinamik kararlılığı iyileştirebileceği

* Sorumlu yazar: hakanacikgoz@kilis.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0002-6432-7243, ²0000-0002-7365-4318

görülmüştür. Dağıtım STATKOM'u (D-STATKOM) gerilim çökmelerini önlemek, geçici ve dinamik kararlılığı iyileştirmek için dağıtım sistemlerinde kullanılan şönt bağlı evirici tabanlı bir kompanzasyon aygıtıdır [1-3].

Genel olarak D-STATKOM'un denetim yapısında referans akımı elde etmek için doğrusal denetim teknikleri kullanılarak Oransal + İntegral (PI) denetleyiciler tasarlanmaktaydı. Doğrusal denetim yöntemlerinde sistem denklemleri belli bir çalışma noktası etrafında doğrusallaştırılır ve bu doğrusal denklemler yardımı ile PI denetleyici tasarlanır. Doğrusal denetim yöntemlerinde sistemin tam doğrusal matematiksel modelinin bilinmesi gerekir. Fakat sistemin tam doğrusal matematiksel modelini elde etmek zordur. Ayrıca sistemin çalışma şartları değiştiği zaman bu denetleyicilerin performanslarının kötüleşmesi önemli bir dezavantajdır. Generatör ve güç elektroniği devreleri içeren bir güç sistemi doğrusal olmayan ayrıca hatlar ve yükler sürekli olarak devreye alınıp devreden çıkarılmasından dolayı şebeke konfigürasyonu değiştiği için durağan olmayan bir sistemdir. Bu tür sistemlerin dayanıklı denetleyiciler ile denetlenmesi daha uygundur [3-8].

Klasik denetim yöntemlerine alternatif olarak, D-STATKOM'un dinamik performansını iyileştirmek için doğrusal olmayan ve uyarlanabilir denetleyici yapıları önerilmiştir. Son yıllarda, Bulanık Mantık Denetleyici (BMD) yapıları sistemin çalışma noktasının değişmesi gibi durumların üstesinden gelebilme yeteneklerinden dolayı güç sistemlerinde geleneksel denetleyicilere alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. BMD'lerin sistemin tam matematiksel modeline ihtiyaç duymaması, doğrusal olmayan sistemlere uygulanabilmesi, kesin olmayan girişlerle çalışabilmesi ve geleneksel denetleyicilerden daha dayanıklı olması gibi birçok avantaja sahiptir. Literatürde D-STATKOM için birçok denetleyici yöntemi önerilmiştir. Sinirsel bulanık denetleyici yapısı D-STATKOM'un eksen akımlarının denetimi için kullanılmıştır [9-12]. Ref. [13]'de, Parçacık sürüşü optimizasyonu yöntemi ile PI denetleyici parametreleri belirlenmiş ve D-STATKOM'un DA-hat gerilimi denetlenmiştir. Ref. [14]'de, H ∞ denetleyici yapısı D-STATKOM'a uygulanmış ve enerji kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. BMD yapısı D-STATKOM'un hem DA-hat geriliminin hem de dq-eksen akımlarının denetiminde kullanılmıştır [15-18]. Ref. [19]'de PI denetleyici yapısına paralel olarak harmonik kompanzasyonu denetleyici bağlanmış ve D-STATKOM'un harmonik kompanzasyonu performansının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, D-STATKOM için geri beslemeli doğrusallaştırma yöntemleri de kullanılmıştır [20-21].

Bu çalışmada, deneysel kurulumu yapılan üç seviyeli H-köprü evirici tabanlı bir D-STATKOM'un dq-eksen akımlarının denetimi Bulanık-PI denetleyici ile gerçekleştirilmiştir. Bulanık-PI akım denetimli D-STATKOM'un dinamik performansını incelemek için üç seviyeli bir H-köprü evirici tabanlı deneysel kurulum gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar için gerçekleştirilen denetim algoritmaları dSPACE DS1103 denetleyici kartı ile sağlanmıştır. Üç seviyeli H-köprü evirici için kapı işaretleri çok seviyeli sinüzoidal darbe genişlik modülasyon (ÇS-DGM) yöntemi ile elde edilmiştir. D-STATKOM'un dq-eksen akımları iki tane Bulanık-PI denetleyici ile birbirinden bağımsız bir şekilde denetlenmiştir. Ayrıca, önerilen denetleyicinin performansını değerlendirmek için dört farklı senaryo düşünülmüştür. Deneysel sonuçlardan, Bulanık-PI akım denetimli D-STATKOM'un farklı çalışma şartları altında istenilen reaktif akımı sürekli durum hatası olmadan çok kısa sürede sağladığı görülmüştür. Ayrıca, bu çalışmanın diğer kısımları şu şekilde düzenlenmiştir. Üç seviyeli D-STATKOM'un matematiksel modeli 2. Kısımda verilmiştir. 3. Kısımda, Bulanık-PI denetleyicinin özellikleri açıklanarak tasarımı hakkında bilgiler verilmiştir. Önerilen denetleyicinin performansını göstermek için deneysel kurulum 4. Kısımda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise 5.kısımda sunulmuştur.

2. Üç Seviyeli D-STATKOM'un Matematiksel Modeli

D-STATKOM veya statik kondenser olarak bilinen ASVC (İleri Statik VAR Kompanzator) bağlı bulunduğu güç sisteminden reaktif akım verecek/çekecek şekilde denetlenebilen, endüktans-kondansatör gibi bir enerji depolama elemanı ile üç fazlı sistem arasına bağlanan bir evirici kullanılarak yapılan şönt bağlı bir kompanzasyon aygıtıdır. Evirici tarafından üretilen çıkış geriliminin genliği D-STATKOM ile güç sistemi arasındaki reaktif güç alışverişini belirler. Eviricinin çıkış geriliminin genliği bara geriliminin genliğinden fazla ise, akım bağlantı transformatörünün kaçak reaktansı yardımı ile eviriciden baraya doğru akar ve evirici, sistem için kapasitif reaktif güç üretir. Eviricinin ürettiği çıkış geriliminin genliği bara geriliminin genliğinden küçük olması durumunda akım baradan eviriciye doğru akar ve evirici endüktif reaktif güç tüketir.

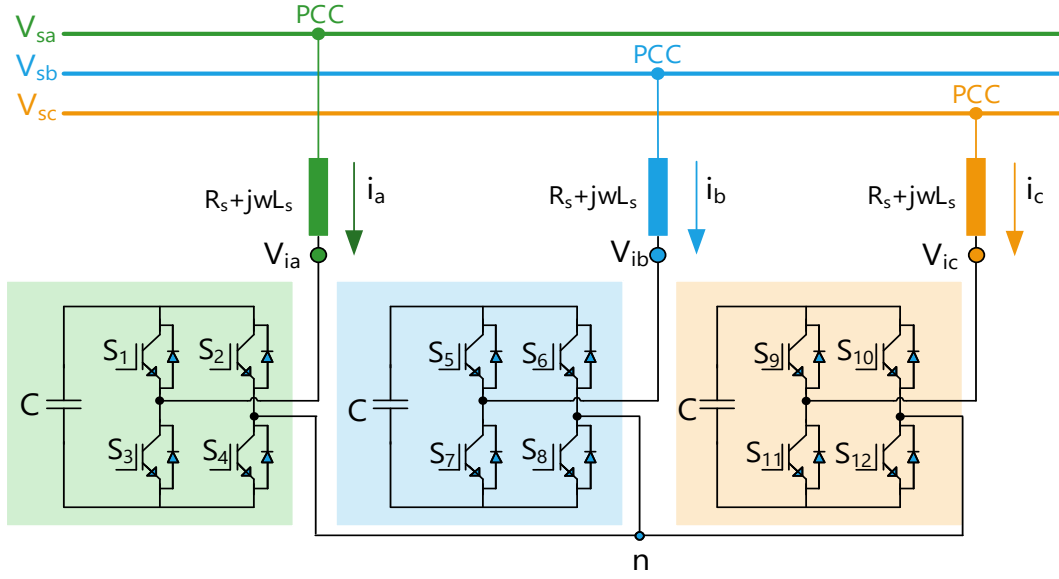
Eviricinin çıkış gerilimi ve bara geriliminin genliğinin birbirlerine eşit olduğu durumda ise herhangi bir reaktif güç alışverişi olmaz. Üç seviyeli D-STATKOM'un matematiksel modelinin elde edilmesi sistemin denetimi için önemlidir. Üç seviyeli H-köprü evirici tabanlı D-STATKOM'un yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, her bir H-köprü evirici bağlantı noktasına (PCC) bir bağlantı endüktansı vasıtasıyla bağlanır.

Burada, C ; DA-hat kapasitörünü, L_s hat endüktansını ve R_s ise hat endüktansının iç direncini temsil etmektedir. Şebeke ve D-STATKOM arasındaki reaktif güç alışverişi, inverter çıkış geriliminin genliğinin ayarlanmasıyla sağlanır. D-STATKOM tarafından üretilen/çekilen reaktif güç ve aktif güç aşağıdaki eşitlikle gösterilebilir:

$$P = \frac{V_s V_i}{X} \sin \delta \quad (1)$$

$$Q = \frac{V_s}{X} (V_s - V_i \cos \delta) \quad (2)$$

Burada, X ; bağlantı endüktansının reaktansını, V_s ; şebeke gerilimini V_i ; inverter çıkış gerilimini, δ ise D-STATKOM'un temel gerilimi ile şebeke arasındaki faz farkını ifade etmektedir.



Şekil 1. Üç seviyeli D-STATKOM'un şematik gösterimi

H-köprü evirici tabanlı D-STATKOM'un şebeke tarafı abc koordinatlarında aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = -\frac{R_s}{L_s} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \frac{1}{L_s} \begin{bmatrix} V_{sa} - V_{ia} \\ V_{sb} - V_{ib} \\ V_{sc} - V_{ic} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Burada, şebeke ve çıkış gerilimleri sırası ile V_{sabc} ve V_{iabc} ile gösterilmiştir. i_{abc} ise faz akımlarını ifade etmektedir. Üç fazlı sistemler genellikle dq -koordinat sistemine göre modellenir ve denetlenir. D-STATKOM'un şebeke tarafının abc koordinatlarındaki devre denklemleri dq -eksenindeki değerlere dönüştürülür. Bu dönüşüm için Park dönüşüm matrisi gerekmektedir. Park dönüşüm matrisi (K) aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$K = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \omega t & \cos(\omega t - 2\pi/3) & \cos(\omega t + 2\pi/3) \\ \sin \omega t & \sin(\omega t - 2\pi/3) & \sin(\omega t + 2\pi/3) \\ 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Burada, ω şebekenin açısal hızıdır. D-STATKOM'un devre denklemleri dq -eksen koordinatlarında aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = -\frac{R_s}{L_s} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} - \omega \begin{bmatrix} i_q \\ i_d \end{bmatrix} + \frac{1}{L_s} \begin{bmatrix} V_{sd} - V_{id} \\ V_{sq} - V_{iq} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Denklem 5'te, V_{sd} ve V_{sq} ; şebeke geriliminin, V_{id} ve V_{iq} ise çıkış geriliminin dq -eksen bileşenleridir. Ayrıca, V_{id} ve V_{iq} değerleri aşağıdaki denklemler ile ifade edilebilir.

$$V_{id} = M_a V_{da} \cos \delta \quad (6)$$

$$V_{iq} = M_a V_{da} \sin \delta \quad (7)$$

Yukarıdaki denklemlerde, M_a ve V_{da} sırasıyla modülasyon indeksini ve eviricinin DA-hat gerilimini ifade eder. Ayrıca, dq -eksenlerindeki DA-hat akımı ise aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$i_{da} = \frac{3}{2} M_a (i_d \cos \delta - i_q \sin \delta) \quad (8)$$

D-STATKOM'un dq -eksenlerindeki DA tarafının dinamik modeli ise aşağıdaki denklemle elde edilir.

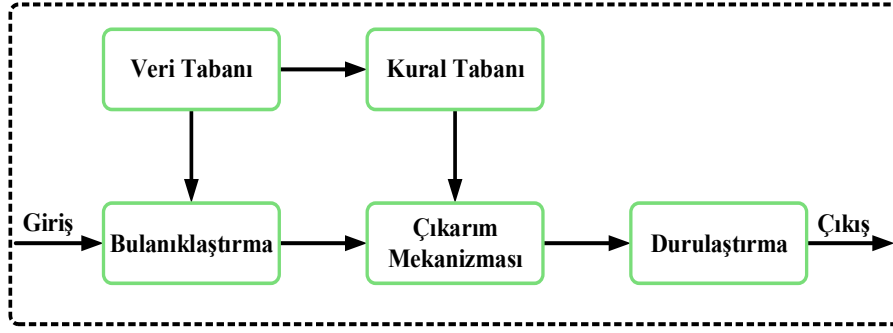
$$\frac{dV_{da}}{dt} = \frac{3M_a}{2C} i_d (\cos \delta - i_q \sin \delta) \quad (9)$$

Burada, δ ; evirici çıkış geriliminin temel bileşeni ile şebeke geriliminin temel bileşeni arasındaki faz farkıdır.

3. Bulanık-PI Denetleyici

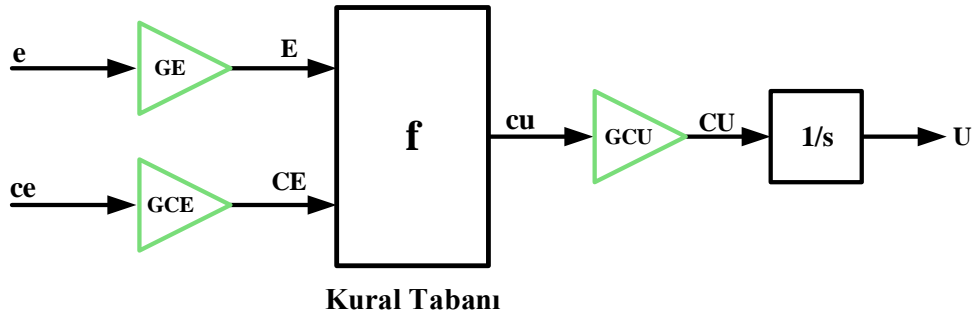
Doğrusal denetim yöntemleri D-STATKOM'un denetiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde sistem denklemleri belli bir çalışma noktası etrafında doğrusallaştırılır. Doğrusal denetim yöntemleri doğrusallaştırılmış çalışma noktası etrafında tatmin edici performansa sahiptir. Doğrusal yöntemler kullanılarak D-STATKOM için denetleyici tasarlanması ile ilgili literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Parametre değişiminin bir sonucu olarak çalışma noktası değiştiği zaman doğrusal denetleyicilerin performansında bozulmalar olur Doğrusal yöntemlerin en büyük dezavantajı doğrusal olmayan bir sistemi doğrusallaştırma veya yüksek dereceden doğrusal olmayan bir sistemi daha düşük dereceli sisteme yaklaştırma gibi belirli varsayımların yapılarak denetleyici tasarlanmasıdır. Varsayımlarla elde edilen sistem modelleri gerçek sistemi tam olarak temsil etmeyebilir. Ayrıca sistem büyük ölçekli arızalara veya dinamik bozulmalara maruz kaldığı zaman denetlenecek olan sistemin konfigürasyonu değişir. Kısaca doğrusal denetim yöntemleri ile tasarlanan denetleyicilerin dezavantajı çalışma noktasına bağlı olmasıdır. Çalışma noktası değiştiği zaman bu denetleyicilerin performansları kötüleşir. Doğrusal denetim sistemlerinin bu gibi dezavantajından dolayı bazı araştırmacılar D-STATKOM'un denetim yapısında akıllı denetim yöntemleri önermişlerdir [16-17].

BMD'lerin diğer doğrusal olmayan denetim yöntemlerine göre en büyük avantajı sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duymamasıdır. BMD fikri ilk olarak 1965 yılında L. Zadeh tarafından ortaya atıldı [22]. O tarihten sonra önemi gittikçe artarak günümüze kadar gelen bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş katı bir matematik düzen olarak tanımlanabilir. Günümüzde birçok uygulamada kendine yer bulan BMD'ler oldukça iyi performans gösterebilme yeteneğine de sahiptir [23-25]. Bulanık mantık ile klasik mantık arasındaki temel fark klasik mantığın önermelerin sadece aşırı uç değerleri kullanmasıdır. Klasik mantıkta bir eleman bir kümenin elemanıdır ya da değildir. Klasik mantık yöntemleriyle karmaşık sistemleri modellemek ve denetlemek bu yüzden zordur. Çünkü veriler tam ve net olmalıdır. Bulanık mantık kişiyi bu zorunluluktan kurtarır ve daha niteliksel bir tanımlama olanağı sağlar. Bir BMD, EĞER-O HALDE kurallarından oluşan bilgi tabanıdır ve bu kurallar o konuda uzman bir kişiden elde edilir. BMD'de uzman bir kişinin görüşü denetleyicinin içine gömülür yani bulanık denetleyici uzman kişinin görüşlerine göre sistemi denetler. Şekil 2'de şematik diyagramı gösterilen BMD dört ana kısımdan oluşur. Bunlar, bilgi tabanı (veri ve kural tabanı), bulanıklaştırma birimi, çıkarım mekanizması ve durulaştırma bölümleridir.



Şekil 2. BMD'nin şematik gösterimi.

Bulanıklaştırma biriminde gözlemlenmiş bir giriş alanından evrensel bir kümedeki bir grup haline getirme olarak ifade edilebilir ve BMD'nin ilk aşamasıdır. Bulanıklaştırma işlemi ile sistemden alınan giriş bilgileri dilsel niteleyicilere dönüştürülür. Bilgi tabanı BMD'nin kalbidir. Bilgi tabanı veri ve kural tabanı olmak üzere iki bölümden oluşur. Veri tabanı sistemin davranışı ve dinamikleri hakkında bilgiyi içerir ve bir uzman kişiden elde edilir. Kural tabanı bilgi tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan ve mantıksal EĞER-O HALDE şeklinde yazılabilen bütün kuralları içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktı verileri arasında olabilecek tüm bağlantılar düşünülür. Böylece her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. Bulanık model olarak da bilinen çıkarım mekanizması matematiksel olarak makul bir çıkış elde etmek için kural tabanındaki kurallara bulanık nedenleri uygular. Mamdani, Takagi-Sugeno ve Tsukamoto bulanık sistemleri en çok kullanılan bulanık çıkarım mekanizmalarıdır. Mamdani yöntemi durağan sistemler (yavaş değişen dinamikli) için, Takagi-Sugeno yöntemi ise dinamik sistemler (hızlı değişen dinamikli) için daha uygundur. Durulaştırma, çıkarım mekanizmasının bulanık küme çıkışları üzerinde ölçek değişikliği yaparak gerçek sayılara dönüştüren birimdir. Maksimum, maksimumun ortalaması (MO) ve merkezlerin ağırlıklı ortalaması (MAO) gibi yöntemler durulaştırma için kullanılabilir. MAO'nun sürekli durum performansı daha iyi olmasına rağmen MO daha iyi bir geçici durum performansına sahiptir. Genellikle MAO'da daha az ortalama karesel hata meydana gelir. BMD'ye uygulanan keskin girişin tipine bağlı olarak (hata, hatanın türevi, hatanın integrali) bulanık denetleyici doğrusal olmayan oransal, türev veya integral denetleyici olarak çalışabilir. Genelde BMD, değişken kazançlı doğrusal olmayan bir denetleyici olarak görülebilir ve bu denetleyiciler bir grup keskin girişlerden bir bulanık kümeye doğrusal olmayan bir eşleştirme sağlar Böylece daha dayanıklı, daha kompakt ve daha basit bir denetleyici tasarlanmasına izin verir. BMD, sezgisel ve matematiksel bilginin her ikisinin kullanılmasında ile doğrusal ve doğrusal olmayan denetleyici tasarlamak için uygun bir yöntem sağladığı için farklı denetim uygulamaları için geleneksel denetim yöntemlerine pratik olarak bir alternatif olarak günümüzde farklı birçok sistemin denetiminde kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada D-STATKOM'un denetiminde kullanılan Bulanık-PI denetleyici yapısı Şekil 3'de gösterilmiştir [26].



Şekil 3. Bulanık-PI denetleyici yapısı

Önerilen denetleyici yapısının çıkış sinyali aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$U_n = \sum_i (cu_i * GCU * T_s) \quad (10)$$

Burada, T_s örnekleme frekansdır. Denetleyici çıkışı için doğrusal yaklaşım uygulanırsa;

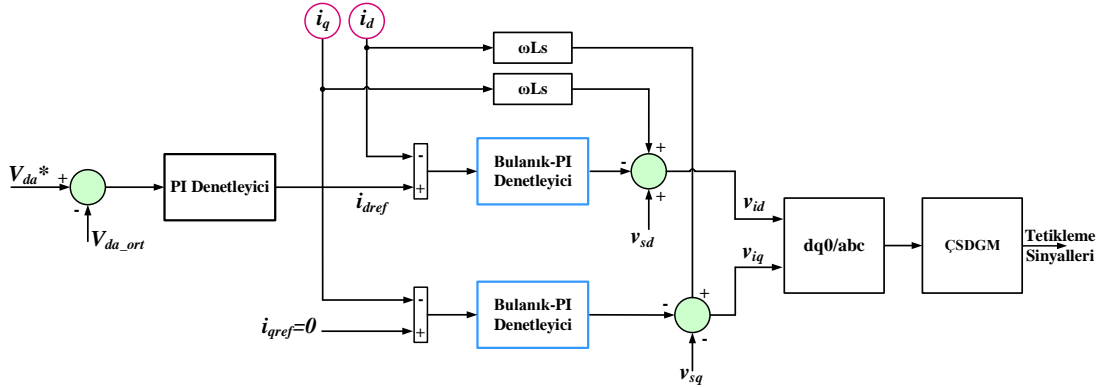
$$\begin{aligned}
 U_n &= \sum_{i=1}^n (E_i + CE_i) * GCU * T_s \\
 &= GCU * \sum_{i=1}^n \left[GE * e_i + GCE * \frac{e_i - e_{i-1}}{T_s} \right] * T_s \\
 &= GCE * GCU * \left[\frac{GE}{GCE} \sum_{i=1}^n e_i * T_s + e_n \right]
 \end{aligned} \tag{11}$$

olarak elde edilir. Bulanık-PI denetleyicinin kazançları için aşağıdaki gibi verilebilir.

$$GCE * GCU = K_p \tag{12}$$

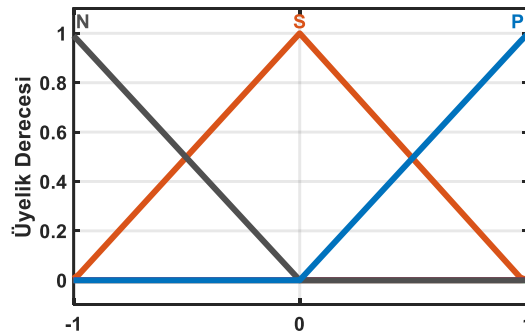
$$\frac{GE}{GCE} = \frac{1}{T_i} \tag{13}$$

Burada, K_p oransal kazanç ve T_i ise integral zaman sabitidir. D-STATKOM'un denetim bloğu Şekil 4'te gösterilmiştir. Ölçülen üç faz gerilimleri ve akımları birim değere çevrilir. Gerilimler gerilim senkronizasyonu bloğuna (PLL) girilerek gerilimin açısal hızı elde edilir. PLL'den elde edilen bilgiler kullanılarak akımlar aktif ve reaktif bileşenlerine (i_d ve i_q) ayrılır. Elde edilen i_d ve i_q akımları Bulanık-PI denetleyicilere giriş olarak uygulanmaktadır.



Şekil 4. D-STATKOM'un denetim bloğu

Şekil 4'te görüleceği gibi dq-eksen akımlarının denetimi için Bulanık-PI denetleyiciler kullanılmıştır. Bulanık-PI denetleyicilere girişler, dq-eksen akımlarının hatası (e) ve akım hatasının değişimi (de) alınmıştır. Denetim yapısında kullanılan Bulanık-PI denetleyicilerin giriş ve çıkışları için seçilen Üçgen üyelik fonksiyonları Şekil 5'de gösterilmiştir. Bulanık-PI denetleyicilerin girişleri ve çıkışı için 3 adet üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Bunlar N (Negatif), S (Sıfır), P (Pozitif)'tir.



Şekil 5. Bulanık-PI denetleyicinin girişleri ve çıkışı için kullanılan üçgen üyelik fonksiyonu

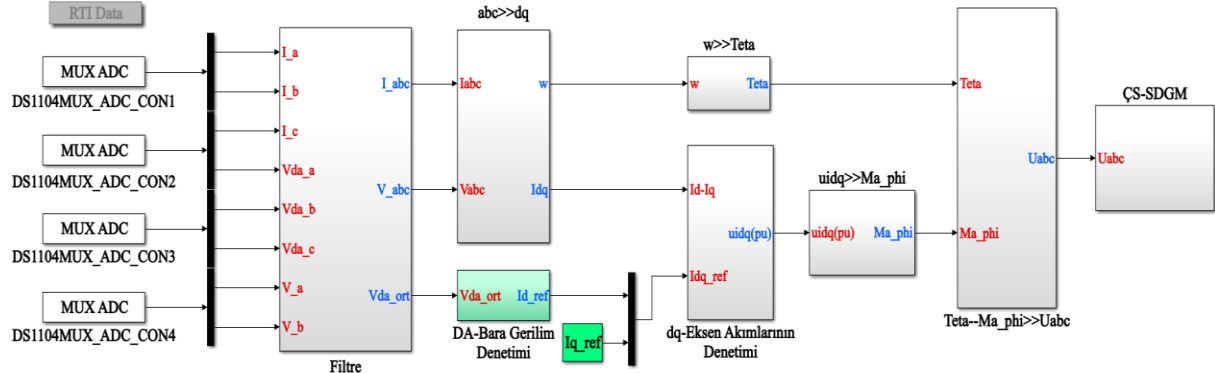
Bulanık-PI denetleyicilerin giriş ile çıkışlarını birbirine bağlayan kural tablosu ise Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Bulanık-PI için kural tablosu

de e	N	S	P
N	N	N	S
S	N	S	P
P	S	P	P

4. Deneysel Kurulum ve Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışmada D-STATKOM’un dq -eksen akımları Mamdani tip Bulanık-PI denetleyici ile denetlenmiştir. Her iki eksen akımının denetimi için kullanılan Bulanık-PI denetleyiciler özdeş olup, bu denetleyicilerin girişleri ilgili akım hataları ve bu hatalardaki değişimler olarak seçilmiştir. Bulanık-PI denetleyicilerin girişleri ve çıkışları için üç üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Matlab/Simulink ortamı kullanılarak D-STATKOM’un deneysel çalışmaları için gerçek zamanlı bir arayüz (RTI) modeli hazırlanmış ve bu model DS1103 denetleyici kartına yüklenmiştir. Şekil 6’da D-STATKOM’un Matlab/Simulink RTI modeli verilmiştir.



Şekil 6. D-STATKOM’un Matlab/Simulink RTI modeli

Ayrıca, D-STATKOM'un deneysel kurulum fotoğrafı Şekil 7’de gösterilmiştir. Deneysel kurulum dört kısımdan meydana gelmektedir. Bunlar; güç devresi, DS1103 denetleyici kartı, ölçüm-koruma devreleri ve kapı sürme devresidir. D-STATKOM’un güç devresi, her fazda bir adet tam köprü evirici olmak üzere üç fazlı H-köprü evirici ile oluşturulmuştur. Bu tam köprü eviriciler PM75CLA120 akıllı güç modülleri ile gerçekleştirilmiştir. Evirici anahtarları için anahtarlama işaretleri 1.25 kHz’lik anahtarlama frekansında ÇS-SDGM yöntemi ile üretilmiştir. Denetim amacı için gerekli olan D-STATKOM’un çıkış akımları ve D-STATKOM’un bağlı olduğu AA şebeke gerilimleri sırası ile Hall etkili LA50-S/SP1 akım ve LV25-1000 gerilim algılayıcıları ile ölçülmüştür. D-STATKOM’un gerçek zamanlı denetimi için dSPACE DS1103 denetleyici kartı kullanılmıştır. Deneysel çalışma şartlarına ilişkin parametreler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Deneysel kurulum ile ilgili devre parametreleri

Parametre	Değer
Hat gerilimi	173V, 50Hz
Bağlantı endüktansı	2.89mH
Şarj direnci	1k Ω /100W
DA-hat kondansatörü	3.3 mF/400V
Deşarj direnci	23.5k Ω /5W
Anahtarlama frekansı	2.5 kHz
IGBT Ölü zaman	4.5 μ s
Referans DA-hat	170.4V



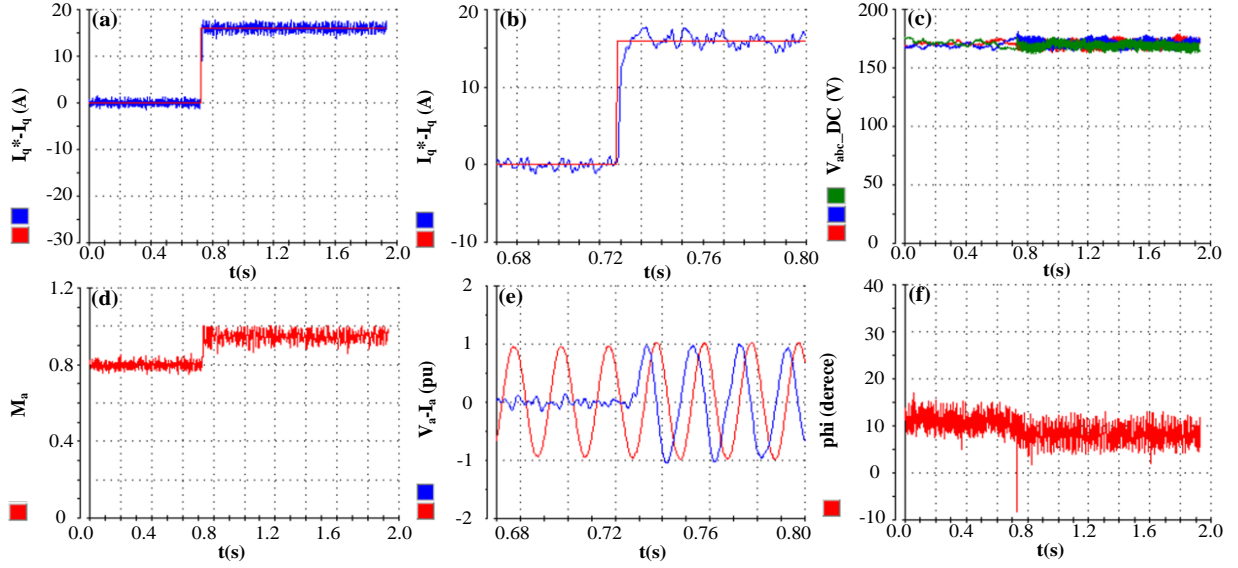
Şekil 7. D-STATKOM'un deneysel kurulumu

Evirici anahtarlarına kapı işaretleri uygulanmadan önce AA şebeke gerilimi bir varyak yardımı ile 173 V'ye ayarlanmış ve DA-hat kondansatörleri şebeke üzerinden şarj dirençleri yardımı ile doldurulmuştur. Böylece başlangıçta D-STATKOM'un yüksek akım çekmesi önlenmiştir. Kondansatörler tam doldurulduktan sonra şarj dirençleri anahtarlar yardımı ile devre dışı bırakılmış ve D-STATKOM başlatılmaya hazır hale getirilmiştir. Bulanık-PI denetimli D-STATKOM'un geçici ve sürekli durum performansı dört farklı yük şartı için incelenmiştir. Bu amaçla D-STATKOM'un referans reaktif akım bileşeni 0 A 'dan 16 A'ya (bekleme durumundan kapasitif çalışmaya geçiş), 0 A'dan -16 A'ya (bekleme durumundan endüktif çalışmaya geçiş), 16 A'dan -16 A'ya (kapasitif çalışmadan endüktif çalışmaya geçiş) ve -16 A'dan 16 A'ya (endüktif çalışmadan kapasitif çalışmaya geçiş) değiştirilmiştir. Bu şartlar altında D-STATKOM'un şebekede meydana gelebilecek bu anlık reaktif akım değişimlerinde hem talep edilen reaktif akımı sağlayabilme yeteneği hem de bu akımı ne kadar sürede sağladığı gözlemlenmiştir.

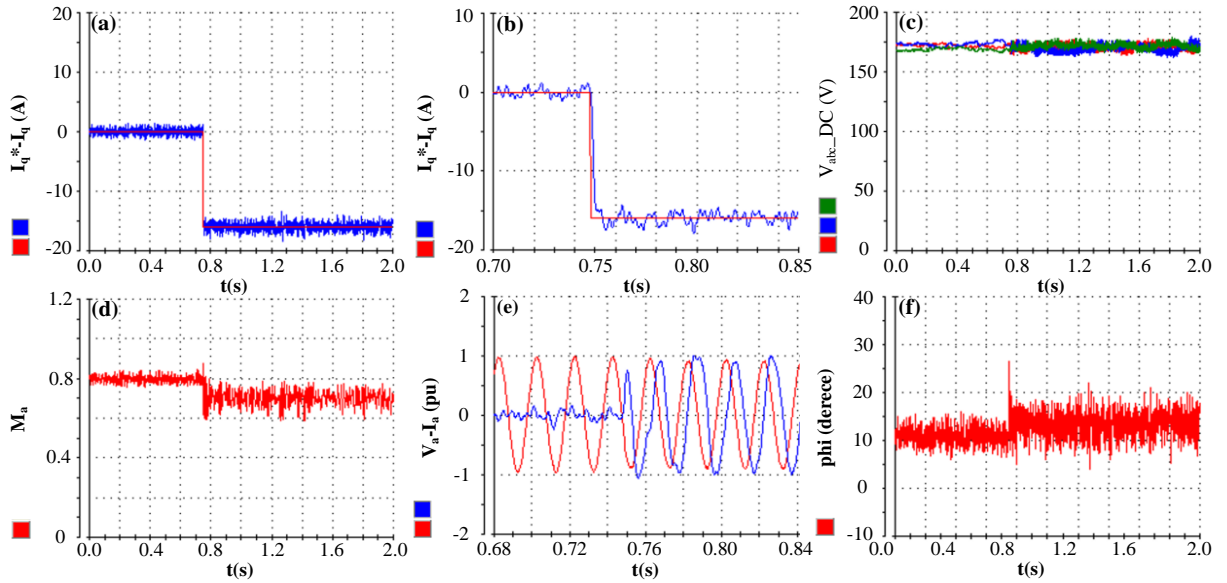
Şekil 8a-f'de sırası ile bekleme durumundan kapasitif çalışma durumuna geçiş için D-STATKOM'un reaktif akımı ve onun detay gösterimi, DA-hat kondansatör gerilimleri, modülasyon indeksinin değişimi, birim değer cinsinden a-fazı akımı-gerilimi ve şebeke gerilimi ile D-STATKOM'un gerilimi arasındaki faz açısının değişimine ait deneysel sonuçlar verilmiştir. Şekil 8a ve b'den görüldüğü gibi, D-STATKOM tarafından üretilen reaktif akımda sürekli durum hatasının bulunmadığı ve yerleşme süresinin yaklaşık 14.6 ms olduğu görülmektedir. Şebeke frekansının 50 Hz olduğu düşünülürse D-STATKOM bir periyottan daha kısa sürede şebekede meydana gelen değişmeye cevap verdiği görülmektedir. Şekil 8c'de DA-hat gerilimlerinin referans değerinde olduğu ancak DA-hat gerilimlerindeki dalgalanmaların kapasitif çalışma durumunda bekleme durumuna göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni evirici anahtarlarının kapasitif çalışma durumunda endüktif çalışma durumuna göre kapalı kalma sürelerinin daha uzun olmasıdır. Ayrıca modülasyon indeksi bekleme durumunda yaklaşık 0.83 iken 16 A kapasitif akım sağlama durumunda ise yaklaşık 0.93'e yükseldiği Şekil 8d'de görülmektedir. Şekil 8e'de görüleceği gibi, 0.73 s'ye kadar D-STATKOM bekleme durumunda (D-STATKOM'un akımı sıfır), 0.73 s'den sonra ise D-STATKOM kapasitif akım sağlamaya başlamıştır (a-fazı akımı gerilimine göre yaklaşık 90° ileridedir). Şekil 8f'de şebeke gerilimi ile D-STATKOM'un gerilimi arasındaki faz açısının bekleme durumundan kapasitif çalışmaya geçiş durumunda azaldığı görülmektedir. Bu durum DA-hat kondansatör gerilimlerinin sabit kalmasını sağlamaktadır.

Şekil 9a-f'de sırası ile bekleme durumundan endüktif çalışma durumuna geçiş için D-STATKOM'un reaktif akımı ve onun detay gösterimi, DA-hat kondansatör gerilimleri, modülasyon indeksinin değişimi, birim değer cinsinden a-fazı akımı-gerilimi ve şebeke gerilimi ile D-STATKOM'un gerilimi arasındaki faz açısının değişimine ait deneysel sonuçlar verilmiştir. Şekil 9a ve b'den görüldüğü gibi, hem D-STATKOM tarafından sağlanan endüktif reaktif akım referans değerini izlemekte (sürekli durum hatası yok) hem de D-STATKOM istenilen reaktif akımı çok kısa sürede sağlamaktadır (yerleşme süresi yaklaşık olarak 15 ms). Şekil 9c'de verilen DA-hat gerilimlerine ilişkin deneysel sonuçlar incelendiği zaman DA-hat gerilimleri referans değerlerinde olduğu görülmektedir. Bekleme durumundan endüktif çalışmaya geçişte modülasyon indeksi bekleme durumunda yaklaşık 0.83 iken 16 A endüktif akım sağlarken ise yaklaşık 0.69'a azaldığı Şekil 9d'de görülmektedir. 0.75 s'ye kadar D-STATKOM bekleme durumunda ve akımı sıfır, 0.75 s'den sonra ise D-STATKOM endüktif akım sağlamaya başlamıştır (a-fazı akımı gerilimine göre yaklaşık 90° geridedir) ve bu durum Şekil 9e'de verilmiştir.

Şekil 9f’de ise şebeke gerilimi ile D-STATKOM’un gerilimi arasındaki faz açısının bekleme durumundan endüktif çalışmaya geçiş durumunda DA-hat kondansatör gerilimlerinin sabit kalmasını için arttığı görülmektedir.



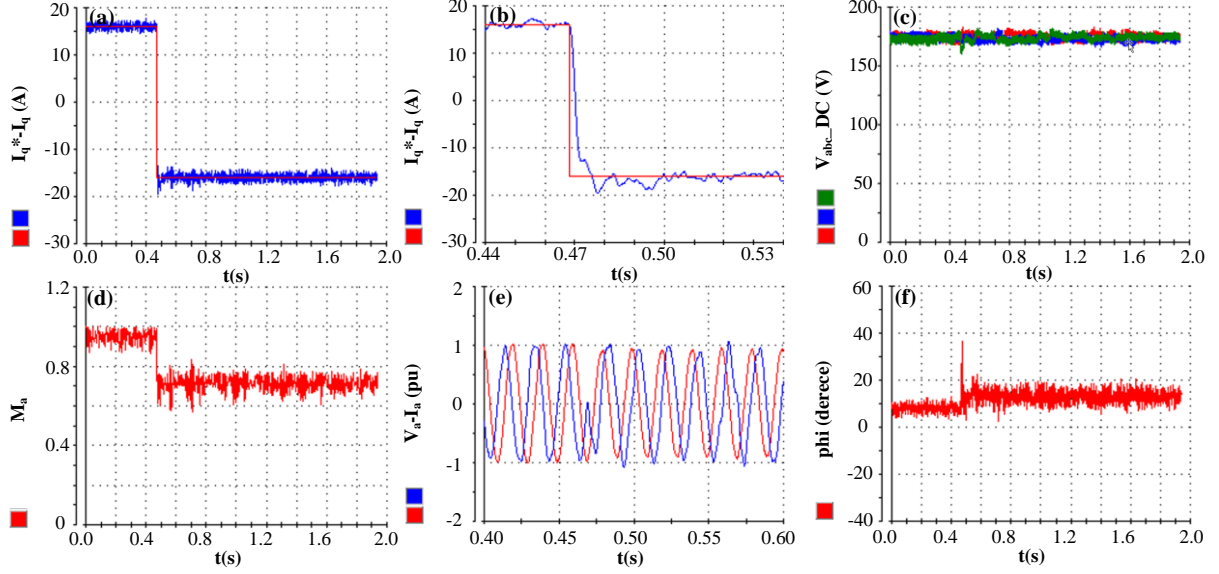
Şekil 8. Bekleme durumundan kapasitif çalışma durumuna geçiş için deneysel sonuçlar



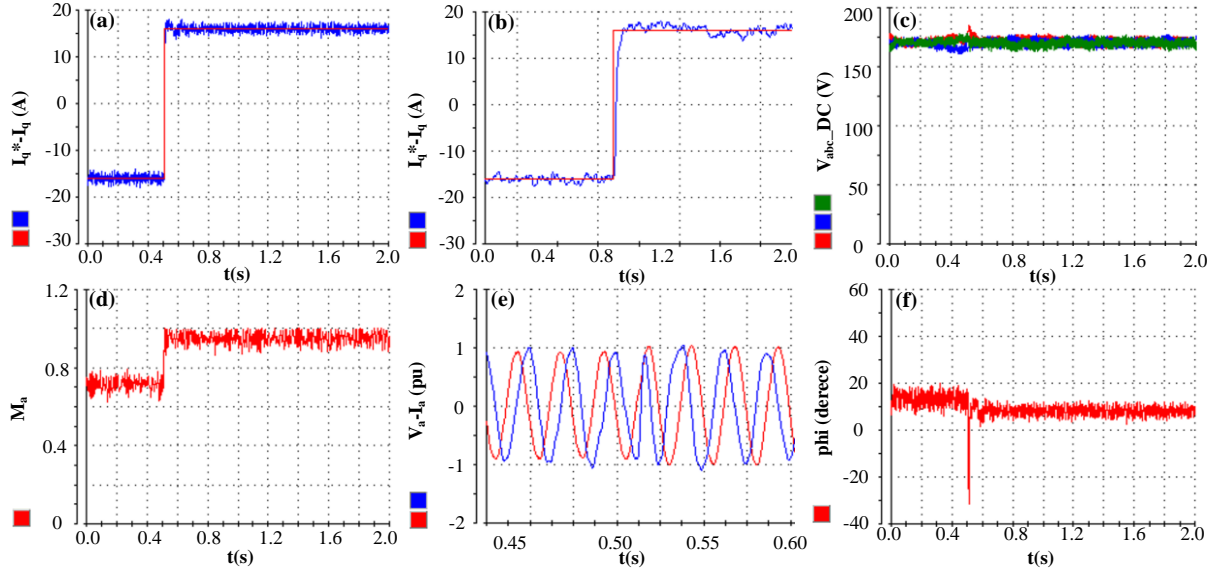
Şekil 9. Bekleme durumundan endüktif çalışma durumuna geçiş için deneysel sonuçlar

Şekil 10a-f’de sırası ile D-STATKOM’un reaktif akımı ve bu akımın detay gösterimi, DA-hat kondansatör gerilimleri, modülasyon indeksinin değişimi, birim değer cinsinden a-fazı akım-gerilimi ve AA şebeke gerilimi ile D-STATKOM’un gerilimi arasındaki faz açısının değişimini ile ilgili deneysel sonuçlar kapasitif çalışma durumundan endüktif çalışma durumuna geçiş için verilmiştir. Bu deneysel senaryoda, yaklaşık 0.47 s’ye kadar D-STATKOM’un referans reaktif akımı 16 A kapasitif, 0.47 s’den sonra ise 16 A endüktif olarak belirlenmiştir. Her iki çalışma durumunda da D-STATKOM’un reaktif akımının referans değerini izlediği Şekil 10a ve b’de görülmektedir. Ayrıca D-STATKOM istenilen reaktif akımı 29 ms gibi çok kısa sürede sağlamıştır. Şekil 10c’de ise DA-hat gerilimlerine ilişkin deneysel sonuçlar verilmiştir. Şekilden, DA-hat gerilimlerinin referans değerinde olduğu ancak kapasitif çalışma durumunda DA-hat gerilimindeki dalgalanmanın yukarıda bahsedilen sebepten dolayı endüktif çalışma durumuna göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Kapasitif çalışmadan endüktif çalışmaya geçişte modülasyon indeksi yaklaşık 0.93’ten 0.69’a azaldığı Şekil 10d’de

görülmektedir. Ayrıca Şekil 10e'de gösterildiği gibi, 0,47 s'ye kadar D-STATKOM kapasitif akım, bu zamandan sonra ise endüktif akım sağlamaya başlamıştır (0,47 s'ye kadar a-fazı akımı gerilimine göre yaklaşık 90° ileride iken 0,47 s'den sonra a-fazı akımı gerilimine göre yaklaşık 90° geridedir). Şekil 10f'de şebeke gerilimi ile D-STATKOM'un gerilimi arasındaki faz açısının kapasitif çalışma durumunda yaklaşık 9° , endüktif çalışma durumuna geçişte ise artarak 14° yükseldiği gözlemlenmiştir. Böylece, bu geçiş esnasında DA-hat kondansatör gerilimlerinin sabit kalması sağlanmıştır.



Şekil 10. Kapasitif çalışmadan endüktif çalışma durumuna geçiş için deneysel sonuçlar



Şekil 11. Endüktif çalışma durumundan kapasitif çalışma durumuna geçiş için deneysel sonuçlar

Şekil 11a-f'de ise sırası ile endüktif çalışma durumundan kapasitif çalışma durumuna geçişte elde edilen deneysel sonuçlar verilmiştir. Bu deneysel senaryoda, 0,49 s'ye kadar D-STATKOM'un referans reaktif akımı 16 A endüktif, 0,47 s'den sonra ise 16 A kapasitif olarak belirlenmiştir. Her iki çalışma durumunda da D-STATKOM'un reaktif akımının referans değerini izlediği ve 31 ms'de istenilen reaktif akımı sağladığı Şekil 11a ve b'de görülmektedir. Şekil 11c'de ise DA-hat gerilimlerine ilişkin deneysel sonuçlar verilmiştir. Bu deneysel sonuç incelendiği zaman DA-hat gerilimlerinin referans değerinde olduğu görülmektedir. Bu çalışma koşulunda modülasyon indeksinin değişimi Şekil 11d'de verilmiştir. Endüktif çalışma durumundan kapasitif çalışma

durumuna geçişte modülasyon indeksi yaklaşık 0.69'dan 0.93'e yükselmiştir. Şekil 11e'de görüldüğü gibi, 0.49 s'ye kadar D-STATKOM endüktif akım, bu zamandan sonra ise kapasitif akım sağlamaya başlamıştır (0.49 s'ye kadar a-fazı akımı gerilimine göre yaklaşık 90° geride iken 0.47 s'den sonra a-fazı akımı gerilimine göre yaklaşık 90° ileridedir). Şekil 11f'de şebeke gerilimi ile D-STATKOM'un gerilimi arasındaki faz açısının endüktif çalışma durumunda yaklaşık 14°, kapasitif çalışma durumuna geçişte ise azalarak 9° yükseldiği gözlemlenmektedir.

5. Sonuçlar

Enerji sistemlerinin denetiminde en önemli problemlerden biri reaktif güç kompanzasyonudur. Bu çalışmada, Bulanık-PI akım denetimli üç seviyeli H-köprü evirici tabanlı bir D-STATKOM'un deneysel kurulumu gerçekleştirilmiş ve D-STATKOM şebekeye reaktif güç sağlayacak şekilde denetlenmiştir. D-STATKOM'un aktif ve reaktif gücü dq -eksen akımlarının denetimi ile gerçekleştirilmiştir. Denetim amacı için DS1103 denetleyici kartı kullanılmıştır. Bulanık-PI akım denetimli D-STATKOM'un reaktif akım sağlayabilme yeteneği farklı yük şartları için incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlardan Bulanık-PI denetimli D-STATKOM'un sistemde meydana yük veya gerilim değişimleri sonucunda sağlanması gereken reaktif akımı hızlı ve hatasız bir şekilde sağladığı görülmüştür.

6. Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 107E245 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, sağlanan destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür eder.

Kaynaklar

- [1] Singh B, Saha R, Chandra A, Al-Haddad K. Static synchronous compensators (STATCOM): a review. *IET Power Electron*, 2008; 2:297-324.
- [2] Singh B, Jayaprakash P, Kothari DP, Chandra A, Al-Haddad K. Comprehensive study of D-STATCOM configurations *IEEE Trans Ind Informat*, 2014; 10(2): 854-870.
- [3] Cetin A, Ermis M. VSC-Based D-STATCOM With Selective Harmonic Elimination. *IEEE Trans Ind Appl*, 2009;45(3): 1000-1015.
- [4] Deniz E, Coteli R, Dandil B, Tuncer S. Design and implementation of three level H-bridge inverter based D-STATCOM. *Journal of Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2011;26(2): 289-298.
- [5] Kumar P, Kumar N, Akella AK. A simulation based case study for control of D-STATCOM. *ISA Trans*, 2014;53(3): 767-775.
- [6] Singh B, Kumar S, Sabha D, Arya R. An improved control algorithm of D-STATCOM for power quality improvement. *Int J Electr Power Energy Syst*, 2015;64: 493-504.
- [7] Rahim AHMA, Nowicki EP, Bakhshwain JM. Fuzzy STATCOM Control Strategies for Power System Stabilization, *ACSE Journal*, 2006;6(2): 1-9.
- [8] Hosseini SH, Rahnavard R, Ebrahimi Y. Reactive Power Compensation in Distribution Networks with STATCOM by Fuzzy Logic Theory. In: *IEEE 2006 Power Electronics and Motion Control Conference*, 14-16 Aug. 2006; Shanghai, China: IEEE. pp. 1-5.
- [9] Ahmad MT, Narendra K, Bhim S. Generalised neural network-based control algorithm for DSTATCOM in distribution systems. *IET Power Electron* 2017;10: 1529-1538.
- [10] Jayachandran J, Sachithanandam RM. Neural network-based control algorithm for DSTATCOM under nonideal source voltage and varying load conditions. *Can J Elect Comput E*, 2015; 38: 307-317.
- [11] Coteli R, Acikgoz H, Dandil B, Tuncer S. Real-time implementation of three-level inverter-based D-STATCOM using neuro-fuzzy controller, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 2018;26: 2088-2103.
- [12] Açıkgöz, H. Üç Seviyeli D-STATKOM'un Tip-2 Bulanık Mantık Denetleyici ile Denetimi ve Performans Analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2018;21(4): 346-357.
- [13] Eswaran T, Suresh Kumar V. Particle swarm optimization (PSO)-based tuning technique for PI controller for management of a distributed static synchronous compensator (D-STATCOM) for improved dynamic response and power Quality. *J Appl Res Technol*, 2017;15(2):173-189.
- [14] Liu F, Mei S, Lu Q, Ni Y, Wu FF, Yokoyama A. The nonlinear internal control of STATCOM: theory and application, *Int J Electr Power Energy Syst*, 2003; 25: 421-430.
- [15] Dawood A. D-STATCOM modelling for voltage stability with fuzzy logic PI current controller. *Int J Electr Power Energy Syst*, 2016;76: 129-135.
- [16] Coteli R, Dandil B, Ata F. Fuzzy-PI current controlled D-STATCOM. *Gazi University Journal of Science*, 2011; 24:91-99.

- [17] Suryanarayana H, Mahesh KM. Fuzzy logic based supervision of dc link PI control in a DSTATCOM. In: IEEE 2008 India Conference; 11–13 December 2008; Kanpur, India: IEEE. pp. 1-6.
- [18] Valderrábano A, Juan MR. D-STATCOM regulation by a fuzzy segmented PI controller. *Electr Pow Syst Res* 2010; 80: 707.
- [19] Nagesh G, Mahesh KM, Manoj Kumar MV. SRF based current controller using PI and HC regulators for D-STATCOM with SPWM switching. *Int J Electr Power Energy Syst*, 2015;67: 87-100.
- [20] Petitclair P, Bacha S, Ferrieux JP. Optimized linearization via feedback control law for a STATCOM. In: 32nd Industry Applications Conference; 5–9 October 1997; New Orleans, LA, USA. New York, NY, USA: IEEE. pp. 880-885.
- [21] Petitclair P, Bacha S, Rognon JP. Averaged modelling and nonlinear control of an advanced static VAr compensator. In: IEEE 1996 Power Electronics Specialists Conference; 23-27 June 1996; Baveno, Italy. New York, NY, USA: IEEE. pp. 753-758.
- [22] Zadeh LA. Fuzzy Sets. *Inform Con*, 1965; 8(3): 338-353.
- [23] Gani A, Acikgoz H, Kececioglu OF, Sekkeli M. Fuzzy Logic Controller Design Based On Sugeno Inference Method For Nonlinear Inverted Pendulum Dynamical System. *Sigma J Eng & Nat Sci*, 2017; 8(1):19-30.
- [24] Gunes M, Dogru N. Fuzzy control of brushless excitation system for steam turbogenerators. *IEEE Trans Energy Convers*. 2010;25(3):844-852.
- [25] Acikgoz H, Kececioglu OF, Gani A, Yildiz C, Sekkeli M. Optimal Control and Analysis of Three Phase Electronic Power Transformers. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2015; 195: 2412-2420.
- [26] Jan J. Tuning of fuzzy PID controllers. Denmark Tech. Report No 98-H871(fpid), 1998, pp.1-22.

EMG Sinyallerinin Kısa Zamanlı Fourier Dönüşüm Özellikleri Kullanılarak Yapay Sinir Ağları ile Sınıflandırılması

Ali ARI^{1*}, Furkan AYZAZ², Davut HANBAY³

¹ Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Doğanşehir Vahap Küçük MYO, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Malatya, Türkiye

² Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bartın Üniversitesi, Bartın, Türkiye

³ Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

*¹ali.ari@ozal.edu.tr, ²furkan.ayaz@bartin.edu.tr, ³davut.hanbay@inonu.edu.tr

(Geliş/Received: 27/03/2019;

Kabul/Accepted: 22/08/2019)

Öz: EMG sinyali kasların kasılması sırasında oluşan elektriksel aktivasyonun ölçülmesi işlemidir. EMG sinyali, kasların nöral aktivasyonu ve dinamikleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu nedenle EMG sinyallerinin işlenmesi; sinir hastalıkları teşhisi, protez cihazlar ve insan makine etkileşiminde olmak üzere birçok alanda giderek daha etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle EMG sinyallerinden hareket tespiti ve EMG sinyallerinin sınıflandırılması bu çalışmalar için önem teşkil etmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmada EMG sinyallerinden hareket tespiti yapılması amaçlanmıştır. İlk olarak 6 farklı harekete ait EMG sinyalleri alınmış ve bu sinyallere Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) uygulanmış ve sinyaller Zaman-Frekans (Z-F) düzleminde gösterilmiştir. Daha sonra bu Z-F gösterimlerinden öznitelik çıkarmak amacıyla gösterimler bölütlenmiş ve her bir pencereye ait istatistiksel öznitelikler, Yerel İkili Örüntü (YİÖ) değerleri ve Gri Seviye Eş oluşum Matrisi (GSEM) hesaplanarak EMG sinyaline ait öznitelikler çıkartılmıştır. Çıkarılan bu öznitelikler Yapay Sinir Ağı (YSA) ile sınıflandırılmış ve sistemin başarımı ölçülmüştür. Sistemin doğruluk başarımı ortalama %92 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: EMG Sinyalleri, Hareket Tespiti, Yapay Sinir Ağları.

Classification of EMG Signals by Artificial Neural Networks Using Short-Time Fourier Transform Features

Abstract: EMG signal is procedure that measuring electrical activation during contraction of muscles. EMG signal provides information about neural activation and dynamics of muscles. Therefore, EMG signals have been used more and more effectively in many areas like diagnosis of nervous diseases, prosthetic devices and human machine interaction. Especially, motion detection from EMG signals and classification of EMG signals are important for these studies. In this study, it is aimed to determine motion from EMG signals. Firstly, EMG signals of 6 different movements were taken and Short-Term Fourier Transform (STFT) was applied to these signals. Thus these EMG signals were transformed to Time-Frequency (T-F) domain. After than these representations used to extract features from EMG signal, statistical properties, Local Binary Pattern (LBP) values and Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) were calculated from each window. These features were classified by Artificial Neural Network (ANN) and performance of system was measured. Evaluated accuracy of the system is 92%.

Key words: EMG Signals, Motion Detection, Artificial Neural Network

1. Giriş

Elektromiyografi (EMG) işareti kasların kasılmasıyla ortaya çıkan elektriksel potansiyeldir. EMG işaretleri cilt üzerine yerleştirilen elektrotların kas liflerindeki potansiyelleri toplayarak elde edilir. EMG işaretlerinin genlikleri küçük olduğu için aktif duruma gelen kas sayısı artması ile işaretlerin okunabilirliği artmaktadır. EMG işaretleri kas hastalıkları tespitinde, protez kontrolü ve fiziksel hareketlerin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Özellikle EMG sinyallerinin hareket tespiti amacıyla bilgisayar destekli sınıflandırılması ve protez kol çalışmaları son zamanlarda gözde çalışma alanları haline gelmiş ve bu alanlarda birçok çalışma yapılmıştır. Yapay zekâ metotları kullanılarak EMG sinyallerinin işlenmesi güncel çalışma alanları arasında yer almaktadır. YSA'nın öğrenme ve genelleme yeteneğinin olması yapılan çalışmalarda sıklıkla kullanılmasına sebep olmuştur. [1] nolu çalışmada Ampirik Kip Ayırımı (AKA) yöntemi kullanılarak Amyotrofik lateral skleroz (ALS) hastalarına ve normal insanlara ait EMG sinyallerinin ayrıştırılması amaçlanmıştır. [2] nolu çalışmada EMG sinyallerinden hastalık tespiti amacıyla farklı sinir ağları yöntemleri kullanılıp sistemin otomatik olarak normal, nörojenik ve miyopatik olarak sınıflandırılması amacıyla çalışma yapılmıştır. EMG sinyalinden hastalık tespiti için yapılan diğer bir çalışmada ise normal, nörojenik ve miyopatik hastalıkları tespiti için yeni bir Parçacık Sürü Optimizasyonu-Destek Vektör Makinesi (PSO-DVM) modeli önerilmiş ve bu sistemin doğruluk performans değerlerini

* Sorumlu yazar: ali.ari@inonu.edu.tr Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-5071-6790, ³ 0000-0003-2271-7865

göstermişlerdir [3]. [4] nolu çalışmada ise protez elin işlevselliğini ve doğruluğunu arttırmak amacıyla kas kasılması, dinamik kol duruşlarını bulmaya çalışan yeni bir yöntem önermişlerdir. EMG sinyallerinden hareket tespiti için birçok yöntem ve sınıflandırıcı ile uygulamalar yapılmış ve literatüre kazandırılmıştır. [5] nolu çalışmada ise alkollü Elektroensefalografi (EEG) sinyalleri Z-F görüntülerine çevrilmiştir. Daha sonra bu görüntülerden öznitelikler çıkarılarak bu özniteliklere göre EEG sinyallerinin sınıflandırılması amaçlanmıştır. Diğer bir çalışmada ise yüzey EMG sinyali sınıflandırması için Uyarlamalı Yerel İkili Örüntü (UYİÖ) yöntemi önerilerek hareket tespiti amaçlanmıştır [6]. EMG sinyalinden hareket tespitinde sınıflandırıcı etkisi görmek amacıyla yapılan çalışmada YSA kullanılarak 3 farklı el hareketinin sınıflandırma doğruluğu hesaplanmıştır [7].

Bu çalışmada ön koldan alınan 6 farklı nesne tutmaya ait EMG sinyallerinin sınıflandırılması hedeflenmiştir. İşlem aşamasında ilk olarak alınan EMG sinyallerine Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) uygulanmış ve sinyal zaman-frekans (Z-F) düzlemine dönüştürülmüştür. Daha sonraki aşamada elde edilen Z-F görüntüleri frekans düzleminde bölünerek daha küçük parçalara ayrıştırılmıştır. Bu küçük alanlara istatistiksel yöntemler ve doku tabanlı görüntü işleme yöntemleri olan YİÖ ve GSEM yöntemleri uygulanarak görüntülerden öznitelik çıkarımı sağlanmıştır. Elde edilen bu öznitelikler YSA'a giriş verisi olarak verilerek sistemin doğruluk başarısı maksimum %93, ortalama %92 olarak elde edilmiştir. Yapılan çalışma şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde öznitelik çıkarımı ve sınıflandırma işlemi için kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Üçüncü bölümde önerilen yöntem ve deneysel sonuçlar görsel ve sayısal olarak verilerek açıklamalarda bulunulmuştur. Son bölümde ise sonuçlar verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde bu çalışmada kullanılan yöntemlere ait bilgiler verilmiştir.

2.1. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü

Fourier analizi sinyalin her frekans bileşenine ait enerji/güç ayrışımını verir fakat zaman bilgisi olmadığı için frekans bileşeninin hangi zaman diliminde bulunduğu hakkında bilgi vermemektedir [8], [9]. KZFD'nin arkasındaki temel mantık, Fourier dönüşümü tüm zaman dilimi boyunca uygulandığı için bu sorunu çözmek amacıyla belirli zaman diliminde hesaplanması gerektiğidir. KZFD, belirli bir $x(t)$ sinyalini belirli boyutlarda pencereler ($w(t)$) ile bölerek her bir segmente Fourier dönüşümü uygulama işlemidir. Bölünmüş sinyalin sürekli zaman alanında matematiksel denklemi Denklem (1)'de gösterilmiştir [10].

$$x(t_c, t) = x(t)w(t - t_c) \quad (1)$$

Denklem 1'de t_c simetrik pencere fonksiyonun merkez değeridir. Bölünmüş sinyale uygulanan Fourier dönüşümü Denklem (2)'de verilmiştir.

$$x(t_c, w_c) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t_c, t)e^{-jw_c t} dt \quad (2)$$

Denklem 2'de w_c pencerenin merkez frekansıdır. Spektrogram olarak bilinen enerji yoğunluğu $|x(t_c, w_c)|^2$ olarak tanımlanır. Bu denklem (t_c, w_c) etrafındaki $x(t)$ 'nin enerjisi hesaplar. Ayrık zaman alanı için sinyal pencereleme ve KZFD işlemleri için sırasıyla Denklem (3) ve Denklem (4) kullanılmaktadır.

$$x(m, n) = x(n)w(n - m) \quad (3)$$

$$x(m, l) = \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} x(n)w(n - m)e^{\frac{-j2\pi ln}{m}} \quad (4)$$

2.2. İstatistiksel Öznitelikler

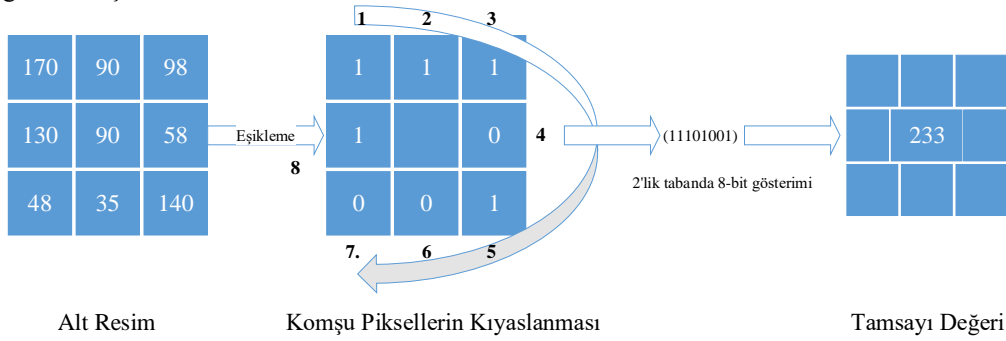
Ortalama, standart sapma ve entropi öznitelikleri genellikle görüntünün karakteristiğini elde etmek amacıyla kullanılmıştır [11]. *Ortalama*, görüntü yoğunluğunun ortalama değeridir. *Standart Sapma*, verilerin yayılımının matematiksel olarak ifade etmek için kullanılan bir ölçüdür. *Entropi*, verilerin düzensizlik ölçümünde kullanılır.

2.3. Yerel İkili Örüntü

YİÖ, gri seviyesinden bağımsız bir doku analiz yöntemidir. Orijinal YİÖ operatörü resmin her pikseli için bir etiket oluşturur [12]. Bu etiket, merkezi pikselin 3x3 piksel komşu pikselleri ile karşılaştırılması sonucunda elde edilen ikili bir sayıdır. Her piksel komşuları arasındaki fark olarak etiketlenir ve $u(x)$ fonksiyonu ile iki katına çıkar [13].

$$LBP_{P,R}(x_c) = u(x_p - x_c)2^p, u(x) = \begin{cases} 1, & y \geq 0 \\ 0, & y < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Bu denklemde x_c YİÖ'nün merkez pikselini, x_p merkez pikselin komşularını, R komşunun merkez piksele olan uzaklığını ve P ise işleme alınacak komşularının sayısını göstermektedir. Şekil 1'de YİÖ operatörünün uygulanma yöntemi gösterilmiştir.

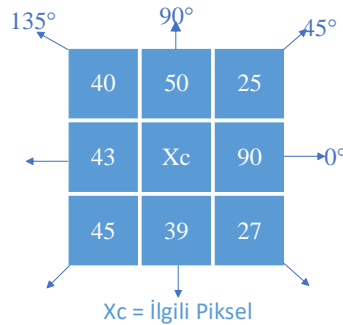


Şekil 1. YİÖ operatörünün uygulama yöntemi

Yapılan araştırmalarda, görüntülerin doku yüzeylerinin büyük bir çoğunluğu düzenli dokulardan oluştuğu gözlemlenmiştir. YİÖ operatöründe 0-1 ve 1-0 geçişlerinin sayısı 2 ve 2'den az olan dokulara düzenli doku denmektedir. Düzenli dokulara; 00000000 ve 11111111 dokuları 0 adet geçişe, 00011000 ve 00111100 dokuları 2 adet geçişe sahip olduğu örnek olarak verilebilir [13]. Burada toplamda $P \times (P - 1) + 2$ düzenli doku oluşmaktadır. Düzenli olmayan piksellerin değerleri 1 tamsayı değerinde tutulduğunda, YİÖ histogramı 59 adet nokta ile temsil edilebilmektedir.

2.4. Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi

GSEM, Haralick tarafından önerilmiştir ve tanımlanan dokuya ait farklı iki piksel arasındaki gri seviye farklarına dayalı bir öznelik çıkarma yöntemidir [14]. Referans olarak birinci piksel alınırken komşu piksel olarak ikinci piksel alınır [15]. $P(I, j | d, 0)$, olan bu matris alt bant görüntüsündeki ve mesafe fonksiyonu arasındaki açısal ilişki ile oluşturulmuştur. Pikseller arasındaki açı d iken, açı 0° 'dir. $P(I, j)$, gri seviyede ki I 'dan gri seviyesinde olan j 'ye geçme olasılığını gösterir. 45 derece açı aralığı kullanılırsa tüm komşuluklar için dört matris oluşmaktadır. $P(0, d)$, $P(45, d)$, $P(90, d)$, $P(135, d)$, durumlarını seçilen pikselin çevresinde 45 derecelik açıyla olacak şekilde Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Seçilen piksel için açıların gösterilmesi

Kontrast, entropi, toplam ortalama, toplam varyans, toplam entropi, fark varyansı, fark entropisi ve korelasyon bilgi ölçüsü aşağıdaki biçimde formülize edilebilir [16].

N_g , kullanılan gri seviyelerinin sayısıdır. $P_x(i)$, $P(i, j)$ 'nin satırlarının toplanmasıyla elde edilen marjinal olasılık matrisindeki i 'ninci girdidir.

$$P_x(i) = \sum_{j=1}^{N_g} P(i, j) \quad (6)$$

$$P_y(i) = \sum_{i=1}^{N_g} P(i, j) \quad (7)$$

$$P_{x+y}(k) = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} P(i, j), \quad i + j = k, \quad k = 2, 3, \dots, 2N_g \quad (8)$$

$$P_{x-y}(k) = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} P(i, j), \quad |i - j| = k, \quad k = 0, 1, \dots, N_g - 1 \quad (9)$$

$$\text{Kontrast} = \sum_{n=0}^{N_g-1} n^2 \left\{ \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} P(i, j) \right\}, \quad |i - j| = n \quad (10)$$

$$\text{Entropi} = - \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} P(i, j) \log [P(i, j)] \quad (11)$$

$$\text{Toplam _Ortalama} = \sum_{i=2}^{2N_g} iP_{x+y}(i) \quad (12)$$

$$\text{Toplam _Varyans} = \sum_{i=2}^{2N_g} \left(i - \left[\sum_{i=2}^{2N_g} iP_{x+y}(i) \right] \right)^2 \quad (13)$$

$$\text{Toplam _Entropi} = - \sum_{i=2}^{2N_g} P_{x+y}(i) \log \{P_{x+y}(i)\} \quad (14)$$

$$\text{Fark _Varyans} = \sum_{i=2}^{2N_g} \left(i - \left[\sum_{i=2}^{2N_g} iP_{x-y}(i) \right] \right)^2 \quad (15)$$

$$\text{Fark _Entropi} = - \sum_{i=0}^{N_g-1} P_{x-y}(i) \log \{P_{x-y}(i)\} \quad (16)$$

$$\text{Korelasyon _Bilgi _Ölçümü} = \frac{HXY - HXY1}{\max \{HX, HY\}} \quad (17)$$

Denklem 13'te HX ve HY : P_x ve P_y 'nin entropisidir.

$$HXY = - \sum_i \sum_j P(i, j) \log (P(i, j)) \quad (18)$$

$$HXY1 = - \sum_i \sum_j P(i, j) \log (P_x(i)P_y(j)) \quad (19)$$

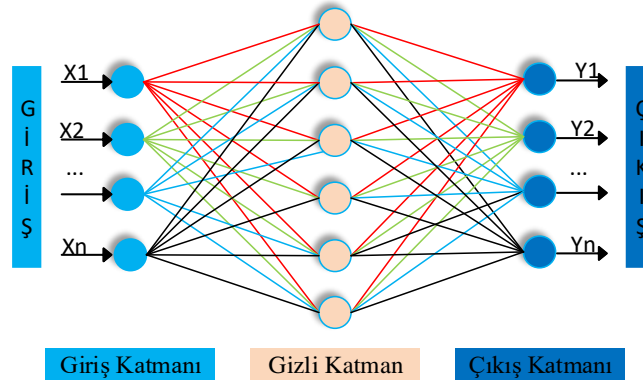
Enerji, Denklem (20)'deki şekilde tanımlanmıştır [17]:

$$ENERJİ = \sum_i \sum_j P(i, j)^2 \quad (20)$$

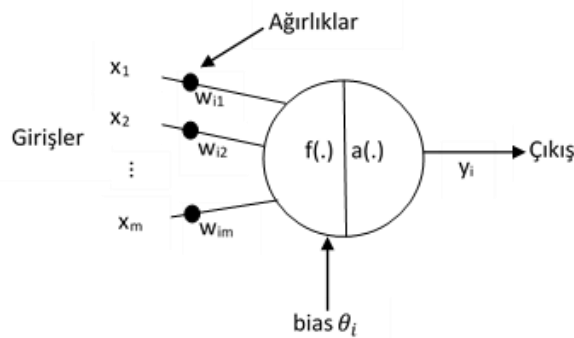
2.5. Yapay Sinir Ağları

Birçok nörondan oluşan YSA modeli, insan beyninin biyolojik yapısı örnek alınarak tasarlanmıştır. Şekil 3’de en yaygın kullanılan YSA modeli olan ileri besleme ağının şeması gösterilmektedir. YSA’daki işlem elemanları nöronlar olarak bilinmektedir. Her bir nöron birden fazla girişe sahip olabilirken, bir çıkışa sahiptir. Şekil 4’de nöron yapısı gösterilmiştir. Burada X giriş değerlerini, Y ise çıkışı ifade etmektedir. Her bir ağırlık değeri, ağ üzerinden aktarılan sinyal ile çarpılarak hesaplanan belirli bir değere sahiptir. Bütün nöronların çıkışları aktivasyon fonksiyonu ile belirlenir. Çıkış değeri Denklem (21)’de ki formül ile hesaplanmaktadır. Burada w değerleri ağırlıkları, θ bias değerlerini ve $a(\cdot)$ aktivasyon fonksiyonu ifade etmektedir. Literatürde bulunan çalışmalarda birçok aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır. Genellikle aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır [18]. YSA genelleme yeteneğine sahip olduğu için eğitilmiş olan bir ağa sistemin bilinmediği bir girdi verildiğinde bu girdi için çıkış üretebilir [19].

$$y(t+1) = a\left(\sum_{j=1}^m w_{ij}x_j(t) - \theta_i\right), \dots f_i \Delta net_i = \sum_{j=1}^m w_{ij}x_j - \theta_i \quad (21)$$



Şekil 3. YSA modelinin gösterilmesi



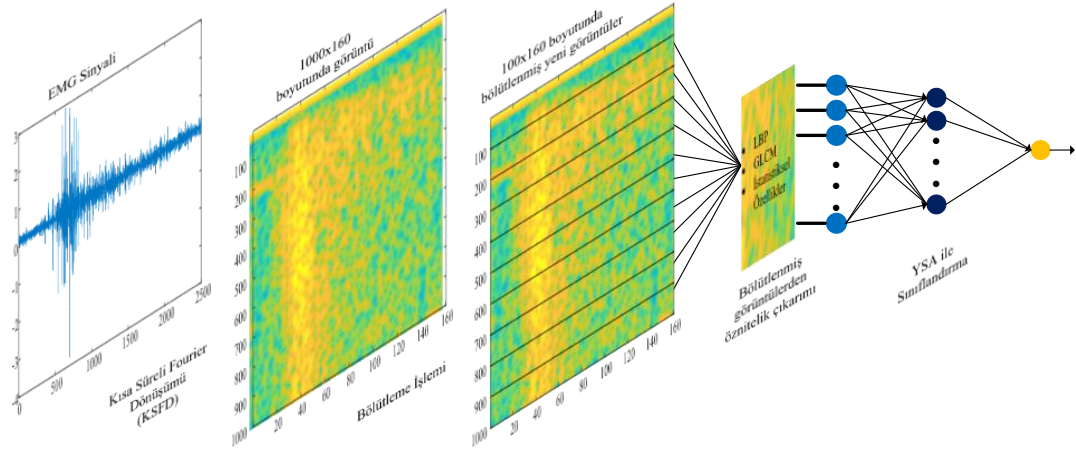
Şekil 4. Nöronun matematiksel yapısı

3. Uygulama

3.1. Önerilen Sistem

EMG sinyallerinin Z-F düzlemine alınmasıyla çıkarılan öznetelikler, EMG sinyalleri ile ilgili daha fazla bilgi içermektedir. Bundan dolayı EMG sinyallerine KZFD uygulanarak, EMG sinyalleri Z-F düzlemine aktarılmış ve

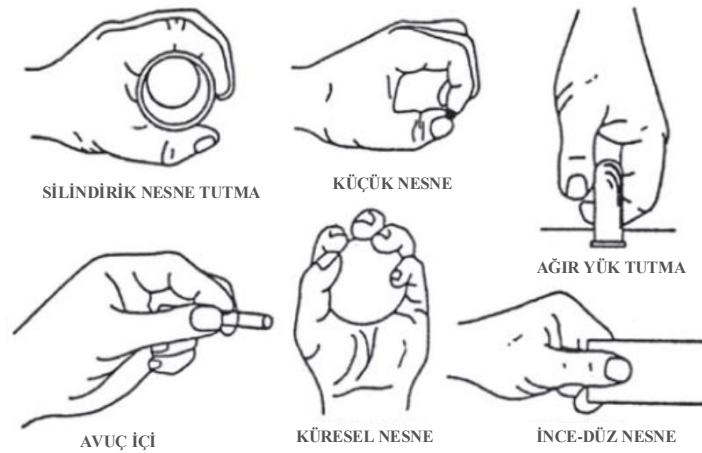
Z-F gösterimleri elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler normalize edilerek 8 bitlik gri tonlanmış gösterimlere dönüştürülmüştür. Daha sonra elde edilen 1000*160 boyutundaki görüntüler, 100*160 boyutunda alt görüntülere bölünülerek her bir parçanın sonuca olan etkisini arttırmak amaçlanmıştır. Elde edilen her bir alt görüntüye ait istatistiksel, YİÖ ve GSEM öznitelikleri çıkarılmış ve her bir alt pencereye özgün 71 adet öznitelik çıkarılmıştır. Toplama bakıldığı zaman ise bir resimde 10 adet bölüt olduğu için toplamda 710 adet öznitelik çıkarılmıştır. Veri setinde bulunan toplam hareket sayısı 1800 olduğundan dolayı tüm veri setinde toplamda 1800*710 adet öznitelik çıkarılmıştır ve bu çıkarılan öznitelikler YSA ile sınıflandırılarak sistemin doğruluk başarısı hesaplanmıştır. Önerilen sistemin çalışma şeması Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Önerilen sistemin çalışma şeması

3.2. Veri Seti

Hazır olarak alınan veri seti, kişilerin farklı nesnelere kavramasından oluşan sinyalleri içermektedir. Ön kola takılan yüzey elektrotları ile bu kavrama hareketlerini tespit etmek amaçlanmıştır. Bir adet sağlıklı erkek bireyden yapılması istenen el hareketleri Şekil 6’da gösterilmiştir. Şekil 6’da gösterilen altı hareket; silindirik nesne tutma (A sınıfı), ağır yük tutma (B sınıfı), ince-düz nesnelere tutma (C sınıfı), avuç içine bakacak şekilde nesne kavrama (D sınıfı), küresel nesne tutma (E sınıfı) ve küçük nesne tutma (F sınıfı) hareketleri olarak belirlenmiştir. Hareketler gerçekleştirilirken hareketin deney hızı ve uygulanacak olan kuvvet kişiye bırakılarak tekrarlanması istenmiştir. Yapılması istenen nesne tutma hareketleri 3 gün artarda 5 saniyelik periyotlar ile 100 tekrar yapılmıştır. Sonuç olarak her bir harekete ait 300 adet EMG sinyali kaydedilmiştir. Alınan bu EMG sinyallerine 15 Hz ile 500 Hz arası band geçiren filtre ve 50 Hz çentik filtresi gürültüleri temizlemek amacıyla uygulanmıştır [20, 21].



Şekil 6. Veri setinde bulunan el hareketleri

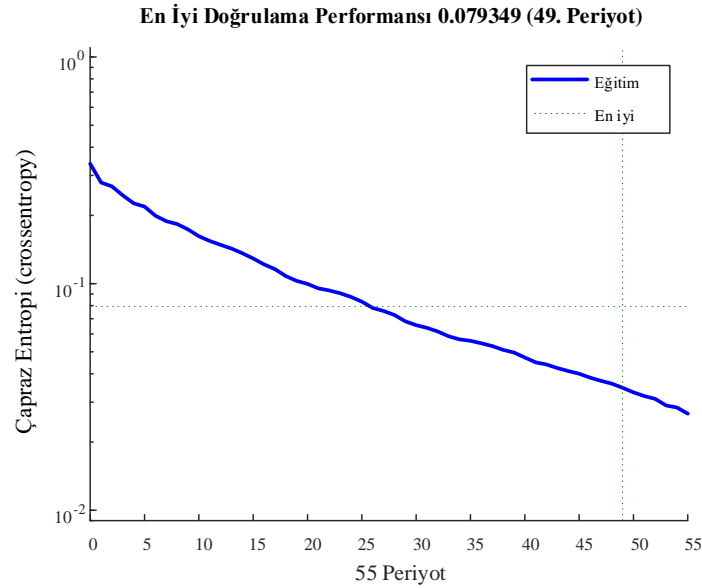
3.3. Deneysel Sonuçlar

Programların koşturulduğu bilgisayar, 3.50GHz işlemci ve 8 GB bellek özelliklerine sahiptir. Program kodlamaları MATLAB 2016 ortamında yapılmıştır. Tablo 1’de sistemde kullanılan YSA modelinin mimari yapısı verilmiştir.

Tablo 1. YSA model özellikleri

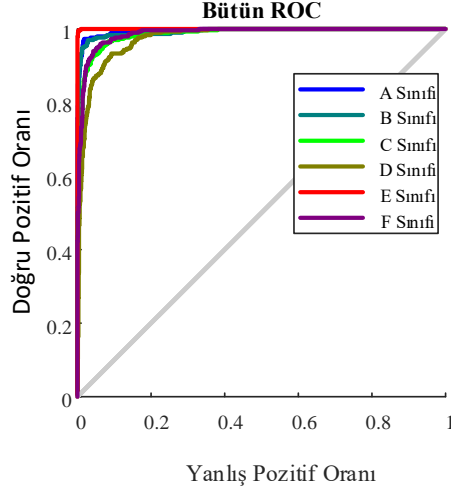
Katman Sayısı	3
Katmanlardaki nöron sayısı	Giriş: 710 Gizli: 30 Çıkış: 6
Başlangıç ağırlıkları ve Bias Değerleri	Rastgele
Aktivasyon Fonksiyonu	Tanjant-sigmoid Lineer
Eğitim Parametreleri	
Öğrenme kuralı	Scaled Conjugate Gradient
Toplam Karesel Hata	0.0000001

Yapılan çalışmada verilerin %80’i eğitim, %20’si ise test için kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sınıflandırma doğruluk başarısı maksimum %93 olarak ortalama başarımlar ise %92 olarak hesaplanmıştır. Sistemin eğitim performans grafiği Şekil 7’de, sistemin ROC eğrisi ise Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 7. Eğitim Performansı

Şekil 8’de ROC eğrisinde yer alan A, B, C, D, E, F sınıfları sırası ile silindirik nesne tutma, küçük nesne tutma, ağır yük tutma, avuç içi, küresel nesne tutma, ince- düz nesne tutma hareketlerini ifade etmektedir. AUC değeri 0.945 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8. Yapay Sinir Ağı Modelinin ROC eğrisi

Önerilen yöntemin performans değerlendirmesinin daha iyi yapılabilmesi amacıyla, yapılan çalışmada aynı veri setini kullanan [21]'nolu çalışmanın doğruluk oranı ile kıyaslanmıştır. [21]'nolu çalışmada EMG sinyalinden hareket tespiti amacıyla ham sinyal ve ham sinyalin Değişen miktarların büyüklüğünün ölçülmesinde kullanılan istatistik bir karekök ortalama (RMS) değerlerini ayrı ayrı hesaplamışlardır. Hesaplanan bu değerler Radyal Taban Fonksiyon, Sıralı Minimal Optimizasyon (SMO) ve En Küçük Kareler yöntemleri ile sınıflandırmıştır. Daha sonra sınıflandırma sonucunda çıkan doğruluk oranları kıyaslanmıştır. Başarım karşılaştırmaları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Önerilen yöntemin mevcut yöntemler ile doğruluk oranlarının karşılaştırılması

Yöntem	Ortalama Doğruluk Oranı
Sapsanis C. [21]	% 80
Önerilen yöntem	% 92

Tablo 2'de görüldüğü önerilen yöntemin doğruluk oranları karşılaştırılan yöntemden daha iyi bir sınıflandırma oranı hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında önerilen yöntemin EMG sinyallerinin sınıflandırılmasında etkin bir şekilde kullanılabileceği görülmektedir.

3. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada EMG sinyallerinden el hareketi tespiti amacıyla sinyalin Z-F düzlemine alınarak bu gösterimlerden elde edilen öznitelikler YSA ile eğitilmiş ve sistemin başarısı ölçülmüştür. Z-F düzleminde ki gösterimlere uygulanan istatistiksel yöntemler, YİÖ ve GSEM ile sinyaller hakkında bilgiler çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu işlem uygulanırken bütün bir sinyali değil küçük pencereler gözetilerek her bir pencerenin etkisinin maksimum olması amaçlanmıştır. Bu amaçla bölütleme işlemi yapıldıktan sonra belirtilen yöntemler ile öznitelikler çıkarılmıştır. Daha sonra hesaplanmış olan bu değerler YSA'ya giriş verisi olarak verilmiştir ve sınıflandırma başarımı ölçülmüştür. Sistemim başarım doğruluğu ortalama olarak %92 olarak elde edilmiştir. EMG sinyallerinden hareket tespiti ve protez kol çalışmalarının işlevsel olabilmesi için sistemin doğruluk oranı ve başarımı büyük bir öneme sahiptir. Önerilen sistemin veri seti üzerinde başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle elde edilen sonuçlara göre sistemin uygulamalarda kullanılabilecek bir yöntem olabileceği görülmektedir.

Kaynaklar

- [1] V. K. Mishra, V. Bajaj, A. Kumar, D. Sharma, G. K. Singh. An efficient method for analysis of EMG signals using improved empirical mode decomposition. *AEU - Int. J. Electron. Commun* 2017; 72: 200–209.
- [2] A. Subasi. Classification of EMG signals using combined features and soft computing techniques. *Appl. Soft Comput. J.* 2012; 12(8): 2188–2198.
- [3] A. Subasi. Classification of EMG signals using PSO optimized SVM for diagnosis of neuromuscular disorders. *Comput. Biol. Med.* 2013; 43(5): 576–586.
- [4] R. N. Khushaba, A. Al-Timemy, S. Kodagoda, K. Nazarpour. Combined influence of forearm orientation and muscular contraction on EMG pattern recognition. *Expert Syst. Appl.* 2016; 61:154–161.
- [5] V. Bajaj, Y. Guo, A. Sengur, S. Siuly, O. F. Alcin. A hybrid method based on time–frequency images for classification of alcohol and control EEG signals. *Neural Comput. Appl.*, 2017; 28(12): 3717–3723.
- [6] Ö. F. Ertuğrul, Y. Kaya, R. Tekin. A novel approach for SEMG signal classification with adaptive local binary patterns. *Med. Biol. Eng. Comput.* 2015; 1137–1146.
- [7] S. M. Mane, R. A. Kambli, F. S. Kazi, N. M. Singh. Hand motion recognition from single channel surface EMG using wavelet & artificial neural network. *Procedia Comput. Sci.* 2015; 49(1): 58–65.
- [8] Shie Qian and Dapang Chen. Joint time–frequency analysis. *IEEE Signal Process. Mag.* 1999; 16(2): 52–67.
- [9] L. Cohen. *Time-frequency Analysis*. 1995.
- [10] B. S. Shaik, G. V. S. S. K. R. Naganjaneyulu, T. Chandrasheker, A. V. Narasimhadhan. A Method for QRS Delineation Based on STFT Using Adaptive Threshold. *Procedia Comput. Sci.* 2015; 54: 646–653.
- [11] A. Ari and D. Hanbay. Detection of Brain Tumor from the MR Images by Using Hybrid Features. *International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16)*.
- [12] C. Zhao, S. Qiao, J. Sun, R. Zhao, and W. Wu. Sparsity-based shrinkage approach for practicability improvement of H-LBP-based edge extraction. *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, 2016; 825: 1–5.
- [13] Y. Kaya, Ö. F. Ertuğrul, R. Tekin. Two novel local binary pattern descriptors for texture analysis. *Appl. Soft Comput. J.*, 2015; 34: 728–735.
- [14] A. Şengür, Y. Guo, Y. Akbulut. Time–frequency texture descriptors of EEG signals for efficient detection of epileptic seizure. *Brain Informatics.* 2016; 3(2) 101–108.
- [15] P. M. Arabi, G. Joshi, and N. Vamsha Deepa. Performance evaluation of GLCM and pixel intensity matrix for skin texture analysis. *Perspect. Sci.* 2016; 8:203–206.
- [16] R. M. Haralick and K. Shanmugam. Textural Features for Image Classification. *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, 1973; 3:610-621.
- [17] L. K. Soh and C. Tsatsoulis. Texture analysis of sar sea ice imagery using gray level co-occurrence matrices. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1999; 37(2):780–795.
- [18] M. C. Colak, C. Colak, H. Kocatürk, S. Sağıroğlu, and I. Barutçu. Predicting coronary artery disease using different artificial neural network models. *Anadolu Kardiyol. Derg.* 2008; 8(4): 249–54.
- [19] D. Hanbay, I. Turkoglu, and Y. Demir. Modeling switched circuits based on wavelet decomposition and neural networks. *J. Franklin Inst.*, 2010; 347(3): 607–617.
- [20] C. Sapsanis, G. Georgoulas, A. Tzes, and D. Lymberopoulos. Improving EMG based classification of basic hand movements using EMD. *Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS*, 2013;5754–5757.
- [21] C. Sapsanis. Recognition of basic hand movements using electromyography. 2013.

Dairesel Kesitli Türbülans Üreticilerinin Etkinlik ve Ekserji Analizi

Emre TURGUT*

*Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye
turgutmr@gmail.com

(Geliş/Received: 29/03/2019;

Kabul/Accepted: 29/04/2019)

Öz: Bu çalışmada, yatay konumlu ve eş merkezli bir ısı değiştiricisinin iç borusuna yerleştirilen dairese kesitli türbülantörlerin, ekserji kaybı ve etkinlik üzerine olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler; türbülantörler arası mesafenin ($a=5$ cm, 10 cm ve 15 cm), delik çapının ($\phi=0.5$ mm, 1 mm ve 1.5 mm), delik sayısının 1 ve 2 adet olması durumu için ve Reynolds sayısının 10000 ile 42000 arasında değiştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışma akışkanı olarak hava kullanılmıştır. Deneylerin yapılabilmesi için gereken buhar bir kazandan elde edilmiş ve ısı değiştiricisinin iki borusu arasındaki boşluğa gönderilerek iç borunun dış yüzeyinin buhar ile temas etmesi sağlanmış ve bu şekilde yüzeyde sabit sıcaklık şartı elde edilmiştir. Çalışma sonunda değişen durumlar için; entropi üretim oranı, ekserji ve etkinlik değerleri değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ekserji, etkinlik, entropi üretimi, ısı değiştiricileri

Efficiency and Exergy Analysis of a Circular Cross-Section Turbulence Generators

Abstract: In this study, the effects of circular cross-section turbulators placed in the inner pipe of a concentric heat exchanger on exergy loss and efficiency were investigated experimentally. The parameters were chosen as the distance between the turbulators ($a = 5$ cm, 10 cm and 15 cm), the hole diameter ($d = 0.5$ mm, 1 mm and 1.5 mm), the number of holes and the Reynolds number (10000-42000). Air was used as working fluid. The steam required for carrying out the experiments was obtained from a boiler and sent to the space between the two pipes of the heat exchanger to allow the outer surface of the inner tube to come into contact with the steam, thereby achieving a constant temperature at the surface. At the end of the study; entropy production rate, exergy and efficiency values were evaluated.

Key words: Exergy, efficiency, entropy generation, heat exchangers

1. Giriş

Enerji ihtiyacımızın büyük bölümünü karşılayan fosil kökenli enerji kaynaklarının yakın gelecekte tükenerek olması, enerji dönüşümlerinde karşılaşılan güçlükler ve enerjinin verimli kullanılmaması çağımızın en büyük sorunlarından biridir. Enerji üretimi kadar, enerjinin nasıl elde edildiğinin ve enerjinin elde edildiği sistemlerin verimlerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Gerek ısıtma gerekse soğutma olsun sanayide pek çok sistemde, farklı sıcaklıktaki iki ya da daha fazla akışkan arasında ısı geçişinin sağlandığı ısı değiştiricileri kullanılmaktadır. Isı değiştiricilerinin tasarımı kadar ısı değiştiricilerinin performanslarını artıran farklı yöntemlerin kullanılması da büyük önem taşımaktadır. Bu yöntemlerden biri de ısı değiştiricilerinde türbülantör kullanımıdır. Dönemli akış üreticileri olarak da adlandırabileceğimiz türbülantörler; solar ısıtıcılar, reaktörler, ısı değiştiricileri, soğutma ve ısıtma gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Literatürde bu konu üzerine yapılmış pek çok araştırma mevcuttur [1-10].

Isı değiştiricilerinin termodinamik analizleri genellikle enerjetik açıdan yapılmaktadır. Oysa bu analizlerle beraber ekserji analizlerinin de gerçekleştirilmesi durumunda sistemler üzerinde yapılması gereken düzenleme ve iyileştirmeler tespit edilebilmekte, daha verimli sistemlerin tasarlanabilmesi olanağı doğmaktadır [11]. Günümüzün en büyük sorunlarından birinin enerji konusu olduğu düşünülürse ekserji analizi bu açıdan son derece büyük önem taşımaktadır ve bu sebeple de pek çok farklı alanda uygulanmaktadır [12-18].

Etghani ve Baboli [19] kangal şeklinde bükülmüş borunun türbülans üreticisi olarak kullanıldığı bir ısı değiştiricisinde Taguchi yaklaşımını incelemişlerdir. Dört adet parametrenin (kangal adımı, soğuk ve sıcak suyun debisi ve boru çapı) kullanıldığı çalışmada hem ısı transferi hem de ekserji açısından optimizasyon yapılmıştır. Amirahmadi ve diğ. [20] trapezoidal bir kanala yerleştirilen türbülantörlerin ısı ve ekserji transfer karakteristiklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında Reynolds sayısı 400 ile 1600 arasında seçilmiş ve kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerini nümerik olarak çözmüşlerdir. Alimoradi [21] çalışmasında gövde borulu bir ısı değiştiricisi kullanmıştır. Helisel olarak bükülmüş bir borunun kullanıldığı ısı değiştiricisinde zorlanmış taşınım

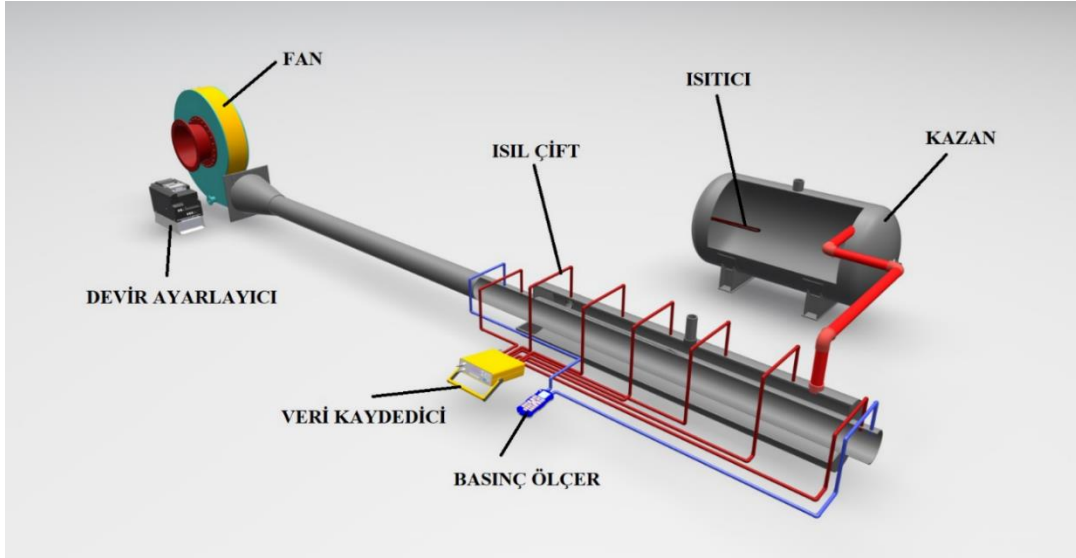
* Sorumlu yazar: turgutmr@gmail.com. Yazarın ORCID Numarası: 0000-0002-1504-9080

koşullarındaki ekserji etkinliğini incelemiş ve deneysel parametreler olarak da akışkanın giriş sıcaklığı, helis sayısı ve helis çapında meydana gelen değişimleri araştırmıştır. İpek ve diğ. [22] tasarladıkları kompakt ısı değiştiricisindeki ekserji kaybını deneysel olarak incelemişlerdir. En yüksek ekserji kayıp değerinin 7.6 kW, en düşük ekserji kayıp değerinin ise 4.65 kW olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Dizaj ve diğ. [23] ondüleli olarak tasarlanan gövde borulu bir ısı değiştiricisindeki ekserji analizini incelemişlerdir. Dış borunun ve iç borunun ondüleli olması ve olmamasına göre gerçekleştirilen çalışmada; konkav ve konveks durumlar göz önüne alınmıştır. İç ve dış borunun ondüleli olması durumunda ekserji kaybı ve NTU değerlerinde sırasıyla %17-81 ve %34-60 oranlarında bir artış olduğu görülmüştür. En fazla ekserji kaybının konveks ondüleli iç boru ve konkav ondüleli dış boru durumunda olduğu sonucunu elde etmişlerdir..

Bu çalışmada, farklı çaplarda ve yerleşim düzeninde tasarlanarak, ısı değiştiricisinin iç borusuna yerleştirilen dairesel kesitli türbülatorlerin entropi üretimi, ekserji ve etkinlik üzerine olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

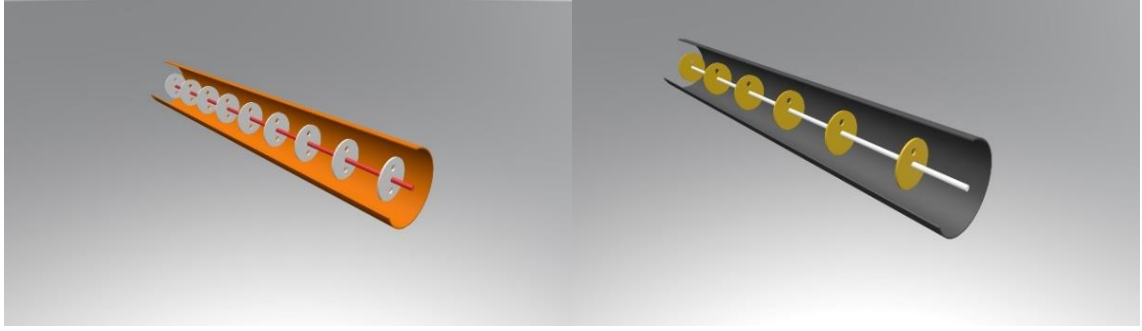
Bu deneysel çalışma için tasarlanan sistem, eş merkezli iki borudan oluşan bir ısı değiştiricisidir. Değiştiricinin iç ve dış borularında sırasıyla bakır ve galvanizli sac kullanılmıştır. Galvanizli sac 900 mm uzunluğunda, 210 mm çapında ve 1 mm et kalınlığında; bakır boru ise 900 mm uzunluğunda, 60 mm çapında ve 0.5 mm et kalınlığında seçilmiştir. Deneysel tasarıma ait şematik görünüş Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği

Üretilen buhar galvanizli sac ile bakır boru arasındaki boşluğa gönderilmiş ve dış boru üzerine yerleştirilen bir vana ile atmosfere açılmıştır. Ayrıca dış boru üzerinde yoğunlaşan buharın sistemden atıldığı bir vana da bulunmaktadır. Bu şekilde bakır borunun dış yüzeyinde sabit sıcaklık oluşturulmuştur. Çalışma için gerekli olan buhar 50 litre kapasiteli bir kazana yerleştirilen iki adet ısıtıcı ile elde edilmiştir. Çalışma akışkanı olarak hava kullanılmış ve bu hava üfleme bir fan ile sağlanmıştır. Havanın değiştiriciye girdiği yerde hızını ölçmek için bir hızölçer ve iç boruda meydana gelen basınç düşüşlerinin ölçmek için de borunun giriş ve çıkış noktalarındaki basınç farklarını ölçen bir dijital manometre kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılmak üzere tasarlanan türbülatorlere ait çizim Şekil 2’de sunulmuştur. Tablo 1’de ise bu deneysel çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için seçilen parametreler, parametrelerin seviyeleri ve her bir deney için belirlenen semboller yer almıştır.



Şekil 2. Türbülatoörlere ait şematik gösterim

Çalışmada kullanılacak parametreler ve bu parametrelere ait seviyeler şu şekildedir: delik çapı $d_1=0.5$ cm, $d_2=1$ cm ve $d_3=1.5$ cm, türbülatoörlere arası mesafe (hatve) $h_1=5$ cm, $h_2=10$ cm ve $h_3=15$ cm, 1 ve 2 adet olmak üzere 2 farklı delik sayısı ve 10000 ile 42000 değerleri arasında 9 farklı Reynolds sayısı.

Tablo 1’de yer alan 18 adet deney tasarımı, 9 farklı Reynolds sayısı değeri için ayrı ayrı yapılarak deneyler gerçekleştirilmiş ve yorumlar tabloda yer alan semboller dikkate alınarak yapılmıştır.

Tablo 1. Parametrelere ait seviye ve semboller

Parametreler	Semboller
$h_1s_1d_1$	A1
$h_2s_1d_1$	A2
$h_3s_1d_1$	A3
$h_1s_2d_1$	A4
$h_2s_2d_1$	A5
$h_3s_2d_1$	A6
$h_1s_1d_2$	B1
$h_2s_1d_2$	B2
$h_3s_1d_2$	B3
$h_1s_2d_2$	B4
$h_2s_2d_2$	B5
$h_3s_2d_2$	B6
$h_1s_1d_3$	C1
$h_2s_1d_3$	C2
$h_3s_1d_3$	C3
$h_1s_2d_3$	C4
$h_2s_2d_3$	C5
$h_3s_2d_3$	C6

Bir ısı değıştiricisinde meydana gelebilecek kayıplar; sürtünmelerden, sıcaklık farklarından ve çevre ile olan ısı alışverişinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada ısı değıştiricisinin yalıtılmış olmasından dolayı çevreye olan ısı kayıpları ihmal edilmiştir. dx karakteristik uzunluğuna sahip bir termodinamik sistemde ikinci kanun analizi şöyle ifade edilir [24]:

$$\dot{m}dh = \dot{q} dx \quad (1)$$

$$\frac{d\dot{S}_{top}}{dx} = \dot{m} \frac{ds}{dx} - \frac{\dot{q}}{T + \Delta T} \geq 0 \quad (2)$$

$$\frac{d\dot{S}_{top}}{dx} = \dot{m}C_p \frac{\Delta T}{T^2} \frac{dT}{dx} + \frac{\dot{m}}{\rho T} \left(-\frac{dp}{dx} \right) \quad (3)$$

Sabit yüzey sıcaklığındaki bir borudaki toplam entropi üretimi şu şekilde elde edilir:

$$\dot{S}_{top} = Q_{gerçek} \frac{\theta_0}{T_{giriş} T_{çıkış}} + \frac{32\dot{m}^3 f}{\rho^2 \pi^2 d_i^5} \frac{L}{T_y} \quad (4)$$

Bu denklemlerde; \dot{m} kütleli debi, h özgül entalpi, q' birim uzunluk boyunca transfer edilen ısı, f sürtünme katsayısı ve C_p özgül ısı kavramlarını ifade etmektedir. Denklem 5'de verilen eşitliğin sağ tarafındaki terimler sıcaklık farkından ve sürtünmeden dolayı meydana gelen entropi üretimini göstermektedir. Buna göre Denklem 5 aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\dot{S}_{top} = \dot{S}_{top,\Delta T} + \dot{S}_{top,\Delta p} \quad (5)$$

Hesaplamalarda kullanılan ve *entropi üretim oranı* ' N_s ' olarak adlandırılan çok önemli bir boyutsuz parametre vardır. Bu boyutsuz parametre, türbülantlı boruda meydana gelen entropi üretiminin, türbülantsız borudaki entropi üretimine oranı olarak tanımlanır.

$$N_s = \frac{\dot{S}_{top,türbülantlı}}{\dot{S}_{top,boş boru}} \quad (6)$$

Bu çalışmada sadece sürtünme ve sıcaklık farklarından kaynaklanan ekserji kayıpları hesaba katılacaktır. Ekserji kaybı; çevre ile dengenin sağlandığı tersinir süreçlerde teorik olarak elde edilen en çok iş olarak tanımlanabilir ve aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [25]:

$$I = T_0 \dot{S}_{top} \quad (7)$$

Entropi üretim oranı olarak kullanılan boyutsuz ifadenin benzeri ekserji için de yapılabilir. Bunun için sistemde gerçekleşen ısı transferinin bulunması gerekmektedir.

$$Q_{gerçek} = \dot{m} C_p (T_{giriş} - T_{çıkış}) \quad (8)$$

Burada; \dot{m} kütleli debi, C_p özgül ısı, T ise boruya giriş ve çıkışlardaki sıcaklık değerlerini göstermektedir. Boyutsuz ekserji kaybı ya da ekserji kayıp oranı olarak adlandırılan E^* ise aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$E^* = \frac{I}{Q_{gerçek}} \quad (9)$$

Bir ısı değiştiricisinin etkinliği; elde edilen gerçek ısı transferinin elde edilebilecek olan maksimum ısı transferine oranı olarak ifade edilebilir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\varepsilon = \frac{Q_{gerçek}}{Q_{maksimum}} \quad (10)$$

yukarıdaki denklemde kullanılan maksimum ısı transferi ise;

$$Q_{maksimum} = \dot{m} C_p (T_{yüzey} - T_{giriş}) \quad (11)$$

denklemleriyle hesaplanır.

Isı değiştiricilerinin analizlerinde, *ısı geçiş birimi sayısı* olarak adlandırılan ve NTU olarak ifade edilen önemli bir sayı daha kullanılmaktadır. Bu sayı, ısı değiştiricisinin ısı kapasitesinin akışın ısı kapasitesine oranıdır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$NTU = \frac{UA}{C} \quad (12)$$

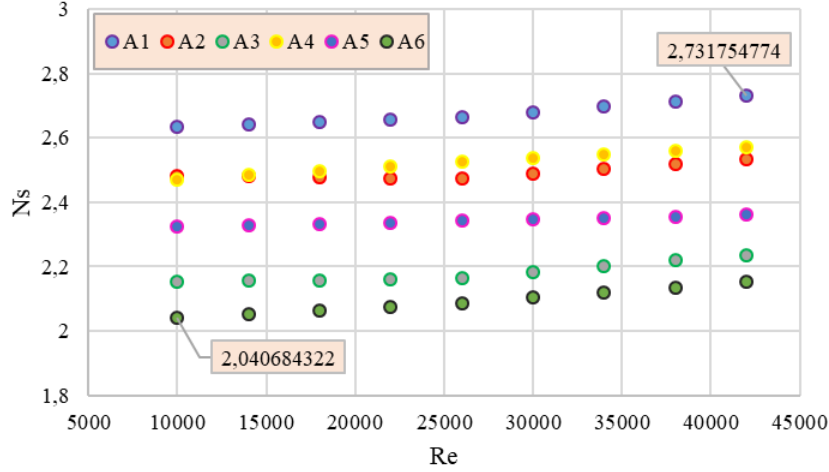
burada C , akışkanın (havanın) ısı kapasitesidir ve $C = \dot{m} C_p$ olarak tanımlanır

3. Bulgular ve Değerlendirme

Bu çalışmada; eş merkezli, iç içe iki borudan oluşan bir ısı değiştiricisinin iç borusuna yerleştirilen dairesel kesitli türbülantörlerin entropi üretimi, etkinlik ve ekserji kaybı üzerine olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Yukarıda verilen bağıntılar kullanılarak gerçekleştirilen analizler neticesinde entropi üretim oranının (N_s)

Reynolds sayısı ile, boyutsuz ekserji ve etkinlik değerlerinin ise NTU'ya göre değişimleri grafiksel olarak gösterilmiş ve değerlendirilmiştir.

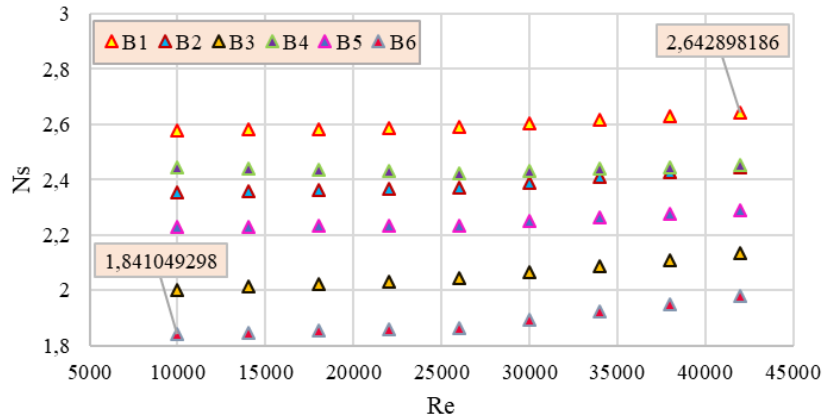
Şekil 3, 4 ve 5'de; Tablo 1'deki deney tasarımı dikkate alınarak A, B ve C durumları ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu grafiklerde; Reynolds sayısı, delik sayısı, delik çapı ve hatvenin entropi üretimi üzerine olan etkileri verilmiştir. Şekil 1'de delik çapının 0.5 cm olması durumuna ait hatve ve çap parametrelerinin Reynolds sayısı ile değişimi sunulmuştur.



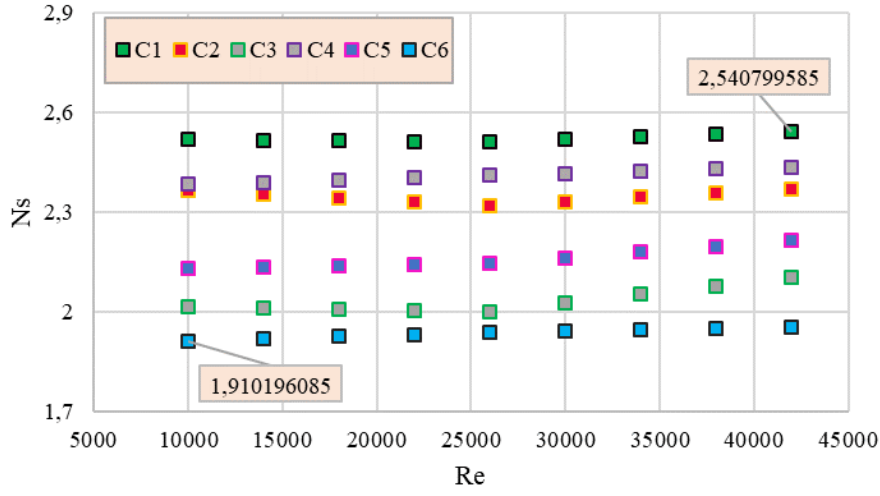
Şekil 3. A durumuna ait Ns değerleri ve Re ile değişimi

Entropi ve ekserji kavramlarını anlayabilmek için önce tersinir ve tersinmez süreçlerin anlaşılması gerekmektedir. Bir hâl değişimi gerçekleştikten sonra, sistem ve çevresi ilk hallerine dönebiliyorsa bu tür süreçlere tersinir süreçler denir. Tersinir süreçler sadece varsayımlara dayalıdır ve mükemmel olarak gerçekleşen süreçler olarak da adlandırılabilir. Gerçek hayatta olan hiçbir hal değişimi tersinir değildir sadece bazı hal değişimleri tersinir süreçlere çok yakın olarak gerçekleşebilmektedir. Bütün gerçek hal değişimleri tersinmezdir [25] ve bir sistemde üretilen entropinin kaynağı da sistemde meydana gelen tersinmezliklerdir. Bu sebeple ısı değiştiricilerinde ısı transferi ve basınç kayıplarından dolayı meydana gelen tersinmezlikler ve bunların sebep olduğu entropi üretimi incelenerek analizler çok daha sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada, deneyler sonucunda elde edilen entropi üretiminin, boş borudaki entropi üretimine oranının hesaplanmasıyla bulunan entropi üretim oranı ifadesi kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Grafikten de görüldüğü gibi A6 durumundaki entropi üretimi en küçük, A1 ise en büyük değerini almıştır. A1 ve A6 arasındaki en küçük ve en büyük değerler sırasıyla 2.041 ile 2.732 arasında değişim göstermektedir. Yani boş boruya göre A durumlarındaki entropi artış oranı en az 2.041 en çok ise 2.732 kat artış göstermiştir. Şekil 4 ve Şekil 5'ten de görüldüğü gibi; B ve C durumlarındaki en küçük ve en büyük artış oranlarının sırasıyla; 1.841 ile 2.643 ve 1.911 ile 2.541 değerleri arasında değiştiği sonucu elde edilmiştir. Her üç durum da dikkate alındığında en düşük entropi üretimi oranının 1.841, en yüksek entropi üretim oranının ise 2.732 olduğu görülmüştür.

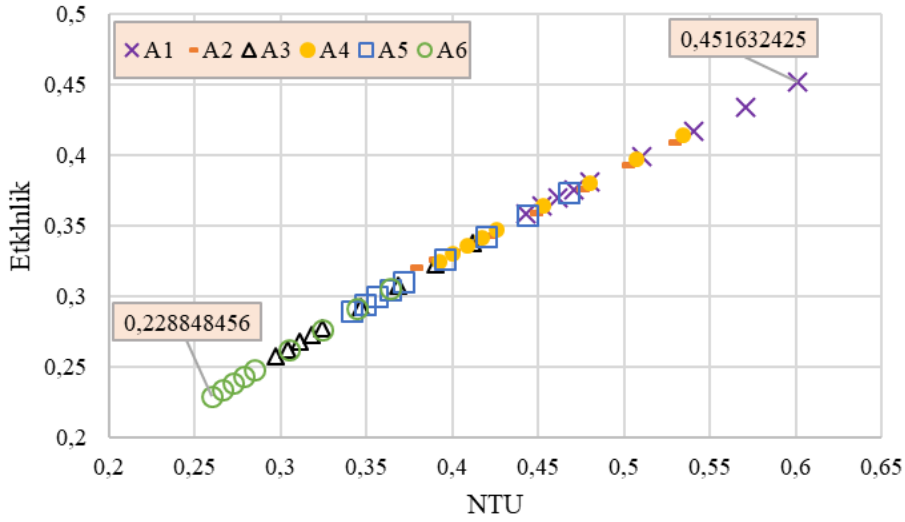


Şekil 4. B durumuna ait Ns değerleri ve Re ile değişimi



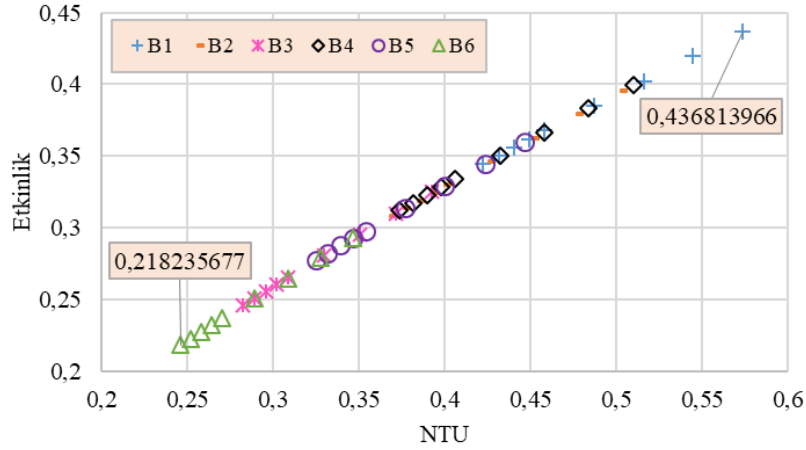
Şekil 5. C durumuna ait Ns değerleri ve Re ile değişimi

Entropi üretim oranı, Reynolds sayısının 10000 - 42000 değerleri için 1.84 – 2.73 arasında değişmiştir. Reynolds sayısındaki 4 katlık bir artışa karşılık entropi üretim oranında A, B ve C durumlarının hepsi dikkate alındığında yaklaşık olarak ortalama 1.48 katlık bir artış olduğu sonucu elde edilmiştir. Isı değiştiricilerinin etkinlik analizlerini gerçekleştirmek için en çok kullanılan yöntemlerden biri NTU'dur. Isı geçiş birim sayısı olarak da ifade edilebilen (number of transfer unit) NTU yöntemi ile elde edilen veriler ışığında hem ısı değiştiricisinin etkinliği belirlenmekte hem de değiştiricinin boyutlandırılması ile ilgili fikir sahibi olunmaktadır. Bir ısı değiştiricisinde gerçekleşen ısı transferinin gerçekleştirebilecek maksimum ısı transferine oranı olarak adlandırabileceğimiz etkinlik ile ilgili değerlendirme ve grafikler aşağıdadır. Tablo 1'deki deney tasarımı dikkate alınarak; A, B ve C parametrelerine ait etkinlik grafikleri ayrı ayrı sunulmuştur.

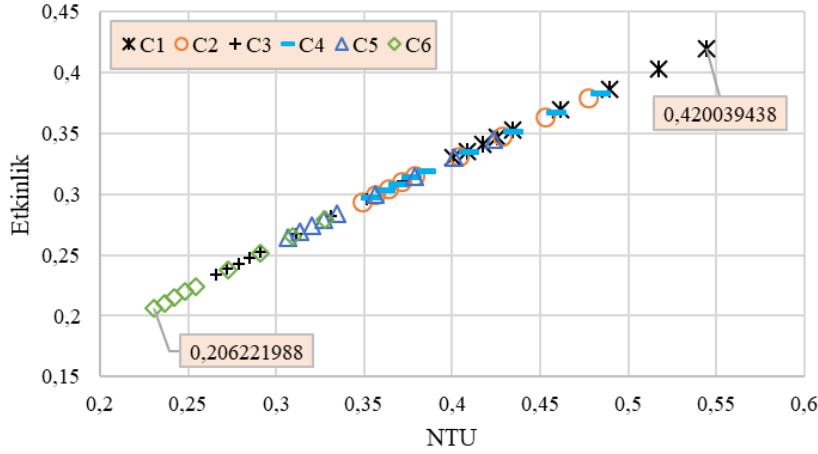


Şekil 6. A durumuna ait etkinlik ifadesinin NTU ile değişimi

Şekil 6, 7 ve 8'de; A, B ve C durumlarına ait Etkinlik - NTU grafikleri verilmiştir. Etkinliğin tanımı dikkate alınır; sistemde gerçekleşen ısı transferinin artmasının etkinliği de artıracak açıktır. Böylece, Reynolds sayısı artışı ile sistemde meydana gelen ısı transferi miktarının artması neticesinde etkinlik değerleri de artmıştır. Etkinlik değerleri A, B ve C durumları için sırasıyla 0.229 – 0.452, 0.219 – 0.437 ve 0.206 – 0.420 değerleri arasında değişmiştir.



Şekil 7. B durumuna ait etkinlik ifadesinin NTU ile değişimi



Şekil 8. C durumuna ait etkinlik ifadesinin NTU ile değişimi

Isı değiştiricilerinin değerlendirilmesi yapılırken farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Ancak termodinamiğin ikinci yasasına dayanan yani entropi ve ekserjiyi esas alan yaklaşımlar ile değerlendirmelerin ısı sistemlerinin performansları açısından çok daha önemli sonuçlar verdiği açıktır. Bir sistemin verimli olabilmesi için ekserji kayıplarının azaltılması dolayısıyla entropi üretiminin azaltılması gerekmektedir. Isı değiştiricisindeki ekserji kaybı, denklem 9'dan da görüldüğü gibi tersinmezliklerle yani entropi üretimi ile doğrudan ilişkilidir.

Şekil 9 incelendiğinde; ekserji kayıp oranının, etkinliğin aksine artan NTU ile azaldığı görülmüştür. Hesaplanan ekserji kayıp oranı değerleri birbirine çok yakın olmakla birlikte ekserji kayıp oranlarında her üç durum için de yaklaşık %20 ile %42 değerleri arasında azalma olduğu belirlenmiştir

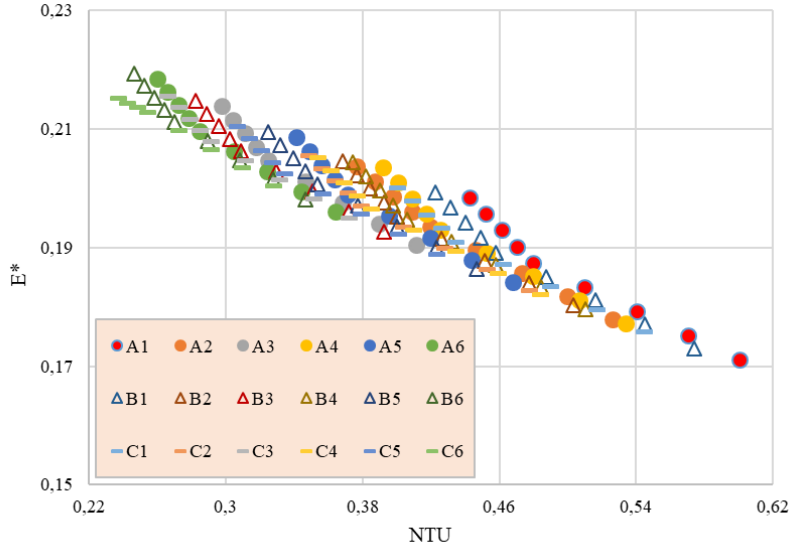
4. Sonuç ve Öneriler

Isı değiştiricilerinin ya da daha genel olarak ısı sistemlerinin performanslarının değerlendirilmesi ve yapılabilecek iyileştirmelerin belirlenebilmesi açısından etkili bir yaklaşım olan ekserjetik değerlendirmelerin kullanılması daha yerinde olacaktır. Bu amaca yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmada, türbülans üreticisi olarak kullanılan ve eş eksenli ısı değiştiricisinin iç borusuna yerleştirilen türbülötörlerin, ısı değiştiricisinin entropi üretimi, etkinlik ve ekserji kaybı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Bu açıklamalar ışığında yapılan analizler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Entropi üretim oranı değerleri bütün durumlarda Reynolds sayısının artışı ile birlikte artmıştır. En büyük ve en küçük artış oranları sırasıyla A1 durumunda 2.73 ve B6'da 1.84 olarak elde edilmiştir.

2. NTU boyutsuz bir büyüklüktür ve ısı değiştiricisinin ısıl kapasitesinin akışın ısıl kapasitesine oranı olarak tanımlanır. A, B ve C durumlarının üçünde de NTU artışı ile birlikte etkinlik değerlerinde de artışlar olduğu görülmüştür. Etkinliğin en yüksek değerlerine A durumlarında 0.4516 ile ulaşılmış; B ve C durumlarında ise sırasıyla 0.4368 ve 0.4200 değerleri elde edilmiştir.

3. Şekil 9 incelendiğinde; A, B ve C durumlarının üçünde de ekserji kayıp oranlarının artan NTU değeri ile birlikte azaldığı görülmüştür. Ekserji kaybındaki bu azalma oranının yaklaşık olarak %20 ile %42 arasında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 9. Boyutsuz ekserji kaybının NTU ile değişim grafiği

Kaynaklar

- [1] Yuan W, Zhao J, Tson CP, Wu,T, Liu W, Ming T. Numerical simulation of the thermal hydraulic performance of a plate pin fin heat sink. *Appl. Therm. Eng.* 2012; 48: 81-88.
- [2] Hatami M, Ganji DD, Gorji-Bandpy M. Experimental and thermodynamical analyses of the diesel exhaust vortex generator heat exchanger for optimizing its operating condition. *Appl. Therm. Eng.* 2015; 75: 580-591.
- [3] Qi Z, Chen J, Chen Z. Parametric study on the performance of a heat exchanger with corrugated louvered fins. *Appl. Therm. Eng.* 2007; 27: 539-544.
- [4] Yun JY, Lee KS. Influence of design parameters on the heat transfer and flow friction characteristics of the heat exchanger with slit fins. *Int. J. Heat Mass Transfer* 2000; 43: 2529-2539.
- [5] Eimsa-ard S, Promvong P. Thermal characteristics in round tube fitted with serrated twisted tape. *Appl. Therm. Eng.* 2010; 30: 1673-1682.
- [6] Maeda N, Hirota M, Fujita H. Turbulent flow in a rectangular duct with a smooth-to-rough step change in surface roughness. *Energy* 2005; 30(2-4): 129-148.
- [7] Promvong P. Heat transfer behaviors in round tube with conical ring inserts. *Energy Convers. Manage.* 2008; 49(1): 8-15.
- [8] Kurtbaş İ. The effect of different inlet conditions of air in a rectangular channel on convection heat transfer: Turbulence flow. *Exp. Therm Fluid Sci.* 2008; 33(1): 140-152.
- [9] Saraç BA, Bali T. An experimental study on heat transfer and pressure drop characteristics of decaying swirl flow through a circular pipe with a vortex generator. *Exp. Therm Fluid Sci.* 2007; 32(1): 158-165.
- [10] Kongkaipaiboon V, Nanan K, Eimsa-ard S. Experimental investigation of heat transfer and turbulent flow friction in a tube fitted with perforated conical-rings. *Int. Commun. Heat Mass Transfer* 2010; 37(5): 560-567.
- [11] Çalışkan H, Hepbaşlı A. Isı değiştiricilerinin ekserjetik yönleri. *Mühendis ve Makina* 2013; 54: 28-37.
- [12] Ahmadi P, Dinçer İ, Rosen MA. Exergy, exergoeconomic and environmental analyses and evolutionary algorithm based multi-objective optimization of combined cycle power plants. *Energy* 2011; 36(10): 5886-5898.
- [13] Boroumand G, Rismanchi B, Saidur R. A review on exergy analysis of industrial sector. *Renewable Sustainable Energy Rev.* 2013; 27: 198-203.

- [14] Peinado D, Vega M, Garcia-Hernando N, Marugan-Cruz C. Energy and exergy analysis in an asphalt plant's rotary dryer. *Appl. Therm. Eng.* 2011; 31(6-7): 1039-1049.
- [15] Reno MGL, Torres RM, Silva RJ, Santos JJCS, Melo MLNM. Exergy analyses in cement production applying waste fuel and mineralizer. *Energy Convers. Manage.* 2013; 75: 98-104.
- [16] Hepbaşı A. Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies. *Renewable Sustainable Energy Rev.* 2012; 16(1): 73-104.
- [17] Koroneos C, Spachos T, Moussiopoulos N. Exergy analysis of renewable energy sources. *Renewable Energy* 2003; 28(2): 295-310.
- [18] Çamdalı Ü, Tunç M, Dikeç F. A thermodynamic analysis of a steel production step carried out in the ladle furnace. *Appl. Therm. Eng.* 2001; 21(6): 643-655.
- [19] Etghani MM, Baboli, SAH. Numerical investigation and optimization of heat transfer and exergy loss in Shell and helical tube heat exchanger. *Appl. Therm. Eng.* 2017; 121: 294-301.
- [20] Amirahmadi S, Rashidi S, Esfahai, JA. Minimization of exergy losses in a trapezoidal duct with turbulator, roughness and veveled cornes. *Appl. Therm. Eng.* 2016; 107: 533-543.
- [21] Alimoradi A. Investigation of exergy efficiency in shell and helically coiled tube heat exchanger. *Case Stud. Therm. Eng.* 2017; 10: 1-8.
- [22] İpek O, Kılıç B, Gürel B. Experimental investigation of exergy loss analysis in newly designed compact heat exchangers. *Energy*, 2017; 124: 330-335.
- [23] Dizajı SH, Jafarmadar S, Asaadi S. Experimental exergy analysis for shell and tube heat exchanger made of corrugated shell and corrugated tube. *Exp. Therm Fluid Sci.* 2017; 81: 475-481.
- [24] Kurtbaşı İ, Durmuş A, Eren H, Turgut E. Effect of propeller type swirl generators on the entropy generation and efficiency of heat exchangers. *Int. J. Therm. Sci.* 2007;46(3): 300-307
- [25] Moran MJ, Shapiro HN, Boettner DD, Bailey BM. *Mühendislik Termodinamiğinin İlkeleri*. Palme Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 2015.

Giyilebilir Yürüyüş Analiz Sensörü ile Kişi Sınıflandırmasının Öznitelik Seçme Algoritmaları ile İyileştirilmesi

Abdülkadir GÜMÜŞÇÜ*

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye
agumuscu@harran.edu.tr

(Geliş/Received: 17/04/2019;

Kabul/Accepted: 16/07/2019)

Öz: Yürüme, canlıların bilinen en eski aktivitelerinden biridir. Konum değiştirmek amacı ile insanların kas ve kemik sistemlerinin koordineli bir şekilde hareket etmesine yürüme denir. Yürüme biyometrik bir ölçüt olarak kabul edilmektedir. Bu yüzden yürüyüş analizi ile kişi tanıma, yaş belirleme, cinsiyet belirleme, nörolojik ve ortopedik hastalık tespiti gibi çalışmalar yapılabilmektedir. Bu çalışmada da giyilebilir yürüyüş analizi sensörü ile kişilerin sınıflandırılmasında sarmal modellenmiş öznitelik seçme yöntemleri kullanılarak daha başarılı sınıflandırma başarı parametrelerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. 7'si bayan 9'u bay olmak üzere toplam 16 farklı gönüllü kişinin yürüyüş parametreleri hesaplanarak yürüyüş veri seti oluşturulmuştur. Her gönüllüden 3 kez yürümeleri istenmiş olup toplam 48 yürüyüş ele alınmıştır. Kişi sınıflandırma başarı parametreleri k-en yakın komşuluk yöntemi kullanılarak hesaplanmış olup birini dışarıda bırak çapraz doğrulama yöntemi ile doğrulanmıştır. Sınıflandırma sonuçları ele alındığında 0,979 doğruluk oranı elde edilmiştir. Sonuçlar sınıflandırma başarı parametreleri ve sınıflandırma işlem süresi bakımından incelenmiş olup elde edilen sonuçlar çalışmanın sınıflandırma başarı parametreleri ve sınıflandırma işlem süresi bakımından ciddi oranda iyileştirmeler sağladığı gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yürüyüş analizi, sarmal modellenmiş öznitelik seçme, sınıflandırma, kişi tanıma.

Improvement of Wearable Gait Analysis Sensor based Human Classification using Feature Selection Algorithms

Abstract: Gait is one of the oldest known activity. It is called gait in the coordinated manner of muscle and bone systems of people with the purpose of changing position. Gait is considered a biometric criterion. Therefore, studies such as human identification, age determination, gender identification, detection of neurological and orthopedic diseases can be done by gait analysis. In this study, it is aimed to obtain more successful classification success parameters by using wrapper model feature selection methods in the human classification with wearable gait analysis sensor. Gait data set was created by calculating the gait parameters of a total of 16 different volunteers including 7 female and 9 male. For each volunteer, 3 different gait parameters were calculated and a total of 48 gait were discussed. Human classification success parameters were calculated by using k-nearest neighborhood method and the results was verified by leave one out cross-validation method. When the classification results are considered, 0.979 accuracy rate was obtained. The results were examined in terms of the classification success parameters and the processing time, the results obtained showed significant improvements in the classification success parameters and the classification process time.

Key words: Gait analysis, wrapper feature selection methods, classification, human recognition.

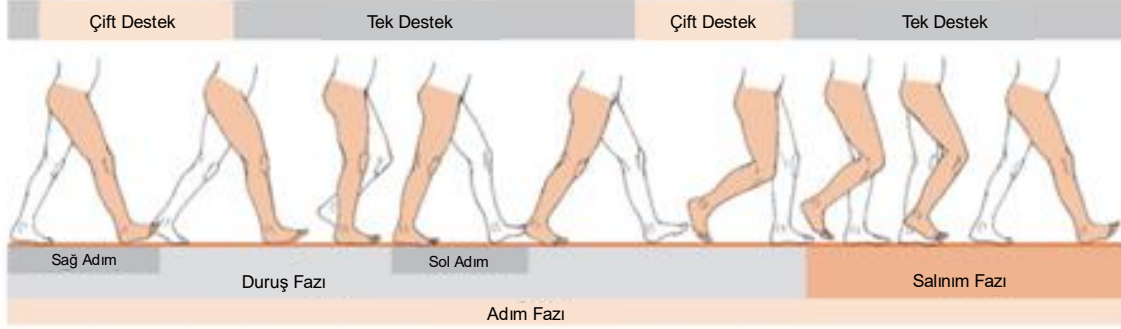
1. Giriş

Yürüyüş, kas ve kemik sisteminin senkron bir şekilde hareket etmesi ile insanların konum değiştirebilmelerini sağlayan, insanlık tarihinin bilinen en eski aktiviteleri arasında sıralanmaktadır. Yürüyüş kişilerin boyu, kemik sistemi, kilosu, kas yapısı gibi birçok parametreye bağlı bir süreçtir. Bu yüzden yürüyüş de parmak izi [1, 2], göz irisi [3, 4], avuç içi çizgileri [5-7] gibi biyometrik bir ölçüt olarak kabul edilmektedir. Şekil 1'de bir yürüyüş döngüsünün fazları gösterilmiştir. Şekil 1'de de görüldüğü üzere yürüyüş döngüsü fazlardan oluşmakta ve her yürüyüş fazında yürüyüş parametrelerini etkileyecek durumlar gerçekleşmektedir. Bu durum yürüme olayının kişileri ayırt edebilecek kadar çok fazla farklı parametre hesaplanabileceğini göstermektedir.

Yürüyüş analizi ile yürüyüşün o an hangi aşamada olduğu tanımlanabilir, yürüyüşün kinematik ve kinetik parametreleri belirlenebilir. Böylelikle elde edilen parametreler ile yürüyüş analizi ile kişi tanıma [9, 10], cinsiyet belirleme [11-13], yaş belirleme [14] problemleri ele alınabilmektedir. Yürüyüş parametrelerinin hesaplanmasının ardından parametreler ile kişi tanıma işlemi makine öğrenme yöntemleri tarafından yapılmaktadır [15]. Özellikle tıbbi karar verme çalışmalarında kullanılan yürüyüş veri setlerinde örnek sayısı az, nitelik sayısı oldukça fazladır

* Sorumlu yazar: agumuscu@harran.edu.tr. Yazarın ORCID Numarası: 0000-0002-5948-595X

[16]. Bu açıdan bakıldığında yürüyüş verilerini, yürüyüş sayısının az olması ve nitelik sayısının fazla olması sebebiyle sınıflandırmak çok zordur. Bu yüzden yürüyüş analizlerinde öznitelik seçme algoritmaları çok önemli bir işlem adıdır. Öznitelik seçme yöntemleri, niteliklerin sınıflarla ilişkisi fazla olanlarının seçilmesi ve bu nitelikler ile daha başarılı makine öğrenmesi gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır.



Şekil 1. Yürüyüş Döngüsü [8]

Öznitelik seçme yöntemleri, filtre [17, 18], sarmal [19] ve gömülü [20] olmak üzere üç farklı model ile ele alınmaktadır. Filtre modelli öznitelik seçme yöntemleri işlem süreleri kısa fakat başarı oranı düşüktür. Sarmal modelli öznitelik seçme yöntemleri ise başarı oranı yüksek sonuçlar vermekte fakat işlem süresi oldukça fazladır. Gömülü öznitelik seçme yöntemleri ise bağımsız bir yöntem olmayıp zaten bir sınıflandırma yönteminin içinde gömülü olarak uygulanması ile gerçekleştirilir.

Bu çalışmada yürüyüş analizi ile kişi tanıma için yeni bir veri seti oluşturulmuş ve oluşturulan veri setinde sınıflandırma başarı oranını iyileştirmek amacı ile sarmal modelli öznitelik seçme yöntemi uygulanmıştır. Bu amaçla 7 bayan 9 bay olmak üzere 16 kişinin yürüyüş verileri hesaplanmıştır. Sınıflandırma yöntemi olarak k-en yakın komşuluk yöntemi (k-NN), öznitelik seçme yöntemi olarak ise sarmal modelli öznitelik seçme yöntemi olarak meta sezgisel bir yöntem olan genetik algoritma kullanılmıştır. Sınıflandırma başarı parametreleri birini dışarıda bırak çapraz doğrulama yöntemi ile doğrulanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde yürüyüş analizi üzerine literatürde yapılmış çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, kullanılan veri setine ve makine öğrenme yöntemlerine değinilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde deneysel sonuçlar, beşinci bölümde ise elde edilen bulgular sunulmuştur. Son kısmında ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Literatür Çalışması

Literatürde yürüyüş analizi ilgili tıbbi [21-24], toplumsal güvenlik [25, 26], spor [27] gibi birçok alanda uygulamalara rastlamak mümkündür. Tıbbi alanda yapılan yürüyüş analiz çalışmalarında, ortopedik [28] ve nörolojik [21, 22, 29, 30] hastalıkların teşhisi, tedavisi üzerine odaklanılmıştır. Toplumsal güvenlik alanında yapılan çalışmalar ele alındığında ise toplum kameraları analizi [26], şüpheli kişi tespiti [25] konularında yoğunlaşmıştır. Spor alanında ise genellikle sakatlık rehabilitasyonu [27] konularında çalışılmaktadır.

Literatürdeki çalışmalar ele alındığında yürüyüş analizlerinin giyilebilir sensör [10, 30] ve laboratuvar ortamlarında [31] alınan veriler ile yapıldığı görülmektedir. Giyilebilir sensör ile yapılan analizler, laboratuvar dışındaki yürüyüşleri de analiz etmeyi ve kişinin günlük aktiviteleri sırasında yürüyüşü hakkında bilgi edinmeyi mümkün kılar.

Giyilebilir sensörler ile yapılan yürüyüş analizlerinde, kişilerin ayak, diz ve bel gibi vücudun çeşitli uzuvlarına takılan sensör kullanılır. Bu sensörler jiroskop [32], akselerometre [33], kuvvet sensörleri [31], elektromiyografi [34] şeklinde sıralanabilir. Laboratuvar ortamında yapılan yürüyüş analizleri ise görüntü işleme yöntemlerini kullanan [35] ve sensörlü zemini kullanan [36] olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür.

Kluge ve ark. [37] diz protezi takılan hastaların ameliyat sonrasındaki yürüyüşlerin nasıl değiştiğini belirlemek amacı ile yürüyüş analiz sensörü kullanmışlardır. Yapılan çalışmada diz protezi ameliyatından sonra hastaların adım süresi ve adım uzunluğu yürüyüş parametrelerinin etkilendiği gözlemlenmiştir.

Raccagni ve ark. [38] idiyopatik ve atipik parkinson hastalarının yürüyüş analizlerini karşılaştırmış ve bu iki farklı tip parkinson hastalığının yürüyüş analizi ile birbirinden ayırt edebilmeyi amaçlamıştır. Yapılan çalışma

sonucunda atipik parkinson hastalarının adım uzunluğu ve yürüyüş hızı parametrelerinin idiyopatik parkinson hastalarına göre oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir.

Wang ve ark. [25] dış mekan kamera görüntülerinden silüet analizi yaparak kişileri tanımayı amaçlamışlardır. Böylelikle düşük hesaplama maliyeti ile canlı görüntülerde kişi tanıma işlemini gerçekleştirmişlerdir.

Fathima ve Banu [39] kişilerin yürüyüş sırasında ayak bileği ile ayak arasında kalan açı bilgisini kullanarak kişi tanıma problemine farklı bir yaklaşım önermişlerdir. [39]'de en iyi başarı oranı %93,2 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada oluşturulan veri seti ile kişi tanıma sınıflandırma başarı oranı ciddi oranda iyileştirilmiştir.

Souza ve Stemmer [40] Microsoft firmasının ürettiği kinetic sensörünün ürettiği görüntüler ile 10 farklı kişinin yürüyüş parametreleri hesaplamıştır. Yapılan çalışmada sekiz farklı sınıflandırma algoritması kullanılmış olup kişi tanıma sınıflandırma başarı oranı ortalama %90,47 olarak hesaplanmıştır. Çalışmada sekiz farklı sınıflandırma yöntemi arasında en iyi sınıflandırma başarı oranı olarak %100 başarı oranı hesaplanmıştır. Bu çalışmada ise 16 farklı kişinin yürüyüş verilerinden öznelik seçme yapılarak yapılan kişi tanıma sınıflandırmasında %97,92 başarı oranı sağlanmıştır. Bu iki çalışma arasında sınıf sayısı farkı gözönünde bulundurulduğunda bu çalışmada elde edilen sonuçların daha başarılı olduğu varsayılabilir.

Nieto-Hidalgo ve ark. [41] kinetic sensörlerden elde ettiği RGB görüntüleri analiz ederek yürüyüşlerin normal veya normal olmayan diye sınıflandırmışlardır. Bu çalışmada ise yürüyüşler kişi baz alınarak sınıflandırılmıştır.

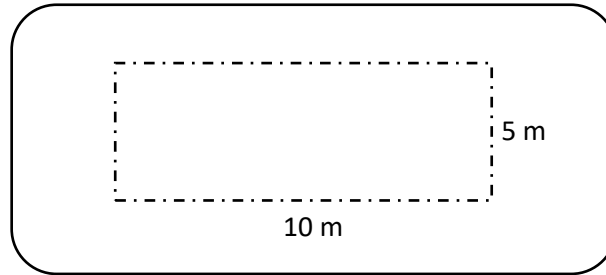
Gümüşçü [10] ise yaptığı çalışmada 16 farklı kişinin yürüyüş verilerini sınıflandırmış ve %56,25 sınıflandırma başarı oranı elde etmiştir. Bu çalışmada ise aynı veri seti kullanılarak sarmal modellenmiş öznelik seçme yöntemi kullanılmış olup sınıflandırma başarı oranı %97,92 gibi ciddi bir oranda arttırılmıştır.

Bu çalışmada ise yürüyüş verileri kullanılarak kişi tanıma işlemi sarmal modellenmiş öznelik seçme yöntemi ile iyileştirilerek daha başarılı bir sınıflandırma yapılması amaçlanmıştır. Bunun yanında bu çalışmada kullanılan yürüyüş veri seti diğer araştırmacılar ile internet ortamında paylaşılarak konu ile ilgili çalışma yapmak isteyen araştırmacılara destek olunması amaçlanmaktadır.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Yürüyüş Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan veri seti 7'si bayan 9'u bay olmak üzere toplam 16 farklı gönüllü kişinin yürüyüş parametreleri hesaplanarak oluşturulmuştur. Gönüllü 16 kişinin yaşları 20 ile 34, ağırlıkları ise 53 ile 95 arasında değişmektedir. Her yürüyüş parametresinin hesaplanabilmesi için kişilerden Şekil 2'de detayı verilen parkuru üç tur yürümeleri istenmiştir.



Şekil 2. Yürüyüş parkuru

Her gönüllü Şekil 2'de verilen parkuru üç tur yürüdüktan sonra ilgili yürüyüş için Tablo 1'de verilen 4 farklı kategoride yürüyüş nitelikleri hesaplanmıştır. Gönüllülerden bu parkuru üç kez üç tur yürümeleri istenmiştir. Dolayısıyla her kişi 3 farklı yürüyüş ile veri setinde bulunmaktadır.

Tablo 1'de verilen her nitelik için ortalama değer, medyan değer, standart sapma, çeyrekler açıklığı, oran, en küçük değer, en büyük değer ve değişim katsayısı gibi istatistiksel değerler hesaplanmaktadır. Böylelikle her üç tur yürüyüşün sonucunda 321 adet nitelik hesaplanmaktadır. Bunun yanında 16 gönüllünün üç kez üç tur yürüdüğü gözönünde bulundurulursa veri setindeki örnek sayısı 48 olacaktır. Bu haliyle bu çalışmada kullanılan veri seti 48 adet örnek 321 adet nitelikten oluşmaktadır.

Tablo 1. Yürüyüş nitelikleri

No	Yürüyüş Niteliği Kategorisi	Nitelikler
1	Temel Parametreler	Hız, Değişkenlik, Simetri
2	Geçici Parametreler	Topuk Basma Süresi, Çevrim Süresi, Kadans, Duruş, Salınım, Yükleme, Ayak Basma, İtme, Çift Destek
3	Uzaysal Parametreler	Adım Uzunluğu, Adım Hızı, Tepe Açı Hızı, Maksimum Salınım Hızı, Dönme Açısı, Adım Açısı, Kaldırma Açısı, Salınım Genişliği, 3D Yol Uzunluğu
4	Yükseklik Parametreleri	Maksimum Topuk Yüksekliği, Maksimum Parmak Ucu Yüksekliği, Minimum Parmak Ucu Yüksekliği

Şekil 3'de ise yürüyüş yapan gönüllülerin fotoğrafları gösterilmiştir.

**Şekil 3.** Gönüllü fotoğrafları

Giyilebilir yürüyüş analiz sensörü olarak Gaitup firmasının ürettiği Physilog 5 sensörü kullanılmıştır. Bu sensör içerisinde akselerometre, jiroskop ve barometrik basınç sensörü içermektedir. Bu sensör birçok tıbbi uygulamada [42, 43] yürüyüş parametrelerini hesaplamak amacı ile kullanılmıştır.

3.2. Öznitelik Seçme Yöntemleri

Makine öğrenmesi uygulamalarında bazen örnek toplamak zaman alıcı ve masraflı bir işlem olmaktadır. Bu sebeple veri setinde örnek sayısı sınırlı elde edilmektedir. Buna karşın her örnek için de yüksek sayıda nitelik olduğu düşünüldüğünde nitelikler ile sınıflar veya sonuç değerleri arasında ilişki kurmak zorlaşmaktadır. Bu durumda öznitelik seçme yöntemleri kullanılarak nitelik sayısını azaltmak daha başarılı bir sınıflandırma yapmak için ideal çözümlerden bir tanesidir. Öznitelik seçme yöntemleri filtre, sarmal ve gömülü olmak üzere üçe ayrılır. Bu çalışmada sarmal modellenmiş öznitelik seçme yöntemi olan genetik algoritma ile öznitelik seçme yöntemi kullanılmıştır. Genetik algoritma birçok alanda kullanılan meta sezgisel bir algoritmadır [44-46]. Genetik algoritma ile öznitelik seçme işleminde oluşturulan nesillerin nasıl anlamlandırıldığı Şekil 4'de gösterilmiştir.


```

// Giriş : Nesildeki bireyler
// Çıkış : Seçilen Öznitelikler
Başla
for i=1 to Birey_Sayısı
{
for k=1 to Nitelik_Sayısı
{
if Nitelik(Birey(i), Nitelik(k)) ="1"
{ Niteliği_Seç(Nitelik(Birey(i), Nitelik(k))) }
if Nitelik(Birey(i), Nitelik(k)) ="0"
{ Niteliği_Seçme(Nitelik(Birey(i), Nitelik(k))) }
} // for k
} // for i
Bitir

```

Şekil 4. Genetik Algoritma ile öznitelik seçilmesi işleminin sözde kodu

Şekil 4'de görüldüğü üzere nitelik sayısı kadar bitlik bir birey oluşturulmakta ve her bit ilgili niteliğin seçilip seçilmediğini belirtmektedir.

3.3. k-NN Sınıflandırma Yöntemi

k-NN sınıflandırma yöntemi kullanım kolaylığı, anlaşılabilirliği ve büyük verilerdeki kararlılığı sebebiyle bir çok sınıflandırma işleminde sıklıkla kullanılmaktadır [47]. k-NN yöntemi bellek tabanlı bir sınıflandırma yöntemidir. Eğitim aşamasında kullanılan örnekler sınıf bilgisi ile düzleme yerleştirilir. Test aşamasında ise sınıf tahmini yapılacak olan örnek için düzlemdeki diğer k adet en yakın komşusuna ele alınır. En fazla hangi sınıfa ait en yakın komşusu var ise örnek için o sınıfa ait olduğuna karar verilir. Bu çalışmada uzaklık ölçütü olarak öklid uzaklık ölçütü seçilmiştir. Eşitlik 1'de D boyutlu bir uzayda öklid uzaklık ölçütü formülize edilmiştir [48].

$$d(A, B) = (\sum_{i=1}^D |a_i(x) - a_i(y)|^2)^{1/2} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de $a_i(x)$ her öznitelik için belirlenen x noktasının i'ninci boyutundaki sayısal değeri ifade eder. $a_i(y)$ ise yine her öznitelik için belirlenen y noktasının i'ninci boyutundaki sayısal değeri ifade eder. Ayrıca çalışmada k değeri 1 olarak alınmıştır. 3,5,7 gibi farklı k değerlerinde denemeler yapılmış olup k değerinin değişiminin sınıflandırma başarı parametrelerine çok ciddi etki etmediği gözlemlenmiştir.

4. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada oluşturulan veri setinde yürüyüş verileri ile kişiler Şekil 5'de verilen işlem adımları ile sınıflandırılmıştır.

Şekil 5'de görüldüğü üzere yürüyüş veri seti için ilk olarak başlangıç nesli oluşturulmaktadır. Bu nesil daha sonra seçme, mutasyon gibi genetik operatörlere tabii tutularak yeni ve farklı nesillerin oluşturulması sağlanmıştır. Bu aşamada genetik algoritma için her nesildeki birey sayısı 200, çaprazlama oranı 0,8, mutasyon oranı 0,1 olarak belirlenmiştir. Oluşturulan yeni nesildeki bireyler k-NN sınıflandırma yöntemi ile sınıflandırılarak sınıflandırma başarı parametreleri hesaplanmaktadır. k-NN sınıflandırma yöntemi için k değeri 1 olarak belirlenmiştir. Elde edilen sınıflandırma başarı oranının %100'e ulaşması veya nesil limitine ulaşılması durumunda yöntem sonlandırılarak sınıflandırma işlemi tamamlanmaktadır. Nesil limiti 100 olarak belirlenmiştir. Çalışmada kişileri yürüyüş verilerine göre sınıflandırma başarısını değerlendirmek doğruluk, özgüllük, duyarlılık, hassasiyet ve f-1 ölçütü parametreleri kullanılmıştır. Eşitlik 2-6'de parametreler ifade edilmiştir [49].

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (2)$$

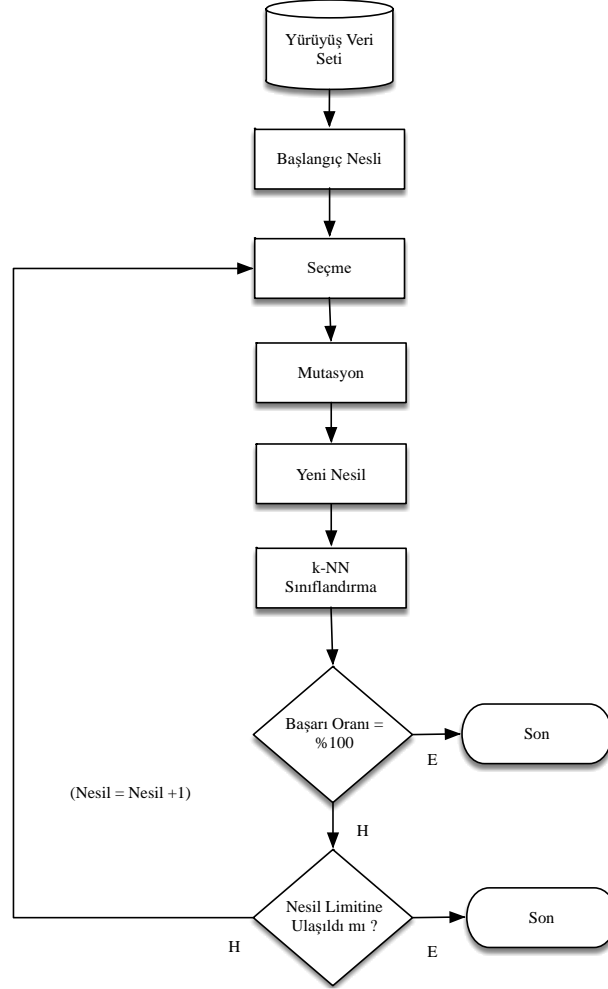
$$\text{Özgüllük} = \frac{TN}{FP+TN} \quad (3)$$

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

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

$$F1 \text{ Ölçütü} = \frac{2.TP}{2TP+FP+FN} \quad (6)$$

2,3,4,5 ve 6 nolu denklemlerde verilen (TP) A kişi olarak tahmin edilen A kişi sayısını; (FP) A kişi olarak sınıflandırılan A'dan farklı kişi sayısını; (FN) A kişisinden farklı olup A kişi olarak sınıflandırılan kişi sayısını; (TN) ise A kişisinden farklı olup A kişisinden farklı olarak sınıflandırılan kişi sayısı olarak ifade edilmiştir. Hesaplamalar, 2.8 GHz frekansa sahip Intel Core i7 işlemci, 8 GB RAM bulunan bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında sınıflandırmada elde edilen başarı parametreleri birini dışarıda bırak çapraz doğrulama yöntemi ile doğrulanmıştır.



Şekil 5. Uygulanan akış şeması

5. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada giyilebilir yürüyüş analiz sensörü ile kişiler k-NN yöntemi sınıflandırılmıştır. Elde edilen sonuçlar [10] çalışması ile karşılaştırılıp öznitelik seçme yöntemlerinin etkisi gözlemlenmiştir. Tablo 2'de elde edilen sınıflandırma başarı parametreleri verilmiştir.

Tablo 2. Başarı parametreleri

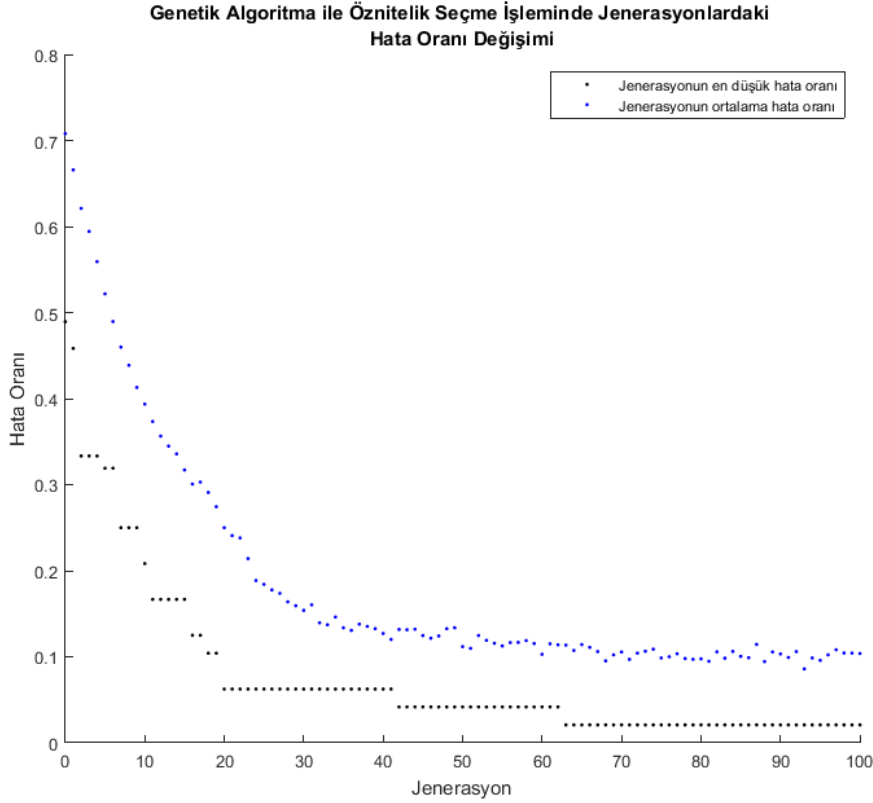
Sınıflandırma Yöntemi	Doğruluk	Özgüllük	Duyarlılık	Hassasiyet	F1-Ölçütü
[10] nolu çalışma	0,562	0,615	0,333	0,166	0,221
GA - k-NN	0,979	1,000	0,977	0,750	0,848

Tablo 2'deki sonuçlar ele alındığında uygulanan öznitelik seçme yönteminin başarı parametreleri üzerinde ciddi iyileştirmeler sağladığı görülmektedir. Tablo 3'de ise yöntemlerin süre bakımından karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 3. İşlem süreleri

Sınıflandırma Yöntemi	Öznitelik Seçme Süresi	Sınıflandırma süresi	Toplam Süre
[10] nolu çalışma	-	1,846 s	1,846 s
GA - k-NN	4769,5 s	0,830 s	4770,4 s

Tablo 3'deki verilen sonuçlar, sarmal modellenmiş öznitelik seçme yönteminin sınıflandırmanın yapılma süresini azalttığını göstermektedir. Kişi tanıma uygulamalarında özniteliklerin bir kez seçildiği göz önünde bulundurulduğunda azalan nitelik sayısı ile beraber sürenin kısaltılabildiği gözlemlenmiştir. Bunun yanında genetik algoritma ile öznitelik seçme işlemi sonucunda 147 adet öznitelik seçilmiştir. Şekil 6'da ise genetik algoritma ile öznitelik seçme işleminin nesillere göre hata oranını nasıl değiştirdiği gösterilmektedir.



Şekil 6. Hata oranının genetik algoritma ile iyileştirilmesi

Şekil 6'da da görüldüğü üzere genetik algoritma ile öznitelik seçme işlemi başarı parametrelerine ciddi katkılar sağlamıştır. İlk nesildeki hata oranı yaklaşık 0,70 iken son nesilde yaklaşık 0,02 değerine kadar düşmüştür.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada giyilebilir yürüyüş analiz sensörleri ile kişi tanıma uygulamalarında öznitelik seçme yöntemlerinin etkisi ele alınmıştır. Öznitelik seçme yöntemi olarak genetik algoritma ile sarmal modellenmiş öznitelik seçme yöntemi kullanılmıştır. Bunun yanında yürüyüş niteliklerine göre kişileri sınıflandırmak için k-NN

sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemi ile kişiler birbirinden 0.979 doğruluk oranı ile ayırt edilebilmiştir.

Elde edilen sonuçlar ele alındığında [10] nolu çalışma ile aynı yürüyüş veri seti kullanıldığından yapılan karşılaştırmalara göre öznitelik seçme yöntemi başarı parametrelerine oldukça ciddi iyileştirmeler sağlamıştır. Tablo 2'de verilen sonuçlar incelendiğinde öznitelik seçme yöntemi ile doğruluk oranı 0,417 gibi ciddi bir artış göstermiştir. Bu durumda veri setinde bulunan 321 adet nitelik içerisindeki bazı niteliklerin sınıf etiketi ile korelasyonu bozduğu ve hata oranını yükselttiği sonucuna varılabilir. Bunun yanında öznitelik seçme yapılması ile beraber f1-ölçütü 0,627 kadar artmıştır.

İşlem süreleri bakımından bulgular ele alındığında öznitelik seçme yöntemi sarmal modellenmiş olduğundan işlemin uzun sürmesi beklenen bir sonuç olarak karşımıza çıkmıştır. Bunun yanında yürüyüş analizi ile kişi tanıma uygulamasında öznitelik seçme işleminin bir kez çalıştırılıp sınıf etiketi ile korelasyonu yüksek nitelikler belirlendikten sonra yapılacak olan sınıflandırma işlemlerinde daha kısa süre sınıflandırma işlemi yapılabilecektir. Böylelikle daha hızlı bir sınıflandırma uygulaması gerçekleştirilebilecektir.

Şekil 6'da verilen nesillere göre ortalama hata oranı ve en düşük hata oranı grafiği öznitelik seçme işleminin gerekliliğini göstermektedir. Öznitelik seçme yöntemi ile beşinci nesildeki bile ilk nesile göre hata oranı yaklaşık 0,400 iyileştirilmiştir. Bu da öznitelik seçme işleminin hızlı bir şekilde sınıflandırma başarı parametrelerini iyileştirdiğini göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Kurulu tarafından 17004 numaralı proje ile desteklenmektedir.

Kaynaklar

- [1] Yager N, Amin A. Fingerprint classification: a review. *Pattern Analysis and Applications* 2004; 7(1): 77-93.
- [2] Hong L, Wan YF, Jain A. Fingerprint image enhancement: Algorithm and performance evaluation. *Ieee Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 1998; 20(8): 777-789.
- [3] Ma L, Tan TN, Wang YH, Zhang DX. Efficient iris recognition by characterizing key local variations. *Ieee Transactions on Image Processing* 2004; 13(6): 739-750.
- [4] Wildes RP. Iris recognition: An emerging biometric technology. *Proceedings of the IEEE* 1997; 85(9): 1348-1363.
- [5] Lee JC. A novel biometric system based on palm vein image. *Pattern Recognition Letters* 2012; 33(12): 1520-1528.
- [6] Wang HG, Yau WY, Suwandy A, Sung E. Person recognition by fusing palmprint and palm vein images based on "Laplacianpalm" representation. *Pattern Recognition* 2008; 41(5): 1514-1527.
- [7] Zhou YB, Kumar A. Human Identification Using Palm-Vein Images. *Ieee Transactions on Information Forensics and Security* 2011; 6(4): 1259-1274.
- [8] Oatis C. *Kinesiology: The mechanics and pathomechanics of human movement*. Second edition. 2013.
- [9] Arivazhagan S, Induja P. Gait Recognition-Based Human Identification and Gender Classification. *Proceedings of International Conference on Computer Vision and Image Processing*; 2017; pp. 533-544.
- [10] Gümüşçü A. Wearable Sensor based Gait Recognition for Human Identification. in *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology*; 25 -27 October 2018; Dubai, United Arab Emirates. pp. 31-33.
- [11] Ahmed MH, Sabir AT. Human Gender Classification based on Gait Features using Kinect Sensor. *3rd Ieee International Conference on Cybernetics (Cybconf)*; 2017; pp. 243-247.
- [12] Borrás R, Lapedriza A, Igual L. Depth Information in Human Gait Analysis: An Experimental Study on Gender Recognition. *Image Analysis and Recognition*. 2012; 7325: 98-105.
- [13] Lu JW, Wang G, Moulin P. Human Identity and Gender Recognition From Gait Sequences With Arbitrary Walking Directions. *Ieee Transactions on Information Forensics and Security* 2014; 9(1): 51-61.
- [14] Lu JW, Tan YP. Gait-Based Human Age Estimation. *Ieee Transactions on Information Forensics and Security* 2010; 5(4): 761-770.
- [15] Bulut F, Amasyalı MF. Locally adaptive k parameter selection for nearest neighbor classifier: one nearest cluster. *Pattern Analysis and Applications* 2017; 20(2): 415 - 425.
- [16] Schena M, Shalon D, Davis R, Brown P. Quantitative Monitoring of Gene Expression Patterns With a Complementary DNA Microarray. 1995, pp. 467-70.
- [17] Yvan Saeys II, Larrañaga P. A review of feature selection techniques in bioinformatics. *Bioinformatics* 2007; (23)19: 2507-2517.
- [18] Çelik C, Bilge HŞ. Ağırlıklandırılmış Koşullu Karşılıklı Bilgi İle Öznitelik Seçimi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 2015; 30(4).
- [19] Gumuscu A, Karadag K, Tenekeci M, Aydılek I. Genetic algorithm based feature selection on diagnosis of Parkinson disease via vocal analysis. *2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. 2017.
- [20] Quinlan JR. *C4.5: programs for machine learning*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc, 1993.

- [21] Abdulhay E, Arunkumar N, Narasimhan K, Vellaiappan E, Venkatraman V. Gait and tremor investigation using machine learning techniques for the diagnosis of Parkinson disease. *Future Generation Computer Systems*. 2018;83:366-373.
- [22] Aich S, Choi K, Pradhan P, Park J, Kim H. A Performance Comparison Based on Machine Learning Approaches to Distinguish Parkinson's Disease from Alzheimer Disease Using Spatiotemporal Gait signals. *Advanced Science Letters*. 2018;24(3):2058-2062.
- [23] Amboni M, Cozzolino A, Longo K, Picillo M, Barone P. Freezing of gait and executive functions in patients with Parkinson's disease. *Movement Disorders*. 2008;23(3):395-400.
- [24] Boutaayamou M, Demonceau M, Bruls O, Verly JG, Garraux G. Analysis of temporal gait features extracted from accelerometer-based signals during ambulatory walking in Parkinson's disease. *Movement Disorders*. 2016;31.
- [25] Liang Wang, Tieniu Tan, Huazhong Ning, Weiming Hu. Silhouette analysis-based gait recognition for human identification. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*. 2003;25(12):1505-1518.
- [26] Zhang D, Wang YH. Gender Recognition Based on Fusion of Face and Multi-view Gait. in *Advances in Biometrics* vol. 5558, Tistarelli M, Nixon MS. Lecture Notes in Computer Science, 2009, pp. 1010-1018.
- [27] Christensen J, LaStayo P, Marcus R et al. Visual knee-kinetic biofeedback technique normalizes gait abnormalities during high-demand mobility after total knee arthroplasty. *Knee*. 2018;25(1):73-82.
- [28] McNair P, Boocock M, Dominick N, Kelly R, Farrington B, Young S. A Comparison of Walking Gait Following Mechanical and Kinematic Alignment in Total Knee Joint Replacement. *J Arthroplasty*. 2018;33(2):560-564.
- [29] Aharonson V, Schlesinger I, McDonald A, Dubowsky S, Korczyn A. A Practical Measurement of Parkinson's Patients Gait Using Simple Walker-Based Motion Sensing and Data Analysis. *J Med Device*. 2018;12(1):011012.
- [30] Haji Ghassemi N, Hannink J, Martindale C et al. Segmentation of Gait Sequences in Sensor-Based Movement Analysis: A Comparison of Methods in Parkinson's Disease. *Sensors*. 2018;18(2):145.
- [31] Kidziński Ł, Delp S, Schwartz M. Automatic real-time gait event detection in children using deep neural networks. *PLoS ONE*. 2019;14(1):e0211466.
- [32] Mileti I, Germanotta M, Di Sipio E et al. Measuring Gait Quality in Parkinson's Disease through Real-Time Gait Phase Recognition. *Sensors*. 2018;18(3):919.
- [33] Samà A, Rodríguez-Martín D, Pérez-López C et al. Determining the optimal features in freezing of gait detection through a single waist accelerometer in home environments. *Pattern Recognit Lett*. 2018;105:135-143.
- [34] Ziegler J, Gattringer H, Mueller A. Classification of Gait Phases Based on Bilateral EMG Data Using Support Vector Machines. 2018 7th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics (Biorob). 2018.
- [35] Rocha AP et al. Parkinson's Disease Assessment Based on Gait Analysis Using an Innovative RGB-D Camera System. in 2014 36th Annual International Conference of the Ieee Engineering in Medicine and Biology Society, IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference Proceedings. 2014; pp. 3126-3129.
- [36] Meurisse G, Dierick F, Schepens B, Bastien G. Determination of the vertical ground reaction forces acting upon individual limbs during healthy and clinical gait. *Gait Posture*. 2016;43:245-250.
- [37] Kluge F, Hannink J, Pasluosta C et al. Pre-operative sensor-based gait parameters predict functional outcome after total knee arthroplasty. *Gait Posture*. 2018;66:194-200
- [38] Raccagni C, Gaßner H, Eschlboeck S et al. Sensor-based gait analysis in atypical parkinsonian disorders. *Brain Behav*. 2018;8(6):e00977.
- [39] Sithi Shameem Fathima SMH, Wahida Banu RSD. Abnormal walk identification for systems using gait patterns. 2016, pp. 112-117.
- [40] Souza AM, Stemmer M. Extraction and Classification of Human Body Parameters for Gait Analysis. 2018.
- [41] Nieto-Hidalgo M, Ferrández-Pastor F, Valdivieso-Sarabia R, Mora-Pascual J, García-Chamizo J. A vision based proposal for classification of normal and abnormal gait using RGB camera. *J Biomed Inform*. 2016;63:82-89.
- [42] Mariani B. Assessment of Foot Signature Using Wearable Sensors for Clinical Gait Analysis and Real-Time Activity Recognition. EPFL.
- [43] Brégou Bourgeois A, Mariani B, Aminian K, Zambelli P, Newman C. Spatio-temporal gait analysis in children with cerebral palsy using, foot-worn inertial sensors. *Gait Posture*. 2014;39(1):436-442. doi:10.1016/j.gaitpost.2013.08.029
- [44] Holland J. Genetic Algorithms. *Sci Am*. 1992;267(1):66-72.
- [45] Gümüşçü A, Tenekeci M, Bilgili A. Estimation of wheat planting date using machine learning algorithms based on available climate data. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*. 2019. doi:10.1016/j.suscom.2019.01.010
- [46] Gümüşçü A, Tenekeci M, Tabanlıoğlu A. The shortest path detection for unmanned aerial vehicles via genetic algorithm on aerial imaging of agricultural lands. *International Advanced Researches and Engineering Journal*. 2018;2(3): 315-319.
- [47] Jeon H, Lee W, Park H et al. Automatic Classification of Tremor Severity in Parkinson's Disease Using a Wearable Device. *Sensors*. 2017;17(9):2067. doi:10.3390/s17092067
- [48] Bulut F. A new clinical decision support system with instance based ensemble classifiers. *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University* 2017;32(1):65-76.
- [49] Bulut F. Çok Katmanlı Alđılayıcılar İle Doğru Meslek Tercihi. *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik* 2016;17(1):97-109.

AISI 4140 Çelik Yüzeyinde Termoreaktif Difüzyon Yöntemiyle Elde Edilen TiC Kaplamasının Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi

Soner BUYTOZ^{1*}, Burhan YILMAZ²

¹ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ sbuytoz@gmail.com, ² burhanyilmaz2223@gmail.com

(Geliş/Received: 19/04/2019;

Kabul/Accepted: 16/07/2019)

Öz: Bu çalışmada AISI 4140 çeliğinin yüzeyi ferro-titanyum (FeTi) tozuyla kaplanmıştır. Kaplamalar, üç farklı sıcaklıkta (900 °C, 1000 °C ve 1100 °C) ve üç farklı sürede (1 saat, 2 saat ve 3) paket sementasyon yöntemiyle bir termo-reaktif difüzyon (TRD) işlemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaplamaların yapısal ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, oluşan fazların tipleri, mikroyapıları, mikro sertlikleri incelenmiştir. XRD analizi sonucunda kaplama tabakalarında α -Fe ve TiC fazları tespit edildi. Kaplamaların kalınlığı 3.04–11.70 μm ve sertlik 1089–2335 HV değerleri elde edildi. Kaplamaların Ti içeren faz bileşenleri, artan kaplama sıcaklıkları ile arttı.

Anahtar kelimeler: Kaplama, mikroyapı, termoreaktif difüzyon, sertlik.

Investigation of microstructural properties of TiC coating obtained by termoreactive diffusion process on AISI4140 steel

Abstract: In the current study, the surface of AISI 4140 steel was coated with ferro-titanium (FeTi) powder. The coatings were performed using a thermo-reactive diffusion (TRD) treatment by the pack cementation method at three different temperatures (900 °C, 1000 °C, and 1100 °C) and three different durations (1 h, 2 h, and 3 h). The structural and mechanical characteristics of the coatings were compared between the treatment groups. For this purpose, the types, microstructures and microhardness of the phases were investigated. XRD analysis revealed α -Fe and TiC phases in the coating layers. Thickness of the coatings were 3.04 - 11.70 μm and hardness, 1089 - 2335 HV values were obtained. The phase components containing Ti of the coatings increased with increasing coating temperatures.

Key words: Coating, microstructure, termoreactive diffusion, hardness.

1. Giriş

Titanyum karbür (TiC), yüksek erime noktası, sertliği, mukavemeti ve mükemmel aşınma direncinin yanı sıra olağanüstü kimyasal kararlılığı nedeniyle, yüzey özelliklerini geliştirmek için bir kaplama malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1-3]. TiC kaplama genel olarak, fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemleriyle üretilerek kullanıma sunulmuştur. Son yıllarda, termoreaktif difüzyon işlemi (TRD), uygulama kolaylığı, asgari ekipman gereklilikleri ve maliyet verimliliği bakımından, hem PVD hem de CVD işlemlerine göre daha çok tercih edilen bir yöntem olmuştur [4-7].

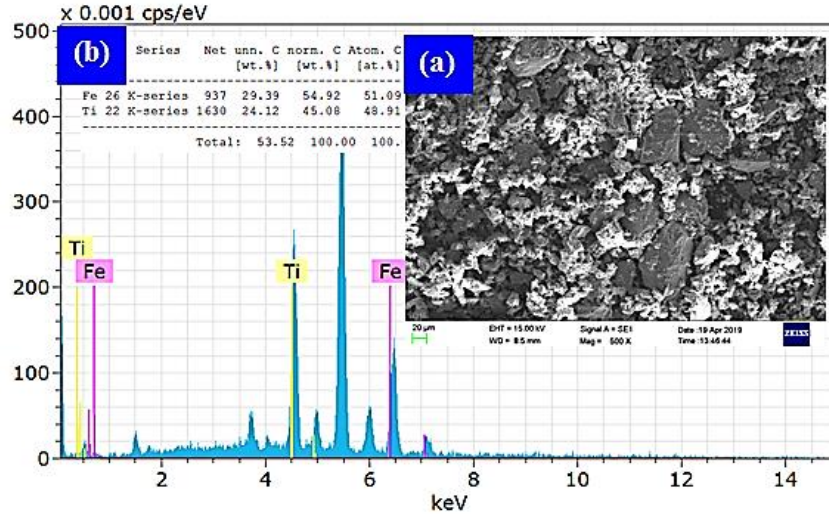
TRD kaplama yöntemi aslında bir termokimyasal işlemdir. Ancak geleneksel termokimyasal işlemlerden biraz farklıdır. Kaplama yönteminde çelik altlıktaki karbon ve azot yüksek sıcaklıkta (800-1250 °C) yüzeye difüze olarak titanyum, vanadyum, niobyum, tantalum, krom, molibden ya da tungsten gibi kuvvetli karbür ve nitrid yapıcı refrakter geçiş metalleri ile birleşerek çelik yüzeyinde yoğun, gözeneksiz ve ana metale sıkı bir şekilde bağlanmış kaplama tabakası oluşturur. Geleneksel metotların aksine oluşan kaplama tabakası altlık yüzeyinde gelişir. Altlık malzeme ile kaplama tabakası arasında belirgin bir sınır vardır. Ancak, işlem yüksek sıcaklıkta gerçekleştirildiği için karbür oluşturu elementlerin ana metal içine difüzyonu söz konusudur. Bu da metalurjik olarak bağlı bir yapı oluşturmaktadır [8]. Yalnız termoreaktif difüzyon işleminin olabilmesi için çelik esaslı malzemenin C içeriğinin en az %0,3 veya daha büyük olması önemlidir [9].

Bu nedenle çalışmanın amacı, diğer endüstriyel uygulamalarda kullanımlarını genişletmek ve olası uygulamaların daha iyi anlaşılmasını sağlamak amacıyla, TRD yöntemiyle AISI 4140 çelik alt tabaka üzerinde bir titanyum karbür tabakası oluşturarak, mikroyapısal ve mekanik özelliklerini belirlemektir.

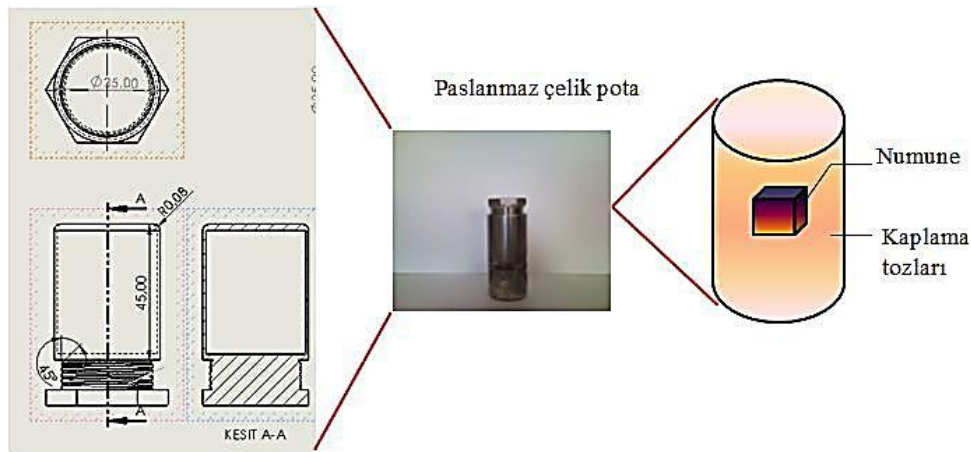
* Sorumlu yazar: sbuytoz@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-1509-8648

2. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada, AISI 4140 malzeme yüzeyi termoreaktif difüzyon (TRD) tekniği kullanılarak Ferro titanyum (FeTi) ile kaplandı. Alt tabaka malzemesinin kimyasal bileşimi ağırlıkça %0.394C, %0.279Si, %1.021Cr, %0.74Mn ve %96.793Fe olmakla birlikte, kaplamada kullanılan tozun kimyasal bileşimi ağırlıkça %54.92Fe ve %45.08Ti' dir. FeTi tozunun SEM görüntüsü ve EDX difragtoramı Şekil 1' de verilmiştir. Kaplama işleminden önce 10x10x10 mm³ ebatlarında kesilen numunelerin tüm yüzeyleri oksit ve yağ kalıntularından arındırmak için ultrasonik olarak aseton ve etanol banyosunda temizlendikten sonra, SiC zımpara kağıtlarıyla parlatıldı ve nihai parlatma işlemiyle cilalandı. Kaplama işlemi için hazırlanan numuneler, Şekil 2' de görülen AISI 304 paslanmaz çelik pota içinde, %45 FeTi, %45 Al₂O₃ ve %10 NH₄Cl ortamına gömüldü. Karşım tozlarının birbirleriyle sinterlenmesini önlemek için inert dolgu malzemesi ve aktivatör kullanıldı. İner malzeme olarak Al₂O₃, aktivatör malzeme olarak ise NH₄Cl malzemesi kullanıldı. Kaplama işlemi parametreleri 900 °C, 1000 °C ve 1100°C'lik sıcaklıklarda 1,2 ve 3 saat seçildi. İşlem sonrası fırından çıkarılan sıcak potalar suda hızlı soğutuldu. Son olarak, potanın ağzı açılarak numuneler çıkarılıp yine hızlı bir şekilde suda soğutulma işlemine tabi tutuldu. Numuneler çıkarılarak, kaynar suda temizlendikten sonra etanol banyosunda ultrasonik olarak temizlendi.



Şekil 1. FeTi tozunun (a) SEM görünüşü ve (b) EDS verisi



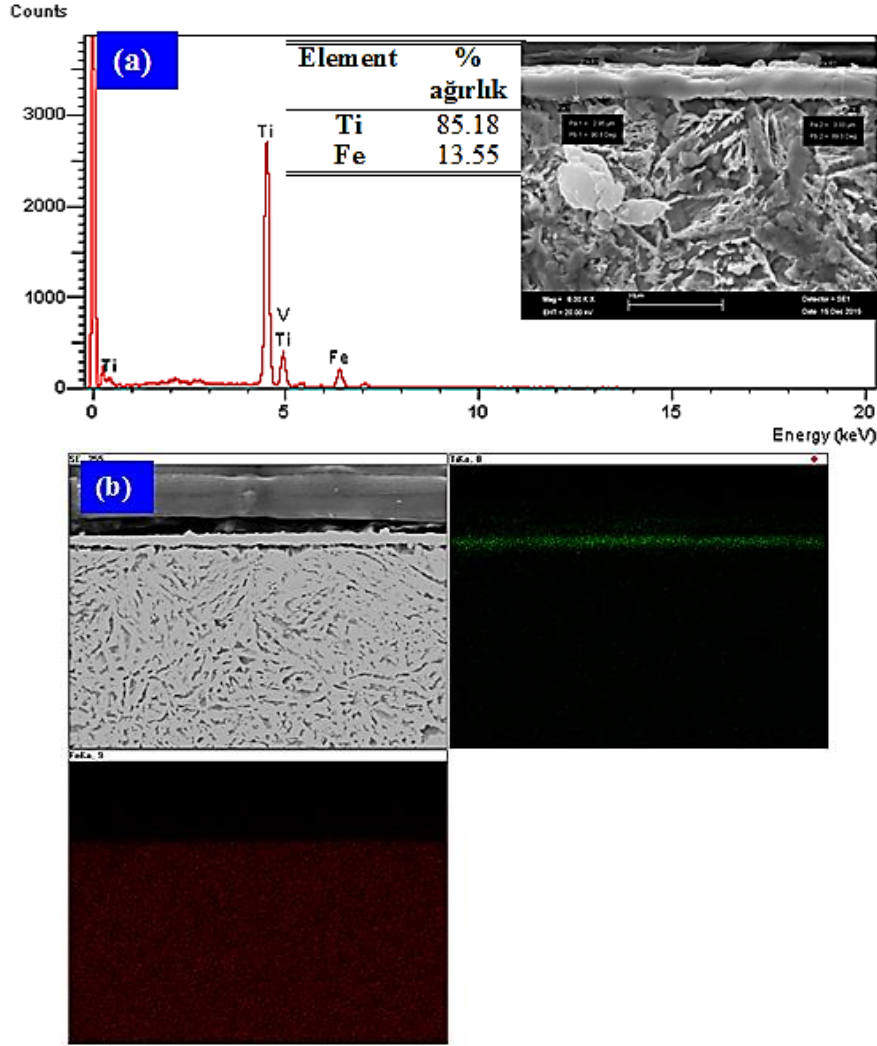
Şekil 2. AISI304 paslanmaz çelik potanın makrofotografı ve deney numunesinin şematiği

Termo Reaktif Difüzyon yöntemi ile kaplanan numuneler standart metalografik işlemlerden geçirilerek 240-2500 mesh SiC kağıtlarla zımparalama ve 3 ve 1 µm elmas süspansiyonlar parlatma işlemi yapıldı. Parlatılan

numunelerin optik ve SEM incelemeleri için, % 5'lik nital çözeltisinde kimyasal daldırma yöntemiyle dağlama işlemine tabi tutuldu. Optik incelemelerde, Clemex görüntü analiz sistemi ve Nikon EclipseMA-200 optik metal mikroskobu kullanıldı. Kaplama yüzeyi ve kesit morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM JEOL JSM-5600) ile incelendi. Elementel dağılım, X-ışını spektroskopisi (EDS) ile karakterize edildi. Kaplamada oluşan fazlar, yüksek çözünürlüklü Bruker AXS D8 Advance model X-ışını kırınımı (XRD) analizi kullanılarak belirlendi. X ışını tüpü, 40 kV ve 40 mA'da çalıştırıldı ve difrakogramlar, 20 °- 80 ° arası (2θ) aralığında yapıldı. Kaplanan malzemenin mikrosertlik değerleri Durascan20 struers marka mikrosertlik cihazıyla, 50 gr yük altında 10 saniye yük uygulayarak, kaplamanın farklı bölgelerinden en az 5 değer ölçüm alınıp aritmetik ortalaması kaydedildi.

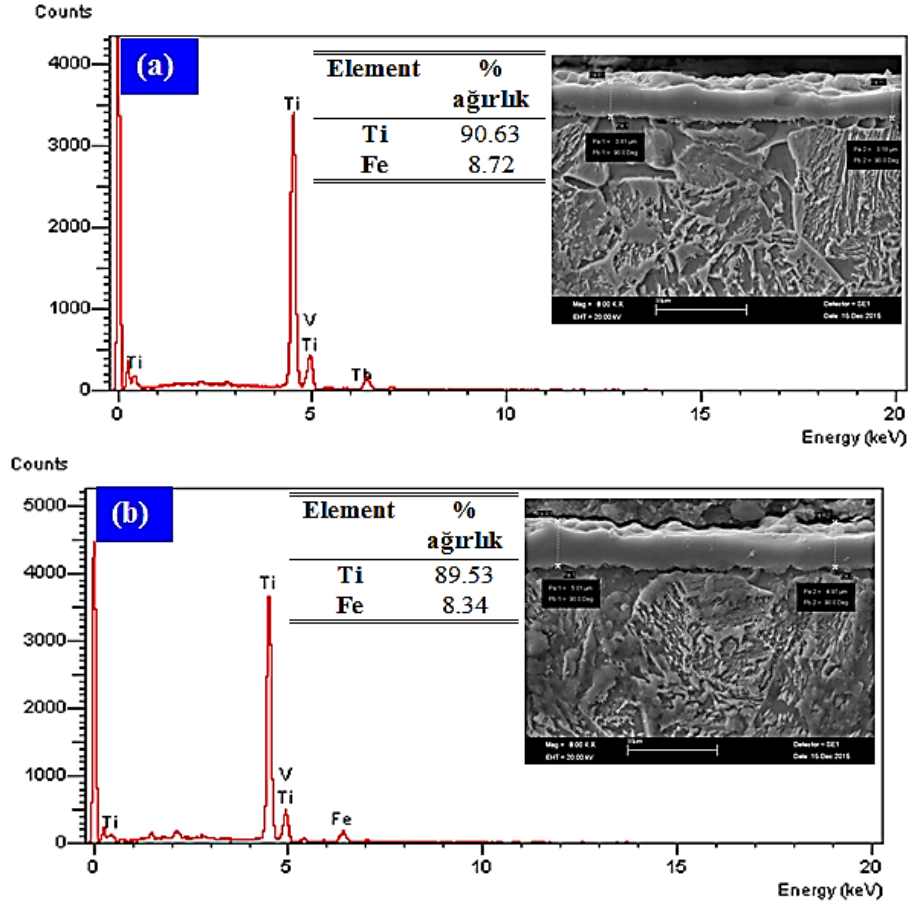
3.Sonuçlar ve Tartışma

TRD yöntemiyle 900 °C'de 1,2 ve 3 saat süreyle yapılan kaplanmış numunenin yan kesit yüzey morfolojisinin SEM ve EDS görselleri Şekil 3 ve Şekil 4' de verilmiştir. Şekil 3(a)' da, 1 saat süreyle termoreaktif işleme tabi tutulan numunenin yan kesit yüzey morfolojisi ve EDS analizi giydirilmiş bir durumda görülmektedir. Şekil 3'den, kaplama tabakası AISI4140 malzemesinin yüzeyinde bir katman şeklinde %85.18 ağırlık Ti ve %13.55 ağırlık Fe oranlarında, sis bulutuna benzer bir görünümle katman oluşturduğu tespit edilmiştir. Şekil 3(b)' de aynı numunenin EDS haritalaması verilmiştir. Yeşil renkle görülen Ti elementinin üst katman boyunca homojen ve yoğun bir dağılım sergilediği anlaşılmaktadır.



Şekil 3. 900 °C 'de 1 saatte üretilen kaplama malzemesinin (a) SEM ve EDS analizi, (b) EDS haritalaması

Kaplama süresinin artmasıyla kaplama tabakasında Ti miktarının çok az arttığı ve Fe oranının bunun paralelinde azaldığı Şekil 4(a) ve Şekil 4(b)' de gösterilmiştir. Artan süre, difüzyon mekanizmasının etkinliğini artırıp kaplama tozları içindeki Ti atomlarının numune yüzeyine artarak difüze olmasına olanak sağlamıştır. Ti esaslı kaplama dışı doğru bir büyüme gerçekleştirmiştir. Bunun sonucunda kaplama/alt tabaka ara yüzü düz bir hat sergilemiştir [10,11]. 900 °C sıcaklıkta üretilen numuneler için, termoreaktif difüzyon kaplama işlem süresinin 1 saatten 2 ve 3 saate değişmesi, kaplama tabakasının ara yüzey düzgünlüğünü daha da belirginleştirdiği Şekil 4' den de görülebilir.



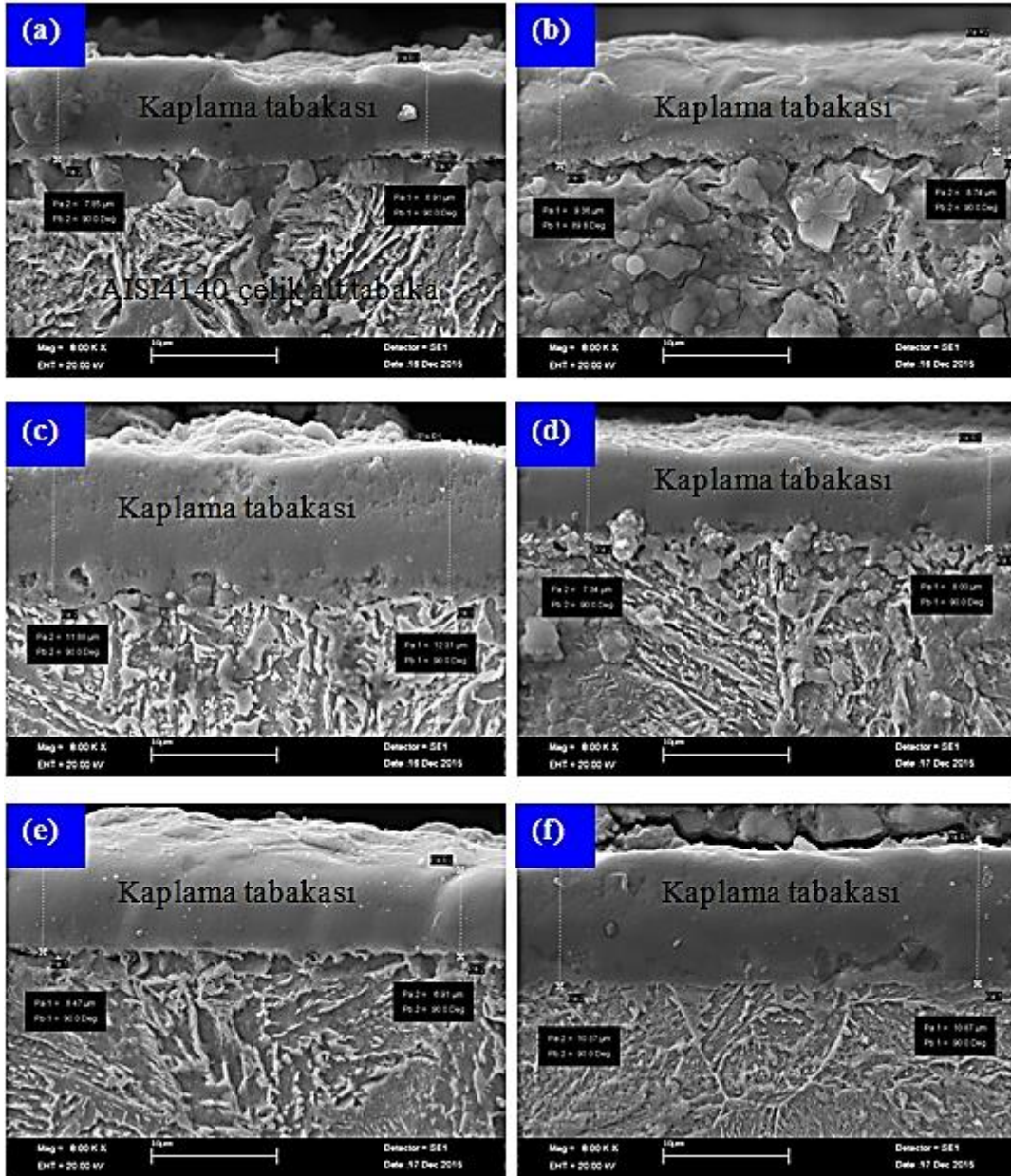
Şekil 4. 900 °C için (a) 2 saat ve (b) 3 saat işlem sürelerinde üretilen kaplama malzemelerinin SEM ve EDS analizleri

Termoreaktif difüzyon işlemiyle 1000 °C ve 1100 °C' de üç farklı süreyle yapılan kaplama işlemi sonucu elde edilen SEM mikroyapıları Şekil 5' de verilmiştir. Şekil 5' den de görüldüğü üzere, kaplama tabakaları Şekil 3 ve Şekil 4' de verilen numunenin mikroyapılarına göre daha düzgün ve kaplama alt tabaka arayüz bölgesi daha yumuşak ve homojen bir geçiş olmuştur. Ayrıca sıcaklığın artırılmasıyla kaplama tabakasında % Ti element miktarının da arttığı EDS sonuçlarından tespit edilmiştir (Tablo 1). En iyi yan kesit yüzey morfolojisi sıcaklığın 1100 °C' ye çıkarılarak 3 saat sonrası elde edilen numunede kaydedilmiştir. Geçiş/ alt tabaka yüzey düzgünlüğü, tüm numune ve işlem parametreleri için en ideal şart olarak görülmektedir.

Sıcaklık ve işlem süresi arttığında yüzeye geçen element miktarı, difüzyon için gerekli süreyi yeterince bulduğundan daha çok geçiş sağladı. Bunun sonucunda yüzey tabakası daha düzgün ve geçiş/ alt tabaka arayüzü, diğer kaplama yöntemlerine göre daha homojen bir görünüm sergiledi [12,13]. Tablo 1' e göre, 1000 °C için 1 saat işlemle yapılan kaplama yönteminde, kaplama tabakasında %92.83 ağırlık oranında Ti ve %5.91 ağırlık oranında Fe elementi ihtiva ederken, aynı sıcaklık ve 3 saat süreyle elde edilen katmanda bu oran %97.37 ağırlık oranında Ti, %2.63 ağırlık oranında Fe elementi kaydedildi. 1100 °C sıcaklık için EDS spektrumundan alınan elementel ağırlık oranları, %96.63 ağırlık oranında Ti,

%2.81 ağırlık Fe elementleri 1 saat kaplama süresinde kaydedilirken, bu değer 3 saat süreye artırılıp elde edilen kaplama tabakasında %97.70 ağırlık Ti ve % 2.30 ağırlık Fe ölçümleri alındı.

FeTi kaplamalarıyla elde edilen katmanların XRD analizleri Şekil 6'da verilmiştir. Numuneler üzerinde yapılan XRD incelemesine göre numuneler üzerinde hegzagonal yapıda TiC baskın faz (PDF No 06-0696) olarak belirlenmiştir. İkincil faz olarak kübik α -Fe fazı (PDF No 72-2496) oluşmakla birlikte, prosesin işlem sıcaklığı ve sürelerinin artmasına göre α -Fe fazında azalma, fakat TiC fazının kararlılığında ise artma görülmüştür. Kübik α -Fe fazı $a=2,8664$, $b=2,86640$ ve $c=2,86640$ kafes parametreleriyle oluşum gösterirken, hegzagonal TiC fazı; $a=6,11500$, $b=6,11500$ ve $c=14,90000$ kafes parametrelerinde meydana gelmiştir. Reaksiyon bileşimi Fe-Ti denge faz diyagramına göre ikincil fazlar Fe veya Fe₂Ti fazlarının meydana gelebilme olasılığıdır [14]. Ancak Ti elementi, α -Fe deki katı çözünürlüğünü azaltan TiC oluşturma ihtimali oldukça yüksektir [15]. İncelenen numunelerin XRD değerlerinden, en düşük TiC fazı kararlılığı 900 °C 'de 1 saatte üretilen numunede en yüksek kararlılık ise 1100 °C' de 3 saatte üretilen numunede görülmüştür.

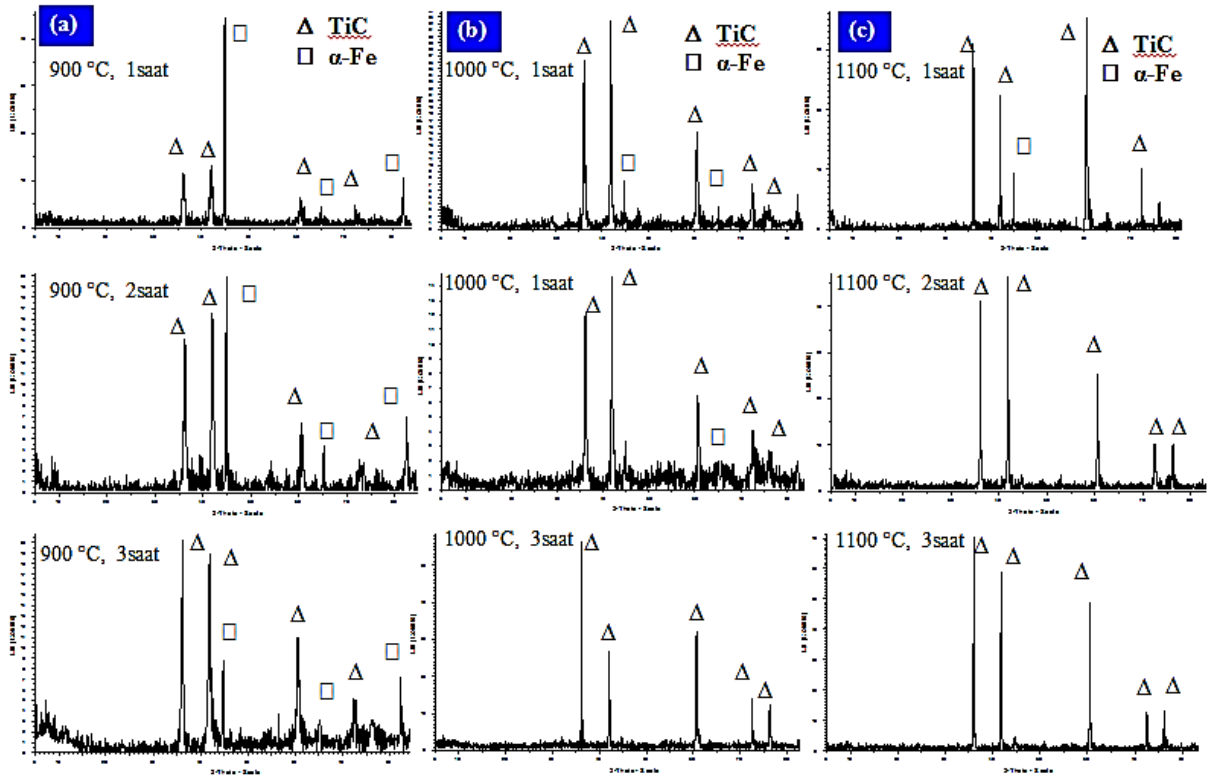


Şekil 5. 1000 °C ve 1100 °C için TRD yöntemiyle kaplanan numunelerin yankesit SEM görüntüleri

Tablo 1. 1000 °C ve 1100 °C için EDS analiz sonuçları

Numune	Element (% ağırlık)	
	Ti	Fe
1000 °C için 1 saat süreli numune	92.83	6.91
1000 °C için 2 saat süreli numune	94.48	4.96
1000 °C için 3 saat süreli numune	97.37	2.63
1100 °C için 1 saat süreli numune	96.63	2.81
1100 °C için 2 saat süreli numune	97.14	2.46
1100 °C için 3 saat süreli numune	97.70	2.30

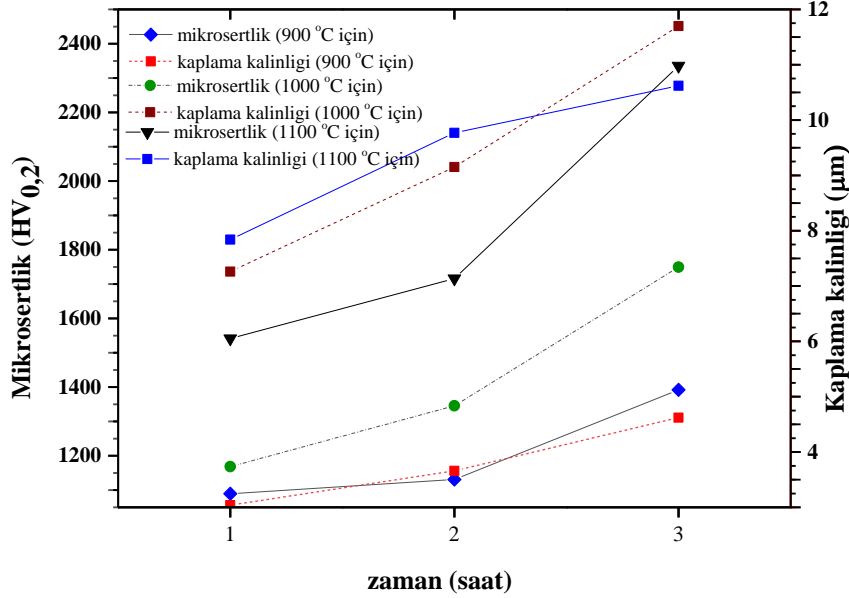
Şekil 7’ de termoreaktif difüzyonda sıcaklık ve süre değişiminin kaplama tabakasının sertlik ve kaplama kalınlığına etkisi grafiksel olarak verilmiştir. Şekil 7’ e göre, 900 °C sıcaklık ve 1 saat kaplama süresinde elde edilen katman kalınlığı ortalama 3,04 µm ölçülürken sürenin sırayla 2 ve 3 saate yükseltilmesiyle kaplama kalınlığında da sırayla 3.66 ve 4,42 µm değerleri belirlenmiştir. Sıcaklık 1000 °C’ ye yükseltildiğinde elde edilen kaplama kalınlığı 900 °C’ ye göre iki kattan daha fazla değerler elde edilmiştir. Ti elementinin termoreaktif difüzyon işlemiyle alt tabaka yüzeyinde katman şeklinde birikip kaplama oluşturması için yeterli sıcaklığa ulaştığının sonucu çıkarılabilir [16,17]. Kaplama kalınlıkları 7,16 µm ile 11,70 µm arasında tespit edilmiştir. Sıcaklık 1100 °C’ deki kaplama kalınlıkları 1000 °C’ de üretilen kaplamalara oldukça yakın kaydedilmiştir. Kaplama kalınlığının işlem süresine oldukça bağlı olduğu literatürde bildirilmiştir [18].



Şekil 6. (a) 900 °C ve (b) 1000 °C ve (c) 1100 °C’ de 1, 2 ve 3 saat süreyle kaplanan numunelerin XRD analizleri

Kaplanan numunelerin işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak sertlik değişimleri aynı zamanda Şekil 7’ de verilmiştir. Sertlik değerleri kaplama ve alt tabaka malzemesinin farklı bölgelerinden 5 adet ölçüm alınarak, bu ölçümlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır. AISI4140 alt tabaka malzemesinin sertlik değeri 250 HV iken, termoreaktif difüzyon yöntemiyle yapılan kaplamaların sertlik değerleri en az 4 kat daha yüksek kaydedilmiştir. Bu oran işlem süresi ve sıcaklığı arttıkça, artmıştır. 900 °C’ de 1,2 ve 3 saat üretim parametrelerinde elde edilen sertlik değerleri sırasıyla 1089 HV, 1130 HV ve 1392 HV iken, sıcaklık 1000 °C’ ye çıkarıldığında mikrosertlik

değerleri de 900 °C’ de elde edilen numuneye göre oldukça bir artış göstermiştir. 1000 °C’ de elde edilen numuneler için sertlik değerleri 1168 HV, 1345 HV ve 1750 HV’ dir. En yüksek mikrosertlik değerleri 1100 °C sıcaklıkta üretilen kaplama tabakalarından alınmıştır. Sertlik 1 saat, 2 saat ve 3 saat sürelerle elde edilen 1100 °C’ deki numuneler için 1541 HV, 1716 HV ve 2335 HV’ dir. Hem sıcaklık, hem de işlem süreleri bakımından kıyaslandığında, artan sıcaklık ve artan sürelerde kaplama tabakalarının mikrosertlik değerleri de arttığı tespit edilmiştir [19,20].



Şekil 7. Numunelerin sıcaklık ve süreye bağlı olarak kaplama kalınlığı ve mikrosertliklerinin değişimi

4. Genel Sonuçlar

Çalışmada AISI 4140 çelik malzeme, 900 °C, 1000 °C ve 1100 °C sıcaklık ve 1 saat, 2 saat ve 3 saat sürelerinde termoreaktif difüzyon yöntemiyle FeTi tozları başarılı bir şekilde kaplanmıştır. Kaplama tabakalarında birincil faz olarak hegzagonal yapılu TiC baskın fazlarla birlikte, ikincil faz kübik yapılu α -Fe fazı belirlenmiştir. Sıcaklık ve sürenin artmasına bağlı olarak, birincil TiC miktarının arttığı, tam tersi α -Fe azaldığı tespit edilmiştir. Tüm üretim parametrelerinde 3.04 µm ile 11.70 µm arasında bir Ti esaslı kaplama tabakası elde edilmiştir. Kaplama tabakasının mikrosertlik değerleri alt tabakasına göre oldukça yüksek değerler kaydedilmiştir. Sıcaklık ve sürenin artmasına paralel olarak, sertlik değerleri de artmıştır. En yüksek sertlik değeri 2335 HV olarak ölçülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Stüber M, Leiste H, Ulrich S, Holleck H, Schild D. Microstructure and properties of low friction TiC-C nanocomposite coatings deposited by magnetron sputtering. Surf Coat Technol 2002; 150: 218-226.
- [2] Hu Y, Li L, Cai X, Chen Q, Chu P.K. Mechanical and tribological properties of TiC/amorphous hydrogenated carbon composite coatings fabricated by DC magnetron sputtering with and without sample bias. Diam Relat Mater 2007; 16(1): 181-186.
- [3] El Mel A.A, Gautron E, Christien F, Angleraud B, Tessier P.Y. Titanium carbide/carbon nanocomposite hard coatings: a comparative study between various chemical analysis tools. Surf Coat Technol 2014; 256: 41-46.
- [4] Arai T, Moriyama S. Growth behavior of vanadium carbide coatings on steel substrates by a salt bath immersion coating process. Thin Solid Films 1994; 249 (1): 54-61.
- [5] Dong W, Xu L, Wen J, Lin Q, Wang Z. Gallling mechanism in metal forming process with TRD coated die against advanced high strength steel sheet. Procedia Engineering 2017; 207: 2233-2238.
- [6] Zhang K, Wen M, Cheng G, Li X, Meng Q.N, Lian J.S. Reactive magnetron sputtering deposition and characterization of niobium carbide films. Vacuum 2014; 99: 233-241.

- [7] Aghaie-Khafri M, Fazlalipour F. Vanadium carbide coatings on die steel deposited by the thermo-reactive diffusion technique. *J Phys Chem Solids* 2008; 69: 2465-2470.
- [8] Chaliampalias D, Vourlias G, Pavlidou E, Skolianos S, Chrissafis K, Stergioudis G. Comparative examination of the microstructure and high temperature oxidation performance of NiCrBSi flame sprayed and pack cementation coatings. *Appl Surf Sci* 2009; 255(6): 3605-3612.
- [9] Oliveira C.K.N, Benassi C.L, Casteletti L.C. Evaluation of hard coatings obtained on AISI D2 steel by thermo-reactive deposition treatment. *Surf Coat Technol* 2006; 201: 1880-1885.
- [10] Fan X.S, Yang Z.G, Xia Z.X, Zhang C, Che H.Q. The microstructure evolution of VC coatings on AISI H13 and 9Cr18 steel by thermo-reactive deposition process. *J Alloys Compd* 2010; 505: 15-18.
- [11] Ghadi A, Soltanieh M, Saghafian H, Yang Z.G. Investigation of chromium and vanadium carbide composite coatings on CK45 steel by Thermal Reactive Diffusion. *Surf Coat Technol* 2016; 289: 1-10.
- [12] Chen Y.M, Yu G.P, Huang J.H. Role of process parameters in the texture evolution of TiN films deposited by hollow cathode discharge ion plating. *Surf Coat Technol* 2001; 141: 156-163.
- [13] Fan X.S, Yang Z.G, Zhang C, Zhang Y.D, Che H.Q. Evaluation of vanadium carbide coatings on AISI H13 obtained by thermo-reactive deposition/diffusion technique. *Surf Coat Technol* 2010; 205: 641-646.
- [14] Zhang J, Li S, Lu C, Sun C, Huang M. Anti-wear titanium carbide coating on low-carbon steel by thermo-reactive diffusion. *Surf Coat Technol* 2019; 364(25): 265-272.
- [15] Akamatsu S, Hasebe M, Senuma T, Matsumura Y, Kisue O. Thermodynamic calculation of solute carbon and nitrogen in Nb and Ti added extra-low carbon steels. *ISIJ Int* 1994; 34: 9-16.
- [16] Kurt B, Sinoplu O, Carboga C, Demirel B. The investigation and growth kinetics of TiC coatings on AISI D3 steel produced by thermo-reactive diffusion technique. *Pract Metallogr* 2014; 51:95-106.
- [17] Oliveira C.K.N, Muñoz Riofano R.M, L. Casteletti C. Formation of carbide layers on AISI H13 and D2 steels by treatment in molten borax containing dissolved both Fe-Nb and Fe-Ti powders. *Mater Lett* 2005; 59:14-15:1719-1722.
- [18] Soltani R, Sohi M.H, Ansari M, Haghighi A, Haftlang F. Evaluation of niobium carbide coatings produced on AISI L2 steel via thermo-reactive diffusion technique. *Vacuum* 2017; 146: 44-51.
- [19] De Damborenea J. Surface modification of metals by high power lasers. *Surf Coat Technol* 1998; 100: 377-382.
- [20] Sen U. Friction and wear properties of thermo-reactive diffusion coatings against titanium nitride coated steels. *Mater and Design* 2005; 26(2): 167-174.

HVOF Yöntemi ile Gerçekleştirilen Stellite-1 Kaplamaların Aşınma Kayıplarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini

Turan GÜRGENÇ*

Otomotiv Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE
tgurgenc@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 23/04/2019;

Kabul/Accepted: 02/07/2019)

Öz: Bu çalışmada, yüksek hızlı oksijen-yakıt püskürtme (HVOF) tekniği ile Stellite-1 tozu ile kaplanan AZ91D magnezyum alaşımının aşınma davranışı araştırıldı. Deney numunelerinin aşınma kayıpları farklı yük ve kayma mesafeleri için laboratuvar deneyleri ile ölçüldü ve bu değerler yapay sinir ağları (YSA) modellemede veri seti olarak kullanıldı. Çalışmada kullanılan veri seti 108 adet aşınma kaybı verisinden oluşmaktadır. YSA modellemede giriş parametreleri olarak; numune çeşidi, ortalama sertlik ($HV_{0.1}$), yüzey pürüzlülüğü ($Ra=\mu m$), normal kuvvet (N) ve kayma mesafesi (m) kullanıldı. Çıkış parametresi olarak ise aşınma kaybı (AK) miktarları (mg) kullanıldı. YSA ile aşınma kayıplarının tahmininde başarı oranı 0.9793' dür.

Anahtar kelimeler: HVOF, Yüzey kaplama, Stellite-1, Aşınma, Yapay sinir ağları, Aşınma kaybı tahmini.

Prediction of Wear Losses of Stellite-1 Coatings Performed by HVOF Method with Artificial Neural Networks

Abstract: In this study, the wear behavior of AZ91D magnesium alloy coated with Stellite-1 powder by high speed oxy-fuel spraying (HVOF) technique was investigated. The wear losses of the test samples were measured by laboratory tests for different loads and sliding distances and these values were used as data set in artificial neural networks (ANN) modeling. The data set used in the study consists of 108 wear loss data. As the input parameters in ANN modeling; sample type, average hardness ($HV_{0.1}$), surface roughness ($Ra=\mu m$), normal force (N) and sliding distance (m) were used. Wear loss (WL) amounts (mg) were used as output parameters. The success rate is determined as 0.9793 in the prediction of wear losses with ANN.

Key words: HVOF, Surface coating, Stellite-1, Wear, Artificial neural network, Wear loss prediction.

1. Giriş

Magnezyum alaşımları, düşük yoğunlukları, yüksek özgül dayanıklılıkları ve üstün biyouyumlulukları nedeniyle havacılık, otomotiv endüstrilerinde ve biyolojik implantlarda son yıllarda oldukça büyük ilgi görmektedir [1]. Bu gibi olumlu özelliklerinin yanında magnezyum alaşımlarının korozyon ve aşınma dirençleri oldukça düşüktür. Bu olumsuzluklar magnezyum alaşımlarının kullanım alanlarını oldukça sınırlandırmaktadır [2, 3]. Malzeme yüzeylerini korozyon ve aşınmaya karşı dayanıklı hale getirmede kullanılan en etkin metot yüzey kaplamadır. Çeşitli yüzey kaplama metotları olmakla birlikte, sıklıkla kullanılan metotlardan biri termal sprej kaplama yöntemidir [4]. Uygulamada alev sprej [5], plazma sprej [6], ark sprej [7], HVOF [8] ve soğuk sprej [9] gibi spreyle yüzey kaplama yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler içerisinde HVOF' nin düşük porozite, düşük oksitlenme, yüksek bağlanma mukavemeti, mükemmel korozyon ve aşınma direnci gibi avantajları mevcuttur [10, 11]. Magnezyum alaşımlarının yüzeyi HVOF yöntemi ile literatürde, WC-12Co [12], Al-SiC [13], 316L paslanmaz çelik [14] ve Al/SiCp [15] gibi yüzey kaplama tozlarıyla kaplanmıştır.

Stellite kaplama ile malzeme yüzeylerinde oldukça sert ve aşınma dirençli kaplama tabakaları meydana getirilmektedir. Bunun nedeni Stellite kaplamayla yüzeyde meydana getirilen sert karbürlerdir. Stellite tozlarıyla gerçekleştirilen kaplamaların aşınma dayanımları oldukça yüksektir [16].

Bir malzemenin aşınması temas geometrisine, yüzey pürüzlülüğüne, mikroyapısal özelliklere, tane boyutlarına, kırılma tokluğuna, hıza, yüke, sıcaklığa, süreye, çevreye ve yağlamaya bağlıdır. Tüm bu faktörler nedeniyle aşınma oldukça kompleks bir sistemin fonksiyonudur [17]. Bu nedenle aşınma deneyleri maliyetli ve uzun zaman alan deneylerdir. Aşınma miktarlarının deney yapılmadan yapay zeka yöntemleri kullanılarak tahmin edilmesiyle aşınma deneylerinde ortaya çıkan iş gücü, maliyet ve zaman kaybının önüne geçilebilecektir [18]. Malzemelerin aşınmasını tahmin etme yeteneği, yeni malzemelerin farklı teknolojilere başarılı bir şekilde uygulanması için çok önemli olan evrensel bir yaklaşımdır [17]. Aşınmayı tahmin etmede en sık kullanılan

* Sorumlu yazar: tgurgenc@firat.edu.tr. Yazarın ORCID Numarası: 0000-0002-7678-2673

yöntemlerden biri yapay sinir ağlarıdır (YSA). YSA modellemesi biyolojik sinir sisteminden ilham almıştır ve çok çeşitli karmaşık bilimsel ve mühendislik problemlerini çözmek için günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu matematiksel teknik, örnek olarak öğrenme ve örnek olaylardan bir dizi giriş ve çıkış değerindeki kalıpları tanıma yeteneği nedeniyle fiziksel modellerle açıklanması zor olan herhangi bir korelasyonun simülasyonları için oldukça kullanışlıdır [19]. Literatürde farklı malzemelerin ve kaplamaların aşınma davranışlarını belirlemede YSA başarılı bir şekilde kullanılmıştır [19-23].

Bu çalışmada yüzeyi HVOF yöntemi ile farklı parametrelerde Stellite-1 tozu ile kaplanan magnezyum alaşımının aşınma kaybı verilerinden yararlanılmıştır. Aşınma kayıp miktarları farklı yük ve mesafeler için deneysel olarak tespit edilmiş ve aşınma kayıplarının tahmininin YSA kullanılarak yapılabileceği gösterilmiştir. Yapılan çalışmada ilk bölümde çalışma hakkında kısaca bilgi verilmiş, ikinci bölümde deneysel olarak aşınma kaybı verilerinin nasıl elde edildiği detaylıca açıklanmış, üçüncü bölümde YSA ile ilgili bilgi verildikten sonra dördüncü bölümde tartışma ve sonuçlara yer verilmiştir. Beşinci ve son bölümde ise çalışmada elde edilen genel sonuçlar açıklanmıştır.

2. Deneysel Verilerin Elde Edilmesi

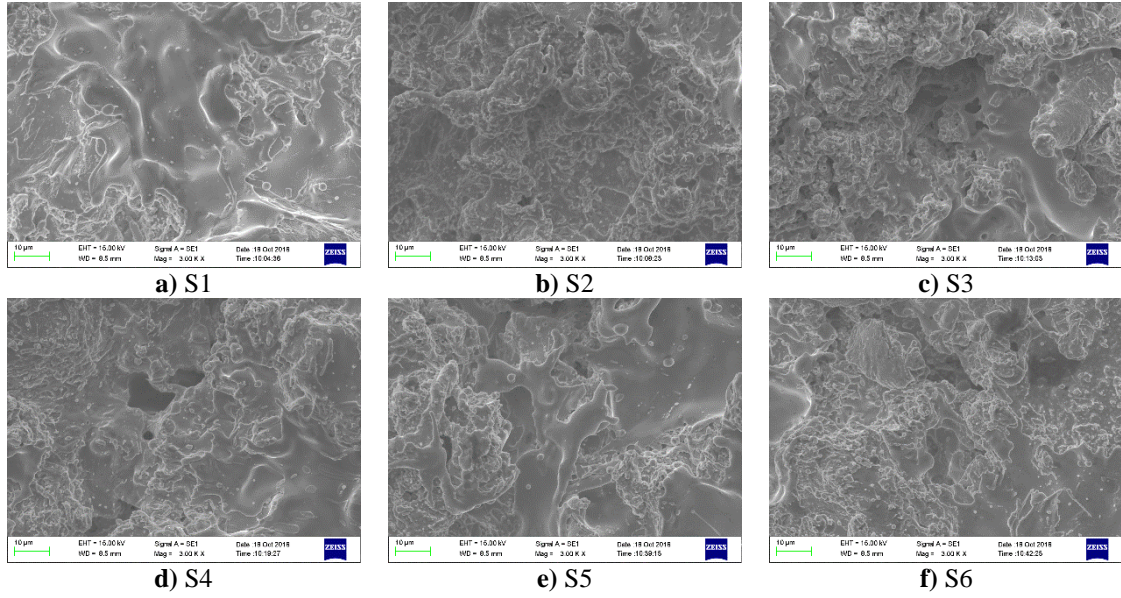
Mevcut çalışmada, 20 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda AZ91D magnezyum alaşımı altlık malzeme olarak kullanılmıştır. Numuneler ilk olarak 15 dakika ultrasonik banyoda etanol ile temizlenmiş ve daha sonra yine ultrasonik banyoda saf su ile 15 dakika durulanmıştır. Numunelerin üzerindeki nem sıcak hava ile giderilmiştir. Kaplamadan önce yüzeyler 5 bar basınçta Al_2O_3 kumu ile kumlanmış ve pürüzlendirilmiştir. Yüzeyler GTV marka Stellite-1 tozu ile (Tablo 2.1) HVOF yöntemi kullanılarak Tablo 2.2’ de verilen parametrelerde kaplanmıştır. Kaplanan numunelerin kaplama yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 2.1’ de görülmektedir. Kaplama yüzeylerinin yüzey pürüzlülük değerleri Mitutoyo SJ-201 profilometre kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler kaplamanın 10 farklı noktasından gerçekleştirilmiş ve ortalaması alınarak yüzey pürüzlülük değerleri hesaplanmıştır (Şekil 2.2). Kaplanan numuneler tel erozyon yöntemi ile aşınma deneylerinde kullanılmak üzere 10 mm’ lik parçalara bölünmüştür. Kesilen parçalar 15 dakika ultrasonik banyoda etanol ile temizlenmiş, daha sonra yine ultrasonik banyoda saf su ile durulanmış ve üzerindeki nem sıcak hava ile giderilmiştir.

Tablo 2.1. Stellite-1 özellikleri.

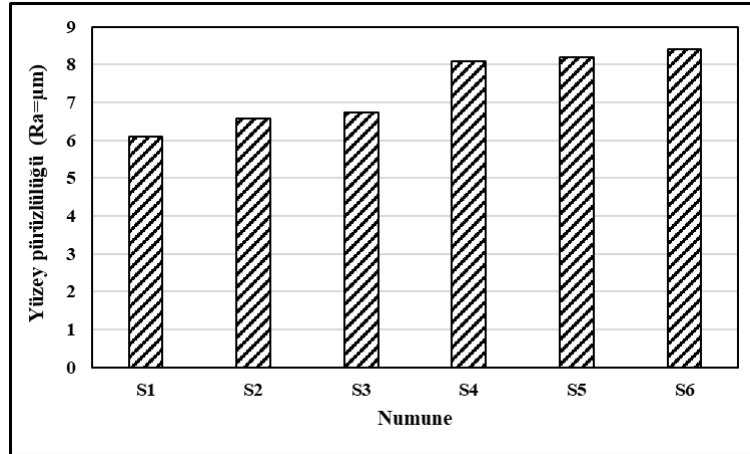
Element	Cr	W	C	Co
Kimyasal kompozisyon (ağ.-%)	30	12	1.5	bal.
Toz boyutu	-53 +20 μm			

Tablo 2.2. Plazma sprey kaplama

Numune	Oksijen debisi (l/dk.)	Propan debisi (l/dk.)	Sprey mesafesi (mm)	Toz besleme oranı (g/dk.)	Taşıyıcı gaz debisi (l/dk.)
S1	250	60	260	50	25 (nitrojen)
S2	250	60	270		
S3	250	60	280		
S4	200	50	260		
S5	200	50	270		
S6	200	50	280		

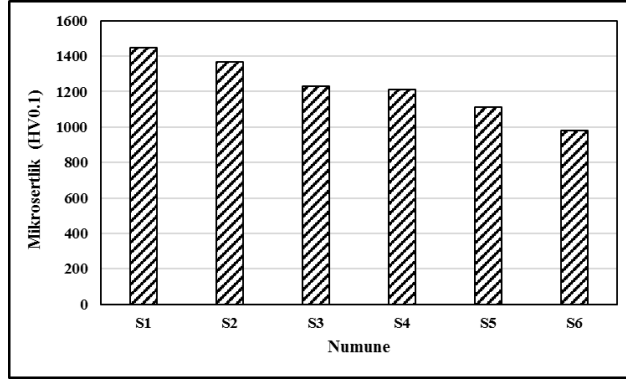


Şekil 2.1. HVOF ile Stellite-1 kaplı yüzeylerin SEM fotoğrafları (x3000).

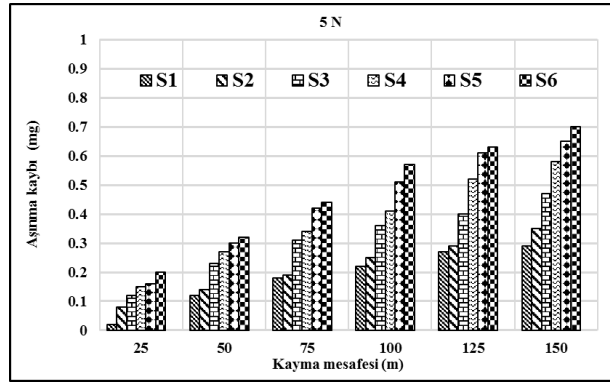


Şekil 2.2. Yüzey pürüzlülük değerleri.

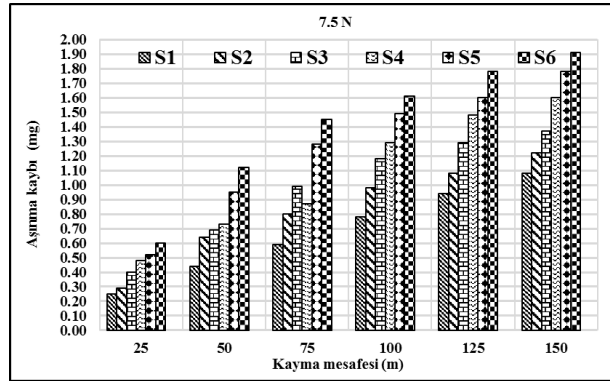
Kaplama tabakalarının sertlikleri 5 farklı noktadan ölçülen değerlerin ortalaması alınarak bulunmuştur. Her ölçüm 10 saniye boyunca 100 g kütle uygulanarak yapılmıştır. Şekil 2.3' her bir kaplamaya ait ortalama sertlik değerleri görülmektedir. Aşınma deneyleri disk-on-disk tip kuru kaymalı aşınma deney cihazında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı olarak 40 mm çapında AISI 52100 yatak çeliği kullanılmış ve aşınma testi sırasıyla 5, 7.5, 10 N normal yük, 150 m kayma mesafesi ve 100 mm/s kayma hızı ile yapılmıştır. Her 25 m' de bir aşınma kayıpları 10^{-5} (g) hassasiyetindeki terazi ile ölçülmüştür. Her test üç kez tekrar edilmiş ve bunların ortalaması alınmıştır. Şekil 2.4-6' da farklı yük değerlerinde kayma mesafesine bağlı aşınma kayıpları görülmektedir. Kaplanmış numunelerin aşınma kayıpları kaplamaların sertliği arttıkça sertliğin aşınma direnci üzerindeki olumlu etkisinden dolayı azalmıştır. Aşınma direnci tüm yük değerlerinde en yüksek olan numune S1 ve en düşük olan numune S6' dır. Aşınma miktarları kaplama sırasındaki ısı enerjisinin azalmasıyla ve sprej mesafesinin artmasıyla artmıştır. Bunun nedeni olarak bu parametrelerde kaplama tozlarının yeterince ergimemesi ve buna bağlı olarak kaplamalardaki boşluk ve gözeneklerin artması gösterilebilir. Yine yük arttıkça aşınma miktarları da artmıştır.



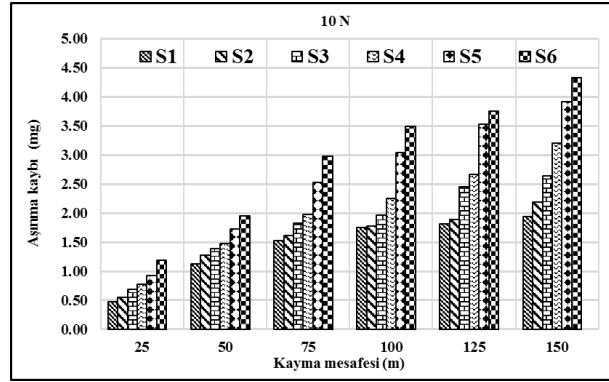
Şekil 2.3. Numunelerin kaplama tabakası ortalama sertlikleri.



Şekil 2.4. 5 N yükte kayma mesafesine bağlı aşınma kayıpları.



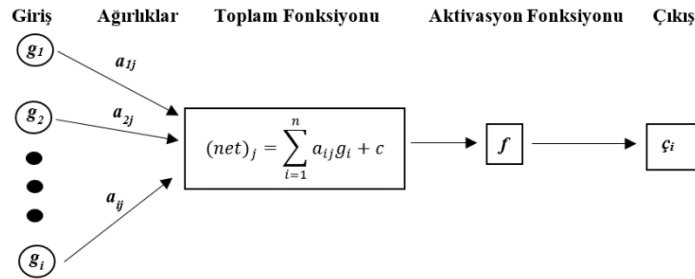
Şekil 2.5. 7.5 N yükte kayma mesafesine bağlı aşınma kayıpları.



Şekil 2.6. 10 N yükte kayma mesafesine bağlı aşınma kayıpları.

3. Yapay Sinir Ağları (YSA)

İnsan beyninden esinlenerek ortaya çıkan yapay sinir ağları birçok farklı alanda regresyon analizi için başarı ile uygulanmaktadır. YSA birçok farklı veri setinde uygulanabilmektedir. Uygulandığı veri setinde, verilerin birbirleri ile olan ilişkileri çıkarabilmekte ve uzmanlar tarafından hesaplanması ya da bulunması zor değerleri tahmin edebilmektedir [24]. Yapay sinir ağları doğrusal olmayan fonksiyonları modellemek için kullanılan ve geliştirilebilen bir yöntemdir. Doğrusal olmayan her işlevi istenen doğruluk düzeyinde tahmin edebilmektedir. Yapay sinir ağlarının doğrusal olmayan fonksiyonları tahmin etmedeki geliştirilebilir ve uygulanabilir olması yapay sinir ağlarını veri işleme için paha biçilmez yöntemlere dönüştürmektedir [25]. YSA, insan sinir sistemi hücrelerine benzer şekilde modellenen yapay nöronlardan oluşmaktadır. Her yapay nöron birbirine belirli bir ağırlıkla bağlanmaktadır. Bu yapay nöronlar ağı katmanlarında toplanmaktadır. Bir katmanın çıktısı bir sonraki katmanın girişini oluşturmaktadır. Böylece, YSA sorunu öğrenir ve çıktı ya da çıktıları üretebilmektedir. Şekil 3.1’ de tipik bir YSA nöron modeli görülmektedir [26].



Şekil 3.1. YSA nöron modeli.

Yapay sinir ağı modeli; girişler, ağırlıklar, toplam, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış veya çıkışlardan oluşmaktadır. Temel yapay sinir ağı modelinin hesaplanması aşağıdaki Denklem 1’ de verilmiştir.

$$(net)_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} g_i + c \quad (1)$$

Aktivasyon Fonksiyonu: Sinir ağında problemi çözme yeteneği ve verimliliği, büyük ölçüde ağ yapısına ek olarak ağ tarafından kullanılan aktivasyon fonksiyonuna bağlıdır. Aktivasyon fonksiyonunun seçimi, ağı yakınsama hızı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Aktivasyon fonksiyonunun seçimi farklı fiili probleme göre değişmektedir [27]. Bir çok farklı aktivasyon fonksiyonları bulunmaktadır. Bu çalışmada aktivasyon denklemi olarak sigmoid kullanılmıştır. Aşağıda verilen Denklem 2 bu çalışmada kullanılan aktivasyon fonksiyonunun denklemdir.

$$f(net)_j = \frac{1}{1 + e^{-a(net)_j}} \quad (2)$$

4. Tartışma ve Sonuçlar

Yapılan çalışmada giriş parametreleri olarak 5 farklı özellik kullanılmıştır. Bunlar numune çeşidi, ortalama sertlik ($HV_{0.1}$), yüzey pürüzlülüğü ($R_a=\mu m$), normal kuvvet (N) ve kayma mesafesidir (m). Çıkış parametresi olarak HVOF yöntemi ile Stellite-1 tozu ile kaplanan AZ91D magnezyum alaşımının aşınma kaybı (AK) miktarları (mg) tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yapay sinir ağının modellenmesi için Fırat Üniversitesi'ne ait olan lisanslı Matlab programı kullanılmıştır. Yapay sinir ağının modellenmesinde gizli nöron sayısı 10 olarak alınmış, öğrenme algoritması olarak levenberg-marquardt yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada veri seti; eğitim seti, validasyon seti ve test seti olarak üçe ayrılmıştır. Veri setinin yüzde 70' ini eğitim seti (76), yüzde 15' ini validasyon (16) ve yüzde 15' ini test seti (16) oluşturmaktadır. Tablo 4.1' de test verisini oluşturan yüzde 30' luk kısmın laboratuvar ortamında gerçekleştirilen kuru kaymalı aşınma deneyi sonucunda elde edilen hedef değerleri ve yapay sinir ağı sonucunda bulunan tahmin sonuçları verilmiştir. Görüldüğü gibi tahmin sonuçları deneysel verilere yakın değerlerdedir.

Oluşturulan modelin test edilmesi için regresyon analizinde sıklıkla kullanılan test metriklerinden R-değeri (Denklem 3), Ortalama Mutlak Hata (OMH) Denklem 4, Ortalama Kare Hata (OKH) Denklem 5 ve Kök Ortalama Kare Hata (KOKH) Denklem 6 değerleri kullanılmıştır. OMH iki sürekli değişken arasındaki farkın ölçüsüdür. OMH, her gerçek değer ile veriye en iyi uyan çizgi arasındaki ortalama dikey mesafedir. OKH bir regresyon eğrisinin bir dizi noktaya ne kadar yakın olduğunu söyler. OKH, bir YSA modelinin performansını ölçer, her zaman pozitif değerlidir ve OKH değeri sıfıra yakın olan daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir. KOKH YSA modelinin, tahminle içinin tahmin ettiği değerler ile gerçek değerleri arasındaki uzaklığın bulunmasında sıklıkla kullanılan, hatanın büyüklüğünü ölçen bir metriktir. KOKH tahmin hatalarının standart sapmasıdır. Parametrelere ait denklemler aşağıda verilmiştir.

$$R - \text{değeri} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |e_j| \quad (4)$$

$$OKH = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_j^2 \quad (5)$$

$$KOKH = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n e_j^2}{n}} \quad (6)$$

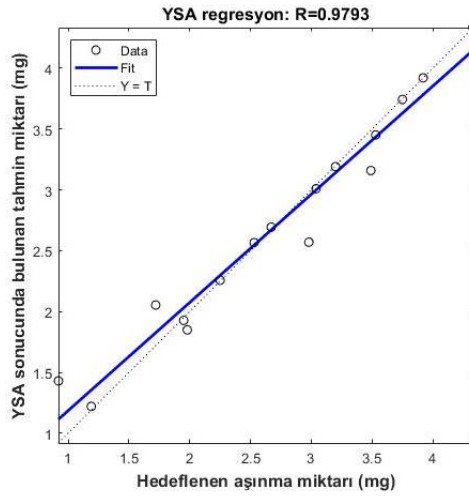
Tablo 4.1. Deneysel ve YSA ile tahmin edilen aşınma kayıplarının karşılaştırılması.

	Numune No.	Ortalama sertlik ($HV_{0.1}$)	Yüzey pürüzlülüğü ($R_a=\mu m$)	Normal Kuvvet (N)	Kayma mesafesi (m)	Deneysel AK (mg)	Tahmin edilen AK (mg)
1	4	1212	8.078	10	75	1.98	1.85
2	4	1212	8.078	10	100	2.25	2.26
3	4	1212	8.078	10	125	2.67	2.69
4	4	1212	8.078	10	150	3.20	3.19
5	5	1110	8.194	10	25	0.92	1.43
6	5	1110	8.194	10	50	1.72	2.05
7	5	1110	8.194	10	75	2.53	2.57
8	5	1110	8.194	10	100	3.04	3.01
9	5	1110	8.194	10	125	3.53	3.45
10	5	1110	8.194	10	150	3.92	3.92
11	6	982	8.398	10	25	1.19	1.22
12	6	982	8.398	10	50	1.95	1.93
13	6	982	8.398	10	75	2.98	2.57
14	6	982	8.398	10	100	3.49	3.16
15	6	982	8.398	10	125	3.75	3.74
16	6	982	8.398	10	150	4.33	4.33

YSA modelinin test edilmesi sonucunda bulunan değerler Tablo 4.2.' de ve regresyon grafiği ise Şekil 4.1' de verilmiştir. Tablo 4.2' de görüldüğü gibi çalışmanın sonucunda R-değeri 0.9793, OMH değeri 0.1228, OKH değeri 0.0423 ve KOKH değeri 0.2057 olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda HVOF yöntemi ile Stellite-1 tozu ile kaplanan AZ91D magnezyum alaşımının aşınma kayıplarının tahmininde YSA' nın başarılı bir şekilde uygulanabileceği gözlemlenmiştir. Önerilen YSA modelinin HVOF ile yüzey kaplama sanayinde kullanılmasıyla yeni bir ürün tasarlarken gerekli olabilecek aşınma deneylerinden kaynaklı maliyet ve zaman kaybı azaltılabilir.

Tablo 4.2. YSA ile aşınma kayıplarının tahmin performansı

R-değeri	OMH	OKH	KOKH
0.9793	0.1228	0.0423	0.2057



Şekil 4.1. Regresyon analiz grafiği.

5. Sonuçlar

- HVOF yöntemi ile farklı parametrelerde Stellite-1 tozu ile yüzeyi kaplanmış AZ91D magnezyum alaşımının aşınma kayıp miktarları önerilen YSA modeli ile tahmin edilebilmektedir.
- Önerilen model kullanılarak HVOF yöntemi ile gerçekleştirilen Stellite-1 kaplamaların aşınma deneyleri sonucunda ortaya çıkan, maliyet, zaman ve iş gücü kaybı azaltılabilir.
- YSA ile aşınma kayıpları başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir ve R-değeri 0.9793 hesaplanmıştır.
- Ortalama Mutlak Hata değeri 0.1228, Ortalama Kare Hata değeri 0.0423 ve Kök Ortalama Kare Hata değeri ise 0.2057' dir.

6. Kısaltmalar

HVOF: Yüksek hızlı oksji-yakıt püskürtme

YSA: Yapay sinir ağları

AK: Aşınma kaybı

OMH: Ortalama mutlak hata

OKH: Ortalama Kare Hata

KOKH: Kök Ortalama Kare Hata

Kaynaklar

- [1] Tong L, Zhang J, Xu C, Wang X, Song S, Jiang Z, Kamado S, Cheng L, Zhang H. Enhanced corrosion and wear resistances by graphene oxide coating on the surface of Mg-Zn-Ca alloy. Carbon 2016; 109: 340-351

- [2] Cui L-Y, Gao S-D, Li P-P, Zeng R-C, Zhang F, Li S-Q, Han E-H. Corrosion resistance of a self-healing micro-arc oxidation/polymethyltrimethoxysilane composite coating on magnesium alloy AZ31. *Corrosion Science* 2017; 118: 84-95
- [3] Gnedenkov S, Sinebryukhov S, Mashtalyar D, Nadaraia K, Gnedenkov A, Bouznic V. Composite fluoropolymer coatings on the MA8 magnesium alloy surface. *Corrosion Science* 2016; 111: 175-185
- [4] Praveen A S, Sarangan J, Suresh S, Channabasappa B. Optimization and erosion wear response of NiCrSiB/WC–Co HVOF coating using Taguchi method. *Ceramics International* 2016; 42(1): 1094-1104
- [5] Özel C, Akgün G, Gürgenc T. Microstructure, wear and friction behavior of AISI 1045 steel surfaces coated with mechanically alloyed Fe16Mo2Co.25Mn/Al2O3-3TiO2 powders. *Materials Testing* 2017; 59(10): 921-928
- [6] Deshpande P, Minfray C, Dassenoy F, Thiebaut B, Le Mogne T, Vacher B, Jarnias F. Tribological behaviour of TiO2 Atmospheric Plasma Spray (APS) coating under mixed and boundary lubrication conditions in presence of oil containing MoDTC. *Tribology International* 2018; 118: 273-286
- [7] Kumar D, Murtaza Q, Singh R. Sliding wear behavior of aluminum alloy coating prepared by two-wire electric arc spray process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2016; 85(1-4): 237-252
- [8] Zavareh M A, Sarhan A A D M, Razak B B, Basirun W J. The tribological and electrochemical behavior of HVOF-sprayed Cr3C2–NiCr ceramic coating on carbon steel. *Ceramics International* 2015; 41(4): 5387-5396
- [9] Dayani S, Shaha S, Ghelichi R, Wang J, Jahed H. The impact of AA7075 cold spray coating on the fatigue life of AZ31B cast alloy. *Surface and Coatings Technology* 2018; 337: 150-158
- [10] Koga G, Schulz R, Savoie S, Nascimento A, Drolet Y, Bolfarini C, Kiminami C, Botta W. Microstructure and wear behavior of Fe-based amorphous HVOF coatings produced from commercial precursors. *Surface and Coatings Technology* 2017; 309: 938-944
- [11] Picas J, Punset M, Rupérez E, Menargues S, Martin E, Baile M. Corrosion mechanism of HVOF thermal sprayed WC-CoCr coatings in acidic chloride media. *Surface and Coatings Technology* 2018
- [12] Parco M, Zhao L, Zwick J, Bobzin K, Lugscheider E. Investigation of HVOF spraying on magnesium alloys. *Surface and Coatings Technology* 2006; 201(6): 3269-3274
- [13] López A, Torres B, Taltavull C, Rams J. Influence of high velocity oxygen-fuel spraying parameters on the wear resistance of Al–SiC composite coatings deposited on ZE41A magnesium alloy. *Materials & design* 2013; 43: 144-152
- [14] García-Rodríguez S, López A, Torres B, Rams J. 316L stainless steel coatings on ZE41 magnesium alloy using HVOF thermal spray for corrosion protection. *Surface and Coatings Technology* 2016; 287: 9-19
- [15] Taltavull C, López A J, Torres B, Atrens A, Rams J. Optimisation of the high velocity oxygen fuel (HVOF) parameters to produce effective corrosion control coatings on AZ91 magnesium alloy. *Materials and Corrosion* 2015; 66(5): 423-433
- [16] Sawant M S, Jain N. Investigations on wear characteristics of Stellite coating by micro-plasma transferred arc powder deposition process. *Wear* 2017; 378: 155-164
- [17] Hsu S M, Shen M. Wear prediction of ceramics. *Wear* 2004; 256(9-10): 867-878
- [18] Altay O, Gürgenc T, Ulas M, Özel C. Prediction of wear loss quantities of ferro-alloy coating using different machine learning algorithms. *Friction* 2019: 1-8
- [19] Fathy A, Megahed A. Prediction of abrasive wear rate of in situ Cu–Al₂O₃ nanocomposite using artificial neural networks. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2012; 62(9-12): 953-963
- [20] Kavimani V, Prakash K S, Thankachan T. Surface characterization and specific wear rate prediction of r-GO/AZ31 composite under dry sliding wear condition. *Surfaces and Interfaces* 2017; 6: 143-153
- [21] Younesi M, Bahrololoom M, Ahmadzadeh M. Prediction of wear behaviors of nickel free stainless steel–hydroxyapatite bio-composites using artificial neural network. *Computational Materials Science* 2010; 47(3): 645-654
- [22] Rashed F, Mahmoud T. Prediction of wear behaviour of A356/SiCp MMCs using neural networks. *Tribology International* 2009; 42(5): 642-648
- [23] Sahraoui T, Guessasma S, Fenineche N, Montavon G, Coddet C. Friction and wear behaviour prediction of HVOF coatings and electroplated hard chromium using neural computation. *Materials Letters* 2004; 58(5): 654-660
- [24] Hamzaçebi C, Kutay F. Yapay sinir ağları ile Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2004; 19(3)
- [25] Esfe M H, Wongwises S, Naderi A, Asadi A, Safaei M R, Rostamian H, Dahari M, Karimipour A. Thermal conductivity of Cu/TiO₂–water/EG hybrid nanofluid: Experimental data and modeling using artificial neural network and correlation. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2015; 66: 100-104
- [26] Açikgenç M, Ulaş M, Alyamaç K E. Using an artificial neural network to predict mix compositions of steel fiber-reinforced concrete. *Arabian Journal for Science and Engineering* 2015; 40(2): 407-419
- [27] Yu X, Ye C, Xiang L. Application of artificial neural network in the diagnostic system of osteoporosis. *Neurocomputing* 2016; 214: 376-381

İnsan-Robot Etkileşiminde İnsan Güvenliği için Çok Kanallı İletişim Kullanarak Evrişimli Sinir Ağı Tabanlı Bir Yazılımının Geliştirilmesi ve Uygulaması

Mustafa Can BINGOL^{1*}, Ömür AYDOĞMUŞ²

^{1*}Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği, ELAZIĞ

²Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği, ELAZIĞ

^{1*} mustafacanbingol@gmail.com, ² oaydogmus@gmail.com

(Geliş/Received: 24/04/2019;

Kabul/Accepted: 02/07/2019)

Öz: Teknolojinin hızlı bir şekilde artması ile birlikte robotlara olan ilgi de giderek artmaktadır. Üretim amaçlı birçok uygulamada robotlar tek başına veya insanlar ile birlikte çalışmaları gerekmektedir. Robotik alanda bilgi ve tecrübeye sahip olmayan birçok işletme bu teknolojinin gerisinde kalmaktadır. İnsan-robot etkileşimi (İRE), robotik alanda uzman olmayan kişilerin robotları kolay bir şekilde kontrol etmesini sağlayarak robotların kullanımı yaygınlaştıracaktır. Bu robotlar istenilen görevleri yerine getirmelerinin yanı sıra aynı zamanda çalıştığı ortamda bulunan insanların güvenliğini de sağlamak zorundadırlar. Bundan dolayı, bu çalışmada insan güvenliği göz önüne alınarak güvenli insan-robot etkileşimi yazılımı (GİREY) geliştirilmiştir ve robot ile aynı ortamda çalışan insanın güvenliği sağlanmıştır. GİREY çok kanallı iletişimi kullanarak, çalışma ortamından görsel ve işitsel bilgileri toplar. GİREY topladığı bu bilgiler doğrultusunda evrişimli sinir ağı kullanarak ortamın tehlike düzeyini belirler ve robotun çalışma hızını kontrol eder. Geliştirilen GİREY bir endüstriyel robot olan KUKA KR Agilus KR6 R900 sixx üzerinde test edilmiştir ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: çok kanallı iletişim, evrişimli sinir ağı, insan-robot etkileşimi, endüstriyel robotlar.

Development and Implementation of a Convolutional Neural Network Based Software Using Multichannel Communication for Human Security in Human-Robot Interaction

Abstract: The interest in robots is also increasing with the rapid increase in technology. In many manufacturing applications, robots must work alone or they must work with human. Many businesses do not have knowledge and experience in the robotics, so they are lagging behind the technology. Human-robot interaction (HRI) will enable that non-expert human easily controls robots and, therefore, the use of the robot will become widespread. These robots, which are widespread, must not only execute the desired task but also provide human safety existed in the working environment. Hence, safe human-robot interaction software (SHRIS) was developed in this study and the safety of the human working in the same environment as the robot was undertaken control. SHRIS collects visual and audio information from the working environment using multimodal communication. According to this information, SHRIS determines the danger level of the environment by using convolutional neural network and controls the speed of the robot. Developed SHRIS was tested on KUKA KR Agilus KR6 R900 sixx, which is industrial robots, and successful results were obtained.

Key words: Multimodal communication, convolutional neural network, human-robot interaction, industrial robots.

1. Giriş

İnsan-robot etkileşimindeki son gelişmeler sayesinde, robotlar gelecekte birçok alanda insanların günlük yaşantılarının bir parçası olacaklardır. Örneğin Fong vd. yapmış olduğu çalışmada robot kol yürüme terapisi için kullanılırken [1], bir diğer Lafleche ve ekibinin yapmış olduğu çalışmada Baxter robotu insan gibi sosyal bir çevrede görmeye dayalı öğrenme işlemini gerçekleştirmiştir [2]. Bu çalışmaların yanı sıra Yatsuda ve ekibinin yapmış olduğu çalışma İRE'nin günlük hayatta sıkça karşılaşmaya başlayacağımızın kanıtı niteliğindedir [3]. Yatsuda ve ekibinin yapmış olduğu bu çalışmada yaşlı ve yalnız insanlar için bir robot tasarlanarak, bu insanların bakımı sağlanmıştır. Endüstriyel bir çalışma olan Du ve ekibinin gerçekleştirmiş olduğu çalışmada, endüstriyel bir robot konuşma ve el hareketleri yardımı ile programlanmıştır [4].

İRE insanların günlük yaşantısını kolaylaştırırken aynı zamanda insan güvenliğini tehlikeye sokmaktadır. Çünkü robotlar bir noktadan bir noktaya yönlendirilirken ölümcül kazalara yol açabilirler. Bundan dolayı, yaklaşık son yirmi yıldır farklı algılayıcı ve bilgi işleme yöntemleri kullanılarak güvenlik problemleri çözülmeye çalışılmaktadırlar. Zurada vd. 2001 yılında yapmış olduğu çalışmada, bir algılayıcı grubundan alınan bilgileri birleştirerek Yapay Sinir Ağına (YSA) uygulanmış ve YSA'nın çıkışına bırakılan bulanık sınıflandırıcı ile robotun

* Sorumlu yazar: mustafacanbingol@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-5448-8281, ² 0000-0001-8142-1146

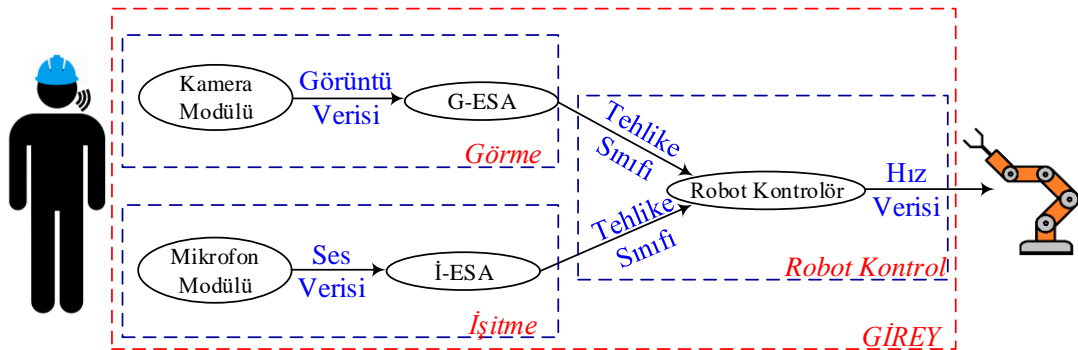
çalıştığı ortamın insan için tehlike düzeyini belirlemiştir [5]. Bir diğer çalışmada, işçi yeleği üzerinde kare şeklinde yerleştirilmiş 16 adet kapasitif algılayıcı ile bu algılayıcılardan gelen veriler Destek Vektör Makinası (DVM) yardımı ile sınıflandırılarak bir güvenlik yazılımı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu güvenlik yazılımı sayesinde endüstriyel bir robot ile insanın birlikte güvenli çalışması sağlanmıştır [6]. Lee ve ekibi ise iki adet lazer metreden alınan bilgileri Gizli Markov Modeli (GMM) kullanarak robot operatörü için tehlike analizi yapmışlardır [7]. Başka bir çalışmada, robotun çalıştığı ortama serilen bir algılayıcı yüzeyi sayesinde, insanların bastığı yerleri bir YSA yardımı ile algılayıp bu bilgiye göre robotun insana çarpmasını engelleyerek İRE ortamı güvenli hale getirilmiştir [8]. Sisbot ve Alami yaptıkları çalışmada, robot hareketlerini insanlar için sadece güvenli değil aynı zamanda konforlu hale getirmişlerdir [9] ve kızılötesi sensörlerin kullanıldığı diğer bir çalışmada, robot üzerine yerleştirilmiş algılayıcılardan alınan bilgilere göre robot insan çarpışması engellenmiştir [10]. Diğer bir çalışmada uyumlu uzuv algılayıcısı adı verilen ışık saçan ve ışığı algılayan bir yapı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu algılayıcı yapısı robota giyindirilerek insan algılaması sayesinde olası bir insan-robot çarpışmasının önüne geçilmiştir [11]. Diğer bir çalışmada, endüstriyel robotların çalışma ortamına ayırık şekilde çok sayıda radyo frekansı iletişim devresi yerleştirilmiştir. Çalışma uzayına giren bir insanın radyo dalgası gücünü azaltmasından yararlanılarak, robotların çalışma ortamlarında insan varlığını fark etmesi sağlanmıştır [12]. Kimmel ve Hirche'nin yapmış olduğu çalışmada ise değişmezlik kontrolü (Invariance Control) adını verdikleri özel bir kontrol yapısı ile güvenli İRE gerçekleştirmişler [13]. Dean-Leon vd. 2018 yılında yapmış olduğu çalışmada, üç boyutlu ivme, basınç algılayıcısı, yaklaşım algılayıcısı ve iki adet sıcaklık algılayıcısının da bulunduğu çok kanallı bir robot derisi tasarlamışlardır. Yapılan robot derisi sayesinde robotu programlayabilmişler ve güvenli İRE'ni gerçekleştirmişler [14].

İnsanlar iletişim kurarken sadece görerek veya dokunarak değil aynı zamanda bu iletişim yöntemlerinin bir kaçını birlikte kullanırlar. Bu çalışmada, güvenli insan-robot etkileşimi yazılımı insanların görme ve işitme özelliğinden ilham alınarak çok kanallı iletişim çerçevesi kullanarak geliştirilmiştir. Görme yetisi için İntel RealSense D415 derinlik kamerası ve işitme yetisi için Platoon PL-2454 mikrofonu kullanılmıştır. Bu sensörlerden elde edilen görüntü ve ses verileri Evrişimli Sinir Ağları (ESA) yardımı ile anlamlandırılarak endüstriyel bir robot olan KUKA KR Agilus KR6 R900 sixx robotunun kontrolünü sağlamıştır. Bu sayede, endüstriyel bir uygulamada bulunan bir robotun güvenli bir şekilde insan ortamında çalışabilir hale getirilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmanın daha önceki yapılan çalışmalardan ayıran özelliklerinden biri; gelişmiş bilgi işleme tekniklerinden olan ESA kullanmasıdır. Diğer bir fark ise; robot ile kullanıcıya herhangi bir giyilebilir algılayıcının olmaması ve özel bir aparata ihtiyaç duymamasıdır. Böylece, kullanıcının nitelikli bir personel olmasına gerek kalmadan endüstriyel bir robot ile sesli ve görsel olarak etkileşime girmesi sağlanmıştır. Ayrıca robot yanında bulunan insanın güvenliği de garanti altına alınmıştır. Geliştirilen yazılım deneysel olarak test edilmiş ve tatminkâr sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmanın bundan sonrası toplam dört bölüm olarak organize edilmiştir. İkinci kısımda güvenli insan-robot etkileşimi yazılımının yapısından bahsedilmiştir. Deneysel ortamı üçüncü kısımda verilmiştir. Sonuçlar ve değerlendirme sırası ile makalenin dördüncü ve beşinci bölümlerinde verilmiştir.

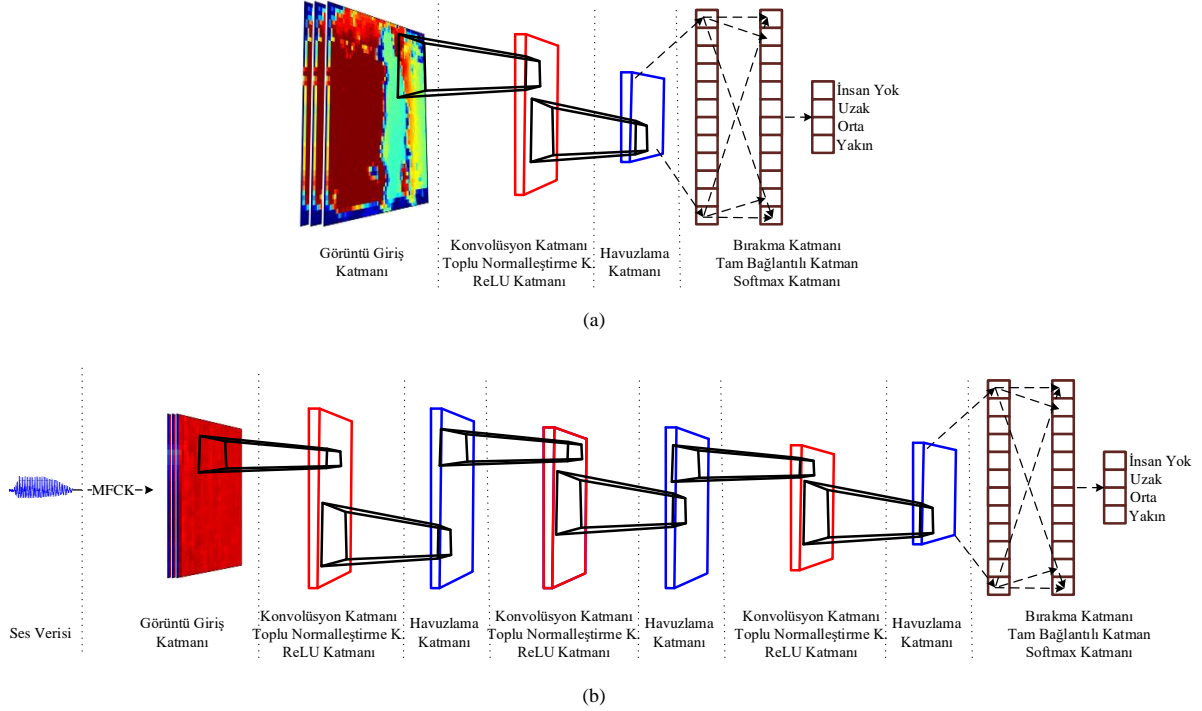
2. Güvenli İnsan-Robot Etkileşimi Yazılımı

GİREY yapısı; görme, işitme ve robot kontrolü olmak üzere üç temel kısım içermektedir. Bu kısımlar ve bloklar arası kullanılan veriler Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. GİREY'in çalışma prensibi diyagramı

GİREY'e bağlı bir kamera ve mikrofon yardımı ile ortamdaki alınan görüntü ve ses verileri ESA yardımı ile tehlike düzeyi belirlenerek robot kontrol kısmına iletilir. Şekil 1'de bulunan Görsel ESA (G-ESA) görme temelli evrişimli sinir ağı ve İşitsel ESA (İ-ESA) işitme temelli evrişimli sinir ağı temsil etmektedir. Robot kontrol kısmı ise yapılan işlemin hızını robotun çalıştığı ortamda insan bulunup bulunmama veya bulunan insanın ne kadar uzakta olduğuna göre gerçekleştirmesini sağlar. G-ESA ve İ-ESA kısmı ayrıntılı olarak Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. (a) G-ESA'nın iç yapısı, (b) İ-ESA'nın iç yapısı

Şekil 2'de bulunan MFCK Mel Frekanslı Cepstral Katsayılarını ifade etmektedir. MFCK özellik çıkartma yöntemi hakkında ayrıntılı bilgiye [15] numaralı yayınından ulaşılabilir. Bu çalışmada, ses sinyalinin her bir parçasından çıkartılan özellik katsayıları alt alta yerleştirilerek bir özellik matrisi elde edilmiştir. Elde edilen bu özellik matrisini sanki gri tonlamalı bir görüntü gibi kabul edilerek ESA'nın giriş katmanına uygulanmıştır. Şekil 2'nin (b) kısmında bulunan özellik matrisi daha rahat anlaşılabilmesi için renklendirilmiştir. G-ESA ve İ-ESA da kullanılan katmanlar sırası ile aşağıda verilmiştir.

- **Konvolüsyon Katmanı:** ESA yapısında bulunan en yoğun matematiksel işlemin gerçekleştiği katmandır. Katmanın işlevi belirlenen bir maske ile giriş matrisini konvolüsyon işlemine tabi tutmaktır. G-ESA'da konvolüsyon katmanının maske boyutu 5x5 ve filtre sayısı 128 olarak seçilmiştir. İ-ESA'da konvolüsyon katmanının maske boyutu giriş katmanından çıkışa doğru 3x3, 5x5 ve 7x7 olarak seçilmiştir. Filtre sayısı ise konvolüsyon katmanlarının hepsinde 128 olarak seçilmiştir.
- **Toplu Normalleştirme Katmanı:** Aktivasyon fonksiyonundan önce kullanılarak ortalama ve varyansı normalize eder. Bu sayede tasarlanan ağı öğrenme performansı artar.
- **ReLU Katmanı:** Yapay sinir ağlarının doğrultucusu olarak tanımlanabilecek bu katman, $f(x) = \max(0, x)$ fonksiyonunu kullanarak verinin aktivasyonunu sağlamaktadır.
- **Havuzlama Katmanı:** Giriş matrisinin belirlenen boyutlar içerisinde bulunan elamanlarından istenen özelliklere göre seçimini sağlar. Ortalama, maksimum havuzlama katmanı gibi çeşitleri vardır. Çalışmada bulunan G-ESA ve İ-ESA'da 3x3 boyutundaki maksimum havuzlama katmanı kullanılmıştır. Bu katman 3x3'lük maske içerisindeki maksimum değeri alarak çıkış katmanına ulaştırır.
- **Bırakma Katmanı:** Yapay sinir ağlarının problemlerinden biri olan aşırı uyum probleminin oluşmaması için kullanılmıştır. Katmanlar arası bazı bağlantıları pasifize ederek aşırı uyum sorununu engeller.
- **Tam Bağlantılı Katman:** Giriş ve çıkış katmanları arasında bütün veriler arasında bağ kurarak her giriş değerinin çıkış değeri arasındaki ilişkiyi belirler.

- *Softmax Katmanı*: Sınıflandırma problemlerinde kullanılan bu katman, giriş verisini sınıf sayısı kadar olasılığa softmax fonksiyonunu kullanarak dönüştürür. Algoritma 1’de gösterildiği gibi insanın ortamdaki konumuna göre robot farklı hızlar için set edilmiştir.

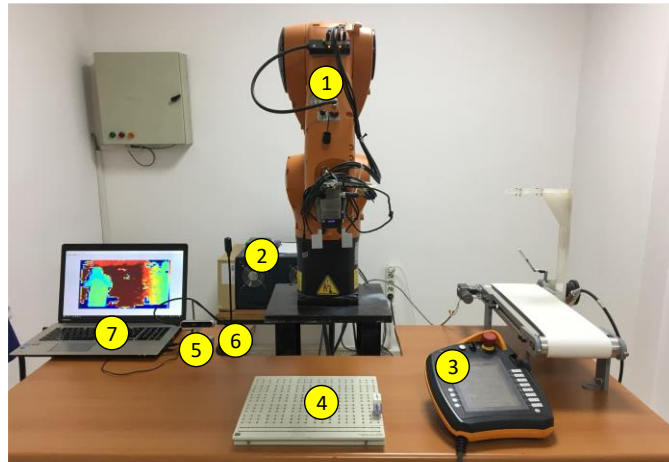
Algoritma 1 Robot hızı belirleme algoritması

```
1: Giriş:  $gTs$ ,  $iTs$ 
2: for  $i \leftarrow 1$  to 5
3:    $riTs = \text{sınıfi\_belirle}(iT_s)$ 
4:   if  $gTs == \text{"İnsan_Yok"}$  then
5:     if  $riTs == \text{"Uzak"}$  then
6:        $robot\_hiz \leftarrow 0.3$ 
7:     else if  $riTs == \text{"Orta"}$  then
8:        $robot\_hiz \leftarrow 0.1$ 
9:     else if  $riTs == \text{"Yakın"}$  then
10:       $robot\_hiz \leftarrow 0.0$ 
11:    else
12:       $robot\_hiz \leftarrow 0.5$ 
13:    else if  $gTs == \text{"Uzak"}$  then
14:       $robot\_hiz \leftarrow 0.3$ 
15:    else if  $gTs == \text{"Orta"}$  then
16:       $robot\_hiz \leftarrow 0.1$ 
17:    else
18:       $robot\_hiz \leftarrow 0.0$ 
19:  return  $robot\_hiz$ 
```

Algoritma 1’de gTs , iTs ve $robot_hiz$ sırası ile görsel tehlike seviyesini, işitsel tehlike seviyesini ve robot programının çalışma hızını ifade etmektedir. İnsanlarda görme işitmeye nazaran bir cismin nerede olduğunu saptamak için daha fazla kullanılan fonksiyondur. Bu sebepten dolayı geliştirilen robot hızı belirleme algoritmasında görme yetisi daha öncelikli yeti olarak atanmıştır. Ayrıca işitilen sesin genliği ortamdaki ve ses kaynağının farklılığından dolayı, ses kaynağının uzaklığını tam olarak ölçmek mümkün değildir. Bundan dolayı $sınıfi_belirle()$ fonksiyonu kullanılarak artarda işitilen beş sesteki hangi ses tehlike sınıfı daha fazla algılandığı belirlenir. Bu belirleme sayesinde robotun çalışma hızı tayin edilir.

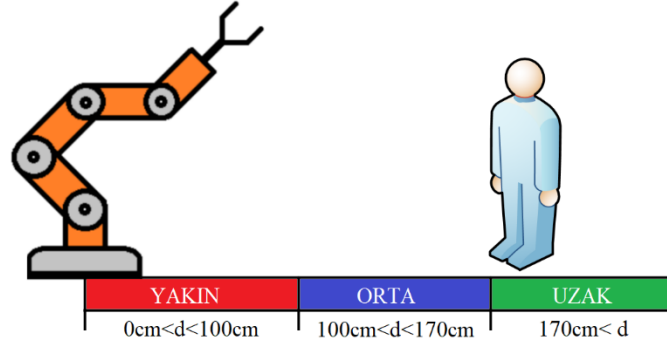
3. Robot-İnsan Etkileşimi İçin Çalışma Ortamı

Geliştirilen yazılım, KUKA KR Agilus KR6 R900 sixx robotunun insanlar ile birlikte güvenli bir şekilde çalışabilmesini sağlamak için kullanılmıştır. Hazırlanan deney düzeneği Şekil 3’te sunulmuştur.



Şekil 3. Deney Düzeneği

Bu çalışmada kullanılan endüstriyel robot sırası ile manipülatör (1), robot kontrol ünitesi (2) ve akıllı tablet (3) kısımlarından oluşmaktadır. Geliştirilen yazılımın test edileceği senaryo olan elektronik devre elemanı testi için diyot ve uygun test devresi (4) numarada gösterilmektedir. Derinlik kamerası (5) ve mikrofon (6) ile GİREY dış ortamdan görüntü ve ses verilerini elde etmektedir. Yazılımın çalışacağı PC (7) ile robot kontrol ünitesi arasında iletişim TCP-IP vasıtası ile KUKAVARPROXY yazılımı kullanılarak sağlanmıştır. Ayrıca kameranın görüş açısındaki 0-100 cm yakın, ikinci 100-170 cm orta ve ortadan sonrası uzak tehlike sınıfı olarak Şekil 4'te gösterildiği gibi belirlenmiştir.



Şekil 4 . Tehlike seviyeleri

4. Sonuçlar

Robotun çalışma ortamında bulunan bir insanı fark edebilmesi için kullanılan G-ESA'nın eğitimi için İnsan Yok, Yakın, Orta ve Uzak olmak üzere dört farklı sınıf için toplam iki bin adet görüntü verisi toplanmıştır. Toplanan verilerin yüzde %90'ı eğitim ve %10'u test için kullanılmıştır. Önerilen G-ESA'nın eğitim işlemi sonrası test verileri kullanılarak farklı sınıflandırma algoritmaları için hata oranları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Görüntü test verileri için hata oranları

Kullanılan Algoritma	Hata Oranı (%)
G-ESA	0.00
DVM	0.50
En Yakın k Komşu	1.50
Karar Ağacı	5.00

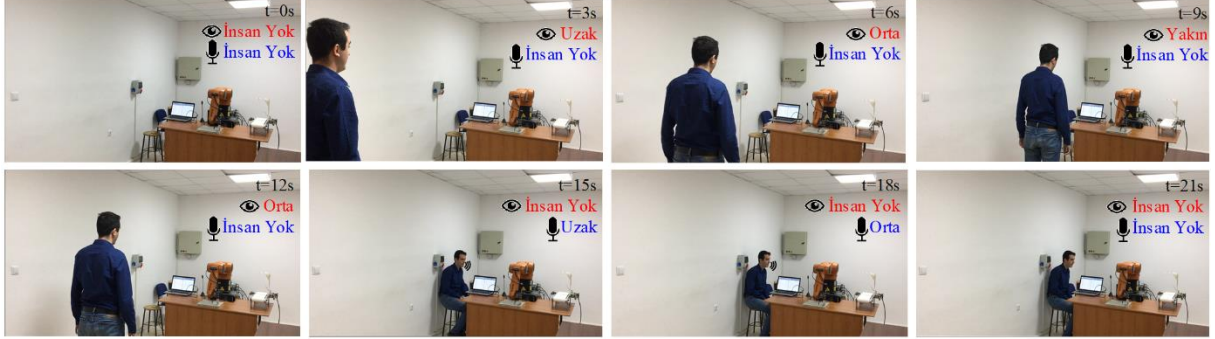
Tablo 1'den anlaşılacağı üzere, önerilen G-ESA'nın test doğruluk oranı %100'dür. Diğer bir kullanılan yapı olan İ-ESA'nın eğitimi için İnsan Yok, Yakın, Orta ve Uzak olmak üzere dört farklı sınıf için toplam bin adet 500ms'lik ses verisi toplanmıştır. Toplanan verilerin yüzde %90'ı eğitim ve %10'u test için kullanılmıştır. Önerilen İ-ESA'nın eğitim işlemi sonrası test verileri kullanılarak farklı sınıflandırma algoritmaları için hata oranları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Ses test verileri için hata oranları

Kullanılan Algoritma	Hata Oranı (%)
İ-ESA	38.75
DVM	43.75
Karar Ağacı	45.00
En Yakın k Komşu	53.75

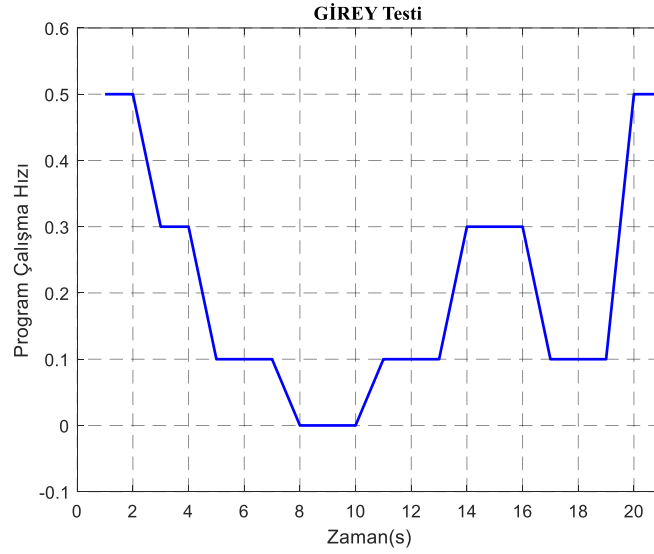
Hem G-ESA hem de İ-ESA literatürde sınıflandırma problemi için sıklıkla kullanılan en yakın k komşu, DVM ve karar ağacı algoritmaları karşılaştırılmıştır. Toplanan veriler belirlenen algoritmalar ile sınıflandırılmış ve en iyi sonuçlar önerilen G-ESA ve İ-ESA tarafından üretildiği görülmüştür. Konuşan insanın mesafesini algılamakta zorlanan İ-ESA, algıladığı sesin insan mı yoksa robotun çalışma sesi mi olduğunu anlamakta %88.1'lik bir başarımla

oranına sahiptir. Bu başarı oranı robot kontrol kısmında bulunan *sınıfı_belirle()* fonksiyonu kullanılarak arttırılmıştır. GİREY yazılımını test etmek için oluşturulan senaryo ve robot hızı grafiği Şekil 5 ve Şekil 6'da sırası ile sunulmuştur.



Şekil 5. Anlık olarak GİREY testi

Şekil 5'te zamana bağlı olarak robotun çalışma ortamında olan bir insanın bulunduğu konuma göre belirlenen tehlike sınıfları verilmiştir. Bu tehlike sınıflarından kırmızı yazı ile belirtilen G-ESA'nın çıkışıyken, mavi ile renklendirilen İ-ESA'nın çıkışını sembolize etmektedir. Bu olay gerçekleşirken GİREY'in robota uyguladığı hız Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. GİREY testi sırasında robot programının çalışma hızı

Robotun otonom olarak çalışma hızı sıfır ile bir aralığında ölçeklenmiş olup, herhangi bir kazaya sebebiyet vermemek için bu deney sırasında robot hızı en fazla maksimum hızının %50 olan 0.5'te çalıştırılmıştır. Tasarlanan robot kontrol kısmı istenilen işlemi mutlak doğrulukla gerçekleştirmiş olup, Şekil 6'de görüneceği üzere robotun hızını anlık olarak doğru bir şekilde ayarlamıştır.

5. Değerlendirme

Bu çalışma, son günlerde insanların robotlar ile birlikte aynı ortamı paylaşmaya başlamalarının artmasına paralel olarak önem kazan İRE konusu ile ilgili olarak insan güvenliği ele alınmıştır. Yapılan bu çalışmanın daha önce yapılmış çalışmalardan farkı; robota veya insana özel olarak tasarlanmış bir algılayıcı sistemin eklenmemesi ve robot ile çalışacak kişinin robotik alanda bilgi ve tecrübeye sahip olmasına gerek kalmadan geliştirilen GİREY

yazılımı sayesinde insan güvenliğinin de sağlandığı bir sistem oluşturulmasıdır. GİREY görme, işitme ve robot kontrolü olmak üzere üç temel kısımdan meydana gelmiştir. Görme kısmında bir adet derinlik kamerası ve G-ESA'dan oluşturulmuştur. Derinlik kamerasından alınan görüntüler ile eğitilen G-ESA, görmeye bağlı olarak robotun çalıştığı ortamda insanını bulunup bulunmadığı, insan ile robot arasındaki mesafenin %100 doğrulukla belirleyebilmektedir. İşitme kısmı ise bir adet mikrofon ve İ-ESA'dan oluşmaktadır. Mikrofon vasıtası ile alınan ses verileri ile eğitilen İ-ESA, G-ESA'nın aksine sadece ortamda insan var mı sorusuna cevap verebilecek niteliktedir. İ-ESA'nın test sonuçlarına bakıldığında G-ESA gibi ortamda bulunan insanın robota olan mesafesini verebilecek düzeyde yeterli değildir. Bunun nedeni, farklı tehlike düzeylerinde konuşan insanların laboratuvar şartlarında seslerinin yankı yaparak genlik düzeylerinin bir birine çok yakın olması ve robotun çalışma sesinin insan sesini bastırmasıdır. İnsanlarda görmeye bağlı olarak ortamda bulunan bir insanı sese nazaran daha net tahmin edebildiklerinden dolayı insandan esinlenerek oluşturulan GİREY yapısında bulunan G-ESA'nın İ-ESA'ya göre daha iyi sonuç vermesi anlamlıdır. Çok kanallı iletişim yöntemi kullanan GİREY yapısında bulunan son kısım, robot kontrol kısmıdır. Bu kısımda görme yetisinden alınan daha olumlu sonuçlardan dolayı elde edilen tehlike düzeylerinde öncelik G-ESA'dan gelen sonuçlara verilmiştir. Ancak robotun çalıştığı ortamın bir kısmı kameranın görüş açısında bulunduğu için kalan kısımlarda ise İ-ESA'dan gelen sonuçlar geliştirilen *sınıfi_belirle()* fonksiyonundan geçirildikten sonra kullanılmıştır. Elde edilen veriler göz önünde bulundurulduğunda, robotla birlikte çalışan insan GİREY sayesinde daha güvenli olarak çalışabileceği sonucuna varılmıştır.

Gelecek çalışmalarda, bu çalışmada elde edilen iki hisse ek olarak insan güvenliğinin artırılması için robota dokunma hissinin de eklenmesi düşünülmektedir.

Bilgi Notu

Yapılan bu çalışma, "İnsan-Robot Etkileşimini Kullanarak Yapay Zekâ Temelli Kendini Programlayabilir Robot Yazılımının Geliştirilmesi" isimli doktora tezi çalışması kapsamına yapılmıştır.

Kaynaklar

- [1] J. Fong, H. Rouhani, and M. Tavakoli, A Therapist-Taught Robotic System for Assistance During Gait Therapy Targeting Foot Drop, *IEEE Robot. Autom. Lett.*, 2019; 4(2): 407–413.
- [2] J.-F. Lafleche, S. Saunderson, and G. Nejat, Robot Cooperative Behavior Learning Using Single-Shot Learning From Demonstration and Parallel Hidden Markov Models, *IEEE Robot. Autom. Lett.*, 2018; 4(2): 193–200.
- [3] A. Yatsuda, T. Haramaki, and H. Nishino, A robot motion design scheme for watching the elderly based on human gesture sensing, *Internet of Things*, 2019; 5: 168–179.
- [4] G. Du, M. Chen, C. Liu, B. Zhang, and P. Zhang, Online Robot Teaching with Natural Human-robot Interaction, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 2018; 0046.
- [5] J. Zurada, A. L. Wright, and J. H. Graham, A neuro-fuzzy approach for robot system safety, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev.*, 2001; 31(1): 49–64.
- [6] F. Xia, F. Campi, and B. Bahreyni, Tri-Mode Capacitive Proximity Detection Towards Improved Safety in Industrial Robotics, *IEEE Sens. J.*, 2018; 18(12): 5058–5066.
- [7] S. Lee, S. Hara, and Y. Yamada, A safety measure for control mode switching of Skill-Assist for effective automotive manufacturing, *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, 2010; 7(4): 817–825.
- [8] N. Najmaei and M. R. Kermani, Applications of artificial intelligence in safe human-robot interactions, *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part B Cybern.*, 2011; 41(2): 448–459.
- [9] E. A. Sisbot and R. Alami, A human-aware manipulation planner, *IEEE Trans. Robot.*, 2012; 28(5): 1045–1057.
- [10] G. B. Avanzini, N. M. Ceriani, A. M. Zanchettin, P. Rocco, and L. Bascetta, Safety control of industrial robots based on a distributed distance sensor, *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, 2014; 22(6): 2127–2140.
- [11] C. Miyata, K. Chisholm, J. Baba, and M. Ahmadi, A Limb Compliant Sensing Strategy for Robot Collision Reaction, *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, 2016; 21(2): 674–682.
- [12] S. Savazzi, V. Rampa, F. Vicentini, and M. Giussani, Device-Free Human Sensing and Localization in Collaborative Human-Robot Workspaces: A Case Study, *IEEE Sens. J.*, 2016; 16(5): 1253–1264.
- [13] M. Kimmel and S. Hirche, Invariance control for safe human-robot interaction in dynamic environments, *IEEE Trans. Robot.*, 2017; 33(6): 1327–1342.
- [14] E. Dean-Leon, K. Ramirez-Amaro, F. Bergner, I. Dianov, and G. Cheng, Integration of Robotic Technologies for Rapidly Deployable Robots, *IEEE Trans. Ind. Informatics*, 2018; 14(4): 1691–1700.
- [15] M. C. Bingol and O. Aydogmus, Implementation of speech recognition for robot control using support vector machine, in *International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech)*, 2018; 814–819.

EVA Bazlı Reçine Modifiyeli Bitümlü Karışımların Mekanik Özellikler Bakımından SBS Modifikasyonu ile Karşılaştırılması

Beyza FURTANA¹, Erkut YALÇIN^{2*}, Baha Vural KÖK², Mehmet YILMAZ²

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Munzur Üniversitesi, Tunceli, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

¹ beyzafurtana@munzur.edu.tr, ^{2*} erkutyalcin@firat.edu.tr, ² bvural@firat.edu.tr, ² mehmetyilmaz@firat.edu.tr,

(Geliş/Received: 29/04/2019;

Kabul/Accepted: 02/08/2019)

Öz: Yol esnek üstyapısında kullanılan bitümlü kaplama tabakaları trafiğin ve çevrenin etkilerine direkt maruz kalan ve dolayısıyla mekanik özellikler bakımından oldukça sağlam olması gereken en üst tabakadır. Bitümlü sıcak karışım tabakalarının artan trafik yükü ve sayısına uzun süre deforme olmadan direnç gösterebilmesi için, yaygın bir şekilde karışımın içinde kullanılan bağlayıcı bitümlü malzeme, Stiren-Butadien-Stiren (SBS) polimer katkı maddesiyle modifiye edilmektedir. SBS'e olan talebin fazla olması, gerektiği zamanda temin edilmesini zorlaştırmakta ve dolayısıyla alternatif katkı maddelerinin kullanımı gündeme getirmektedir. Bu çalışmada Etilen-Vinyl-Acetate (EVA) bazlı reçinenin (EBR) bitümlü karışımlarda kullanılmalarının mekanik özelliklere etkisi araştırılmış ve SBS modifikasyonu ile performansı karşılaştırılmıştır. Saf ve modifiye karışımlara Marshall stabilite ve akma, indirek çekme mukavemeti, indirek çekme rijitlik modülü, indirek çekme tekrarlı yükleme ve dinamik sünme deneyleri uygulanmıştır. Sonuçta EBR modifikasyonunun saf karışımlardan önemli derecede daha iyi performans özelliklerine sahip olduğu ve SBS modifikasyonuna yakın bir performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bitümlü karışım, modifikasyon, EVA, SBS, mekanik özellikler.

The Comparison of the EVA Based Resin Modified Bituminous Mixtures to SBS Modification in Terms of Mechanical Properties

Abstract: The bituminous coating layers used in the flexible pavement are the top layer that is directly exposed to the effects of the traffic and the environment and therefore must be quite robust in terms of mechanical properties. The bituminous binder used in the mixture, is commonly modified with the Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) polymer additive so that the bituminous hot mixtures can resist to the increased traffic load and number for a long time without deforming. The high demand for SBS makes it difficult to supply when necessary and therefore brings on the use of alternative additives. In this study, the effects of the use of Ethylene-Vinyl-Acetate (EVA) based resin (EBR) on the mechanical properties of bituminous mixtures were investigated and their performance was compared with SBS modification. Marshall stability and flow, indirect tensile strength, indirect tensile stiffness modulus, indirect tensile cycling loading and dynamic creep tests were applied to pure and modified mixtures. As a result, it was found that EBR modification had significantly better performance compared to pure mixtures and showed close performance to SBS modification.

Key words: Bituminous mixtures, modification, EVA, SBS, mechanical properties.

1. Giriş

Esnek üstyapılar; alttemel, temel ve kaplama tabakalarından oluşmaktadır. Taşıt lastiklerinin temas ettiği ve üstyapının en pahalı kısmı olan kaplama tabakası; sathi kaplamadan bitümlü sıcak karışıma (BSK) kadar değişik yöntemlerle inşa edilebilmektedir. Sathi kaplamalar uygun temel üzerine uygulanan bitüm ve daha sonra da agreganın serilip sıkıştırılması şeklinde yapılmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlar ise hem dayanıklı hem de pahalı bir kaplama türüdür. BSK'lar sabit bir tesiste agrega ve bitümün ısıtılması ve karıştırılması, daha sonra uygulama yerine taşınarak belirli bir sıcaklıkta sıkıştırılması şeklinde uygulanmaktadır. BSK'larda agrega, karışımın içsel sürtünme direncini ve stabilitesini; bitümlü bağlayıcı ise kohezyonu sağlamaktadır. Bitümlü bağlayıcı ayrıca agrega tanelerini birbirine bağlayarak trafik yükleri altında dağılmasını önlemekte, düzgün yüzeyler sağlayarak sürüş konforunu ve karışımın stabilitesini arttırmakta, boşlukları doldurarak geçirimsizliği sağlamaktadır.

Esnek üstyapı kaplamalarında, artan trafik yükü ve iklim koşullarına bağlı olarak meydana gelen tekerlek izi, soyulma, çatlama, ondülasyon gibi bozulmaları geciktirmek, bakım ve yenileme gereksinimini daha seyrek

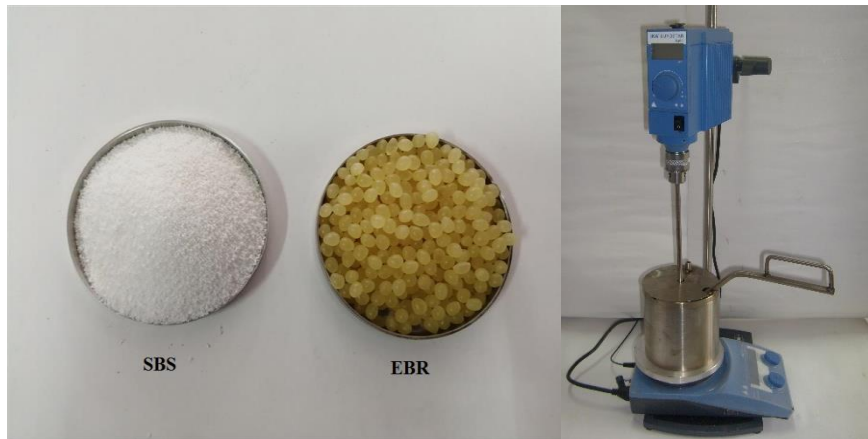
* Sorumlu yazar: erkutyalcin@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-4565-7324, ² 0000-0002-6389-4211, ² 0000-0002-7496-6006, ² 0000-0002-2761-2598

aralıklara düşürmek ve kaplama performansını arttırmak amacıyla bitümlü bağlayıcılara veya karışımlara çeşitli katkı maddeleri eklenerek özellikleri iyileştirilmiş modifiye bitümler veya karışımlar elde edilmektedir [1-3]. Modifikasyon işlemi yaş ve kuru proses olmak üzere iki türlü gerçekleştirilmektedir. Yaş proses katkı maddelerinin doğrudan bitüme, kuru proses ise katkı maddelerinin karışıma ilave edilmesiyle oluşturulmaktadır. Modifiye bitüm üretilmesinde elastomer ve plastomer polimerlerin yanı sıra polimer olmayan kimyasal katkı maddeleri ile göl asfaltları, kaya asfaltları ve Gilsontler gibi doğal katkı maddeleri de kullanılmaktadır. Bu katkı maddeleri içerisinde en çok Stiren-Butadien-Stiren (SBS) blok kopolimerleri kullanılmaktadır. Bir polimer çeşidi olan SBS en sık kullanılan katkı malzemesidir [4]. Yapılan çeşitli çalışmalarda bitüm modifikasyonunda SBS kullanımının bitümlü sıcak karışımların kalıcı deformasyona [5,6], nem hasarına [7,8], yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi oluşumu ve yorulmaya karşı dayanımını arttırdığı belirlenmiştir [9-13].

SBS'nin aşırı bir şekilde kullanılması, istenilen zamanında tedarik edilmesini sınırlamaktadır. Bu nedenle araştırmacılar SBS modifikasyonu ile elde edilen karışım kadar iyi bir performans sağlayan alternatif katkı maddelerine odaklanılmışlardır. Bu çalışmada, Etilen-Vinil-Acetate (EVA) bazlı reçinenin (EBR) bitümlü karışımlarda kullanılmalarının mekanik özelliklere etkisi araştırılmış ve SBS modifikasyonu ile performansı karşılaştırılmıştır. Her iki katkı da saf bitüme ağırlıkça %3 oranında eklenmiş karışımlara Marshall stabilite ve akma, indirek çekme mukavemeti, indirek çekme rijitlik modülü, indirek çekme tekrarlı yükleme ve dinamik sünme deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca EBR katkılı karışımlar ile SBS katkılı karışımların mekanik performansları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

2. Malzeme ve Metot

Çalışmada saf bağlayıcı olarak TÜPRAŞ Batman rafinerisinden temin edilen B 50/70 sınıfı bitüm kullanılmıştır. Saf bağlayıcı iki farklı katkı ile modifiye edilmiştir. Çalışmada özgül ağırlığı 1,14, yumuşama noktası 90 °C, viskozitesi 80000 mPa.s ve nem oranı %8-10 olan Etilen Vinil Asetat (EVA) bazlı reçine (EBR) diğeri ise özgül ağırlığı 0,94, uzama kompasına %880, çekme direncine 4600 psi ve % 31/69 styrene- kauçuk içeriğine sahip Stiren-Butadien-Stiren (SBS) blok kopolimer ihtiva eden KRATON D 1101 katkıları kullanılmıştır. SBS KRATON D 1101 konsantrasyonları daha önce yapılan çalışmaların sonuçlarına göre bitüme ağırlıkça %3-%9 arasında eklenmiştir [14]. Maliyet bakımından herhangi bir fark oluşmaması için her iki katkı da aynı oranda ve özellikle SBS'nin yol inşaatı uygulamalarında sıkça kullanılan oranı olan %3 seçilmiştir. Daha önceden yapılan çalışmalara göre modifiye bağlayıcılar, katkı malzemesinin saf bağlayıcıya yavaş yavaş ilave edilerek, dört bıçaklı karıştırıcı ile 1000 devir/dakika hıza sahip karıştırıcıda 180 °C sabit sıcaklıkta 1 saat süre ile karıştırılarak elde edilmiştir [15-17]. Şekil 1'de kullanılan katkı maddeleri ve modifiye bitüm hazırlama mikseri görülmektedir. Modifiye bitüm hazırlama sırasında meydana gelen yaşlanma etkisinin sonuçları etkilememesi için hiç katkı içermeyen saf bağlayıcı da aynı karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Tablo 1'de bağlayıcıların fiziksel özellikleri verilmiştir.



Şekil 1 Çalışmada kullanılan katkı maddeleri ve modifiye bitüm hazırlama mikseri.

Tablo 1. Bağlayıcıların fiziksel özellikleri.

Özellikler	B 50/70 saf	%3SBS katkılı	%3EBR katkılı
Yumuşama noktası (°C) ASTM D36	53,3	61,7	58,7
Penetrasyon (0,1 cm) ASTM D5	64,2	49,0	56,7
Penetrasyon indeksi	0,22	1,33	1,08
Viskozite 135 °C /165 °C ASTM D4402	725 / 225	1875 / 475	1100 / 287

Saf, %3 EBR ve %3 SBS modifiyeli bağlayıcılar ile bitümlü karışım numuneleri hazırlanmıştır. Karışım numuneleri Marshall yöntemine göre numunelerin her iki yüzüne 75 darbe uygulanarak hazırlanmıştır. Karışımlarda agrega olarak özellikleri ve gradasyonu Tablo 2’de verilen kireçtaşı kullanılmıştır. Kireçtaşı Elazığ Karayazı bölgesinden temin edilmiştir. Optimum bitüm içeriği saf bitüm ile hazırlanan karışım numuneleri için tespit edilmiştir. Modifiye karışımlar da aynı bitüm içeriğinde hazırlanmıştır.

Tablo 2. Agrega özellikleri ve gradasyonu.

	Kaba	İnce	Filler	Şartname limiti	Deney Standardı							
Los Angeles aşınma (%) ASTM D131	25	-	-	Maks. 35	ASTM C-131							
Hava tesirlerine direnç (MgSO ₄) ASTM C88	12	-	-	Maks. 10	ASTM C-88							
Yassı ve uzun dane (%) BS 812	20	-	-	Maks. 10	ASTM D-4791							
Su absorpsiyonu (%) ASTM C127	0,8	-	-	-	-							
Hacim özgül ağırlık ASTM C127, C128	2,521	2,558	-	-	-							
Zahiri özgül ağırlık ASTM D854	-	-	2,596	-	-							
Elek çapı (mm)	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075	-	-
% Geçen	100	95	88	65	35	23	14	10	8	6	-	-

Tablo 3’te %5,5 bitüm içeriğinde hazırlanan saf ve modifiye karışımların, hava boşluğu oranı (Va), asfaltla dolu boşluk oranı (VFA), agregalar arasındaki boşluk oranı (VMA), hacim özgül ağırlıkları (Gmb), karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları verilmiştir. Karışımların karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları bağlayıcıya uygulanan dönel viskozimetre yöntemine göre sırasıyla 170 ± 20 ve 280 ± 30 cP viskozite değerlerine karşı gelen sıcaklıklar olarak belirlenmiştir [18]. Karışım numunelerinin hacimsel özellikler bakımından şartname kriterlerini (KTS) sağladığı tespit edilmiştir.

Tablo 3. Karışım numunelerinin hacimsel özellikleri.

Karışımlar	Bitüm (%)	Karıştırma sıcaklığı (°C)	Sıkıştırma sıcaklığı (°C)	Va (%)	VFA (%)	VMA (%)	Gmb
Saf	5,5	170-177	153-158	3,78	74,3	14,7	2,292
%3EBR	5,5	175-181	162-168	3,69	74,7	14,6	2,295
%3SBS	5,5	189-195	181-176	3,92	73,5	14,8	2,289

3. Deneysel Sonuçlar

3.1 Marshall stabilite ve akma deneyi

Bitümlü karışımların bir performans göstergesi olan Marshall stabilite ve akma deneyi ASTM D 6927 standardına uygun olarak yapılmıştır. Şekil 2 de Marshall stabilite ve akma deney cihazı ve numuneleri görülmektedir. Çalışmada saf ve modifiye karışım numuneleri iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup numuneler 60°C’lik su banyosunda 40 dakika bekletildikten sonra deneye tabi tutulmuş ve stabiliteyi MS_{koşulsuz} değerler olarak tespit edilmiştir. İkinci grup numuneler 24 saat 60°C’lik su banyosunda bekletildikten sonra deneye tabi tutulmuş ve stabiliteyi MS_{koşullu} değerler olarak tespit edilmiştir. Rijitliğin bir göstergesi olan stabilitenin akmaya oranı (MQ) koşullu ve koşulsuz numuneler için tespit edilmiştir. Nem hasarına karşı direncin bir göstergesi olan

kalıcı Marshall stabilitesi (RMS) koşullu numunelerin, koşulsuz numunelerin stabilitelere oranı olarak tespit edilmiştir. RMS değeri Denklem 1 ile hesaplanmaktadır.

$$RMS = \frac{MS_{koşullu}}{MS_{koşulsuz}} \times 100 \quad (1)$$

Tablo 4'te deneyden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Koşulsuz durumda SBS ve EBR modifikasyonu saf karışımdan sırasıyla %8 ve %6 daha yüksek stabilite değerleri vermiştir. Koşullu durumda ise bu oranlar her iki modifikasyon için de %14 olmaktadır. Koşullandırma sonrası saf karışım stabilitesinin %14'ünü kaybederken SBS ve EBR modifikasyonunda bu kayıp sırası ile %8,5 ve % 7,5 olmaktadır. MQ değerleri bakımından modifiye karışımlar saf karışımdan koşulsuz durumda yaklaşık %25, koşullu durumda ise %10 daha rijit davranış göstermiştir. Bütün karışımlar %80 oranından daha yüksek RMS değeri vererek nem hasarı bakımından olumsuz bir durumun oluşmadığı görülmektedir. Ancak modifiye karışımlar saf karışımdan bir miktar daha yüksek RMS değerine sahip olarak saf karışımdan daha iyi nem hasarlarına direnç göstereceğine işaret etmektedir. Stabilite bakımından SBS modifikasyonu EBR modifikasyonundan bir miktar daha yüksek değerler verse de RMS bakımından bu durum bir miktar EBR modifikasyonu açısından iyileşmektedir.



Şekil 2 Marshall test cihazı ve Marshall numuneleri

Tablo 4. Marshall stabilite ve akma deney sonuçları.

Karışımlar	Koşulsuz			Koşullu			
	Stabilite (kN)	Akma	MQ ₁	Stabilite (kN)	Akma	MQ ₂	RMS (%)
Saf	14,62	3,61	4,04	12,6	4,38	2,87	86,18
%3SBS	15,78	3,14	5,02	14,43	4,49	3,21	91,44
%3EBR	15,54	3,11	4,99	14,4	4,63	3,11	92,66

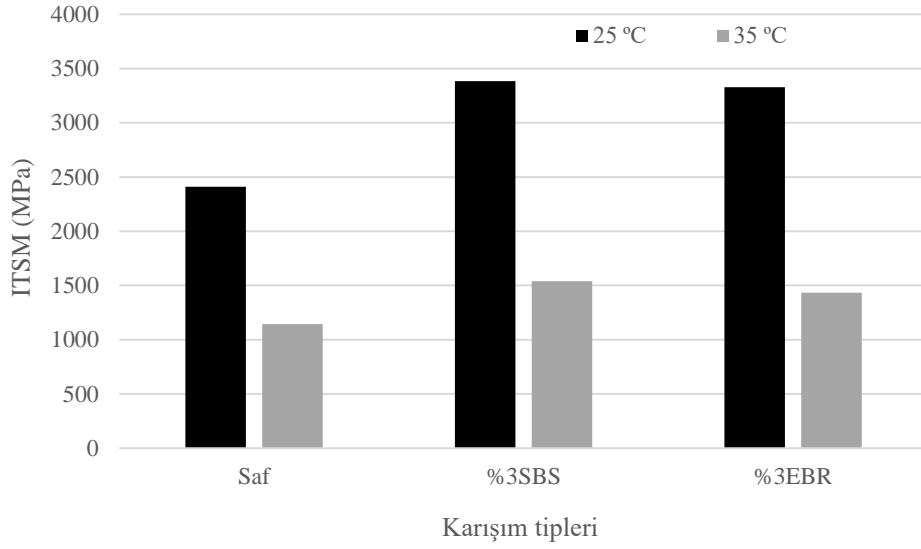
3.2 İndirek çekme rijitlik modülü (ITSM) deneyi

Bitümlü tabakaların yük dağıtma kabiliyetinin bir ölçüsü olan rijitlik modülü, bitümlü sıcak karışımların en önemli performans karakteristiklerinden biridir [19]. Bu deney BS DD 213 standardı ile tanımlanmış hasarsız bir deney olup rijitlik modülü (Sm, MPa) Denklem 2 ile hesaplanmaktadır.

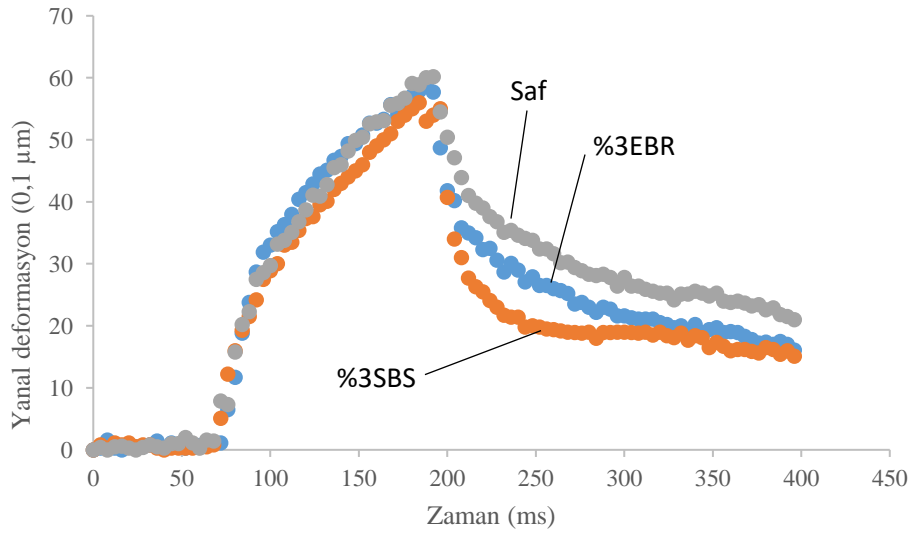
$$Sm = F(R+0,27) / LH \quad (2)$$

Burada F, maksimum dikey yük (N); H, 5 yük tekrarı sonucunda oluşan ortalama yatay deformasyon (μ m); L, ortalama numune kalınlığı (mm); R ise poisson oranıdır (0,35). Deney, 25°C sıcaklıkta deformasyon kontrollü olarak yapılmıştır. Maksimum deformasyon 6 μ m, yükleme periyodu 3 sn, yük artış süresi 0,124 s olarak alınmıştır. Deney başlamadan önce numuneler 2 saat deney sıcaklığında bekletilmiştir

Deney 25°C ve 35°C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta yapılmıştır. ITSM değerlerinin karışım tipine göre değişimi Şekil 3'te verilmiştir. SBS ve EBR modifikasyonu saf karışımdan 25°C'de sırasıyla %40 ve %38, 35°C sıcaklıkta ise %34 ve %25 daha yüksek ITSM değerleri vermiştir. SBS modifikasyonu EBR modifikasyonundan 25°C'de %1,7 35°C'de ise %7 daha yüksek ITSM değeri vermektedir. Bu durum SBS modifikasyonunun EBR modifikasyonuna göre sıcaklığa karşı bir miktar daha az duyarlı olduğuna işaret etmektedir. Sıcaklığın 25°C'den 35°C'ye 10°C artması durumunda karışımların rijitlikleri yarısından fazla azalmaktadır. Sıcaklığın rijitlik modülü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, dolayısıyla yüksek rijitlik modülünün, yüksek kaplama sıcaklıklarında kaplamanın bütünlüğünü koruyabilmesi için gerekli olduğu görülmektedir. SBS ve EBR modifikasyonu ITSM değerleri bakımından birbirine benzer ancak saf karışımdan önemli derecede daha iyi bir performans göstermiştir. Şekil 4'te yükleme sırasında numunelerde oluşan deformasyonun 400 ms içerisindeki değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere yük etkisi süresince yanıl deformasyonlar hedef deformasyon olan 6 mikron değerine ulaşmakta ve yük kalktıktan sonra geri dönmektedir. En hızlı deformasyon dönüştüğünün SBS modifikasyonunda sonra EBR ve saf karışımda olduğu görülmektedir. 400. ms saniyede geri dönem deformasyonlar bakımından SBS ve EBR modifiyeli karışımlar benzer performans göstermektedir.



Şekil 3 ITSM değerlerinin karışım tipine göre değişimi.



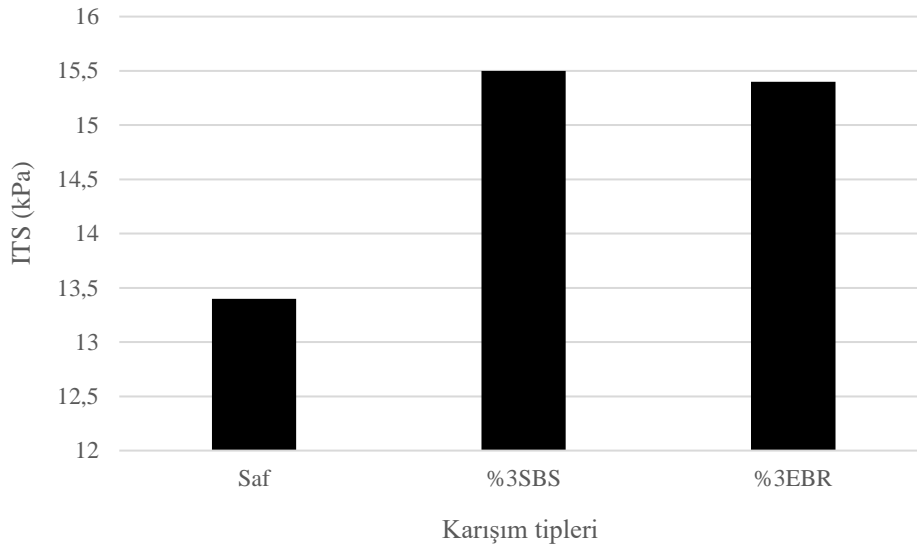
Şekil 4. ITSM deneyinde deformasyon zaman ilişkisi.

3.3 İndirek çekme mukavemeti (ITS) deneyi

Deney sonuçları Marshall test cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Silindirik numunelerin basınç yüklemesine tabi tutulduğu, numunenin düşey çapsal düzlemi doğrultusunda üniform bir gerilme dağılımı oluşturan deneyde, kırılmaya neden olan yük tespit edilip, Denklem 3 bağıntısı ile ITS (kPa) değerleri hesaplanmıştır.

$$ITS = 2P_{maks} / \pi t d \quad (3)$$

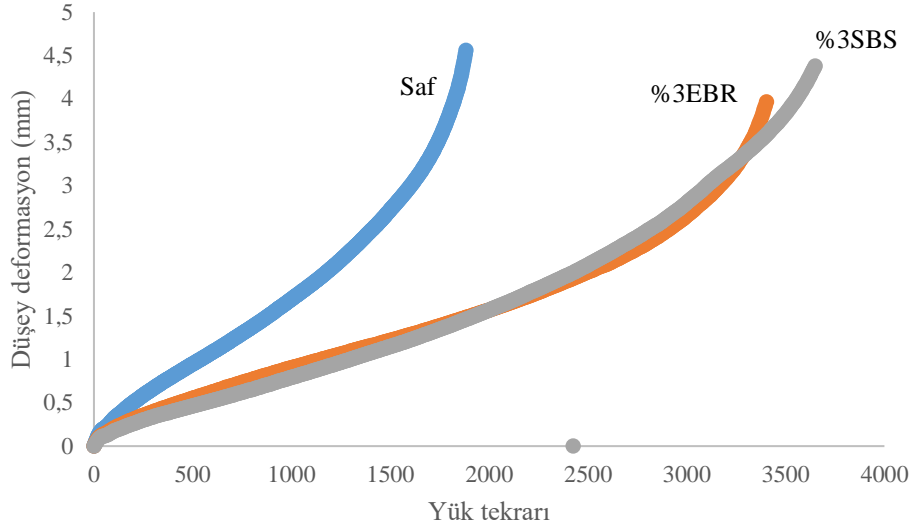
Burada P, kırılmaya neden olan maksimum yük (kN); t, ortalama numune yüksekliği (m); d, numune çapıdır (m). Şeki 5'te karışımların ITS değerleri verilmiştir. SBS ve EBR modifiyeli karışımların ITS değerleri birbirine yakın çıkarken modifiyeli karışımlar saf karışımdan %15 daha yüksek ITS değeri vermiştir. Modifiyeli karışımların MQ değerleri ve ITSM değerlerine göre rijitliklerinde meydana gelen artışın, 25°C'de yapılan ITS deneyinde de çekme gerilmelerine karşı direncin artmasını sağladığı görülmektedir.



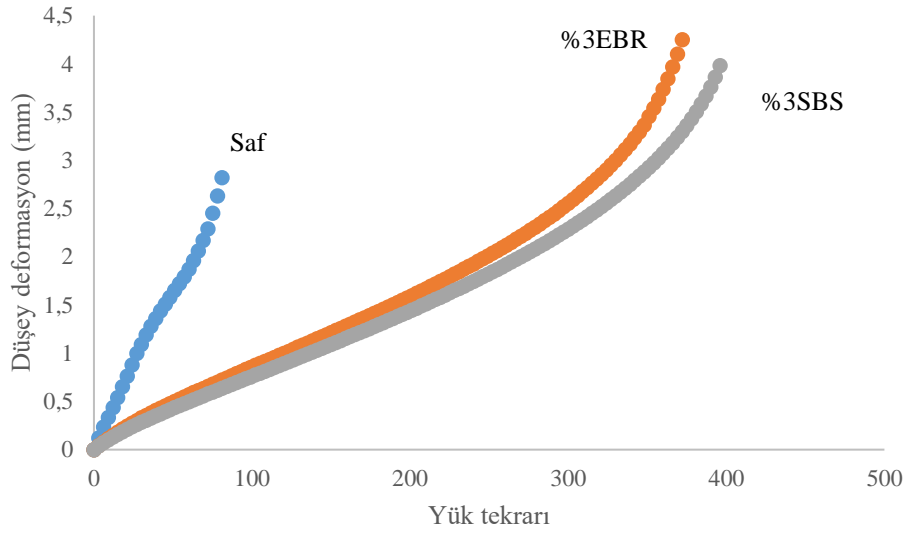
Şekil 5 Karışımların ITS değerleri.

3.4 İndirek çekme tekrarlı yükleme deneyi

Yol kaplamaları her taşıt tekerleği geçişinde kısa süreli bir yüke maruz kalırlar. Bu, malzemenin rijitliğinde azalmayla sonuçlanan çok küçük hasarlara neden olur. Bu hasarların birikmesi ile uzun sürede malzeme bozulmaktadır. Yorulma dayanımı, asfalt kaplamanın tekrarlı trafik yüklerine, dolayısıyla tekrarlı eğilme yüklemesine kırılmadan karşı koyabilme yeteneğidir. Deney, 25 ve 35°C sıcaklıklarda 270 kPa sabit yük altında yapılmıştır. Deneye başlamadan önce numuneler 2 saat deney sıcaklığında bekletilmiştir. Bu süre sonunda numune, yükleme başlıkları arasına yerleştirilmiş, düşey deformasyonu okuyacak LVDT'ler ayarlanmış, numune yüksekliği, çapı, gerilme seviyesi değerleri ve yükleme periyodu bilgisayara girilmiş ve deneye başlanmıştır. Yükleme periyodu 1,5 sn olarak alınmış bu sürenin 1,4 sn'si dinlenme periyodu (rest period), 0,1 sn'si ise yük etki süresi olarak ayarlanmıştır. Deney, numuneler tam olarak kırılıncaya kadar devam etmiştir. Şekil 6 ve 7'de numunelerin deformasyon ve yük tekrarı ilişkisi verilmiştir.



Şekil 6 25°C'de yük tekrarı düşey deformasyon ilişkisi.



Şekil 7 35°C'de yük tekrarı düşey deformasyon ilişkisi.

Numunelerin yük tekrar sayıları sıcaklığın artması ile önemli derecede azalmaktadır. Saf karışım 25°C'de ortalama 2419 yük tekrarına direnç gösterebilirken 35°C'de sadece 80 yük tekrarı alabilmiştir. 25°C'de 3920 yük tekrarı alan SBS modifiyeli karışım 35°C'de 394 yük tekrarı, EBR modifiyeli karışım ise sırasıyla 3400 ve 370 yük tekrarı almıştır. Saf karışımın yük tekrar sayısı sıcaklık artışı ile yaklaşık 30 kat azalırken modifiyeli karışımlarda bu oran yaklaşık 10 kat olmaktadır. SBS ve EBR modifikasyonu saf karışıma göre önemli derecede sıcaklık artışına direnç gösterebilmektedir. EBR modifiyeli karışımların yük tekrarı - deformasyon ilişkisi SBS modifiyeli karışımlara benzemekle birlikte SBS modifikasyonu EBR modifikasyonundan 25°C'de %15, 35 °C'de ise %6 daha fazla yük tekrarına dayanabilmektedir. SBS ve EBR modifiyeli karışımlar saf karışımdan 25°C'de sırasıyla 1,6 ve 1,4 kat 35°C'de ise 4,9 ve 4,6 kat daha fazla yük tekrarına direnç gösterebilmektedir.

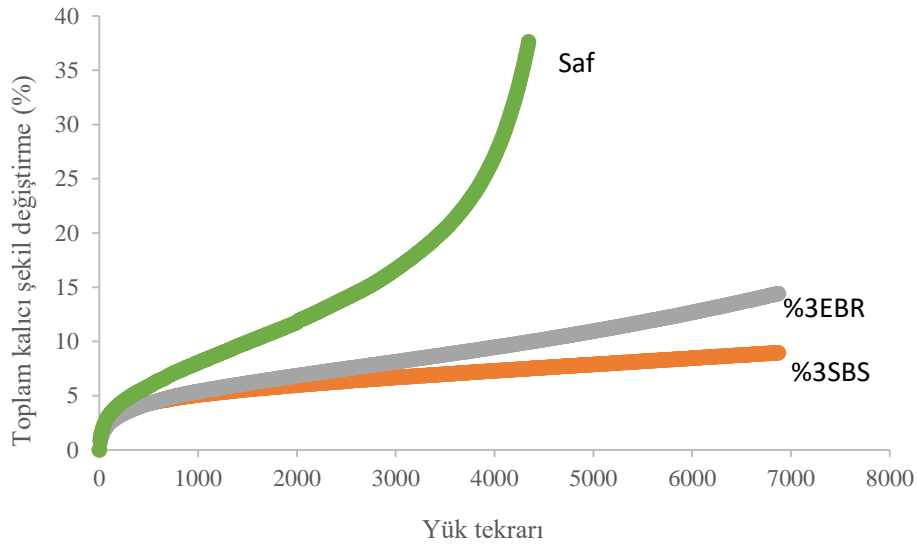
3.5 Dinamik sünme deneyi

Dinamik sünme deneyi bitümlü karışımların kalıcı deformasyonlara karşı direncinin belirlenmesinde kullanılan önemli bir deneydir ve tekerlek izi direnci ile yüksek bir korelasyona sahiptir [20]. Deneyde yük tekrarı

ile birlikte oluşan şekil değiştirmeler, başta numunedeki hava boşluğunun sıkışması dolayısıyla hızlı bir şekilde artmakta daha sonra konsolide olan numunede lineer olarak devam etmekte ve numune bütünlüğünü yitirmeye başladıktan sonra hızlı bir şekilde artış göstermektedir [21]. Sünme rijitliği aşağıdaki denklemden tespit edilmektedir [22].

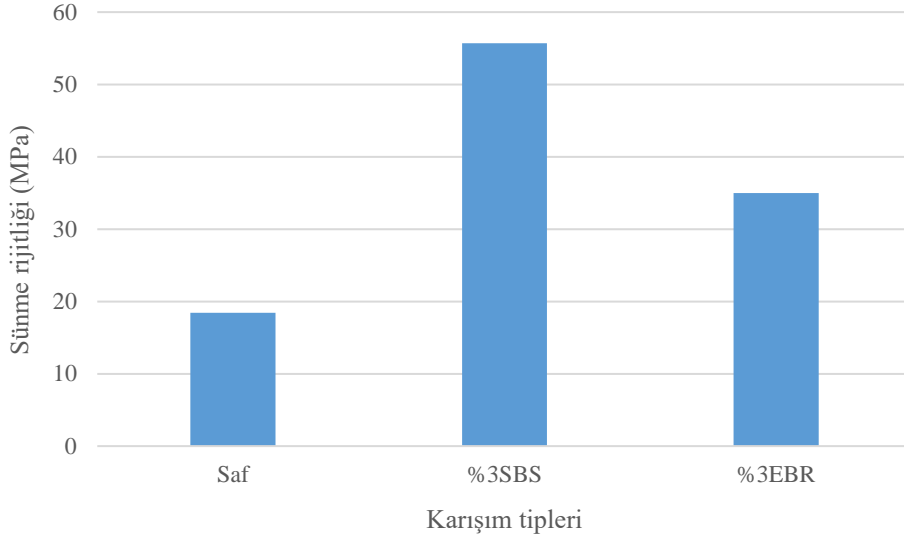
$$E_c = \frac{\sigma}{\varepsilon_c} \quad (4)$$

Burada E_c , sünme rijitliği (MPa), σ , uygulanan dinamik gerilme (MPa), ε_c , (σ), toplam kalıcı şekil değiştirmedir. Deney 50°C sıcaklıkta ve 0,5 MPa gerilme altında yapılmıştır. Numuneler deneye başlamadan önce 3 saat deney sıcaklığında bekletilmiştir. Deneyde 500 ms yük etki süresi olan 1000 ms'lik yükleme periyodundaki kare dalga yükleme uygulanmıştır. Numuneler deneye başlamadan önce 10 dakika 0,1 MPa statik gerilme altında koşullandırma yüklemesine maruz bırakılmıştır. Yükleme 7000 yük tekrarına kadar yapılmıştır. Ancak saf karışımlar yaklaşık 4000 yük tekrarında kırılmıştır.



Şekil 8 Yük tekrarı şekil değiştirme ilişkisi.

Şekil 8'de görüldüğü üzere saf karışım katkılı karışımlardan önemli derecede fazla şekil değiştirmeye maruz kalmaktadır. Saf karışım 3000 yük tekrarından sonra şekil değiştirmede meydana gelen artış numunenin bütünlüğünü yitirdiğini ve yük tekrarına direnç gösteremediğine işaret etmektedir. Saf karışım 4300 yük tekrarında tamamen parçalanmıştır. Katkılı karışımların şekil değiştirmesi ise 7000 yük tekrarında halen lineer bir değişim göstermektedir. EBR modifiyeli karışımlar SBS modifiyeli karışımlara benzer bir şekil değiştirme karakteristiği göstermektedir. Ancak karışımların şekil değiştirmeleri arasındaki fark yük tekrarının artması ile artmaktadır. SBS modifiyeli karışımlar yük tekrarına daha fazla direnç gösterebilmektedir. 3000 yük tekrarında saf karışım %16, EBR modifiyeli karışım %8 ve SBS modifiyeli karışım %7 şekil değiştirmeye maruz kalmaktadır. Şekil 9'da karışımların, 4000 yük tekrarı sonundaki sünme rijitliği değerleri verilmiştir. SBS ve EBR modifiyeli karışım saf karışımdan sırasıyla 3 ve 2 kat daha fazla sünme rijitliği değerleri vermektedir. SBS modifikasyonu ise EBR modifikasyonundan %60 daha yüksek sünme rijitliğine sahiptir. Ağır trafik ve yüksek hava sıcaklığının temsil edildiği şartlarda yapılan bu deneyde saf karışım ile katkılı karışımlar arasındaki performans farkı açık bir şekilde açığa çıkmıştır. Deney şartlarının zorlaşması katkıların etkinliğini değerlendirmede de etkili olmaktadır.



Şekil 9 Karışımların sünme rijitlikleri.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada bitüm modifikasyonunda yaygın şekilde kullanılan SBS katkısına alternatif olabilecek EVA bazlı reçine katkısının, bitümlü karışımların mekanik özelliklerine olan etkisi araştırılmış ve SBS modifikasyonu ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan her iki katkı maddesi de bitüm ağırlığınca %3 oranında kullanılmış ve bu modifiye bitümlerle hazırlanan Marshall numunelerine statik ve dinamik yükleme testleri uygulanmıştır. Marshall stabilite ve akma deneyine göre, katkılı karışımlar stabilite açısından benzer sonuçlar verirken saf karışımlardan koşulsuz durumda yaklaşık %7, koşullu durumda ise %14 daha yüksek stabilite değeri vermektedir. Karışım numunelerinde nem hasarı bakımından olumsuz bir durumun oluşmadığı, ancak modifiye karışımların saf karışımdan bir miktar daha yüksek RMS değerine sahip olarak nem hasarlarına daha iyi direnç göstereceği tespit edilmiştir.

İki farklı sıcaklıkta yapılan ITSM deneyine göre saf ve modifiyeli karışımlarda sıcaklığın 10°C artması durumunda karışımların rijitlikleri yarıısından fazla azalmaktadır. Katkılı bağlayıcıların rijitlikleri 25°C'de saf bağlayıcıya göre yaklaşık %40 oranında artmaktadır. SBS modifikasyonunun EBR modifikasyonuna göre sıcaklığa karşı bir miktar daha az duyarlı olduğu tespit edilmiştir.

ITS deneyine göre katkılı karışımların indirek çekme mukavemeti değerleri birbirine yakın çıkarken saf karışımdan %15 daha yüksek olmaktadır.

İki farklı sıcaklıkta yapılan indirek çekme tekrarlı yükleme deneyine göre, saf karışımın yük tekrar sayısı sıcaklık artışı ile yaklaşık 30 kat azalırken modifiyeli karışımlarda bu oran yaklaşık 10 kat olmaktadır. EBR modifiyeli karışımların yük tekrarı - deformasyon ilişkisi SBS modifiyeli karışımlara benzemekle birlikte SBS modifikasyonu EBR modifikasyonundan 25°C'de %15, 35°C'de ise %6 daha fazla yük tekrarı dayanabilmektedir.

Dinamik sünme deneyine göre saf karışım 4300 yük tekrarı tamamlanmış, katkılı karışımlar ise 7000 yük tekrarı plastik deformasyon durumuna geçmemiştir. EBR modifiyeli karışımlar SBS modifiyeli karışımlara benzer bir şekil değiştirme karakteristiği göstermiştir.

Sonuç olarak ele alınan deney yöntemleri arasında indirek çekme tekrarlı yükleme deneyinin katkıların etkinliğini en fazla ön plana çıkaran deney olduğu, EVA bazlı reçinenin SBS modifikasyonuna yakın sonuçlar verdiği ve dolayısıyla SBS temininin sınırlı olduğu durumlarda, fiyatlarının da benzer olduğu dikkate alındığında alternatif bir katkı olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Lav AH, Lav MA. Shell bitüm el kitabı. İsfalt Bilimsel Yayınları, 3, 334s, İstanbul, 2004
- [2] Francken L. Bituminous binders and mixes. Rilem Reports, E&FN Spon, 352, London, 1998.
- [3] Nicholls C. Asphalt surfacings. E & FN Spon, p. 68-79, 1998.

- [4] Şengöz B, Işıkyakar G. Evaluation of the properties and microstructure of SBS and EVA polymer modified bitumen. *Construction and Building Materials* 2008; 22(9), 1897-905.
- [5] Kumar P, Chandra S, Bose S. Strength characteristics of polymer modified mixes. *International Journal of Pavement Engineering* 2006; 7(1): 63–71.
- [6] Tayfur S, Özen H, Aksoy A. Investigation of Rutting Performance of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifiers. *Construction and Building Materials* 2007; 21(2), 328-337.
- [7] Kök 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.
- [8] Görkem 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, 2227-2236.
- [9] Cortizo MS, Larsen DO, Bianchetto H, Alessandrini. J.L. Effect of the thermal degradation of SBS copolymers during the ageing of modified asphalts. *Polymer Degradation and Stability* 2004; 86, 275-282.
- [10] Vlachovicova Z, Wkumbura C, Stastana J, Zanzotto L. Creep characteristics of asphalt modified by radial styrene-butadiene-styrene copolymer. *Construction and Building Materials* 2007; 21, 567-577411.
- [11] Isacsson U, Zeng HY. Relationships between bitumen chemistry and low temperature behavior of asphalt. *Construction and Building Materials* 1997; 11, 83–91.
- [12] Shuler S, Douglas I. Improving Durability Of Open-Graded Friction Courses. *Transportation Research Record* 1990; 1259, 35-41.
- [13] Won MC, Ho MK. Effect of antistripping additives on the properties of polymer-modified asphalt binders and mixtures. *Transportation Research Record* 1994; 1436, 108–114.
- [14] Lu X, Isacsson U. Rheological characterization of styrene–butadiene–styrenecopolymer modified bitumens. *Construction and Building Materials* 1997; 11, 23–32.
- [15] Kök BV, Yılmaz M, Guler M. Evaluation of high temperature performance of SBS+ Gilsonite modified binder. *Fuel* 2011; 90, 3093-3099.
- [16] Yılmaz M, Çelöglu ME. Effects of SBS and different natural asphalts on the properties of bituminous binders and mixtures. *Construction and Building Materials* 2013; 44, 533-540.
- [17] 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.
- [18] Zaniewski JP, Pumphrey ME. Evaluation of performance graded asphalt binder equipment and testing protocol. *Asphalt Technology Program* 2004; 107.
- [19] Zoro, SE, Suparma LB. Laboratory Design and Investigation of the Properties of Continuously Graded Asphaltic Concrete Containing Recycled Plastics Aggregate Replacement (Plastiphalt). *Cement and Concrete Composite* 2000; ISSN 0958-9465, England, 22: 233-242 .
- [20] Kaloush, KE, Witczak MW. *J. Assoc. Asphalt Paving Technol* 2002; 71, 278.
- [21] Little DN, Button JW, Youssef H. *Transportation Research Board* 1993; 1417, 49.
- [22] Feeley A.J. UTM-5P, Universal testing machine hardware reference manual, Industrial Process Controls Limited,,BoroniaAustralia 1994.

Tek Serbestlik Dereceli Bir Teleoperasyon Sisteminde Kontrol Yöntemlerinin Performans Karşılaştırılması

Tayfun ABUT^{1*}, Servet SOYGÜDER²

¹ Makine Mühendisliği, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye

² Makine Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Elazığ, Türkiye

*¹ tayfunabut@gmail.com, ² ssoyguder@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 10/05/2019;

Kabul/Accepted: 22/08/2019)

Öz: Teleoperasyon sistemleri insan-robot etkileşimini(HRI) sağlayan sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemlerin kontrolünün ilk olarak benzetim ortamında gerçekleştirilmesi, gerçek ortamda yapılacak deneyler öncesinde ve algoritma geliştirme aşamalarında tespit edilen hataların önlenmesi açısından önem taşımaktadır. Bu sistemlerin performans değerlendirilmelerinde konum ve kuvvet kontrolü önemli parametrelerdir. Bu çalışmada tek serbestlik dereceli ana (master) ve bağımlı(slave) robottan oluşan teleoperasyon sisteminin kontrolü hedeflenmiştir. Tek serbestlik dereceli robotların dinamik modelleri elde edilmiştir. Ayrıca bağımlı robotun hareketleri görselleştirmek için sanal ortamda görsel bir arayüz tasarlanmıştır. Bulanık mantık(Fuzzy Logic), PD tabanlı hesaplanmış tork kontrol(PD based-CTC) ve klasik PID kontrol yöntemleri kullanılarak sistemin iki yönlü gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler benzetim ortamında gerçekleştirilerek sonuçlar grafikler ve tablo şeklinde verilmiş ve irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Teleoperasyon, Tek Serbestlik Dereceli Robot, Bulanık Mantık, PD-CTC, PID.

Performance Comparison of Control Methods in a Single Degree of Freedom Teleoperation System

Abstract: Teleoperation systems are defined as systems that provide human-robot interaction (HRI). The first control of these systems in the simulation environment is important in terms of preventing errors detected before the experiments in the real environment and in the algorithm development stages. Position and force control are important parameters in the performance evaluation of these systems. The aim of this study was to control the teleoperation system consisting of a single degree of freedom master and slave robot. Dynamic models of single degree of freedom robots were obtained. We also designed a visual interface in the virtual environment to visualize the movements of the slave robot. Bilateral control of the system was performed using Fuzzy Logic, PD-based calculated torque control (PD based-CTC) and classical PID control methods. These methods are carried out in the simulation environment and the results are given in the form of graphs and table.

Key words: Teleoperation, Single Degree of Freedom Robot, Fuzzy Logic, PD-CTC , PID.

1. Giriş

İnsan-robot etkileşimi (HRI) genel olarak, insan operatörlerinin amacını ileten ve görev tanımlarını robot yeteneklerine ve çalışma gereksinimlerine uygun bir dizi robot hareketi dizisine yorumlayan bir süreç olarak adlandırılmaktadır. HRI için uygun etkileşim yöntemlerinin ve arayüzlerin tanımlanması, robotların kilit faaliyet alanlarındaki insanları desteklemesi için gerekli olması nedeniyle zor bir çalışma alanıdır. Teleoperasyon sistemlerinde ve ameliyatlarda[1-4], dokunsal geribildirim arayüzleri[5-7] ve iki veya daha fazla etkileşimi birleştiren çoklu arayüzler modelleri[8-10], en sık kullanılan alanlardan bazılarıdır. Teleoperasyon insanları bilinmeyen ortamlardaki görevlere hazırlama ve geliştirme olanağı sağlayan bir robot teknolojisidir. Teleoperasyon sistemleri tehlikeli, düşük verimliliğe sahip veya insanların bulunmadığı ortamlarda çalışma potansiyellerine sahip oldukları için tasarlanmıştır. Teleoperasyon sistemlerinin iki temel amacı vardır bunlar kararlılık ve şeffaflıktır. Aslında asıl amaç pozisyon, hız ve kuvvet sinyallerini ana robottan bağımlı robota aktarmak için kararlı bir kontrol şeması tasarlamaktır. Teleoperasyon sistemlerinin kararlılığı ve şeffaflığı, aktarılan bilginin miktarı ve türünden doğrudan etkilenir. Örneğin, konum ve hız sinyallerinin yanı sıra kuvvet sinyallerini iletmek mümkün olduğunda, daha verimli kararlılık ve şeffaflık mevcut olacaktır. Bunun nedeni, teleoperasyon sistemi kontrol yaklaşımlarında kuvvet sinyallerinin kullanılmasının bir avantajı olan sistem koşullarından daha doğru bilgi toplamaktır. Teleoperasyon çalışmalarının geniş bir çalışma yelpazesi olması dolayısıyla araştırmacılar tarafından

* Sorumlu yazar: tayfunabut@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-4646-3345, ² 0000-0002-8191-6891

geçmişten günümüze kadar araştırılmakta ve çalışılmaktadır. Savunma sanayi, robotik cerrahi, medikal sanayi, nükleer çalışmalar ve simülasyonlar vb. [11-16] çalışma alanlarına sahiptir. Şekil 1’de iki yönlü teleoperasyon sisteminin blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 1. İki yönlü teleoperasyon sisteminin blok diyagramı

Bir teleoperasyon sistemi bir insan operatörü, bir ana(master) robot, bir iletişim kanalı, bir bağımlı(slave) robot ve bağımlı robotun etkileşim girdiği çevreden oluşur. Böyle sistemlerin temel amacı, kullanıcının manipülasyon yeteneklerini uzak bir ortama genişletmektir. Bu amaçla ana ve bağımlı robotlar, iletişim kanalı üzerinden kontrol sinyalleri alışverişinde bulunmakta ve kuvvet/güç etkileşimi, operatöre geri yansıtılmaktadır. Teleoperasyon sistemlerinde iki yönlü denetleyici tasarımları konusunda Yan ve Salcudean H-sonsuz'a dayalı genel bir tasarım teorisi sunmuşlardır[17]. Kikuchi ve arkadaşları zaman gecikmesini sabit tutmak için sanal zaman gecikmesi yöntemini kullandı. Buna ek olarak, ortam davranışını tahmin etmek ve öngörülen davranışı operatöre iletmek için ortam öngörücü görüntüleme sistemini kullanmıştır[18]. Park ve Cho bağımlı(slave) için bir kayan kipli denetleyicisi ve ana(master) robot için ise bir empedans denetleyicisi tasarlamıştır. Önerilen denetleyicinin geçerliliğini, 1-DOF ana(master) /bağımlı(slave) robottan oluşan iki yönlü teleoperasyon sistemini kullanarak simülasyon çalışmaları gerçekleştirmiştir[19]. Xiong ve diğ. bir telerobotu kontrol etmek için artırılmış gerçeklik temelli bir tahminsel görüntüleme metodu ve gerçek operatör-sanal robot etkileşimini kullanmıştır[20]. Itoh ve diğ. hareket ve kuvvet için sanal ortam modeli kullanılarak yeni bir öngörülme yöntemi geliştirmiştir. Önerilen yöntem temel olarak, öngörücü görüntünün üst üste getirilmiş görüntüsünü ve bağımlı robot bölgesinin gerçek görüntüsünü arttırmak için geliştirilmiştir[21]. Li ve diğ. çalışmalarında sanal bir ortam oluşturdular ve modelin parametrelerinin online olarak düzeltilmesini sağlamaya çalışmıştır[22]. Lu ve diğ. çalışmalarında etkileşimler sırasında insan operatörü tarafından dokunsal görüntü oluşturma performansını arttırmak için ayrıntılı bir enerji dengeleme metodu sunmuşlardır[23]. Shahdi ve Sirouspour, bilinen sabit veya zamanla değişen gecikme süresi altında iki yönlü teleoperasyonda stabiliteyi korurken yüksek düzeyde şeffaflık sağlayan adaptif kontrolörleri kullanmıştır. Bu kontrolörlerde sistemin modelini ve zaman gecikmesi bilgileri kullanılmıştır[24]. Abbink ve diğ. ileri-beslemeli kontrole dayanan bir teleoperasyon sistemini kontrol eden, hesaplamalı bir insan operatör modelinin geliştirmiştir[25]. Soyguder ve Abut endüstriyel robotların hareketini sanal ve gerçek zamanlı değişken zaman gecikmesi ile kontrol etmeye çalışmıştır. Konum izleme performansını ve sistemin kararlılığını analiz etmek için geliştirilmiş dalga değişkenleri yöntemi kullanmıştır[26]. Jafari ve diğ. iki yönlü kuvvet yansımali teleoperasyon sisteminde meydana gelen zaman gecikmesi problemi dikkate alınmıştır. İletişim kanalını, zaman gecikmesinden bağımsız olarak pasif hale getiren bir anahtarlama kontrol yöntemi sunmuşlardır[27]. Teleoperasyon sistemlerinin birçok uygulama alanı olduğundan literatürde oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir. Araştırmacılar çeşitli çalışmalar yapmaya devam etmektedirler[28-29]. Çoğu teleoperasyon sistemleri çok hassas görevlerde kullanıldığı için önemli bir yere sahiptir. Bu bağlamda robotik uygulamalarda tek yönlü veya iki yönlü kontrol ile kuvvet ve tork geri besleme son zamanlarda robotik alanında aktif şekilde araştırılmakta ve çalışılmaktadır. Bu çalışmada tek serbestlik dereceli ana (master) ve bağımlı(slave) robottan oluşan teleoperasyon sisteminin kontrolü hedeflenmiştir. Tek serbestlik dereceli robotların dinamik modelleri elde edilmiştir. Ayrıca bağımlı (slave) robotun hareketleri görselleştirmek için sanal ortamda görsel bir arayüz tasarlanmıştır. Bulanık mantık(Fuzzy Logic), PD tabanlı hesaplanmış tork kontrol (PD based-CTC) ve klasik PID kontrol yöntemleri kullanılarak sistemin iki kontrolü gerçekleştirilmiştir. Robotların tek eksenli kontrol edilmiştir. Bu yöntemler benzetim ortamında gerçekleştirilerek sonuçlar grafikler ve tablo şeklinde verilmiş ve irdelenmiştir. Simülasyon çalışmalarının sonuçları ile sistemin hareket kontrolü hakkında ileriye dönük faydalı bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada ana ve bağımlı robotların dinamik modelleri elde edilmiş, ayrıca kuvvet grafikleri de elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan robot parametre değerleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

2. Sistemin Modellenmesi

Teleoperasyon sisteminin dinamik denklemlerinin elde edilmesinde Lagrange-Euler yöntemi kullanılmıştır[30].

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) \frac{\partial L}{\partial q_i} = \tau_i \quad (1)$$

Robotlar tek serbestlik derecesine sahiptir. Sistemin hareket denklemleri kullanılarak robotun kontrolü gerçekleştirilmiştir. Tek serbestlik dereceli ana (master) ve bağımlı (slave) robotların hareket denklemleri aşağıda 2 ve 3 nolu denklemlerde verilmiştir.

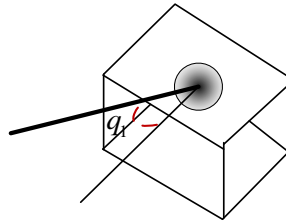
$$I_m \ddot{q}_m + b_m \dot{q}_m = f_h + \tau_m \quad (2)$$

$$I_s \ddot{q}_s + b_s \dot{q}_s = \tau_s - f_e \quad (3)$$

$\ddot{q}_i, \dot{q}_i, q_i$ ve τ_i, f_i sırasıyla konum, hız, ivme ve kontrol torkunu temsil etmektedir. $i \in \{m, s\}$ indisleri sırasıyla ana ve bağımlı robotları temsil etmektedir. I_m ve I_s atalet momentlerini b_m ve b_s ise robotların sönümleme katsayılarını göstermektedir. τ_m, τ_s sırasıyla ana ve bağımlı robotlara etki eden tork ifadelerini temsil etmektedir. f_h, f_e kullanıcı tarafından uygulanan ve çevreden sisteme etki eden bozucu kuvvetlere karşılık gelen kuvveti temsil etmektedir. Şekil 2’de tek serbestlik dereceli teleoperasyon sistemini oluşturan robotlardan bir tanesinin modeli gösterilmiştir.

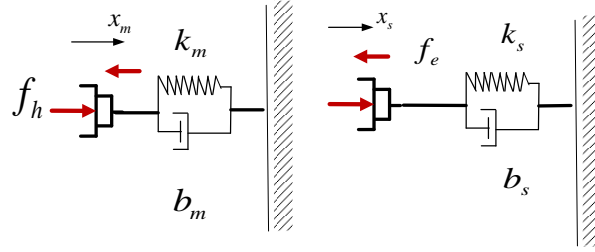
Tablo 1. Tek serbestlik dereceli robotların fiziksel parametreleri

Tanımlama & Sembol	Değer & Birim
Kütle (m_m)	0.257 kg
Kolun uzunluğu(l_m)	0.156 m
Atalet (I_m)	0.012 kgm ²
Yay katsayısı(k_m)	0.01 N /m
Viskoz sönüm katsayısı(b_m)	0.0024 N s/m
Kütle (m_s)	0.257 kg
Kolun uzunluğu(l_s)	0.156 m
Atalet (I_s)	0.012 kgm ²
Yay katsayısı(k_s)	0.01 N /m



Şekil 2. Tek serbestlik dereceli robot modeli

İnsan operatör ile çevre arasında ilişki bir sanal duvar ile robotun uç kısmı arasındaki temas yay-damper sistemi şeklinde modellenmiştir. Şekil 3’te kullanılan ana ve bağımlı robotun çevre ile etkileşim modeli gösterilmiştir.



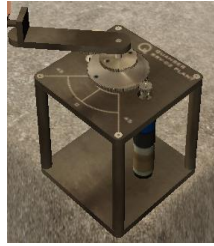
Şekil 3. Ana ve bağımlı robotların çevre ile etkileşim modeli

$$\begin{aligned} f_h &= k_m(x_m - x_{md}) + b_m(\dot{x}_m - \dot{x}_{md})(a) \\ f_e &= k_s(x_s - x_m) + b_s(\dot{x}_s - \dot{x}_m)(b) \end{aligned} \quad (4)$$

Burada a ve b nolu denklemlerde b_m , b_s , k_m , k_s sabitleri sırasıyla operatör ve çevre etkileşime girdiğinde sönüm ve yay sabiti katsayılarını temsil etmektedir. x_m , x_{md} ve x_s sırasıyla ana robotun konumunu, ana robotun istenen konumunu ve bağımlı robotun konumunu temsil etmektedir. f_e ve f_h ise ortaya çıkan kuvvetleri temsil etmektedir. Bu şekilde gösterilen model benzetim ortamında deneysel çalışmalar öncesinde kullanılmıştır.

3. Arayüz Tasarımı

Sanal bağımlı(virtual slave) robotun parametreleri Tablo 1’de verilmiştir. Bağımlı robotun arayüzü için Quarc yazılım kullanılmıştır. Bağımlı sanal robotun CAD modeli bir katı modelleme programında çizilmiş ve üç boyutlu (3D) model oluşturulmuştur. Öncelikle katı model programından Matlab/ Simulink ortamına aktarmak için, x3d formatına dönüştürüldü. Bir sonraki adımda ise bu parçaları ayrı ayrı veya vrlm biçiminde (sadece 3dsmax'ta) bir araya getirildi. Matlab paket programına aktarılarak, Quarc Visulation blokları ile sistemin 3 boyutlu görseli oluşturuldu. Gerekli yön, konum, sahne ve ışık ayarları gerçekleştirilmiştir. Sanal robot için bu programda görsel arayüz tasarlandı. Şekil 4’te tek serbestlik dereceli robotun oluşturulan görsel arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 4. Tek serbestlik dereceli robot için oluşturulan görsel arayüz

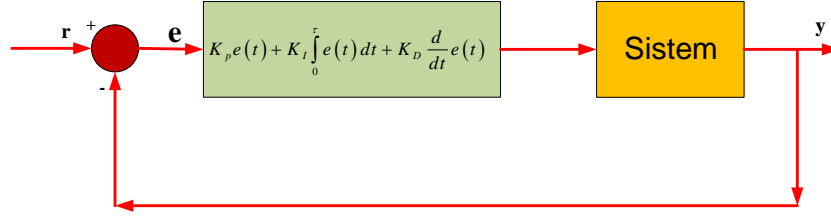
4. Kontrolör Tasarımı

Kontrolör tasarlanırken, açısal hareket eden tek serbestlik dereceli robotun referans değeri takip etmesi hedeflenmiştir. Sistem klasik PID denetleyici, bulanık mantık (Fuzzy Logic) ve PD tabanlı hesaplanmış tork kontrol yöntemleri kullanılarak sistem denetlenmiştir.

4.1. PID kontrol yöntemi

Bu çalışmada kullanılan bir diğer yöntem klasik PID (oransal integral türevi) kontrol yöntemidir. PID (oransal integral türevi) kontrol yöntemi birçok uygulamada kullanılan eski bir yöntem olmasına rağmen iyi bir performans göstermektedir. Nispeten diğer kontrolcülere göre ayarlaması kolay olduğundan ve basit bir kontrol

düzenliği olduğundan kullanımı yaygındır. Şekil 5’de PID geri beslemeli kontrol yönteminin blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 5. PID geri beslemeli kontrol yönteminin blok diyagramı

u kontrolör çıkışı, K_p oransal kazanç K_i integral kazanç, K_d türevsel kazanç ve e hata sinyali olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada PID katsayılarının bulunmasında John G. Ziegler ve Nathaniel B. Nichols tarafından ileri sürülen Ziegler-Nichols yöntemi kullanıldı ve bu yöntem içerisinde de kapalı çevrim kontrol tipi kullanıldı[31-34]. Tablo 2’de Ziegler-Nichols yöntemi genel kontrol parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 2. Ziegler-Nichols kapalı çevrim yöntemi ile elde edilen kontrol parametreleri

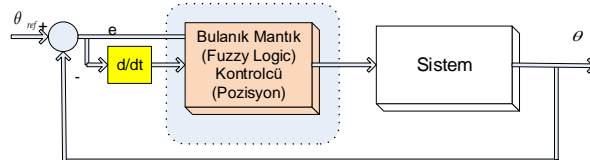
Kontrol Türü	K_p	K_i	K_d
P	$0.5 * K_{cr}$	∞	0
PI	$0.4 * K_{cr}$	$0.8 * P_{cr}$	0
PID	$0.6 * K_{cr}$	$0.5 * P_{cr}$	$0.125 * P_{cr}$

4.2. PD tabanlı hesaplanmış tork kontrol yöntemi(PD-CTC)

Hesaplanmış tork kontrol yöntemi, robotların kontrolünde yaygın olarak kullanılan robust ve doğrusal olmayan bir denetleyicidir[35-36]. Bu kontrol sistemi geri beslemeli lineerleştirmeye dayanan doğrusal olmayan geri beslemeli kontrol yasasını kullanarak sistem için gerekli tork değerlerini hesaplamaktadır. Şekil 6’da PD tabanlı hesaplanmış tork kontrol(PD-Computed torque control (PD-CTC)) yöntemi blok diyagramı gösterilmiştir. Bu yöntemlerin kararlılık analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.3. Bulanık Mantık Kontrol Yöntemi

Bulanık mantık(Fuzzy Logic) ve bulanık küme teorisi, 1960 yılında Azerbaycanlı Prof. Lotfi A. Zadeh (California University, Berkeley) tarafından ortaya atılmıştır. Bu çalışmada, insanların bazı sistemleri makinelerden daha iyi denetleyebilmelerinin nedenini, insanların kesinlik ile ifade edilemeyen (belirsiz) bazı bilgileri kullanarak karar verebilme özelliğine sahip olmalarına bağlamıştır. Bulanık mantık işlemleri, bir problemin analizi ve tanımlanması, değişken kümelerin ve mantık ilişkilerinin geliştirilerek bulunan bilgilerin bulanık kümelere dönüştürülmesi ve modelin yorumlanması işlemlerinden oluşmaktadır[37-39]. Bulanık Mantık denetleyicisine ait blok diyagramı Şekil 7’de gösterilmiştir.

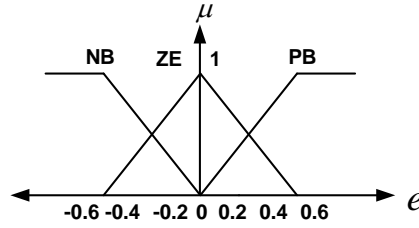


Şekil 7. Bulanık Mantık denetleyicisine ait blok diyagramı

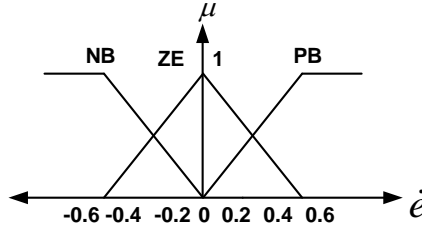
Kontrolör, hatayı ve hataların değişim oranını girdi olarak kullanır ve zamana göre değişen hata(e) ve hatanın türevine(\dot{e}) dayalı sistemin kontrolünü gerçekleştirmektedir. Önerilen bulanık mantık kontrolörü bir PID kontrolörü tarafından sağlanan kontrol performansını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bir FLC' nin (Fuzzy lojik controller) kural tabanı, genellikle kontrol edilecek sistem hakkında bilgi sahibi uzman kişilerin sözel ifadelerinden elde edilen bir grup IF-THEN kuralından oluşmaktadır[40-43]. Kural tabanı, bir FLC' nin kalbi olarak nitelendirilmektedir. Çünkü diğer bütün birimler ve bileşenler bu kuralların makul ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi için kullanılmaktadır. Bu sistem için oluşturulan kural tablosu ve üyelik fonksiyonları, ana ve bağımlı robotların minimum açı hata değerlerinin elde edilmesi amacıyla oluşturulmuştur. Bu sistemin denetimi için oluşturulan kural tabanı aşağıdaki Tablo 3' de görüldüğü gibi 9 kuraldan oluşmaktadır.

Tablo 3. FLC için Oluşturulan Kural Tabanı

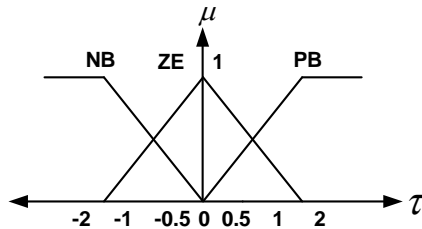
		\dot{e}		
		NB	ZE	PB
e	τ	NB	ZE	PB
	NB	NB	NB	ZE
	ZE	NB	ZE	PB
	PB	ZE	PB	PB



Şekil 8. Giriş değeri e için tanımlanan üyelik fonksiyonları



Şekil 9. Giriş değeri \dot{e} için tanımlanan üyelik fonksiyonları



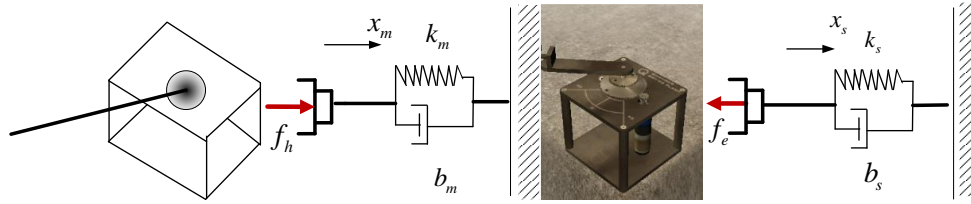
Şekil 10. Çıkış değeri τ için tanımlanan üyelik fonksiyonları

Şekil 8 ve 9'da sistemin giriş değerleri e ve \dot{e} için tanımlanan üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Şekil 10'da çıkış değeri τ için tanımlanan üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Denetim algoritmalarında sistemin girişlerini e (the error) hata ve \dot{e} (the rate of change of error) hatanın değişim değerlerini oluşturmaktadır. Burada

hata, sistemin çıkışları ile istenilen değerler arasındaki farklardır. Sistemin çıkışlarını ise hata ve hatanın zamana göre anlık değişim değerlerini minimize edecek şekilde sistemi tahrik eden motorlara uygulanan uygun tork değerleridir. Burada Bulanık mantık(Fuzzy Lojik) tipi denetiminde Mamdani metodu kullanılmıştır. Sistem denetim yapısı toplam tek giriş ve tek çıkıştan oluşmaktadır. Bu değer sistemin pozisyon bilgisidir. Burada denetimde hata(e) ve hata değişimini (\dot{e}) minimize edecek şekilde gerekli kontrol sinyalleri (τ) üretmektedir. İlk olarak bulanık (fuzzy) kontrol için kullanılan üçgen (triangular) tipi üyelik fonksiyonuna ait grafikler Şekil 8, 9 ve 10'da gösterilen giriş değerleri e ve \dot{e} için sırasıyla $\{-0.6, -0.4, -0.2, 0, 0.2, 0.4, 0.6\}$ ve $\{-0.6, -0.4, -0.2, 0, 0.2, 0.4, 0.6\}$ bu aralıktaki değerler kullanılmıştır. Aynı zamanda bulanık kontrole ait çıkış değeri τ için $\{-2, -1, -0.5, 0, 0.5, 1, 2\}$ bu aralıktaki değerler kullanılmıştır. Yukarıdaki tablolarda gösterilen kural tabanlarını oluşturan bulanık kontrol değişkenleri aşağıdaki gibi oluşturulmuştur. $e, (\dot{e}), \tau = \{\text{hata, hata değişimi, denetim değişkeni tork}\}$ {NB (Negatif Büyük), ZE (Sıfır), PB (Pozitif Büyük)}. FLC'ye ait giriş değerleri sırasıyla $\{-0.6, 0.6\}$ ve $\{-2, 2\}$ aralığında belirtilmiştir. Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarının tamamı üçgen tipi olarak alınmıştır.

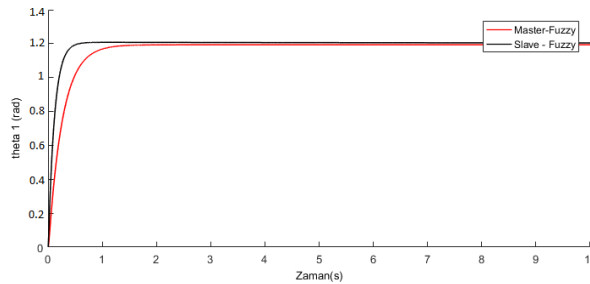
5. Benzetim (Simülasyon) çalışmaları

Bu kısımda sistemin dinamik denklemleri kullanılarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Sistemin kontrol değişkenleri konum ve kuvvet parametreleridir. Bu çalışmada tek serbestlik dereceli haptik robotun benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Tek serbestlik dereceli haptik-teleoperasyon çok serbestlik dereceli haptik robotlar ile gerçekleştirilen teleoperasyon çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Şekil 11'de ana ve bağımlı robotun çevre ile etkileşiminin benzetim modeli gösterilmiştir.

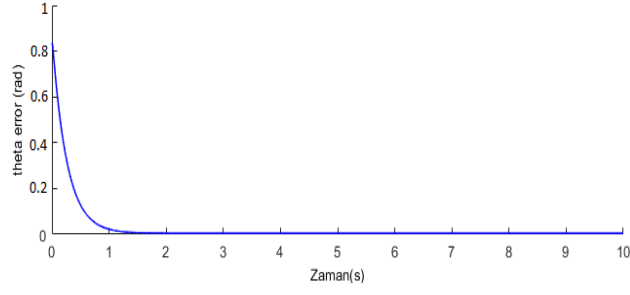


Şekil 11. Ana(master) ve bağımlı(slave) robotların çevre ile etkileşiminin benzetim modeli

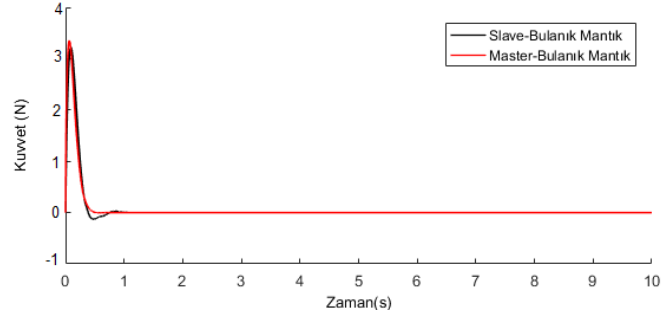
Öncelikle robotların dinamik modelleri elde edilmiştir ve daha sonra bu modelleri çalışır hale getirilmiştir. Tek serbestlik dereceli ana ve bağımlı robotların hareket kontrollerinde Bulanık(Fuzzy) kontrol, PD tabanlı hesaplanmış tork kontrol metodu ve klasik PID kontrol yöntemleri kullanılmıştır. Bu kontroldeki amaç, ana robot tarafından üretilen referans yörüngeyi takip etmesidir. Ayrıca ana robot tarafından üretilen konum ve hız değerlerinin, minimum konum ve hız hatası elde edilerek takip etmesidir. Bu bölümde kontrol yönteminin performans değerleri grafiksel olarak verilmiştir. Şekil 12,15 ve 18'de ana (master) ve bağımlı (slave) robotların sırasıyla bulanık mantık, PD tabanlı hesaplanmış tork ve PID kontrol yöntemleriyle elde edilen pozisyon grafikleri verilmiştir. Şekil 13,16 ve 19'da ise ana (master) ve bağımlı (slave) robotların sırasıyla bulanık mantık, PD tabanlı hesaplanmış tork ve PID kontrol yöntemleriyle elde edilen hız grafikleri gösterilmiştir. Şekil 14,17 ve 20'de ise ana (master) ve bağımlı (slave) robotların sırasıyla bulanık mantık, PD tabanlı hesaplanmış tork ve PID kontrol yöntemleriyle elde edilen kuvvet grafikleri gösterilmiştir.



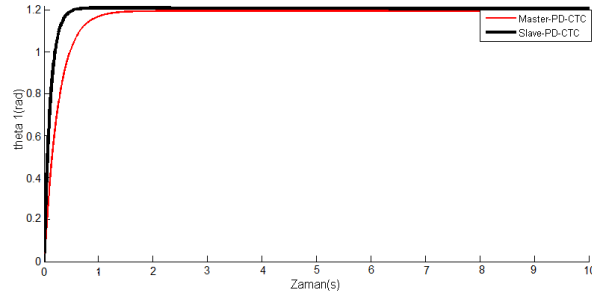
Şekil 12. Bulanık mantık(fuzzy logic) denetim yöntemi ile elde edilen robot eksen açısının cevabı



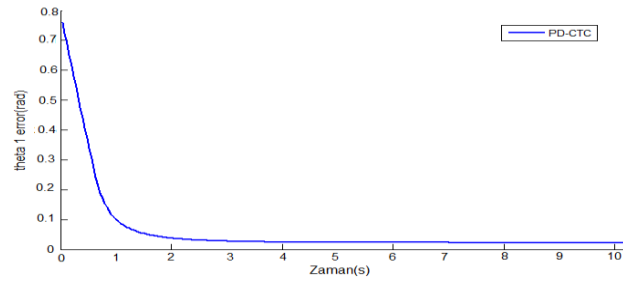
Şekil 13. Bulanık mantık(fuzzy logic) denetim yöntemi ile elde edilen hata cevabı



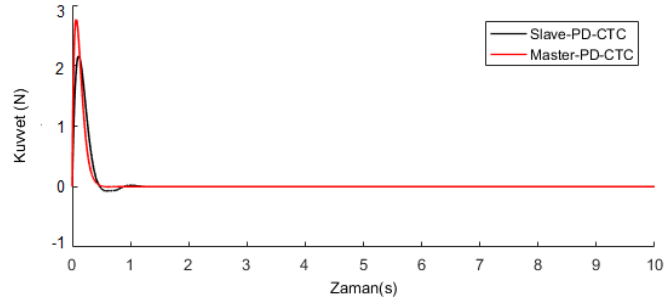
Şekil 14. Bulanık mantık(fuzzy logic) denetim yöntemi ile elde edilen kuvvet cevabı



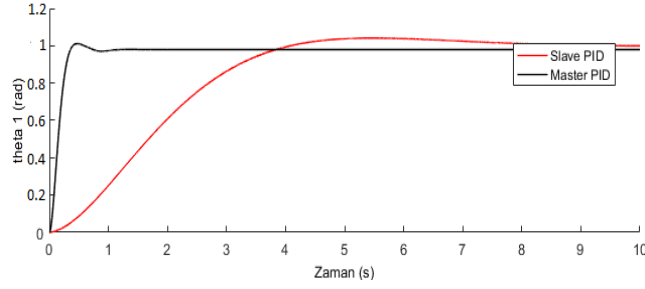
Şekil 15. PD tabanlı hesaplanmış tork kontrol yöntemi ile elde edilen robot eksen açısının cevabı



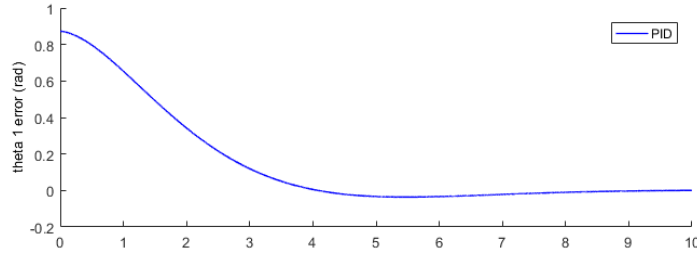
Şekil 16. PD tabanlı hesaplanmış tork kontrol yöntemi ile elde edilen hata cevabı



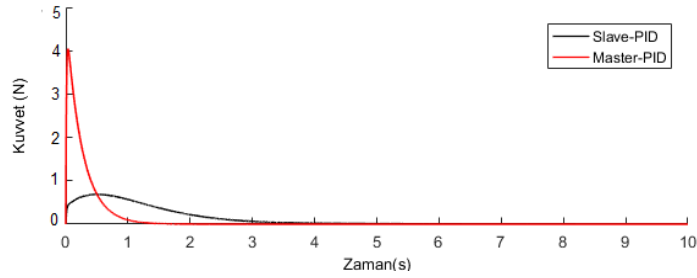
Şekil 17. PD tabanlı hesaplanmış tork kontrol yöntemi ile elde edilen kuvvet cevabı



Şekil 18. PID denetim yöntemi ile elde edilen robot eksen açısının cevabı



Şekil 19. PID kontrol yöntemi ile elde edilen hata cevabı



Şekil 20. PID kontrol yöntemi ile elde edilen kuvvet cevabı

Tek serbestlik dereceli teleoperasyon sisteminin kontrolünde kullanılan yöntemlerin performans karşılaştırması Tablo 4'te verilmiştir. Benzetim çalışmalarının süreleri 10 saniye alınmıştır. PD tabanlı hesaplanmış tork kontrol yöntemi klasik PID yöntemine göre daha düşük maksimum aşma, daha erken yerleşme süresi ve daha düşük sürekli rejim hatasına sahiptir. Karşılaştırılan açı cevaplarında PID kontrol yönteminin en büyük maksimum aşma genliğine, yerleşme süresine ve sürekli rejim hatasına sahip olduğu görülmüştür. Bulanık mantık kontrol yöntemindeki en düşük maksimum aşma genliğine, en düşük yerleşme süresine ve sürekli rejim hatasına performansı göstermiştir. Bulanık kontrol ana robot tarafından üretilen referans değerini en iyi takip eden yöntem olduğu görülmüştür. En iyi kuvvet takibi ise yine bulanık mantık kontrol yöntemi ile elde edilmiştir.

Tablo 4. Kontrol yöntemlerinin performans karşılaştırma tablosu

Kontrol Yöntemi	Yerleşme Zamanı	Maksimum Aşma	Sürekli Rejim Hatası
Bulanık(Fuzzy) Kontrol	2	5.2	0.002
PD tabanlı Hesaplanmış Tork Kontrol Yöntemi	4	8.24	0.008
PID	9	15	0.4

6.Sonuçlar

Bu çalışmada iki yönlü tek serbestlik dereceli teleoperasyon sistemin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak Bulanık mantık (Fuzzy Logic), PD tabanlı hesaplanmış tork kontrol yöntemi ve PID kontrol yöntemleriyle denetlenen tek serbestlik dereceli sistem için en kısa yerleşme süresine ve daha düşük genliğe sahip olması ayrıca sürekli rejim hatasının en düşük olduğu en iyi performansları göstermiştir. En iyi kuvvet takip performansı ise pozisyon cevaplarında olduğu gibi bulanık mantık kontrol yöntemi ile elde edilmiştir. Yöntemler arasında bu teleoperasyon sistemi için bulanık mantık kontrol yönteminin daha uygulanabilir olduğunu görülmüştür. Ayrıca PID kontrol yöntemi grafiklerde de görüldüğü gibi en kötü performansı göstermiştir. Elde edilen sonuçlar grafikler, tablo şeklinde verilmiş ve irdelenmiştir. Simülasyonlar sonucu sistemin hareketi hakkında ileriye dönük faydalı bilgiler elde edilmiştir. Gelecekte bu yöntem kullanılarak laboratuvar ortamında gerçek zamanlı çalışmalar yapılacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) 2015, MF.13.15 'nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Ateş, G., Ronny M., Dede, M.İ.C., Design of a teleoperation scheme with a wearable master for minimally invasive surgery. *New Trends in Medical and Service Robotics*. Springer, Cham, 2019;45-53.
- [2] Abut, T., Soyguder, S. Real-time control of bilateral teleoperation system with adaptive computed torque method., *Industrial Robot: An International Journal*, 2017; 44.3: 299-311.
- [3] Abut, T., & Soygüder, S., Haptic industrial robot control and bilateral teleoperation by using a virtual visual interface. In: 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). IEEE, 2018; p. 1-4.
- [4] Kozıma, H., Yasuda, Y.; Nakagawa, C., Social interaction facilitated by a minimally-designed robot: Findings from longitudinal therapeutic practices for autistic children. In: RO-MAN 2007-The 16th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication. IEEE, 2007. p. 599-604.
- [5] Abut, T, Soygüder, S., Interface Design and Performance Analysis for a Haptic Robot, *Mus Alparslan University Journal of Science*, 2018; 6 (2), 553-560.
- [6] Casper, J., Murphy, R.R., Human-robot interactions during the robot-assisted urban search and rescue response at the world trade center. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 2003, 33,3: 367-385.
- [7] Wilcox, R., Nikolaidis, S.; Shah, J. Optimization of temporal dynamics for adaptive human-robot interaction in assembly manufacturing. *Robotics*, 2013, 441.
- [8] Fong, T., Thorpe, C., Baur, C., Collaboration, dialogue, human-robot interaction. In: *Robotics Research*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2003. p. 255-266.
- [9] Holroyd, A. , Rich, C., Sidner, C.L, Ponsler, B., Generating connection events for human-robot collaboration, *Proc. 20th IEEE Int. Symp. Robot Hum. Interact. Commun.*, Atlanta , 2011,pp. 241–246.
- [10] Carignan, C., Tang, J., Roderick, S., Development of an exoskeleton haptic interface for virtual task training. In: 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2009. p. 3697-3702.
- [11] Chen, J.YC, Haas, E.C., Barnes, M.J Human performance issues and user interface design for teleoperated robots. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 2007, 37.6: 1231-1245.
- [12] Strom, P., Hedman, L. , Sarna, L. , Kjellin, A. , Wredmark, T., Fellander-Tsai, L., Early exposure to haptic feedback enhances performance in surgical simulator training: A prospective randomized crossover study in surgical residents, *Surg. Endosc.* 20(9), 2006, 1383–1388.
- [13] Katsura S., Iida W., Ohnishi K. Medical mechatronics An application to haptic forceps, *Annual Reviews in Control*, 2005, 29.2: 237-245.
- [14] Basdogan, C., De, S., Kim, J., Muniyandi, M., Srinivasan, M.A., Haptics in minimally invasive surgical simulation and training, *IEEE Comput. Graph. Appl.* 2004, 24.2: 56-64.

- [15] Wollacott, Andrew M., Merz JR, Kenneth M., Haptic applications for molecular structure manipulation. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 2007, 25.6: 801-805.
- [16] Zyda, M., Sheehan, J., Modeling and simulation: Linking entertainment and defense, National Research Council, Computer Science and Telecommunications Board Report., 1997.
- [17] Yan, J., Salcudean, S. E. Teleoperation controller design using H/sub/spl infin// -optimization with application to motion scaling. *IEEE Transactions on control systems technology*, 1996, 4.3: 244-258.
- [18] Kikuchi, J., Takeo, K., Kosuge, K., Teleoperation system via computer network for dynamic environment. In *Proceedings. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1998., Vol. 4, pp. 3534-3539.
- [19] Park, J. H., Cho, H. C., Sliding-mode controller for bilateral teleoperation with varying time delay., *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, IEEE., 1999., pp. 311-316.
- [20] Xiong, Y., Li, S., Xiet, M., Predictive display and interaction of telerobots based on augmented reality., *Robotica*, 2006, Vol.24, pp.447-453.
- [21] Itoh, T., Yodate, K., Ito, S., Matsui, T., New predictive display method of motion and force information for network teleoperation without using virtual environment model. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2003) IEEE*, 2003. p. 2815-2822.
- [22] Li, H., Song, A., Virtual-environment modeling and correction for force-reflecting teleoperation with time delay.' *IEEE Trans. On Industrial Electronics*, 2007, 54.2: 1227-1233.
- [23] Lu, X., Song, A., Stable haptic rendering with detailed energy-compensating control., *Computers & Graphics*, 2008, 32.5: 561-567.
- [24] Shahdi, A., Sirouspour, S., Adaptive control of bilateral teleoperation with time delay. *Int. J. Intell. Mechatron. Robot.* 2012, 2.1: 1-27.
- [25] Wildenbeest, J. G. W., Abbink, D. A., Boessenkool, H., Heemskerk, C. J. M., Koning, J. F., How operator admittance affects the response of a teleoperation system to assistive forces—a model analytic study and simulation. *Fusion Eng. Des.* 2013, 88.9-10: 2001-2005.
- [26] Soyguder, S., Abut, T., Haptic industrial robot control with variable time delayed bilateral teleoperation. *Industrial Robot: An International Journal*, 2016, 43.4: 390-402.
- [27] Jafari, B. H., Spong, M. W., Passivity-based switching control in teleoperation systems with time-varying communication delay., *American Control Conference (ACC)*. IEEE, 2017. p. 5469-5475.
- [28] Abut, T., Soygüder, S., Zaman Gecikmeli İnsan-Makine Etkileşimli Teleoperasyon Sisteminin Kontrolü. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2018, 30.1: 193-202.
- [29] Abut, T., Soyguder, S., Motion control in virtual reality based teleoperation system, *Proceedings of the IEEE, Signal Processing and Communications Applications Conference SIU*, 2015. p. 2682-2685.
- [30] Hazewinkel, M., Lagrange equations (in mechanics), *Encyclopedia of Mathematics*, Springer, 2001.
- [31] Ziegler, J.B., Nichols, N.B., The classic original paper: Optimum settings for automatic controllers, *ASME Transactions*, 1942, Vol. 64, pp. 759-768.
- [32] Abut, T, Altı Serbestlik Dereceli Haptik Robot ile Teleoperasyon ve Sistem Dinamiği/Dynamic of System and Teleoperation with Six Degree of Freedom Haptic Robot, *Fırat Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, 2015.
- [33] Hüseyinoğlu, M., Abut, T., Dynamic Model and Control of 2-Dof Robotic Arm, *European Journal of Technique*, 2017, 8.2: 141-150.
- [34] Abut, T., Control of a Dc Motor using Sensorless Observer Based Sliding Mode Control Method, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 2018, 66(2): 67-72.
- [35] Middleton, R.H., Goodwin, G.C, Adaptive computed torque control for rigid link manipulators, *25th IEEE Conference on Decision and Control*. IEEE, 1986. p. 68-73.
- [36] Nguyen-Tuong, D., Seeger, M., Peters, J., Computed torque control with nonparametric regression models. In: *2008 American Control Conference*. IEEE, 2008. p. 212-217.
- [37] Zadeh, L. A. Fuzzy sets. *Information and control*, 1965, 8.3: 338-353.
- [38] Zadeh, L.A. , Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy sets and systems*, 1978, 1.1: 3-28.
- [39] Kilickap, E., Huseyinoglu, M., Yardimeden, A., Optimization of drilling parameters on surface roughness in drilling of AISI 1045 using response surface methodology and genetic algorithm, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2011, 52.1-4: 79-88.
- [40] Abut, T, Soyguder, S, Real-time control and application with self-tuning PID-type fuzzy adaptive controller of an inverted pendulum, *Industrial Robot: the international journal of robotics research and application*, 2019, Vol. 46 Issue: 1, pp.159-170. <https://doi.org/10.1108/IR-10-2018-0206>.
- [41] Ozben, T., Huseyinoglu, M., Arslan, N., Fuzzy logic model for the prediction failure analysis of composite plates under various cure temperatures, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 2014, 36.3: 443-448.
- [42] Soyguder, S., Alli, H., An expert system for the humidity and temperature control in HVAC systems using ANFIS and optimization with fuzzy modeling approach, *Energy and Buildings*, 2009, Vol. 41No. 8, pp. 814-822.
- [43] Soyguder, S., Karakose, M., Alli, H. "Design and simulation of self-tuning PID-type fuzzy adaptive control for an expert HVAC system", *Expert Systems with Applications*, 2009, Vol. 36No. 3, pp. 4566-4573.

Orta Toroslarda Karbonatlı Kayaçlar ile İlişkili Sarıveliler (Karaman) Floritlerinin Nadir Toprak Element Jeokimyası

Yusuf URAS^{1*}, Cihan YALÇIN², Yaşar İNCEDİŞ¹, Muhittin KARAMAN³

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 46100, Kahramanmaraş

² Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Burdur İl Müdürlüğü, 15100, Burdur

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34100, İstanbul

*¹ uras74@gmail.com, ² cihan.yalcin@sanayi.gov.tr

(Geliş/Received: 17/05/2019);

Kabul/Accepted: 02/07/2019)

Öz: Orta Toroslar'da karbonatlı kayaçlar ile ilişkili Zn-Pb yatakları ile barit ve florit zenginleşmeleri bulunur. Florite ait Nadir Toprak Elementleri (NTE) kökensel yorumlamada kullanılır. Orta Toroslarda yer alması ve bölgeye yakın alanlarda da florit oluşumlarına rastlanması sebebiyle Sarıveliler floritinin oluşumunun ortaya konulması önem arz eder. Bu çalışmanın amacı floritin oluşumu ve NTE jeokimyasının ortaya konularak diğer yataklar ile karşılaştırılmasıdır. Sarıveliler ilçesi batısında Aladağ Birliğine ait Erken-Orta Triyas yaşlı kireçtaşları florit içerir. Damar tipi şeklinde ve epigenetik oluşumlu cevherleşmede parajenez florit, galenit, kuvars ve kalsitten oluşur. Sarıveliler floritlerinin NTE jeokimyası, floritlerin NTE bakımından fakir olduğunu gösterir. Floritler, kireçtaşları içerisinde gelişmiş kırık ve çatlaklarda hidrotermal evrede oluşmuştur. Düşük Y oranları, cevherleşmede formasyon sularının etkin olduğunu göstermektedir. Cevher oluşumunda ortam düşük sıcaklık ve yüksek oksijen fugasitesine sahiptir. Sarıveliler floritleri (Tb/Yb)_n-(La/Yb)_n diyagramında New Mexico kristalize alanında, (La/Yb)_n-(Eu/Eu*)_n ve Sr-(Eu/Eu*)_n diyagramlarında Büyükkızılcık floritlerine benzer alanda, Sc/Eu-Sr diyagramında Akdağmadeni floritleri alanında ve Sc-ΣREE diyagramında ise ağır metaller alanında dağılım göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Florit, Aladağ Birliği, Sarıveliler (Karaman), nadir toprak elementi (NTE).

Rare Earth Element Geochemistry Of Sarıveliler (Karaman) Fluorites Related To Carbonate Rocks in Middle Taurus

Abstract: Zn-Pb ore deposits and carbonate associated barite and fluorite enrichments/mineralization are present in the Middle Taurus. Rare Earth Elements (REE) belonging to fluorite are used to interpretation of the origin. It is important to reveal the formation of Sarıveliler fluorites due to located in Central Taurus and presence of fluorite in areas close to the region. The aim of this study is to reveal the formation of fluorite and REE geochemistry and to compare with other deposits. To the west of Sarıveliler district, Early-Middle Triassic aged limestones of Aladağ Unit contains fluorite. The paragenesis contains fluorite, galena, quartz and calcite in the vein type and epigenetic formation with mineralization. Geochemical investigation of REE of Sarıveliler Fluorites exhibit that fluorite are poor in REE. Fluorites formed in hydrothermal phase in fractures and cracks developed within limestone. Low Y rates indicate that formation waters are effective in mineralization The environment had low temperature and high oxygen fugacity in ore formation. Sarıveliler fluorites show distribution crystalline are in New Mexico area on (Tb/Yb)_n-(La/Yb)_n diagram, in similar area to Büyükkızılcık fluorites on (La/Yb)_n-(Eu/Eu*)_n and Sr-(Eu/Eu*)_n diagrams, in the area of Akdağmadeni fluorites on Sc/Eu-Sr diagram and in the area of heavy metals on Sc-ΣREE diagram respectively.

Key words: Fluorite, Aladağ unit, Sarıveliler (Karaman), rare earth element (REE).

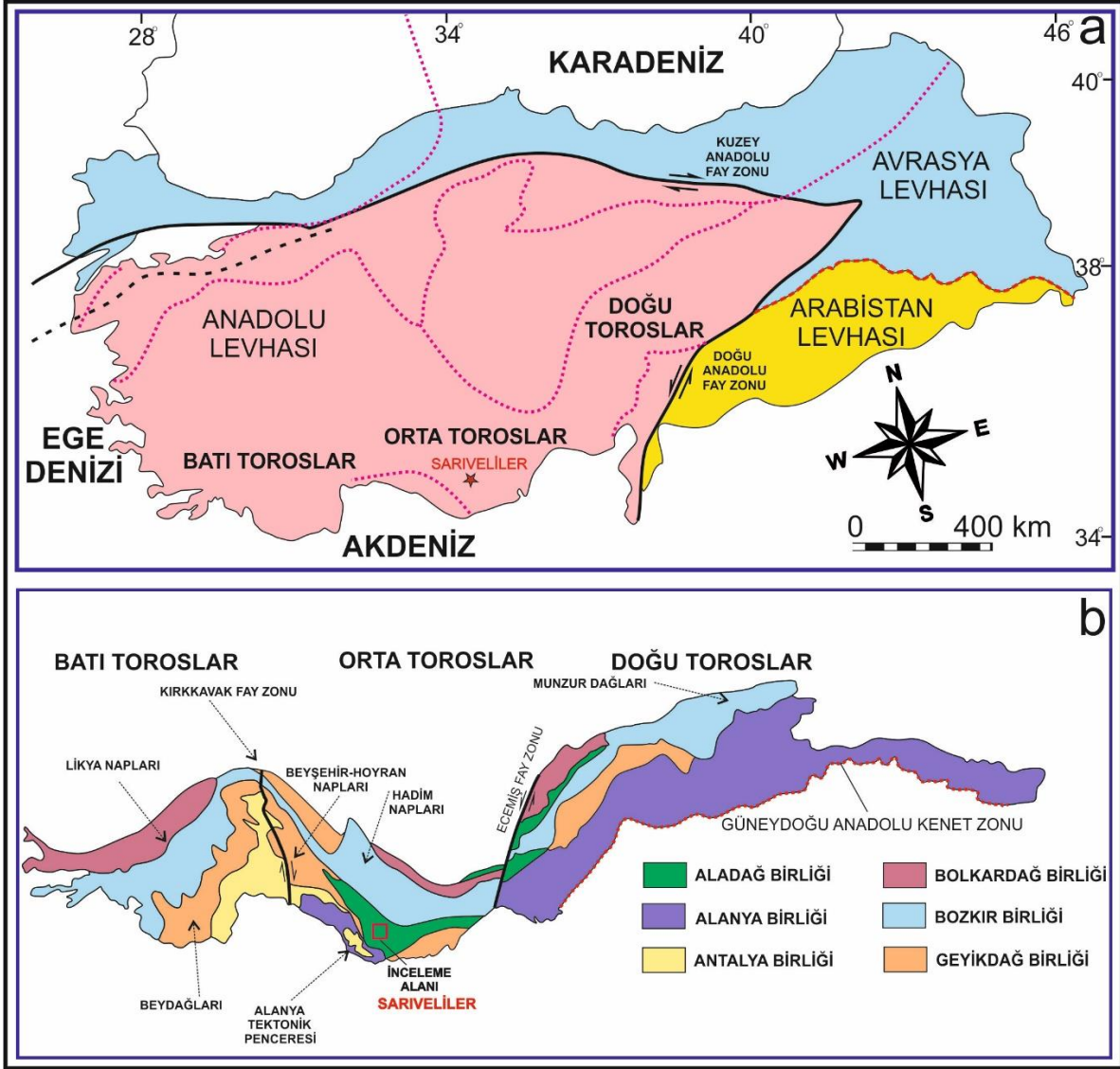
1. Giriş

Türkiye'deki ana tektonik kuşaklardan birisi Toros Orojenik Kuşağı'dır [1]. Bu Kuşağın kuzeyini Anatolidler, güneyini ise Akdeniz ve Arap Platformu'na ait kenar kıvrımları sınırlamaktadır. Türkiye'nin paleotektonik sınıflamasında Okay ve Tüysüz [2], Toros Orojenik Kuşağı'nı Anatolid-Torid Bloğu içerisinde göstermektedir. Toros Orojenik Kuşağı coğrafik olarak ise batı, orta ve doğu olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır (Şekil 1a).

Orta Toroslar'da karbonatlı kayaçlar ile ilişkili Zn-Pb yatakları birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir [3 – 9]. Bu yataklarda genel olarak parajenezde baritle beraber florit de bulunmaktadır. Kuşçu [4] inceleme alanına yakın bir alanda bulunan Göktepe (Karaman) civarındaki Zn-Pb oluşumlarında parajenezde floritlerin gözlemlendiğini belirtmiştir. Kuşçu [3] Göktepe'nin kuzey alanlarında gözlenen floritlerin Y içeriklerinin düşük olması sebebiyle

* Sorumlu yazar: uras74@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-5561-3275, ² 0000-0002-0510-2992, ³ 0000-0002-8971-010X

florit oluşumunda formasyon sularının etkili olduğunu belirtmiştir. Sarıveliler ilçesi (Karaman) batısında yüzlek veren Aladağ Birliğine ait karbonatlı kayalar içerisindeki florit zenginleşmelerinin (Şekil 1b) parajenezinde floritle beraber galenit, kuvars ve kalsit bulunmaktadır. İnceleme alanının Göktepe bölgesinin yaklaşık 9 km kuzeyinde bulunması ve benzer kayaların bu bölgede de var olması sebebiyle Sarıveliler florit oluşumunun jeokimyasal kökeninin ortaya konulması önem arz etmektedir. Bu çalışma ile Sarıveliler floritlerinin kökensel oluşumu ilk kez, Nadir Toprak Element (NTE) değerlerine göre ortaya konulmuştur.



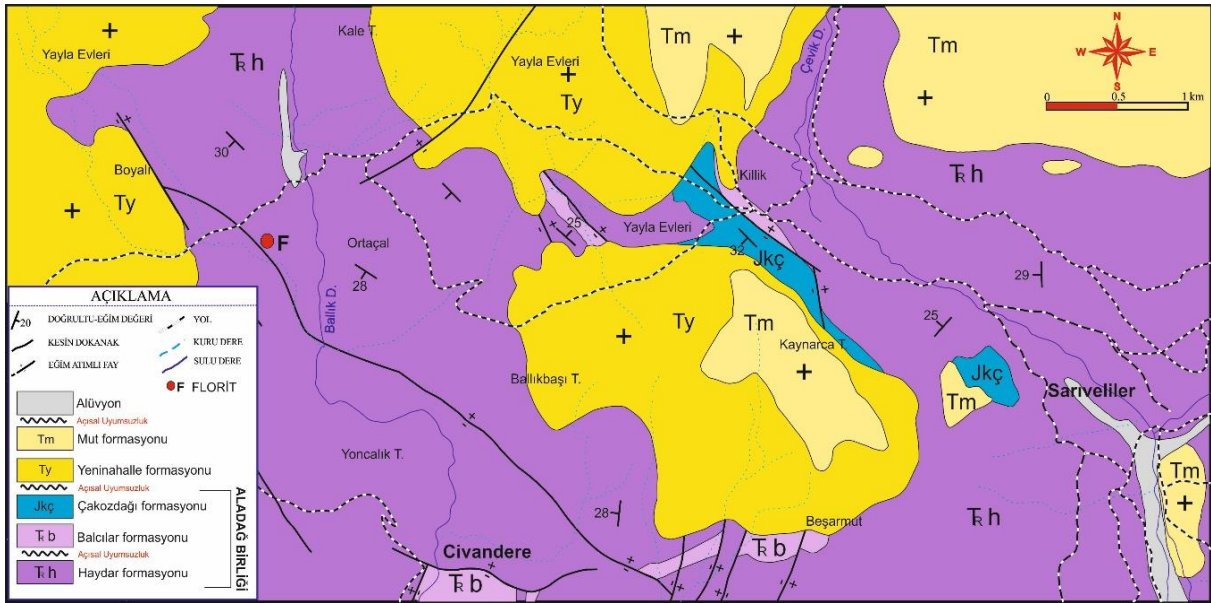
Şekil 1. İnceleme alanının Türkiye (a) ve Toroslardaki (b) tektonik konumu (Işık [10]'dan değiştirilmiştir).

2. Ana Jeolojik Özellikler

Toros Orojenik Kuşağı'nda Prekambriyen yaşlı temel kayalar ile Paleozoyik-Mezozoyik yaş aralığındaki kayalar, Geç Kretase'de Neotetis'in farklı kollarının da kapanmasıyla [11] bir araya gelmiş ve farklı tektonik dilimlere oluşturmuştur [12 – 14]. Özgül [12] nap sistemlerinin yoğun olarak görüldüğü bu kuşağındaki tektono-stratigrafik dilimleri stratigrafi, metamorfizma ve içyapı özelliklerini dikkate alarak Aladağ, Antalya, Alanya, Bozkır, Geyikdağı ve Bolkaradağı birliklerine ayırmıştır.

Orta Toroslar'da bulunan inceleme alanı Sarıveliler ilçesinin (Karaman) batısında yer alır. İnceleme alanının temelini Aladağ Birliğine [12] ait litolojiler oluşturmaktadır (Şekil 2). Tabandan tavana doğru Haydar, Balçılar ve

Çakozdağı formasyonundan oluşan Aladağ Birliği Tersiyer yaşlı sedimanter kayalar ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlar tarafından açılmalı uyumsuzlukla örtülmektedir. İnceleme alanında geniş alanlarda görülen Haydar formasyonu [4] başlıca kumtaşı, çamurtaşı, killi kireçtaşı ve kireçtaşıdan oluşmaktadır. Aladağ Birliğine ait Alt-Orta Triyas yaşlı bu birim Demirtaşlı [15] tarafından Göktepe formasyonu olarak da adlandırılmıştır. Ortaçal batısında birime ait kireçtaşları içerisindeki süreksizlik düzlemlerinde kurşunlu florit cevherleşmesi bulunmaktadır. Haydar formasyonuna ait litolojiler daha genç birimler tarafından açılmalı uyumsuzlukla örtülmektedir. Taban dokanağı Haydar formasyonu ile uyumsuz olan Üst Triyas Balcılar Formasyonu [4] başlıca kırmızımsı kahverengi konglomera, killi kireçtaşı, kumtaşı ve şeyllerden oluşmaktadır. Aladağ Birliği'ne ait Jura-Kretase yaşlı kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomitten oluşan Çakozdağı Formasyonu [17] Sarıveliler batısı ve Yayla evleri boyunca sınırlı alanlarda yüzlek vermektedir. Erken Oligosen yaşlı [18] Yenimahalle Formasyonu şeyl, marn, miltaşı, kumtaşı, çakıltaşı aralanmasından oluşur ve Sarıveliler batısında yüksek tepelerde yüzeyleme vermektedir. İlk defa Gedik ve diğ. [19] tarafından adlandırılan Orta Miyosen yaşlı [20] Mut Formasyonu başlıca çakıltaşı, kumtaşı ve kireçtaşıdan oluşmakta ve yüksek rakımlı tepelerde yataya yakın tabakalar halinde gözlenmektedir.



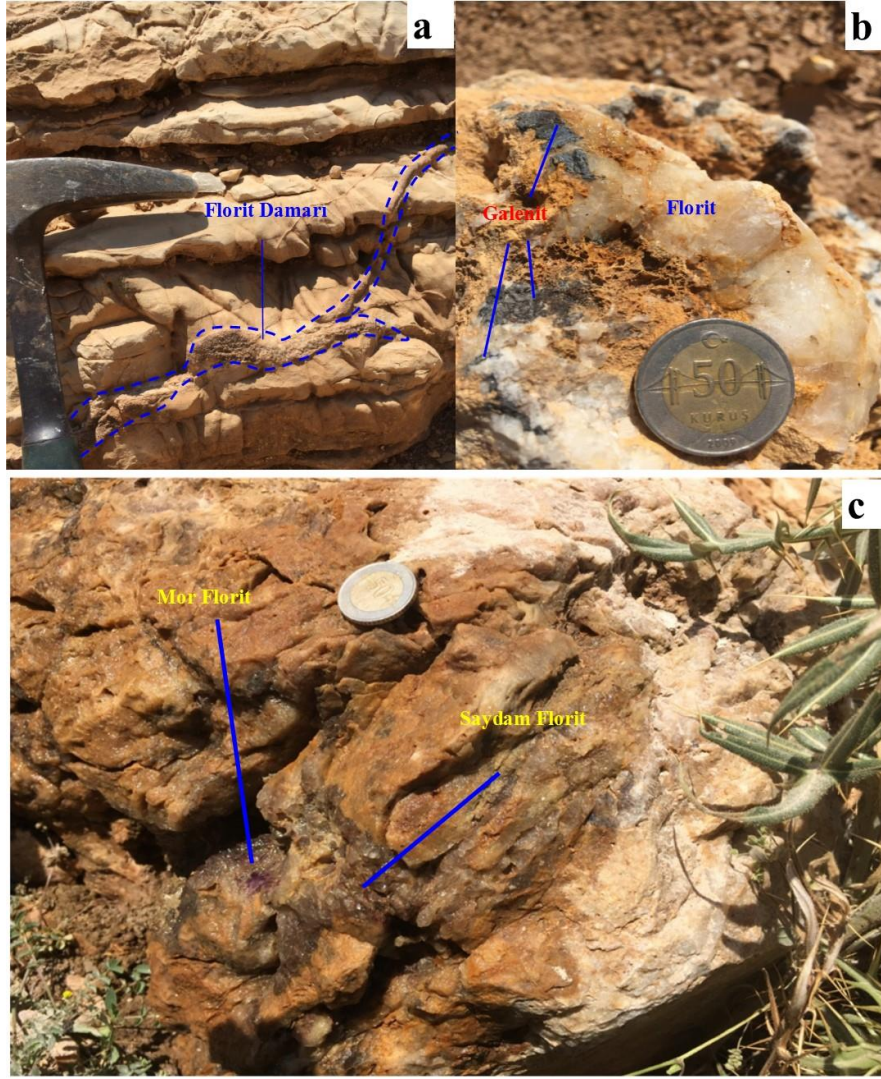
Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası (MTA'dan [16] değiştirilmiştir).

3. Cevherleşme

Sarıveliler florit cevherleşmesi Aladağ Birliği'ne ait Alt-Orta Triyas Haydar formasyonunda gözlenmektedir. Kireçtaşı seviyelerinde damar tipi (Şekil 3a) şeklinde gözlenen cevherleşme epijenetik oluşumdur. Damar kalınlıkları 3 cm ile 20 cm arasında değişmektedir. Kırık ve çatlaklarda gözlenen florite yer yer galenit (Şekil 3b) eşlik etmektedir. Bu bölgede gözlenen floritler mor ve saydam renklidir (Şekil 3c).

4. Materyal ve Metot

Sarıveliler civarında gözlenen birimlerin dokanak ilişkisini ortaya koymak amacıyla 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası MTA [16]'dan değiştirilerek hazırlanmıştır. Sahadan alınan 12 adet florit örnekleri ise un haline getirilip 5'er gramlık numuneler halinde paketlenmiş ve Acme Laboratuvarına (Vancouver-Canada) gönderilmiştir. Floritlerin majör oksit, iz element, flor ve Nadir Toprak Elementi (NTE) analizi LİBO2 FUSION cihazında, ICP/MS yöntemiyle gerçekleştirilmiş ve sonuçlar diyagramlarda değerlendirilmiştir.



Şekil 3. Florit damarının (a), galenitin (b), saydam ve mor floritin (c) genel görünümü.

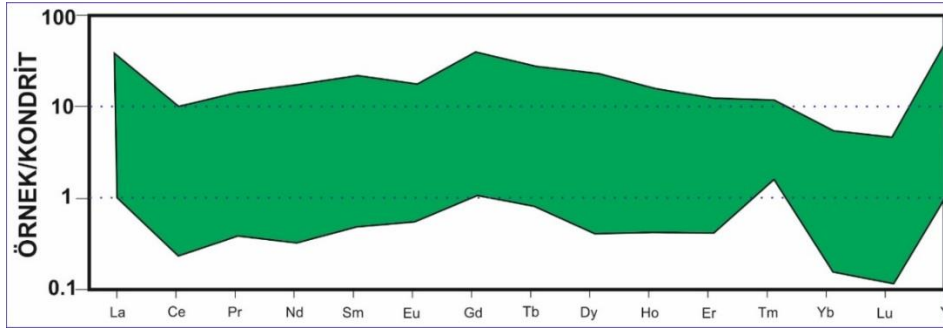
5. Floritlerin NTE Jeokimyası

Nadir toprak elementleri kayaçların ve maden yataklarının jenezinin ortaya konulması bakımından önemli bir parametredir. Kayaç içerisinde dolaşan çözültü karbonatça zengin bir akışkan ise bu durumda NTE normal sulu çözültüden daha mobil bir karakter sergilemektedir [21]. Bu sebeple Sarıveliler floritlerinin nadir toprak elementi (NTE) analizi ile birlikte majör oksit, iz element ve florit analizi gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). Analiz değerlerine göre Sarıveliler floritlerinde ortalama 28,65 % F ve 50,34 % Ca bulunmaktadır. Floritlerin NTE içerikleri 0,01 ile 11,5 ppm arasında değişmekte ve toplamda ise 161,69 ppm Σ NTE bulunmaktadır. Bu durum floritlerin NTE bakımından fakir olduklarını ve Doğu Toroslar'daki Feke floritlerine benzer olduklarını göstermektedir [22]. Y değerleri ise Göktepe Zn-Pb cevherleşmelerindeki floritlerin değerlerine [3] benzerlik göstermektedir. Kuşçu [3] Y değerinin çok küçük olmasına dayanarak floritlerin oluşumunun formasyon sularından kaynaklandığını belirtmiştir.

Floritlerin NTE içerikleri C1-Chondritlere [23] göre normalize edilmiş ve diyagramı hazırlanmıştır (Şekil 4). Diyagrama göre belirgin bir fraksiyonlaşmanın olmadığı, ağır nadir toprak elementlerinin (ANTE) geç evrede oluşan minarellerde bir zenginleşme gösterdiği, orta nadir toprak elementleri (ONTE) içeriklerinin yüksek değerler sunduğu ve hafif nadir toprak elementlerinin (HNTE), ONTE ve ANTE değerlerine göre daha az zenginleştiği belirlenmiştir.

Tablo 1. Floritlerin majör oksit, flor ve iz element analiz sonuçları.

A	SF-1	SF-2	SF-3	SF-4	SF-5	SF-6	SF-7	SF-8	SF-9	SF-10	SF-11	SF-12
SiO₂ (%)	0,18	0,14	0,13	0,14	0,15	0,15	0,10	0,08	0,24	0,12	0,22	0,14
Al₂O₃(%)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01
Fe₂O₃(%)	0,16	0,10	0,10	0,08	0,04	0,09	0,06	0,10	0,05	0,06	<0,04	0,08
Na₂O(%)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
K₂O(%)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
P₂O₅(%)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
MgO(%)	<0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,06	<0,01	0,07
CaO(%)	70,15	70,82	69,88	70,83	71,36	70,24	70,00	70,73	69,13	70,97	71,25	70,61
MnO(%)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
TiO₂(%)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
F%	28,95	28,31	29,22	28,18	27,91	28,8	29,3	28,52	30,14	28,15	28	28,38
Sr (ppm)	69,3	66,9	69,5	68,5	68,6	65,1	68,8	62,2	59,8	69,4	70,0	66,4
Ca	50,10	50,58	49,91	50,59	50,97	50,17	50	50,5	49,35	50,69	50,89	50,43
Ni(ppm)	0,5	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Zr (ppm)	0,8	0,6	0,7	0,6	0,5	0,4	0,5	0,8	1,8	0,5	0,7	0,7
Th (ppm)	0,6	0,6	0,8	0,8	0,6	0,5	0,6	0,5	0,7	0,6	1,0	0,4
As(ppm)	1,7	0,7	0,6	<0,5	<0,5	0,5	1,2	0,7	<0,5	<0,5	<0,5	0,8
Cd(ppm)	10,5	9,2	12,1	13,2	11,0	15,5	10,5	16,6	12,3	9,3	1,5	9,8
W (ppm)	1,4	1,2	0,9	<0,5	0,8	<0,5	0,5	1,3	<0,5	0,5	0,7	1,7
La (ppm)	0,9	0,5	1,0	0,7	0,8	0,5	0,5	1,2	1,5	0,8	0,7	0,9
Ce (ppm)	0,8	0,9	0,8	1,0	1,1	0,9	0,9	0,7	1,1	0,9	1,0	0,9
Pr (ppm)	0,18	0,21	0,19	0,21	0,18	0,18	0,20	0,16	0,17	0,16	0,18	0,16
Au(ppm)	<0,5	<0,5	<0,5	1,2	<0,5	4,7	1,1	<0,5	<0,5	<0,5	1,0	1,0
Nd (ppm)	0,8	0,9	1,0	1,1	0,9	1,2	1,2	1,3	0,7	1,0	1,0	1,2
Sm (ppm)	0,35	0,35	0,40	0,37	0,33	0,34	0,39	0,34	0,49	0,40	0,55	0,37
Eu (ppm)	0,14	0,14	0,11	0,12	0,14	0,11	0,10	0,15	0,11	0,12	0,15	0,13
Tb (ppm)	0,12	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11	0,11	0,10	0,14	0,10
Dy (ppm)	0,52	0,61	0,56	0,77	0,75	0,65	0,69	0,67	0,62	0,65	0,94	0,46
Ho (ppm)	0,12	0,13	0,14	0,12	0,09	0,10	0,11	0,12	0,014	0,14	0,15	0,12
Er (ppm)	0,35	0,24	0,28	0,32	0,26	0,29	0,23	0,25	0,30	0,26	0,38	0,26
Ba(ppm)	22	10	13	15	11	11	13	12	18	18	19	11
Tm (ppm)	0,14	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04
Co(ppm)	0,9	0,4	0,9	0,8	0,5	0,6	1,0	0,8	1,1	0,4	1,5	0,7
Yb (ppm)	0,17	0,16	0,16	0,24	0,16	0,11	0,12	0,19	0,11	0,13	0,24	0,17
Y(ppm)	9,8	9,3	9,2	10,5	10,2	9,5	10,6	9,5	9,4	9,2	11,5	9,6
Cs(ppm)	0,1	0,1	0,2	<0,1	0,2	0,2	<0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	<0,1
Nb(ppm)	<0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,6	1,1	0,8	0,5	0,4	0,4
Rb(ppm)	1,3	1,5	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,4	1,4	1,3	1,6	1,3
Se(ppm)	0,7	1,7	1,0	2,1	0,6	0,9	1,4	0,9	1,4	0,6	0,5	1,9
Nb(ppm)	1,6	0,7	1,3	0,7	1,3	<0,1	0,8	0,5	0,1	<0,1	1,0	0,7
Hg(ppm)	0,05	0,04	0,07	0,11	0,04	0,08	0,08	0,04	0,05	0,07	0,08	0,07
V(ppm)	23	25	9	8	8	18	18	11	<8	<8	8	9
Gd(ppm)	0,82	0,79	0,78	0,71	0,82	0,76	0,64	0,75	0,81	0,66	0,98	0,77
Lu (ppm)	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02
Mo(ppm)	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3
Cu(ppm)	1,4	0,9	1,1	1,3	1,1	1,2	0,6	0,7	0,8	1,0	0,6	0,9
Zn(ppm)	1669	1234	1564	1810	1594	2023	1422	1952	1520	1342	384	1260
Pb(ppm)	32,6	39,8	79,0	62,5	45,4	59,0	32,0	52,0	41,5	49,6	27,9	67,6
Ce\Yb	4,70	5,62	5	4,16	6,87	0,18	7,5	3,68	10	6,92	4,16	5,29
Tb\La	0,13	0,2	0,1	0,15	0,13	0,22	0,2	0,09	0,07	0,125	0,2	0,11
Tb\Ca*10⁻⁷	2,39	1,97	2,20	2,17	2,15	2,19	2	2,17	2,22	1,97	2,75	1,98
Ce\Ce*	0,605	0,506	0,449	0,639	0,710	0,735	0,697	0,391	0,534	0,616	0,690	0,581
Eu\Eu*	0,799	0,814	0,602	0,716	0,823	0,662	0,612	0,909	0,534	0,714	0,625	0,745
ΣNTE	14,33	13,89	13,78	15,63	15,09	14,30	15,33	14,29	13,97	13,79	17,29	14,30

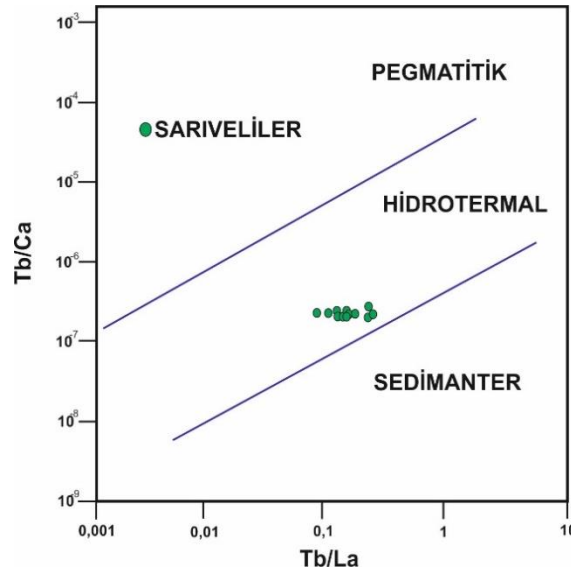


Şekil 4. Sarıveliler floritlerinin kondritlere göre normalleştirilmiş Lantanid diyagramı.

Eu/Eu* ve Ce/Ce* oranları cevherleşme ortamının oksijen içeriği hakkında önemli bilgiler sunmaktadır [21]. Ce/Ce* ve Eu/Eu* oranları $Ce/Ce^* = Ce_n / (La_n \times Pr_n)^{1/2}$ ve $Eu/Eu^* = Eu_n / (Sm_n \times Gd_n)^{1/2}$ şeklinde hesaplanmaktadır [24 – 27]. Eu/Eu* değerleri >1 ise ortamda yeterli miktarda oksijen olması durumunda Eu⁺² oksitlenerek Eu⁺³'e dönüşür ve floritlerin yapısına girer [25]. Ce/Ce* değerleri <1 ise Ce oksijenle birleşerek CeO² şeklinde çökler ve böylece floritlerin yapısına giremez. Bu sebeple Kondrite göre normalize edilmiş diyagramlarda Ce negatif, Eu ise pozitif bir anomali sunmaktadır [23]. Floritlerde pozitif Ce anomalisi gözlenmesi hidrotermal sıvıların kaynağında düşük oksijen fugasitesinin varlığını, negatif Eu anomalisi gözlenmesi ise bu koşulların cevherleşme ortamında da devam ettiğini göstermektedir [28, 29]. Sarıveliler floritlerinde Eu açısından küçük miktarda bir zenginleşme görülmektedir. Negatif Ce anomalisi ise yüksek oksijen fugasitesine işaret etmektedir.

Sarıveliler floritleri formasyon sularının etkisi altında oluşmuştur. Kuşçu [3] Göktepe civarındaki floritlerin Y içeriğinin fakir olduğunu, bu sebeple florit oluşturan akışkanın magmatik kökenli olmadığını ve cevherleşmede formasyon sularının etkili olduğunu belirtmiştir. Bu bakımdan Sarıveliler floritleri Göktepe floritlerine benzer bir karakter sunmaktadır.

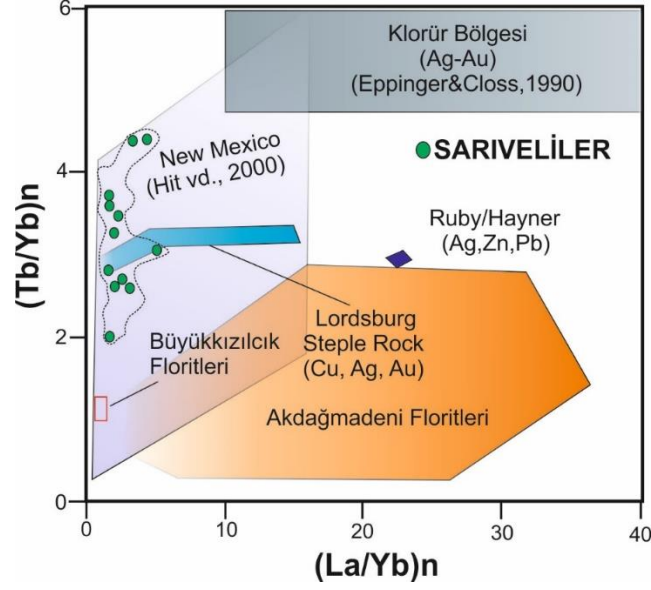
Florit oluşumu anında Lantanyum (La) ve Terbiyum (Tb) yoğun bir ayrımlanmaya uğramaktadır. Bu nedenle Tb/La ve Tb/Ca oranları, oluşum ortamlarının ve ayrımlanma derecesinin belirlenmesinde ve oluşum ortamının belirlenmesinde kullanılmaktadır [30, 24, 28]. Floritlerin kökensel olarak belirlenmesi için kullanılan Tb/Ca - Tb/La diyagramında [30] Sarıveliler floritlerinin hidrotermal kökenli olduğu görülmektedir (Şekil 5).



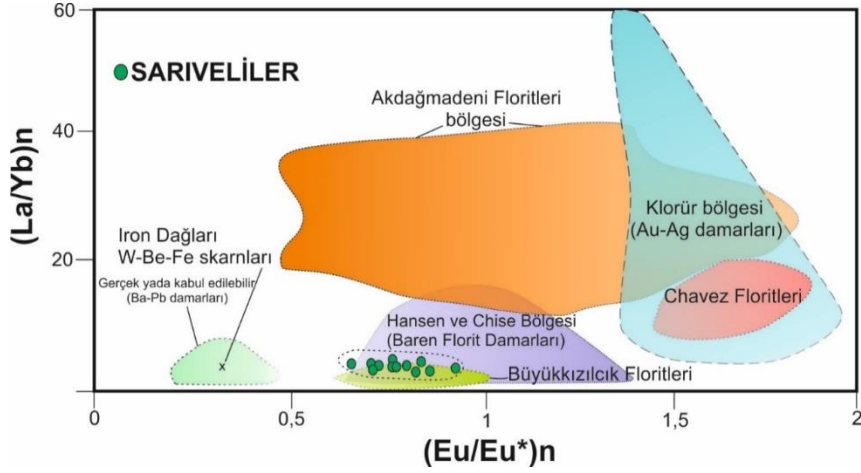
Şekil 5. Sarıveliler floritlerinin Tb/La–Tb/Ca [28] diyagramındaki yeri.

Sarıveliler floritlerinin NTE jeokimyası değerlerine göre, floritler $(Tb/Yb)_n - (La/Yb)_n$ diyagramında [31] Hill vd., [32] tarafından öne sürülen kristalize edilmiş bölgede dağılım göstermekte (Şekil 6), $(La/Yb)_n$ ve $(Eu/Eu)_n$

oranlarının karşılaştırılmasıyla elde edilen diyagramda ise Büyükkızılıcık floritleri [33] ile yaklaşık aynı bölgede dağılım göstermektedir (Şekil 7).

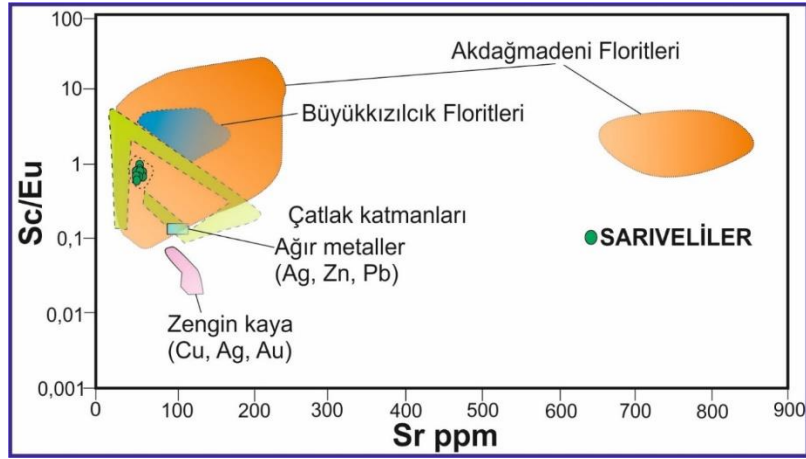


Şekil 6. $(Tb/Yb)_n$ ve $(La/Yb)_n$ oranlarının karşılaştırılması sonucu Sarıveliler floritlerinin dağılımı (Şaşmaz vd., [31]'den değiştirilmiştir).

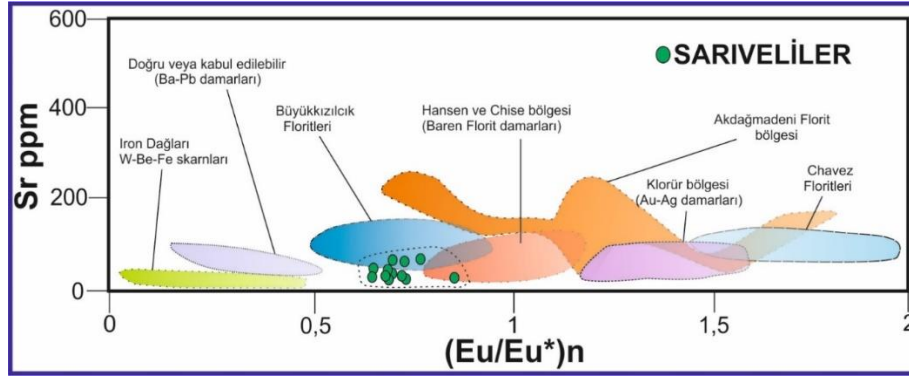


Şekil 7. $(La/Yb)_n$ ve $(Eu/Eu^*)_n$ diyagramında Sarıveliler floritlerinin dağılımı (Şaşmaz vd., [31] ve Uras ve Çalışkan, [33]'ten değiştirilmiştir).

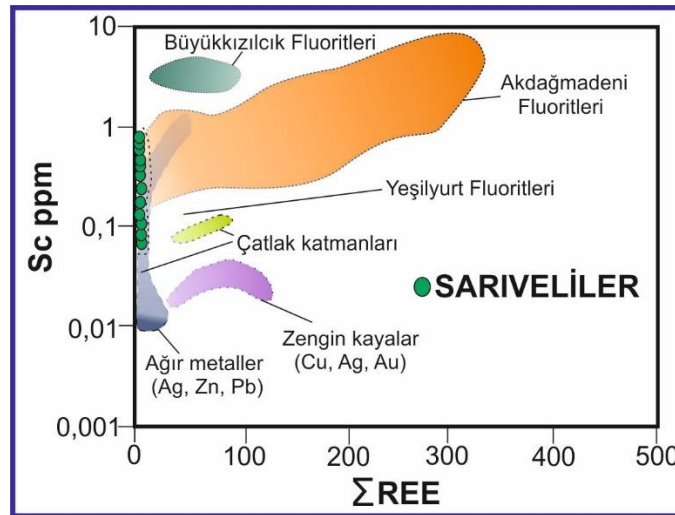
Sc/Eu ve Sr diyagramında [31] Sarıveliler floritleri, Akdağmadeni floritleri alanında dağılım göstermektedir (Şekil 8). Sr- $(Eu/Eu^*)_n$ değerlerinin karşılaştırılmasıyla elde edilen diyagramda ise Eu/Eu^* değerlerinin negatif yönde olması florit oluşumunda ortamda oksijenin az olduğunu ve bu özelliği ile Büyükkızılıcık floritleri ile benzer dağılım gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 9). Sc ve Toplam NTE oranlarının karşılaştırılması ile Sarıveliler floritlerinin NTE bakımından oldukça fakir bir bölgeye düştüğü ve ağır metallere benzer dağılım gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 8. Sr-Sc/Eu diyagramında floritlerin dağılımı (Şaşmaz vd., [31] ve Uras ve Çalışkan, [33]'ten değiştirilmiştir).



Şekil 9. Sr-(Eu/Eu*)_n diyagramında floritlerin dağılımı (Şaşmaz vd., [31] ve Uras ve Çalışkan, [33]'ten değiştirilmiştir).



Şekil 10. Toplam nadir toprak elementi (ΣREE) ve Sc (ppm) diyagramı (Şaşmaz vd., [31] ve Uras ve Çalışkan, [33]'ten değiştirilmiştir).

6. Sonuçlar

Altuncu [34], Türkiye florit yataklarının oluşumlarını karşılaştırmalı olarak incelemiş ve Toros Orojenik kuşağı içerisinde gözlenen floritlerin oluşum ortamı ve kökenine dair sonuçlar elde etmiştir. Coşanay vd., [35] ise Orta Anadoluda gözlenen floritlerin mikrotermometrik özelliklerini ve jeokimyasal özelliklerini ortaya koymuştur. Azizi vd., [36] İran'da Markazi bölgesindeki floritleri incelemiş ve damar tipi şeklindeki floritlerin NTE bakımından fakir olduğunu ve parajenezde dolomit, barit, hematit, götit ve az miktarda pirit gözlendiğini belirtmiştir.

Bu çalışma ile Orta Toroslar'da Aladağ Birliği içerisinde Erken-Orta Triyas yaşlı Haydar Formasyonu'nda gözlenen Sarıveliler floritlerinin epijenetik oluşumlu ve damar tipi şeklinde olduğu belirlenmiştir. Mor ve saydam renkli floritler Haydar Formasyonu'na ait kireçtaşları içerisinde kırık düzlemlerinde gözlenmektedir. Yapılan analizlerde F ortalama %28,65 ve Ca %50,34 civarındadır. Parajenezde florit, galenit, kuvars ve kalsit bulunmaktadır. Sarıveliler floritleri yakın güneyindeki Göktepe floritlerine [3, 4] benzer jeolojik ve jeokimyasal özellikler sunmaktadır. Ancak Göktepe floritleri parajenez açısından daha zengindir. Floritlerin NTE kimyasına göre oluşumu kırık hatlarında dolaşan hidrotermal suları işaret etmektedir. Düşük Y değeri Göktepe civarındaki floritlerin Y içeriğine benzer olup florit oluşturan akışkanın formasyon suları olduğu belirlenmiştir [3]. Sarıveliler floritlerinde Eu açısından küçük miktarda bir zenginleşme görülmektedir. Negatif Ce anomalisi ise yüksek oksijen fugasitesine işaret etmektedir.

Sarıveliler floritleri diyagramlarda dünyada bilinen diğer yataklar ile karşılaştırılmıştır. Floritlerin (Tb/Yb)_n–(La/Yb)_n diyagramında New Mexico kristalize alanında, (La/Yb)_n–(Eu/Eu*)_n ve Sr–(Eu/Eu*)_n diyagramlarında Büyükkızılıçık floritlerine benzer alanda, Sc/Eu –Sr diyagramında Akdağmadeni floritleri alanında ve Sc–ΣREE diyagramında ise ağır metaller alanında dağılım gösterdiği belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No:2014/2-10YLS.

Kaynaklar

- [1] Ketin İ. Anadolu'nun tektonik birlikleri. MTA Dergisi 1966; 66: 20-34.
- [2] Okay A, Tüysüz O. Tethyan sutures of northern Turkey. In: B. Durand, J L. Olivet, E. Horvath and M. Serrane (Eds.), The Mediterranean basins, extension within the Alpine Orogen. Geol. Soc. London Spec. Publ. 1999. 156: 475-515.
- [3] Kuşçu M. Göktepe (Ermenek - Konya) kuzey kesimi Pb – Zn zuhurlarındaki floritlerin Y (Yitrium) içerikleri. Bulletin of The Geological Society of Turkey 1984; 27: 57-60.
- [4] Kuşçu M. Göktepe (Ermenek-Konya) yöresinin Pb-Zn zuhurları. TJK bülteni 1985; 28: 35-46.
- [5] Kuşçu M, Cengiz O. Karbonatlı kayalara bağlı Orta Toroslar Zn-Pb cevherleşmelerinin kükürt izotopları incelemesi. TJK Bülteni 2001; 44(3): 59-73.
- [6] Haniççi N. Formation of the carbonate-hosted Pb–Zn deposits in Central and Eastern Taurus [unpublished Ph.D. thesis]: Natural Science Institute, Istanbul University 2003; p. 166, Istanbul.
- [7] Gökçe A, Bozkaya G. Karalar (Gazipaşa-Antalya) barit-galenit yataklarının jeolojisi ve sıvı kapanım özellikleri. Türkiye Jeoloji Bülteni 2003; 46: 1.
- [8] Cengiz O, Kuşçu M. Geological properties of galena-bearing barite and barite deposits in the central Taurides. 41st Forum on the Geology of Industrial Minerals 2005.
- [9] Gümüş L, Kumral M, Yalçın C, Kaya M, Ünlüer TA, Öztürk S, Karaman M. Aladağ birliği (Çayarası-Alanya) içerisinde karbonatlı kayalar ile ilişkili baritli Zn-Pb cevherleşmesinin jeolojisi ve jeokimyası. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Kapadokya Yerbilimleri Sempozyumu Özel Sayısı 2018; 7(3): 1209-1213, doi: 10.28948/ngumuh.502461.
- [10] Işık V. Torosların Jeolojisi; Türkiye Jeolojisi Ders Notu. Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 2016, Ankara.
- [11] Şengör AMC, Yılmaz Y. Tethyan evolution of Turkey, a plate tectonic approach. Tectonophysics 1981; 75: 81–241.
- [12] Özgül N. Torosların bazı temel jeolojik özellikleri. T.J.K. Bül. 1976; 19: 65-78.
- [13] Göncüoğlu MC, Dirik K, Kozlu H. Pre- Alpine and Alpine Terranes in Turkey: Explanatory notes to the terrane map of Turkey. Annales Ge'ologique Pays Helle'nique 1997; 37: 515-536.
- [14] Bozkaya Ö, Yalçın H.. Diagenetic to low-grade metamorphic evolution of clay mineral assemblages in Paleozoic to early Mesozoic rocks of Eastern Taurides, Turkey. Clay Minerals 2004; 39: 481-500.
- [15] Demirtaşlı E. Pınarbaşı, Sarız ve Tufanbeyli ilçeleri arasında kalan yörenin jeolojisi: İ.Ü.F.F.Min. Ve Petr. Kürs. (Bitirme Ödevi) 1979; 30 Sayfa. Yayımlanmamış, İstanbul.

- [16] MTA. Alanya O29 d1 paftası. 1:25.000 ölçekli Jeoloji Haritası.
- [17] Demirtaşlı E. Toros kuşağının petrol potansiyeli. Türkiye 3. Petrol Kongresi Bildiriler Kitabı 1976; S. 55- 61, Ankara.
- [18] Tanar Ü, Gökçen N. Mut-Ermenek Tersiyer istifinin stratigrafisi ve mikropaleontolojisi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi 1990; 110; 175-180.
- [19] Gedik A, Birgili Ş, Yılmaz H, Yoldaş R. Mut-Ermenek-Silifke yöresinin jeolojisi ve petrol olanakları. TJK Bülteni 1979; 22: 7-26.
- [20] Tanar Ü. Mut havzası Tersiyer istifinin stratigrafik ve mikropaleontolojik (Ostrokod ve foraminifer) incelemesi. Çukurova Üniv. Fen Bilimleri Enst. (Basılmamış Doktora Tezi) 1989; Adana.
- [21] Rollinson H. Using geochemical data. library of Congress Catalog 1993.
- [22] Uras Y. Feke (Adana) ve Bayındır (Kaman) fluoritlerinin nadir toprak elementlerinin karşılaştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi 2002; 86s.
- [23] Evensen NM, Hamilton PJ, O'Nions RK. Rare-Earth abundances in chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1978; 42: 1199-1212.
- [24] Möller P, Morteani G. On the geochemical fractionation of rare earth elements during the formation of Ca minerals and its application to problems of the genesis of ore deposits in Augustiths, In: S.S. (Ed)., *The Significance of Trace Elements in Solving Petrogenetic Problems and Controversies: Theophrastus Pub.* 1983; 747-791, Athens.
- [25] Constantopoulos J. Fluid inclusion and rare earth element geochemistry of fluorite from South-Central Idaho, *Economic Geology* 1988; 83: 626-636.
- [26] Palmer DAS, Williams-Jones A.E. Genesis of the carbonatite hosted fluorite deposit at Amba Dongar, India, Evidence from fluid inclusions, stable isotopes and whole rock-mineral geochemistry. *Econ. Geol* 1996; 91: 934-950.
- [27] Williams-Jones AE, Palmer DAS. Fluid evolution of the Amba Dongar carbonatite complex, India. *Chem. Geol.* 2002; 185: 283-301.
- [28] Möller P, Parekh PP, Schneider HJ. The application of Tb/Ca, Tb/La abundance ratios to problems of fluorite genesis. *Min. Deposits* 1976; 11: 111-116.
- [29] Brookins D. Aqueous geochemistry of rare earth elements, in *geochemistry and mineralogy of the rare earth elements, Reviews in Mineralogy* 1989; 21: 201-225.
- [30] Schneider HJ, Möller P, Parekh PP. Rare earth elements distribution in fluorites and carbonate sediments of the East-Alpine Mid Triassic sequences in the Nordliche Kalkalpen. *Mineralium Deposita* 1975;10: 330-344.
- [31] Şaşmaz A, Yavuz F, Sağıroğlu A, Akgül B. Geochemical patterns of the Akdağmadeni (Yozgat, Central Turkey) fluorite deposits and implications. *J. Asian Earth Sci* 2005; 24: 469-479.
- [32] Hill GT, Campell AR, Kyle PR. Geochemistry of southwestern New Mexico fluorite occurrences: Implications for precious metals exploration in fluorite bearing systems. *J. Geochem. Expl* 2000; 68: 1-20.
- [33] Uras Y, Caliskan V. Geochemical patterns of the Buyukkizilcik (Kahramanmaraş) fluorite deposits. *Geochemistry International* 2014; 52(12): 1087-1100.
- [34] Altuncu S. Türkiye Fluorit Yataklarının Karşılaştırmalı İncelenmesi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi 2009; 147 s. (yayımlanmamış).
- [35] Coşanay P, Kirat E, Cevik N, Kizilkanat C, Mutlu H, Koç Ş. Geochemical, microthermometric, and isotopic constraints on the origin of fluorite deposits in central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 2017; 26(3), 206-226.
- [36] Azizi MR, Alipour S, Abedini A, Bagheri H. REE geochemical characteristics and fluid inclusion studies of the Bagher-Abad fluorite deposit, Central Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry* 2018; 195(3), 247-263.

Farklı Bağlantı Şekillerinin Panel Radyatörlerin Verimleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Gökhan ÖMEROĞLU*

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye
gomeroglu@atauni.edu.tr

(Geliş/Received: 21/05/2019;

Kabul/Accepted: 29/08/2019)

Öz: Bina ısıtma sistemlerinin, gerek konfor standartlarının oluşturulması gerekse insanoğlunun sağlıklı yaşam ortamlarında yaşayabilmeleri için uygulanması günümüzde kaçınılmazdır. Bir binanın ısıtma ihtiyacı yaygın olarak fosil yakıtlar kullanılarak ısıtılan suyun mahal içerisine yerleştirilen radyatörlerde dolaştırılması ile çözümlenmektedir. Mühendisler ısıtılacak mahaller için radyatör boyutlarını ve boru çaplarını projelendirirken radyatörlere yapılacak bağlantı şekilleri üzerine bir belirleme yapmamaktadırlar. Bu durumda sistemi oluşturan kişilerin tercihleri veya tecrübeleri ile rastgele bağlantılar uygulanmaktadır. Enerjinin etkin ve verimli kullanılması açısından doğru projelendirme ve verimin artırılması günümüz dünyasında oldukça önemlidir. Bu nedenle bir mahal içerisine yerleştirilen bir radyatörün doğru olarak boyutlandırılması veya radyatöre doğru boru çapı ile suyun taşınması kadar suyun giriş ve çıkış yönünün de etkisi önemlidir. Bu çalışmada farklı boylarda modellenen panel radyatörler için 3 farklı bağlantı şeklinin etkisi hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) metodu kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada radyatör boyunun artması ile panel veriminin bağlantı şekillerine göre azaldığı ve bağlantı şekillerinin verim üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Panel radyatör, bağlantı şekilleri, verim, cfd analizi.

Investigation of the Effect of Different Connection Types on the Efficiency of Panel Radiators

Abstract: It is inevitable that building heating systems are used to create comfort standards and to live in healthy living environments of human beings. The heating requirement of a building is widely solved by circulating water heated by using fossil fuels in radiators placed in the space. Engineers do not make a determination on the connection types to be made to the radiators while projecting the radiator dimensions and pipe diameters for the spaces to be heated. In this case, random connections are applied with the preferences or experiences of the people who make up the system. In terms of efficient use of energy, increasing the right design and efficiency is very important in today's world. For this reason, the correct size of a radiator placed in a space or the diameter of the pipe towards the radiator as well as the transportation of water is also important. In this study, the effect of 3 different connection shapes for panel radiators modeled in different lengths were investigated by using computational fluid dynamics (CFD) method. In this study, it was shown that the efficiency of the panel decreases with the increase in radiator length and the effect of the connection shapes on the efficiency.

Key words: Panel Radiator, connection types, efficiency, cfd analysis.

1. Giriş

Bir sıcak su ısıtma sisteminin tasarımında, geleneksel olarak ısıtılacak mahaller için ısı kaybı hesabı yapılarak panel verimlerine göre radyatör seçimi yapılmaktadır. Dağıtım ve toplama kolon çapları boyutlandırılmakta ve kritik devredeki basınç düşümü, ısı yüklerine göre ve kabul edilen hız sınırları içerisinde hesaplanmaktadır. Son olarak, hesaplanan basınç düşümü de dikkate alınarak kritik devreye su basabilecek şekilde sirkülasyon pompası seçimi yapılmaktadır.

Panel radyatörler günümüzde gerek şık bir görünüme sahip olmaları gerekse yüksek verimleri açısından mahallerin ısıtılmasında sıkça tercih edilmektedirler. Panel radyatörler her bir tarafına istenildiğinde bağlantı yapılabilecek şekilde üretilmektedirler. Bu sayede ortamlara istenilen şekilde kolayca montaj edilebilmektedirler. Panel radyatörler genellikle ekonomik olması açısından sac (demir) malzemeden üretildikleri gibi yüksek verime sahip ancak daha pahalı alüminyum malzemeler kullanılarak da üretilmektedirler. Radyatörlerin tipleri belirlenirken etken parametre kanat sayısıdır. Birbirlerinden farklı ısıtma gücüne sahip radyatör tipleri genel olarak, P, PK, PKP, PKKP, PKKPKP olarak üretilmektedir. P (panel) ve K(kanat) sayısına bağlı olarak üretilen radyatörlerden yaygın olarak kullanılan tip PKKP'dir. [1]

Panel radyatörlerde dolaşan su iki farklı ısı transfer mekanizması ile mahale iletilmektedir. Radyatörde dolaşan su panel yüzeyinde hareket ettiğinden ısı radyasyon (ışınım) yolu ile öncelikle ortama aktarılmaktadır.

* Sorumlu yazar: gomeroglu@atauni.edu.tr. Yazarın ORCID Numarası: 0000-0001-7237-2311

Ayrıca taşınım ile de ortam içerisinde havanın ısıtılması da sıcak suyun ortama ısı transferi açısından bir başka yoldur. Ancak bu durumda taşınımın ve ışınımın daha efektif olarak gerçekleştirilmesi için radyatörlerin önüne veya üzerine ister dekoratif amaçlı olsun isterse yerleştirme açısından olsun eşyaların doğru bir şekilde yerleştirilmesi, radyatörlerin ön ve üst yüzeylerinin kapatılmaması gerekmektedir. [1]

Radyatörlerin mahallerde kullanılmasında etrafındaki engellerin ısıtma verimliliği açısından önemi üzerine yapılan çalışmada, %20'ye kadar ısı veriminin değiştiği ve eşyaların radyatörlere yerleştirilme mesafesi açısından en ideal durumun ise eşya yerleşiminin 1,85 metreden daha büyük mesafeler için her iki tarafı açık radyatörler olduğu tespit edilmiştir. [2]

Panel radyatörlerin doğru bir şekilde montajı ve kullanım şartları açısından yapılan çalışmada; radyatörlerin üzerinin kimyasal sıvılarla değil nemli bir bezle silinmesi, temizliğinin yılda en az bir defa yapılması, sistem içerisinde sıkışan havanın boşaltılması, verimli kullanılmaları açısından termostatik vana uygulanması ve radyatörlerin korozyona uğramaması için sıkça içerdiği suyun boşaltılmaması gerektiği vurgulanmıştır. [3]

Panel radyatörlerin mahallerde kullanımında verimliliğini düşüren başka bir etken ise radyatörün dış duvara kalan tarafından ısı kaybının gerçekleşmesidir. Radyatörün dış duvara bakan kısmı poliüretan yalıtım malzemesi ile kaplandığında yalıtımsız haline göre daha verimli hale geldiği gözlemlenmiştir. [4]

Tip-22-600x500 çelik panel radyatör modeli kullanılarak yapılan çalışmada panel radyatörün farklı bağlantı şekillerine göre termal verimi CFD analizi ile incelenmiştir. Ayrıca ısı taşınım katsayısında meydana gelen değişimin ısı güç üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. *“Üstten girişi, çapraz tarafta alttan çıkışı olan bağlantı için, kütle debisi dağılımı ilk iki ve son üç dikey kanalda olması gereken akıştan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Üstten girişi, aynı tarafta alttan çıkışı olan bağlantı için, kütle debisi dağılımı ilk dört dikey kanalda olması gereken akıştan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Geri kalan dikey kanallarda, kütle debisi dağılımının neredeyse sıfıra eşit olduğu görülmektedir. Üstten girişi, çapraz tarafta alttan çıkışı olan bağlantı ve üstten girişi, aynı tarafta alttan çıkışı olan bağlantı için sayısal sonuçlar ve ticari katalog değerleri birbirine çok yakındır ve bu yüzden iki ana bağlantı yöntemi de bu panel radyatör için kullanılabilirliği gösterilmiştir.”* [5]

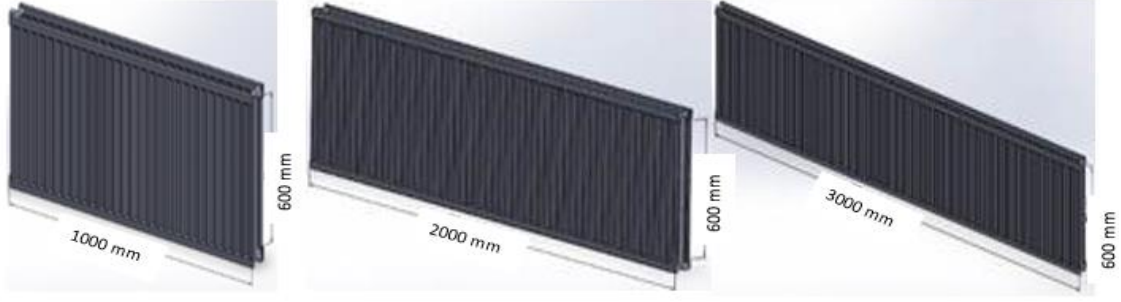
Paneller arasında yerleştirilen bir veya iki yüksek emisyonlu levha kullanılarak yapılan çalışmada radyatörlerin ısı verimlerinin klasik tiplere göre arttığı gözlemlenmiş ayrıca kullanılan bu levhaların ısı geçişini azaltan tozlanmaya karşı daha dirençli olduğu görülmüştür. [6]

Bu çalışmada ise bireysel veya merkezi ısıtma sistemlerinde en sık tercih edilen, genel olarak kullanılan mimari tiplerinde uygulama veya mahal büyüklükleri açısından yaygın olarak kullanılan; PKKP tipinde 600 mm yüksekliğinde ve 1-2-3m uzunluklarında olan panel radyatörler için 3 farklı bağlantı şekillerinin ısı verim üzerine etkisi hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemi ile incelenmiştir. Panel radyatörün boyu arttıkça bağlantı şeklinin öneminin arttığı belirlenmiştir.

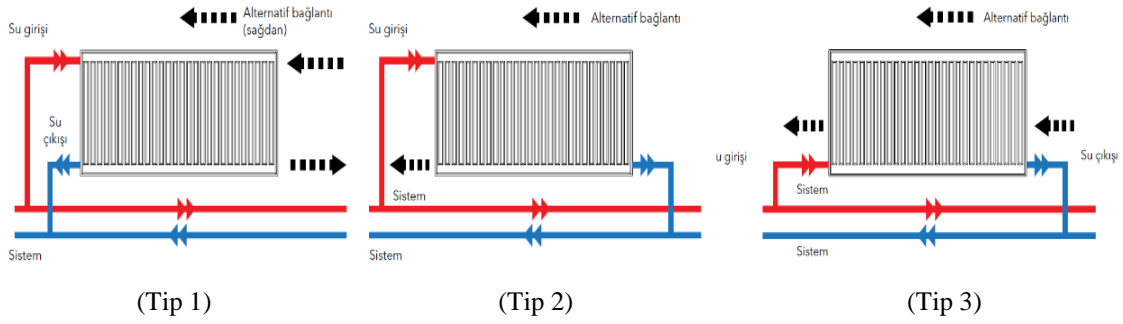
2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada Solidworks Flow Simulation [7] programı kullanılarak 2 boyutlu CFD analizi yapılmıştır. Genel olarak sıkça tercih edilen ısıtma parametreleri olan 70/55 su giriş/su çıkış derecelerinde, yerçekimi etkisi aktif edilerek 0,045 kg/s debi değerinde, hexahedral mesh yapısında minimum boşluk oranı 0,006 m ve kararlı hal çözümlemesi olacak şekilde analizler yapılmıştır. Ele alınan problem 2 boyutlu, akışkan laminar ve türbülanslı, ortam sıcaklığı 20°C alınarak analizler yapılmıştır. Radyatör boyutları 600/1000-2000 ve 3000 olarak alınmıştır.

Panel radyatörler için ekonomik ısıtma sağlamak için kombininin belli sıcaklık aralıklarında çalıştırılması tek başına yeterli değildir. Tesisat borularının radyatörlere bağlantı şeklinin önemli olduğu bilinmekte ancak bunun tesisatın yapısı ve radyatörün uzunluğu ile değişebileceği göz ardı edilmektedir. Yani, herhangi bir bağlantı şekli tüm radyatör boyları için en uygun tercih olmayabilmektedir. Çünkü tesisat boru çapları, radyatör kapasiteleri veya sirkülasyon pompası gücü gibi parametrelerin sistemde dolaşan suyun radyatörler içerisinde her noktaya ulaşabilmesini doğrudan etkilediği bilinmektedir [8]. Şekil 1'de modellenen radyatörler, Şekil 2'de ise olası panel bağlantıları şematik olarak gösterilmiştir. Mantıken panelin her noktasına suyun rahatlıkla dağılabilmesi için panelin her iki tarafından bağlantı yapılması doğru bir tercih gibi gözükmektedir. Ancak her bağlantı şeklinin radyatörün performans verimi üzerine etkisinin ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 1. Modellenen 1, 2 ve 3 metre panel radyatörler



Şekil 2. Radyatör bağlantı tipleri: tip 1: paralel, tip 2: çapraz ve tip 3: alt giriş-çıkış .[8]

Analizleri yapılacak panel radyatörlerin üzerindeki sıcaklık değerlerinin ortalaması ve içerdikleri su miktarlarına göre ısı hesaplamaları için (1) kullanılmıştır;

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (1)$$

Burada, m sıvı kütlesi olup yapılan modelin 1m boyutu için yaklaşık 7,5 litre su barındıracak şekilde modellenmiş ve suyun özgül ısı değeri ortalama 4186 J/kg°C olarak alınmıştır.

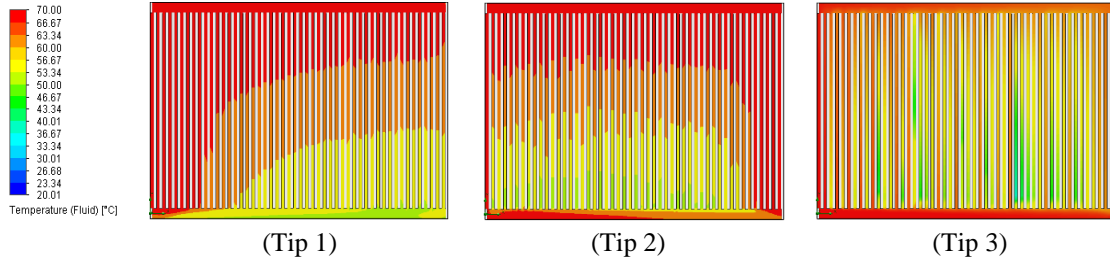
Tablo1. Farklı tip ve boyutlarda ki panel radyatörlerin ısı verimleri. [9]

ISIL VERİM TABLOSU (Watt)									
20°C		TYPE 11		TYPE 21		TYPE22		TYPE 33	
L (mm)	t1/ t2	H (mm)		H (mm)		H (mm)		H (mm)	
	(°C)	500	600	500	500	500	600	500	600
1000	90 / 70	892	1070	1296	1547	1808	2110	2366	2829
	75 / 65	701	841	1021	1217	1446	1688	1856	2214
	70 / 55	611	732	889	1059	1157	1350	1614	1921
	55 / 45	358	428	523	621	727	848	942	1113
2000	90 / 70	1783	2141	2592	3093	3615	4220	4731	5658
	75 / 65	1403	1682	2041	2434	2892	3376	3713	4427
	70 / 55	1221	1463	1778	2119	2314	2701	3228	3842
	55 / 45	717	856	1046	1243	1453	1696	1883	2226
3000	90 / 70	2675	3211	3888	4640	5423	6330	7097	8487
	75 / 65	2104	2523	3062	3,650	4338	5064	5569	6641
	70 / 55	1832	2195	2667	3178	3470	4051	4842	5763
	55 / 45	1075	1284	1568	1864	2180	2545	2825	3340

Yapılacak hesaplamalarda her bir radyatörün ortalama yüzey sıcaklığı ile ihtiva ettiği su hacmine göre sahip olduğu ısıl kapasitesi tablo-1’de verilen verilerden TYPE-22, H=600 mm ve L=1000, 2000 ve 3000 mm değerlerinde ki ısıl verimlere göre karşılaştırılarak her bir radyatör ve bağlantı şeklinin ortalama verimleri bulunmuştur. Daha sonra en iyi bağlantı şekli ve en kısa radyatör için bulunan verim değeri %100 alınarak diğer boylara ve bağlantı şekillerine göre verim farkları kıyaslanmıştır.

3. Değerlendirme ve Tartışma

Şekil-3’te 1m uzunluğunda ki radyatörlerin 3 farklı bağlantı şekline göre sıcaklık dağılımları verilmiştir. Görüleceği üzere tip-1 ve tip-2 bağlantı şekillerinde ki sıcaklık dağılımları benzer çıkmış tip-3 te ise sıcaklık daha farklı bir dağılıma uğramıştır. Bölgesel olarak tip-1 ve tip-2 de suyun giriş tarafı ve çıkış tarafına doğru sıcaklıklar artarken çıkış bölgesinin zıt tarafında 25°C’ye kadar sıcaklık düşüşleri gözlemlenmiştir. Tip-3 bağlantı şeklinde ise su alt bölgeden girip alt bölgeden çıktığı için radyatörün sıcaklığı daha homojen olarak dağılmasına rağmen radyatörün orta ve üst kısmı bölgelerde 35°C’ye kadar sıcaklık düşüşleri olmuştur.



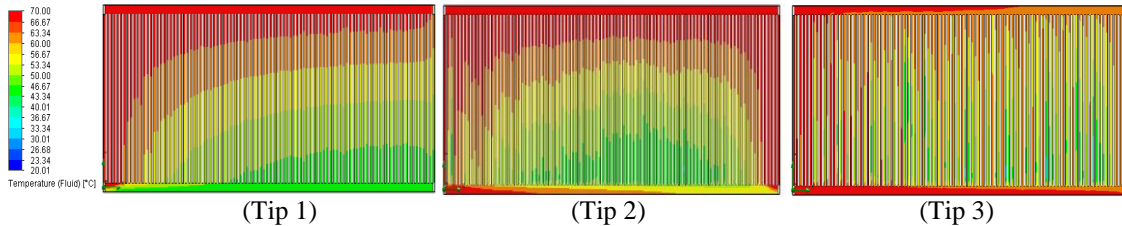
Şekil 3. 1m uzunluğunda radyatörler için 70/55 giriş-çıkış değerlerine göre sıcaklık dağılımları

Tablo-2 de sıcaklık dağılımlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmektedir. Tablodan görüleceği üzere 3 tip bağlantı şekli için ortalama yüzey sıcaklıkları sırasıyla tip-1> tip-2>tip-3’tür.

Tablo 2. 1m uzunluğunda ki radyatör için farklı bağlantı tiplerine göre sıcaklık değerleri

Parametre	Tip-1	Tip-2	Tip-3
Akışkanın minimum sıcaklığı [°C]	47,73	45,91	35,79
Akışkanın maksimum sıcaklığı [°C]	70,00	70,00	70,00
Akışkanın ortalama sıcaklığı [°C]	63,06	62,60	60,29
Akışkanın hacmi (m ³)	0,007	0,007	0,007

Şekil-4’te 2m uzunluğunda ki radyatörlerin 3 farklı bağlantı şekline göre sıcaklık dağılımları verilmiştir. Görüleceği üzere tip-1 bağlantı şeklinde radyatörün sağ alt bölgesi ile sol üst bölgesi arasında farklı sıcaklık dağılımları oluşmuştur. 37°C’ye kadar bölgeler arası sıcaklık farkları meydana gelmiştir. Tip-2 bağlantı şeklinde sıcaklık dağılımı radyatörün geneline tip-1’e göre daha iyi yayılmasına karşın ortalama sıcaklık düşüşleri daha çok radyatörün alt-orta kısmında 35°C’ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Tip-3 bağlantı şeklinde ise yine sıcaklık dağılımı tip-1 bağlantı şekline göre daha homojen olmasına karşın radyatörün orta-sağ bölgesinde sıcaklık değerlerinin 31°C’ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir.



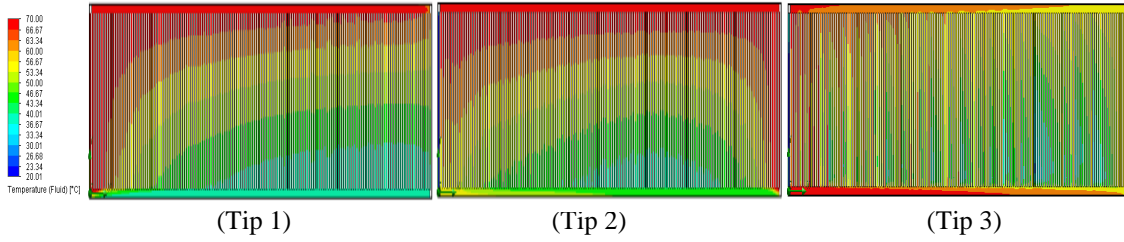
Şekil 4. 2 m uzunluğunda radyatörler için 70/55 giriş-çıkış değerlerine göre sıcaklık dağılımları

Tablo-3 de sıcaklık dağılımlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmektedir. Tablodan görüleceği üzere 3 tip bağlantı şekli için ortalama yüzey sıcaklıkları sırasıyla tip-2> tip-3>tip-1'dir.

Tablo 3. 2m uzunluğunda ki radyatör için farklı bağlantı tiplerine göre sıcaklık değerleri

Parametre	Tip-1	Tip-2	Tip-3
Akışkanın minimum sıcaklığı [°C]	33,48	35,13	39,10
Akışkanın maksimum sıcaklığı [°C]	70,00	70,00	70,01
Akışkanın ortalama sıcaklığı [°C]	57,70	59,00	58,54
Akışkanın hacmi (m ³)	0,015	0,015	0,015

Şekil-5'te 3m uzunluğunda ki radyatörlerin 3 farklı bağlantı şekline göre sıcaklık dağılımları verilmiştir. Görüleceği üzere tip-1 bağlantı şeklinde neredeyse radyatörün sadece üst ve giriş bölgesinde sıcaklığın sadece yoğunlaştığı ve aşağı doğru sıcaklığın hızlı bir şekilde düştüğü gözlemlenmiştir. 42°C'ye kadar bölgeler arası sıcaklık farkları meydana gelmiştir. Tip-2 bağlantı şeklinde sıcaklık dağılımı radyatörün geneline tip-1'e göre daha iyi yayılmasına karşın sıcaklık düşüşleri daha çok radyatörün alt-orta bölgesinin çok düşük bir kısmında ortam sıcaklığı olan 20°C'ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Tip-3 bağlantı şeklinde ise yine sıcaklık dağılımı tip-1 bağlantı şekline göre daha homojen olmasına karşın radyatörün alt-sağ bölgesinin bazı kısımlarında sıcaklık değerlerinin ortam sıcaklığına kadar düştüğü yani o belirtilen bölgelerde suyun neredeyse hiç dolaşım yapmadığı gözlemlenmiştir.



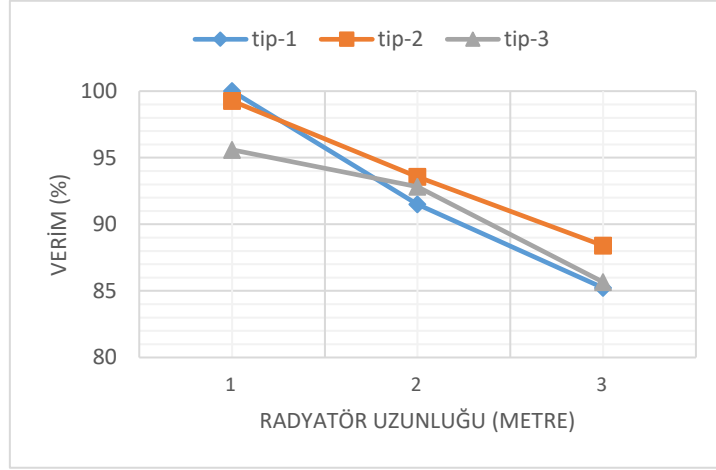
Şekil 5. 3 m uzunluğunda radyatörler için 70/55 giriş-çıkış değerlerine göre sıcaklık dağılımları

Tablo-4 de sıcaklık dağılımlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmektedir. Tablodan görüleceği üzere 3 tip bağlantı şekli için ortalama yüzey sıcaklıkları sırasıyla tip-2> tip-3>tip-1'dir.

Tablo 4. 3m uzunluğunda ki radyatör için farklı bağlantı tiplerine göre sıcaklık değerleri

Parametre	Tip-1	Tip-2	Tip-3
Akışkanın minimum sıcaklığı [°C]	28,73	20,14	20,19
Akışkanın maksimum sıcaklığı [°C]	70,00	70,00	70,00
Akışkanın ortalama sıcaklığı [°C]	53,75	55,75	54,02
Akışkanın hacmi (m ³)	0,022	0,022	0,022

Şekil-6'da radyatör boyuna ve bağlantı şekillerine göre ortalama yüzey sıcaklığı en fazla olan radyatör boyu ve bağlantı şekli referans alınarak yapılan grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde panel radyatörler içerisinde sıcaklık dağılımının uzunluk arttıkça azaldığı (verimin azaldığı) ve bağlantı şekillerinin öneminin radyatör uzunluğu arttıkça daha belirgin olarak değiştiği görülmektedir. Grafik oluşturulurken en iyi performansa sahip radyatörün verimi %100 kabul edilip diğer uzunluk ve bağlantı şekilleri ile kıyaslanması yapılmıştır. Şekil de en iyi performansa sahip radyatörün 1 m uzunluğunda üst-alt bağlantıya sahip radyatör olduğu görülürken, ek kötü performans 3 m uzunluğunda yine üst-alt bağlantıya sahip radyatörde olduğu görülecektir. Bu durum, radyatör uzunluğunun 1 m den daha fazla artması durumunda üst-alt (tip-1) bağlantı şeklinin diğer bağlantı şekillerine göre uygun bir bağlantı şekli olmadığı sonucunu doğurmaktadır. Uzunluk artması sonucu en performanslı bağlantı türü çapraz (tip-2) olmaktadır.



Şekil 6. Bağlantı şekillerinin farklı boyutlarda ki radyatörlerin verimleri üzerindeki etkisi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, 20 °C ortam sıcaklığındaki bir mahalde, 70/55 gidiş-dönüş sıcaklığında, 3 farklı bağlantı şekli ve 3 farklı boydaki panel radyatörler için sıcaklık dağılımları Solidworks Flow Simulation programı kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sıcaklık değerlerinin dağılımları ve ortalama sıcaklık değerleri incelendiğinde;

- Mahaller için cihaz seçimi yapılırken radyatör boyu arttıkça verimin düştüğü, radyatörün yüzeyinde daha çok ısınmayan bölgeler oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu bakımdan bir mahale radyatörler yerleştirilirken mümkün olduğunca tek parça uzun tip kullanmak yerine ısı yükünün bölünerek birkaç adet radyatör yerleştirilmesinin daha uygun olduğu görülmüştür.
- Panel radyatörlerde giriş-çıkış bağlantı şekillerinin önemi uzunluğa göre artmaktadır.
- 1m uzunluğunda ki radyatörde bağlantı şeklinin etkisi neredeyse fark etmez iken 3m uzunluğunda ki radyatörde ortalama yüzey sıcaklığı 2°C kadar değişmektedir. Yani birden çok radyatör bulunan ve tip-2'ye göre bağlantısı yapılan mahallerin aynı çalışma ve ortam koşullarında tip-1 ve tip-3 e göre daha verimli ısıtılacağı aşikârdır.

Radyatör bağlantı şekillerinden tip-2 (çapraz) bağlantı şeklinin özellikle radyatör boyu arttıkça diğer bağlantı şekillerine göre daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- [1] <http://www.iyiradyator.com/index.asp?Sayfa=Radyator,Nedir>
- [2] Kibar A, VEZİROĞLU A.R. Mekan İçerisindeki Radyatörlerin Etrafındaki Engellere Göre Isıl Veriminin İncelenmesi. Tesisat Mühendisliği;136: Temmuz/Ağustos 2013.
- [3] DAŞDEMİR A. Panel Tip Radyatörlerin Montajı ve Kullanımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar. Tesisat Mühendisliği; 146: Mart/Nisan 2015.
- [4] YILMAZ E. Exterior surface insulated panel radiator and energy efficiency analysis. International Advanced Researches and Engineering Journal; 01: December,2017.
- [5] AYDAR E, EKMEKÇİ İ. Thermal Efficiency Estimation Of The Panel Type Radiators With Cfd Analysis. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi; 32, 2: 63-71, 2012.
- [6] Beck S, M. B., Grinsted S.C, Blakey S.G, et al. A novel design for panel radiators. Applied Thermal Engineering; 24: 1291-1300, 2004.
- [7] <https://www.solidworks.com/tr/product/solidworks-flow-simulation>
- [8] Kalfarifer Tesisatı Proje Hazırlama Esasları Kitabı. TMMOB, Makina Mühendisleri Odası, 259-100.
- [9] Kalde Radyatör Kataloğu. 2014 TR.

AISI 1010 Malzemesinin Sürtünmeli Delinmesinde Optimum Parametrelerin Gri İlişkisel Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi

Latif ÖZLER*

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ
lozler@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 30/05/2019;

Kabul/Accepted: 16/07/2019)

Öz: Bu çalışmada AISI 1010 kare kesitli malzeme CNC freze tezgâhında farklı sürtünme açlarına sahip sürtünmeli delme matkabı ile delinmiş ve işlem değişkenleri ile performans çıktıları arasındaki ilişki Gri İlişkisel Analiz Yöntemi (GRA) kullanılarak incelenmiştir. Deney parametreleri olarak 50, 75 ve 100 m/dak delme hızları, 75, 150 ve 225 mm/dak ilerlemeler ve 30, 45 ve 60° sürtünme açıları seçilmiş ve deliklerin yüzey pürüzlülükleri ile kovan yükseklikleri ölçülmüştür. Deney sonuçlarına göre delme hızı ve ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Matkap sürtünme açısındaki artış yüzey pürüzlülüğünü artırarak kovan yüksekliğini azaltmıştır. Gri İlişkisel Analiz Yöntemine göre sürtünmeli delme işlemindeki optimum işlem parametreleri; delme hızında 100 m/dak, ilerlemede 225 mm/dak ve sürtünme açısında 30° elde edilmiştir. Değişken işlem parametrelerinin çoklu performans üzerindeki önemi sırası ile B3> A1> C3 şeklinde olup 100 m/dak delme hızı, 30° sürtünme açısı ve 225 mm/dak ilerleme olarak elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Sürtünmeli delme, GRA, Yüzey pürüzlülüğü, kovan yüksekliği.

Determination of Optimum Parameters in Friction Drilling of AISI 1010 steel by Grey Relational Analysis

Abstract: In this study, AISI 1010 square section material was drilled with friction drill at different drill bit angles on CNC milling machine and the relationship between process variables and performance outputs was investigated by using Grey Relational Analysis Method (GRA). Drilling speeds of 50, 75 and 100 m / min, feed rates of 75, 150 and 225 mm / min, and friction end angles of 30, 45 and 60° were selected as the test parameters and the surface roughness and bushing heights of the holes were measured. According to the experimental results, the surface roughness decreased as the drilling speed and feed rate increased. The increase in drill bit angle increased surface roughness and reduced bushing height. According to GRA Method optimum process parameters in friction drilling were obtained as 100 m / min at drilling speed, 225 mm / min at feed rate and 30° at friction cone angle. The importance ranking of variable process parameters are as B3> A1> C3 with a drilling speed of 100 m / min, a friction angle of 30 ° and a feed of 225 mm / min.

Key words: Friction drilling, GRA, Surface roughness, Bushing height

1. Giriş

Günümüzde kesit kalınlığı ince olan parçaların bağlantıları endüstride ve özellikle imalat alanında oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle ince kesitli parçaların bağlantılarında kesit kalınlığının yeterli seviyede olmaması nedeniyle kaynak birleştirmelerde bağlantı bölgesinde aşırı erime, delik delme esnasında delik bölgesinde deformasyon ve yırtılma gibi önemli problemler ortaya çıkmaktadır[1]. Yine ince kesitli vidalı bağlantılarda parçaların et kalınlığının az olması nedeniyle yeterli vida dış boyu uzunluğu sağlanamaması da ayrıca önemli bir sorun teşkil etmektedir[1,2]. Bu nedenle sürtünmeli delme işlemi bu tür problemleri ortadan kaldırıp, vidalı bağlantılarda civataların sıkma yükünü artırmak için kovan oluşturmaktadır(Şekil 1.1). Sürtünmeli delme, dönen bir takım ile malzeme arasındaki termal sürtünmeyle oluşan ısı yardımıyla yumuşayan iş parçasının deformasyonla içine ekstrüze olması ve ince duvarlı bir kovan oluşturularak delik açılması işlemidir[3–5]. Bu işlemin en önemli avantajı delme zamanının kısa ve takım ömrünün ise uzun olmasıdır[4]. Sürtünmeli delme işlemi ile ilgili yapılan çalışmalara göre sürtünmeli karbür matkap uçlarının helisel karbür matkap uçlarından daha iyi performansa sahip olduğu, ömürlerinin helisel karbür matkap uçlarına göre oldukça uzundur[4,5]. AISI 1018 malzemesinin sürtünmeli karbür matkap ucu ile delinmesinde 1000 den fazla delik açacak kadar dayanıklı olduğu, aşınmanın konik kısımda çok az miktarda meydana geldiği yine silindirik kısmın aşınmadan etkilenmediği belirtilmiştir[2]. Düşük karbonlu çeliklerin karbür sürtünmeli delme matkabıyla delinmesinde 11.000 delik sonrası bile aşınmanın minimum seviyede olduğu tespit edilmiştir[6]. Bununla birlikte sürtünmeli delme işlemi ile delinen

* Sorumlu yazar: lozler@firat.edu.tr. Yazarın ORCID Numarası: 0000-0002-0595-153X

deliklerde ayna gibi bir yüzey kalitesi de elde edildiği belirtilmiştir[5]. Delme işlemi sonucu oluşan kovan, iş parçası kalınlığının 3-5 katı kalınlığa kadar yüksekliğe ulaşır[5-7]. Kovan oluşumunu etkileyen en önemli faktör ise takım iş parçası ara yüzey sıcaklığıdır[8].



Şekil 1.1. Sürtünmeli delme işlemi

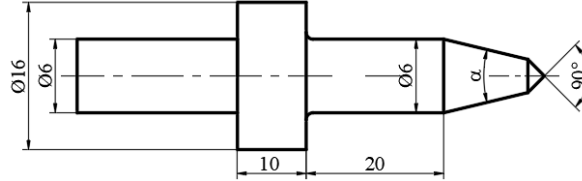
Sürtünmeli delme ile ilgili çalışmalarda genellikle kaplamalı ve kaplamasız karbür sürtünmeli delme matkapları kullanılmış ve bu çalışmalarda takım iş parçası temas yüzeyi sıcaklığı, ilerleme kuvveti, kovan profilleri ve delik yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir[5,7-9]. Bununla birlikte sürtünmeli delme ile ilgili yapılan başka bir çalışmada ise HSS matkap ucu kullanılarak, A7075-T651 malzemesi ön deliksiz ve ön delikli olmak üzere iki şekilde sürtünmeli delinmiş ve takım iş parçası temas sıcaklığı, kovan yüzey pürüzlülüğü ve kovan profilleri incelenmiştir[10]. Ayrıca sürtünmeli delme ile ilgili çalışmalarda mikro sertlik ve mikro yapısı ile ilgili birkaç çalışma da mevcuttur[11-13]. Bu çalışmalarda Alüminyum ve titanyum alaşımları sürtünmeli delme yöntemiyle delinmiş ve ısıdan etkilenen bölgelerin mikro yapıları, mikro sertlikleri ve kesici takım aşınma tipleri incelenmiştir.

Sürtünmeli delmede işlem parametrelerini optimizasyonu ile ilgili yapılan birkaç çalışma mevcuttur. El-Bahloul ve ark.[14] tarafından yapılan bir çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik malzeme sürtünme delme matkabıyla delinmiş ve deney parametrelerinin aksel ve radial kuvvete, delik çapına, delik yuvarlaklığına ve kovan yüksekliğine etkisi bulanık mantık tekniği (fuzzy logic technique) kullanılarak incelenmiştir. Çoklu performans özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerin devir sayısı ile iş parçası kalınlığının olduğu ifade edilmiştir. Optimum işlem parametreleri ise ilerlemede 100 mm/dak, devir sayısının 3600 dev/dak, takım temas yüzey alanının %50 ve sürtünme uç açısının 45° olduğu ifade edilmiştir. El-Bahloul ve ark.[15] tarafından yapılan başka bir optimizasyon çalışmasında ise AISI 304 paslanmaz çelik malzeme sürtünme matkap ile delinmiş ve termo-mekanik modelleme yapılmıştır. Ayrıca çalışmada performans karakterleri bulanık mantık tekniği ile optimize edilmiştir. En iyi işlem parametrelerinin 60 mm/dak ilerleme, 3600 dev/dak devir sayısı, %50 takım temas yüzey alanı ve 30° sürtünme uç açısının şeklinde olduğu ifade edilmiştir. Ku ark.[16] tarafından yapılan optimizasyon çalışmasında ise yine AISI 304 paslanmaz çelik malzeme delinmiş ve işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelenmiştir. Çalışmada Taguchi deney tasarımı yapılmış ve işlem parametreleri Varyans Analizi(ANOVA) yardımıyla optimize edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sürtünme açısı ve iş mili devir sayısının yüzey pürüzlülüğünü üzerinde önemli etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir. Burç uzunluğu açısından sürtünme temas alanının önemli olduğu ve %75 temas alanına sahip uçlarla daha yüksek burç uzunluğunun elde edildiği ifade edilmiştir. Ayrıca optimum parametreler 45° uç açısında, %75 sürtünme açısında, 100 mm/dak ilerlemede ve 2400 dev/dak devir sayısında elde edildiği ifade edilmiştir.

Talaşlı üretimin yaklaşık %40'ını oluşturan delme işlemlerinde işleme parametreleri önceden belirlenir ve bu doğrultuda sabit kesme hızı ve ilerleme değerleri kullanılarak üretim yapılır. Parametrelerin doğru belirlenmesi takım ömrünü ve yüzey kalitesini artırarak işleme zamanı kısaltır. Araştırmacılar işleme zamanını azaltmak ve yüzey kalitesini iyileştirmek amacıyla bir takım çalışmalar yapmış ve farklı delme parametreleri kullanmışlardır. Literatür çalışmaları incelendiğinde sürtünmeli delme yöntemi kullanılarak bir takım çalışmalar yapılmış ve takım iş parçası ara yüzeyi bölgesi sıcaklığı, delme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, mikro yapı ve kovan profilleri incelenmiştir. Bununla beraber literatürde AISI 1010 iş parçasının sürtünmeli delinmesinde Gri ilişkisel analiz(GRA) yöntemi kullanılarak çoklu performansın(yüzey pürüzlülüğü ve kovan yüksekliği) değerlendirilmesi ile ilgili bir araştırma yoktur. Bu nedenle, bu çalışmada sürtünmeli delme parametrelerinin performans çıktıları üzerindeki etkilerini bulmak için Gri sistem teorisi uygulandı. Gri ilişkisel analiz(GRA) ve Gri ilişkisel derece yardımıyla(GRD) optimum delme parametreleri elde edildi.

2. Materyal ve Yöntem

Bu araştırmada 2 mm et kalınlığındaki kare kesitli AISI 1010 malzemesi sürtünmeli matkapla delinerek, delme parametrelerinin kovan yüzey pürüzlüğüne ve delik kovan yüksekliğine etkisi incelenmiştir. Delme işlemlerinde %10 Co ihtiva eden 6 mm çapında K20 tipi kaplamasız sinterlenmiş karbür uçlar kullanılmıştır. Sürtünmeli delme matkap uçları ve 30°, 45° ve 60° sürtünme açısına sahip olup sürtünme temas yüzey alanı oranı % 100(Şekil 2.1). AISI 1010 iş parçasının kimyasal özelliği Tablo 1’de, sürtünmeli delme parametreleri Tablo 2 de verilmiştir.



Şekil 2.1. Deneylerde kullanılan sürtünmeli matkap

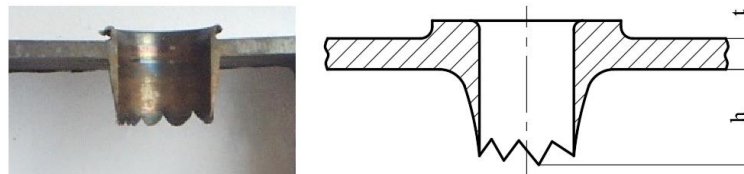
Tablo 1. AISI 1010 çeliğin kimyasal bileşimi

Alaşım elementleri (%)								
C	Si	Mn	Cu	S	Cr	Ni	Al	Fe
0.0475	0.0312	0.2107	0.0276	0.0182	0.0233	0.0160	0.0318	99.455

Tablo 2. Sürtünmeli delme parametreleri ve seviyeleri

Delme parametreleri	Faktör sembolü	Birim	Seviye		
			I	II	III
Matkap uç sürtünme açısı	A	Derece(°)	30	45	60
Delme hızı	B	m/dak	50	75	100
İlerleme	C	mm/dak	75	100	150

Sürtünmeli delme deneyleri Microcut Challenger 2414 marka dik işlem merkezli CNC freze tezgâhında yapılmıştır. İş parçası CNC tezgâhının tablasına mengene yardımıyla bağlanarak delikler, hazırlanan CNC programı yardımıyla otomatik olarak delinmiştir(Şekil 1.1). Delme işlemleri kuru ortamlarda yapılmış olup matkap uçlarında herhangi bir yağlayıcı kullanılmamıştır. Deliklerin ortalama yüzey pürüzlülükleri(Ra) Mitutoyo Surf test SJ-201 marka yüzey pürüzlülük cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünü belirlemesinde 3 farklı deliğin 3 farklı noktasından eksenleri boyunca ölçümler yapılarak ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır. Kovan yükseklik ölçümlerinde 1 µm ölçme hassasiyetine sahip Alliton XJP 600 marka ölçme mikroskobu kullanılmıştır. Her bir deney parametresini belirlemek için üç farklı deliğin maksimum yüksekliklerinin ortalaması alınmıştır(Şekil 2.2). Ayrıca delme esnasında matkap iş parçası temas bölgesinin maksimum sıcaklıkları IMPAC IGA 15 Plus marka enfraruj termometre yardımıyla ölçülmüştür. Delme parametrelerini çoklu performans üzerindeki etkileri hakkında fikir sahibi olmak için özellikle tasarlanmış bir test tekniği gereklidir. Genel olarak, geleneksel bir test tasarımı kullanmak çok karmaşık ve zordur. Ek olarak, fazla değişken varsa daha fazla test yapılması gerekir[17,18].Bu nedenle deneysel çalışmalar için en uygun tasarım Taguchi ortogonal deney tasarımıdır. Bu çalışmada sürtünmeli delme işlemindeki ideal işleme değişkenlerini belirlemek amacıyla Taguchi'nin L9 ortogonal deney tasarımı oluşturuldu (Tablo 3).



Şekil 2.2. Delik kovan ölçüsü

Tablo 3. Taguchi L9 ortogonal deneysel tasarım dizisi

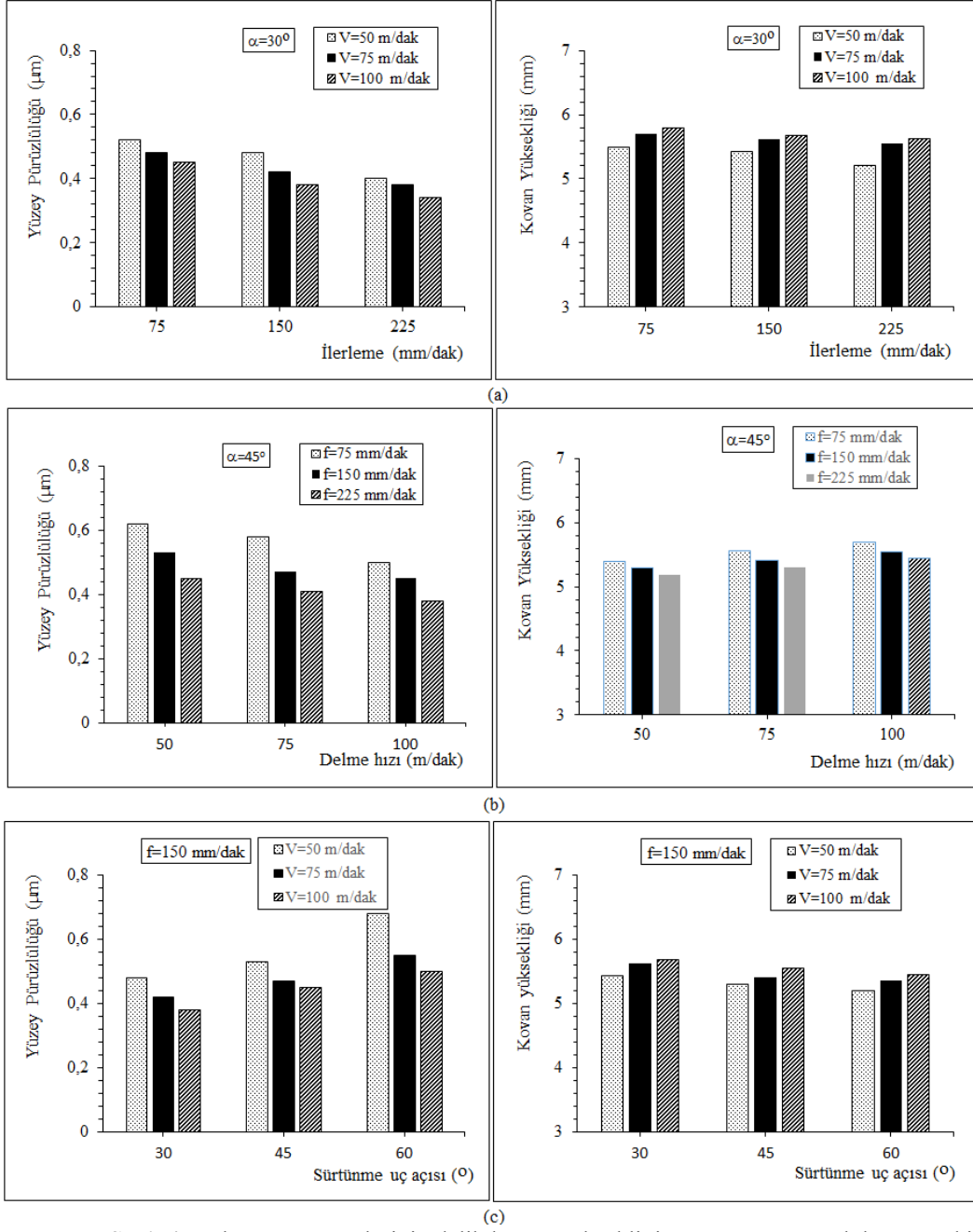
Deney No	A	B	C	Yüzey Pürüzlülüğü	Kovan yüksekliği
				Ra (µm)	h (mm)
1	1	1	1	0,52	5,5
2	1	2	2	0,42	5,62
3	1	3	3	0,34	5,62
4	2	1	2	0,53	5,29
5	2	2	3	0,41	5,3
6	2	3	1	0,5	5,7
7	3	1	3	0,52	5,08
8	3	2	1	0,58	5,5
9	3	3	2	0,5	5,45

2.1 Deneysel Sonuçlar

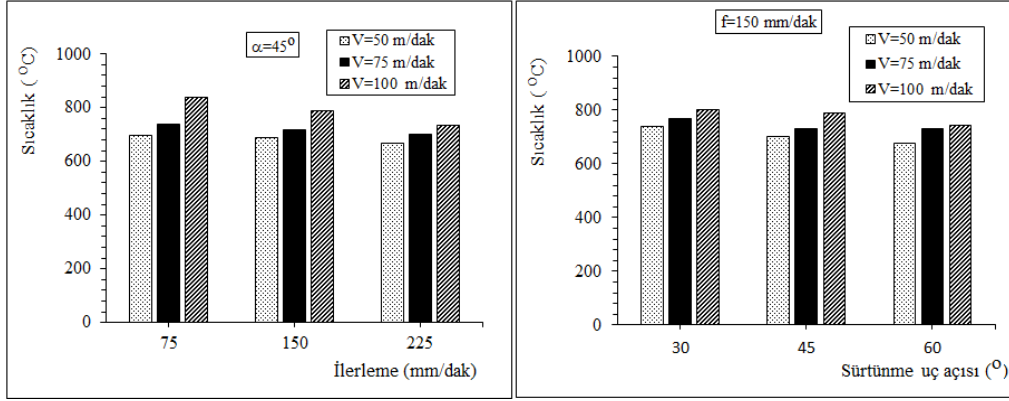
Şekil 4 incelendiğinde sürtünmeli delme işlemlerinde en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri düşük ilerleme ve delme hızlarında elde edildiği görülebilir. 75 m/dak delme hızı ve 30° sürtünme açısı için ortalama yüzey pürüzlülükleri 50 mm/dak ilerlemede 0,52 µm, 150 mm/dak ilerlemede 0,48 µm olurken 225 mm/dak ilerlemede yaklaşık %15 azalarak 0,45 µm elde edilmiştir. İlerlemenin düşük olması takım ile iş parçası arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle yumuşayan iş parçasının matkabın soğuk yüzeylerine sıvanmasına neden olmakta ve böylece delik yüzeyini bozmaktadır[10]. Delme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelendiğinde ise 45° ve 75 mm/dak ilerleme için yüzey pürüzlülüğü 50 m/dak delme hızında 0,62 µm iken 100 m/dak delme hızında yaklaşık %20 azalarak 0,50 µm olmuştur. Şekil 5'deki sıcaklık grafiği incelendiğinde 45° sürtünme açısı ve 75 mm/dak ilerleme değeri için 50 m/dak delme hızında takım temas bölgesi sıcaklığı 695 °C iken 100 m/dak delme hızında yaklaşık %16 artarak 840°C olmuştur. Delme hızının artması birim zamanda takım- iş parçası arasındaki sürtünme miktarını artırarak sıcaklığı önce aşırı yükseltir. Bunun neticesinde takımla temas halinde bulunan delik yüzeyinin ince katmanı eriyerek sıvı tabakası oluşmaktadır[4]. Oluşan bu sıvı tabakası bir yağlama görevi yaparak sürtünmeyi azaltmakta ve yüzey pürüzlülüğünü düşürmektedir. Matkap uç sürtünme açısının artması yüzey pürüzlülüğü artırmıştır. 150 mm/dak ilerleme ve 100 m/dak delme hızı için 30° sürtünme açısında 0,38 µm, 45° sürtünme açısında 0,45µm ve 60° sürtünme açısında yaklaşık %13 artarak 0,50 µm olmuştur. Aynı şekilde sıcaklık grafiği incelendiği ise 30, 45 ve 60° sürtünme açıları için sırasıyla sıcaklıklar azalarak 801,789 ve743 °C elde edilmiştir. Şekil 4'deki delik kovan yüksekliği incelemelerine göre delme hızı arttıkça kovan yüksekliği artmakta, buna karşılık ilerleme arttıkça kovan yüksekliği azalmaktadır. 75 mm/dak ilerleme ve 45° matkap sürtünme açısı için ortalama kovan yükseklikleri 50 m/dak delme hızı için 5,4 mm, 75 m/dak delme hızı için 5,56 mm ve 100 m/dak delme hızı için 5,7 mm elde edilmiştir. Şekil 5'deki grafiğe göre delme hızının artması takım- iş parçası arasında birim zamandaki sürtünme miktarını artırarak sıcaklığı yükseltmiştir. Bunun sonucunda artan takım temas bölgesi sıcaklığı nedeniyle viskoplastik hale gelen iş parçası ilerlemenin etkisi ile daha fazla ekstrüze olarak kovan yüksekliğini artırmıştır. Sürtünmeli delme işleminde ilerlemenin kovan yüksekliği üzerindeki etkisi incelendiğinde ise 100 m/dak delme hızı ve 45° sürtünme açısı için 75 mm/dak ilerlemede 5,7 mm, 150 mm/dak ilerlemede 5,55 mm ve 225 mm /dak ilerlemede 5,45 mm elde edilmiştir. İlerlemenin artması iş parçası takım temas bölgesinin sürtünme süresini kısaltarak sürtünme enerjisini ve buna bağlı olarak sıcaklığı azalmaktadır[7,8]. Azalan sıcaklığa bağlı olarak iş parçası daha az viskoplastik hal alarak kovan yüksekliği de azalmaktadır. Sürtünme açısının kovan yüksekliğine etkisi incelendiğinde 150 mm/dak ilerleme ve 75 m/dak delme hızı için 30° sürtünme açısında 5,62 mm, 45° sürtünme açısında 5,41mm ve 60° sürtünme açısında 5,36 mm olduğu görülmüştür. Sürtünme açısının artması matkap uç konisinin temas yüzey uzunluğunu kısaltmaktadır. Takım temas yüzey uzunluğunun kısalması Denklem 1'e göre, takım-ış parçası ara yüzeyindeki sürtünme kuvvetini azaltır. Artan sürtünme açısı ile sürtünme kuvvetindeki azalma takım-ış parçası takım ara yüzey sıcaklığını düşürerek delik yüzey pürüzlülüğü artırmaktadır(Şekil 4c,5b.).

$$F_f=(F_a/\sin \alpha/2) \cdot \mu \quad (1)$$

Denklemden F_f sürtünme kuvvetini(N), F_a ilerleme kuvvetini(N), α matkap sürtünme uç açısını ve μ ise sürtünme katsayısını ifade etmektedir.



Şekil 4. Delme parametrelerinin delik kovan yüksekliğine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi



Şekil 5. Delme Parametrelerinin sıcaklık üzerindeki etkisi

3. Gri İlişkisel Analiz Yöntemi

Gri İlişki analizi (GRA), ana parametre ile diğer tüm değişken parametreler arasındaki belirsiz ilişkiyi bir sistemde inceleyen etkili bir ölçüm yöntemidir. Deng [17] tarafından ortaya konan Gri ilişki analizi renklerin derecesini ifade eden Gri sistem teorisine dayanmaktadır. Siyah bilinmeyen bilgiyi, beyaz bilinen bilgiyi, gri ise kısmen bilinen ve kısmen bilinmeyen bilgiyi temsil etmektedir [18–20]. Karmaşık çok değişkenli sistemde farklı faktörler arasındaki ilişki genellikle belirsizdir. Bu sistem genellikle belirsiz, zayıf ve tamamlanmamış bilgileri birleştiren “gri” olarak adlandırılır. Gri sistem doğrudan gerçek verilerle ilgilenir ve tarihin kendine özgü düzenini arar. Gri yöntem, deneyler belirsiz olduğunda ya da deneysel yol düzgün şekilde yapılamadığında istatistiksel analizde eksikler için tek başına yardımcı olur [17,18]. Gri sistem teorisinde serideki noktaların küçük değerler olması isteniyorsa küçük değer alan noktalar lineer normalizasyonda “1” e yakın değerler alırken, büyük değer alan noktalar “0” a yakın değerler alır. Gri sistem teorisinde daha yüksek daha iyi” durumunda normalizasyon aşağıdaki gibidir;

$$x_i^*(k) = \frac{x_i^o(k) - \min x_i^o(k)}{\max x_i^o(k) - \min x_i^o(k)} \quad (2)$$

“Daha düşük daha iyi” durumunda ise normalizasyon aşağıdaki gibidir;

$$x_i^*(k) = \frac{\max x_i^o(k) - x_i^o(k)}{\max x_i^o(k) - \min x_i^o(k)} \quad (3)$$

x_i^o , i serisi k. sıradaki orjinal değer, $x_i^*(k)$ normalizasyon sonrası i. seri k. sıradaki değer, $\max x_i^o(k)$ i serisindeki maksimum değer, $\min x_i^o(k)$ i serisindeki minimum değerdir.

Verilerin ön hesaplanmasından sonra, gerçek ve ideal normalize edilmiş deneysel sonuçlar arasındaki ilişkiyi ifade edecek şekilde Gri İlişki Katsayısı (GRC) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \zeta \Delta_{\max}} \quad (4)$$

Burada, $\xi_i(k)$ i. deney içerisindeki k. performans çıktıları için gri ilişki katsayısıdır. ζ ayırt edici katsayı olup Δ_{oi} ile Δ_{\max} arasındaki farkı ayarlar ve genellikle $0 < \zeta < 1$ aralığında olup genellikle 0,5 alınması tavsiye edilmektedir [21,22]. Denklem 4’teki $\Delta_{oi}(k)$ referans ve karşılaştırma sonuçlarındaki sapmadır.

$$\Delta_{oi}(k) = \|x_0^*(k) - x_i^*(k)\| \quad (5)$$

$$\Delta_{\min} = \min_{\forall j \in i} \min_{\forall k} \|x_0^*(k) - x_j^*(k)\| \quad (6)$$

$$\Delta_{\max} = \max_{\forall j \in i} \max_{\forall k} \|x_0^*(k) - x_j^*(k)\| \quad (7)$$

Gri sistem teorisi disiplinler arası bir bilimsel alandır ve GRA'da iki sistem veya sonuç arasındaki ilişkiyel derecenin ölçüsü Gri ilişkiyel derece(GRG) ile tanımlanır. Daha büyük bir GRG, karşılık gelen performans çıktılarının ideal normalleştirilmiş değere daha yakın olduğunu gösterir. GRG, gri ilişkiyel katsayının ortalama değeri alınarak elde edilir[17,18,20]. GRG Denklem 3 ile hesaplanabilir.

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (8)$$

Burada, $\xi_i(k)$ i'inci deney içerisindeki k'inci performans çıktıları için gri ilişki katsayısıdır. Bununla birlikte, farklı işlem parametrelerinin sistemdeki önemi gerçek mühendislik sistemi içinde değişiyorsa, çeşitli parametreler tarafından elde edilen eşit olmayan ağırlık gerçek disiplini içinde GRG, aşağıdaki gibi genişletilebilir[17,18]:

$$\gamma_i = \sum_{k=1}^n w_k \xi_i(k) \quad \sum_{k=1}^n w_k = 1 \quad (9)$$

Burada w_k , k faktörü için normalize edilmiş ağırlığı sembolize eder.

3.1. Gri İlişkiyel Analiz Sonuçları

Sürtüneli delme işleminde delme verimliliğini artırmak ve işlenen parçaların kalitesini iyileştirmek için en uygun delme koşullarını belirlemek gerekir. En uygun delme koşullarının belirlenmesi yani malzemenin ekonomik ve daha düzgün işlenebilmesi için bir takım bilimsel teknikler geliştirilmiştir. Bunlardan biri de gri ilişkiyel analiz yöntemidir. Sürtüneli delme işleminin optimizasyonu ile ilgili yapılan çalışmalarda varyans analizi(ANOVA) ve bulanık mantık tekniği (Fuzzy Logics) kullanılarak AISI 304 çeliğin optimizasyonu yapılmıştır. Elde edilen optimizasyon sonuçlarına göre uç konikliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkiye sahip olduğu ve genellikle 30° ve 45° sürtünme açılarında optimum değerler aldığı ifade edilmiştir. Ayrıca yüksek devir sayılarında daha düşük yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği ve 100 mm/dak ilerleme değerinin optimum olduğu bildirilmiştir[14,16,23].

Sürtüneli delme işlemi için delik yüzey pürüzlülüğünün en düşük ve kovan yüksekliğinin en yüksek olması tercih edilir. Bu yöntemde küçük yüzey pürüzlülüğü değerleri için "daha düşük d büyük kovan yükseklikleri için ise "daha büyük daha iyi" yaklaşımına göre normalize edilmiştir[18–20]. Normalizasyon işleminde kovan yükseklikleri ve ortalama yüzey pürüzlülük için sırasıyla Denklem 2 ve 3 kullanılarak 1-9 arası tüm değişkenler için normalizasyon elde edilmiş ve Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 4. Performans özellikleri için normalizasyon sonuçları

Deney No.	Karşılaştırılan Sonuçlar *		Sapma Sonuçlar	
	R _a	h	R _a	h
1	0,25	0,6774	0,75	0,3226
2	0,6667	0,871	0,3333	0,129
3	1,0	0,871	0	0,129
4	0,2083	0,3387	0,7917	0,6613
5	0,7083	0,3548	0,2917	0,6452
6	0,3333	1,0	0,6667	0
7	0,25	0	0,75	1
8	0	0,6774	1	0,3226
9	0,3333	0,5968	0,6667	0,4032

* R_a ve h=1 için referans sonuç

Ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kovan yüksekliği için gerçek ve ideal normalize edilmiş deneysel sonuçlar arasındaki ilişkiyi ifade eden Gri ilişki katsayıları Denklem 4 yardımıyla elde edilmiştir(Tablo 5). Tablo 5 de verilen katsayı matrisi değerlerinin ortalaması Gri ilişkiyel dereceyi vermekte ve Denklem 8 ve 9 kullanılarak hesaplanmaktadır.

En düşük yüzey pürüzlülüğü ve en yüksek kovan yüksekliği oluşturan en iyi delme değişkenlerini belirlenmesinde, işlem değişkenlerinin tüm seviyeleri için ortalama GRD belirlenmesinde Taguchi'nin cevap tablosu kullanılmıştır. Ortogonal dizinin bütün sütunlarındaki faktör seviyeli Gri ilişkiyel dereceler ve onların ortalama değeri işlemini içermektedir. Delme işlemi değişkenlerinin bütün seviyeleri için Gri ilişkiyel dereceler

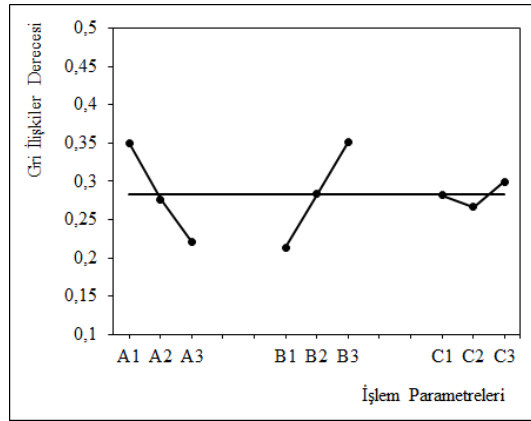
benzer yolla elde edilmiştir. Gri İlişkisel derecelerinin maksimum değerinin, karşılaştırma sonucunun referans sonucuyla güçlü bir ilişkiye sahip olduğunu gösterir[18,19,24]. Yani en büyük Gri ilişkisel derecesi değeri, performans çıktıları kategorisini göz ardı ederek en iyi performansı gösterir[25]. Gri İlişkisel Analiz sonucuna göre hem küçük yüzey pürüzlülüğünün hem de büyük kovan yüksekliğinin elde edildiği optimum işlem parametreleri 30° sürtünme açısı, 100 m/dak delme hızı ve 225 mm/dak ilerleme değerlerinden oluşmuştur(Tablo 5). Ayrıca Gri İlişkisel Analizi ile elde edilen optimizasyon sonuçları literatürdeki AISI 304 malzemesinin delinmesi ilgili olarak fuzzy logic ve Anova tekniği ile yapılan optimizasyon çalışmalarıyla da uyumludur[16,23].

Table 5. Hesaplanan gri ilişkisel katsayısı, derecesi ve sıralaması

Deney No	Gri ilişkisel katsayıları			Gri ilişkisel derecesi	Sıralama		
	A	B	C				
1	1	1	1	0.954	1	0,2520	5
2	1	2	2	0.515	0.424	0,3487	3
3	1	3	3	0.333	0.348	0,4487	1
4	2	1	2	0.585	0.337	0,2044	8
5	2	2	3	0.360	0.338	0,2670	4
6	2	3	1	0.896	0.337	0,3571	2
7	3	1	3	0.395	0.333	0,1833	9
8	3	2	1	1	0.337	0,2353	7
9	3	3	2	0.558	0.333	0,2354	6

*En düşük Ra ve en yüksek h değerinin elde edildiği deney şartları

Şekil 6'de işlem değişkenlerinin tüm seviyelerinin çoklu performans çıktıları üzerindeki ana etkisini (ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kovan yüksekliği) gösterilmiştir. Grafikte dikeye en yakın olan değer en etkili değerlerdir. Sürtümlü delme işlemi için çoklu performans çıktıları üzerinde en etkin seviyeler A1(30°), B3(100 m/dak) ve C3(225 mm/dak) şeklinde elde edilmiştir.



Şekil 6. Çoklu performans çıktıları için ana etki grafiği

Performans göstergesi olarak kullanılan özellikler üzerinde en fazla etkiye sahip olan faktörü belirlemek için elde edilen değerler birbirleri ile karşılaştırılır. Kontrol edilebilir değişkenlerin çoklu performans özellikleri üzerindeki anlamlılık düzeyi bu karşılaştırma ile belirlenmektedir. Diğer taraftan bu veriler incelenerek değişken deney parametrelerinin her birinin çoklu performans çıktıları üzerindeki etkisi elde edilebilir[18]. Ortalama gri ilişkisel derecelerinin maksimum ve minimum değerler arasındaki farklar anlamlılık düzeyini belirler. Tablo 6'daki hesaplama göre anlamlılık düzeyleri delme hızı(A) için 0,128, ilerleme(B) için 0,137 ve takım sürtünme açısı(C) için 0,033 elde edilmiştir. Bu hesaplamalarda en yüksek anlamlılık düzeyine sahip yüksek fark(ortalama gri ilişkisel dereceler farkı) en etkili faktörü ifade etmektedir. Buna göre en büyük anlamlılık düzeyi 0,137 olup delme parametreleri arasında B faktörünün(ilerlemenin) en etkili olduğunu göstermektedir. Sürtümlü delme işleminde değişken işlem parametrelerinin çoklu performans üzerindeki önemi sırası, faktör B₃(100 m/dak), faktör A₁(30°) ve faktör C₃(225 mm/dak) yani 0.137 > 0.128 > 0.033 olarak sıralanabilir. Elde edilen bu sonuçlar delme

parametrelerinden delme hızının çoklu performans çıktıları üzerinde en fazla etkiye sahip olduğunu, ilerlemenin ise en az etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Table 6. Gri ilişkisel derece için cevap tablosu

Delme parametreleri	Faktör seviyesine göre ortalama gri ilişkisel derece			Anlamlılık düzeyi (Max-Min)
	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye	
A	0,349799*	0,276202	0,221388	0,128411
B	0,213236	0,283687	0,350466*	0,13723
C	0,281466	0,266222	0,29970*	0,03348

*En yüksek etkiye sahip parametre seviyeleri

4. Sonuçlar

Delme hızı arttıkça matkap ucunun birim zamanda iş parçasına temas süresi arttığından sıcaklık yükselmekte ve yüzey pürüzlülüğü düşerek kovan yüksekliğini artmaktadır. Artan sıcaklık iş parçasının daha fazla viskoplastik hale getirerek ilerlemenin etkisi ile iş parçası daha fazla ekstrüze olmaktadır. Ayrıca yüksek delme hızlarında sıcaklık önce aşırı bir şekilde yükselmekte ve takımın temas halinde bulunan delik yüzeyindeki ince katman eriyerek sıvı tabakası oluşmaktadır. Oluşan bu sıvı tabakası bir yağlama görevi yaparak sürtünmeyi ve buna bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünü düşürmektedir.

İlerlemenin artması yüzey pürüzlülüğünü ve kovan yüksekliğini düşürmektedir. İlerleme artması delik bölgesindeki sıcaklık azalmakta ve buna bağlı olarak kovan yüksekliğini düşürmektedir. Buna karşılık artan ilerleme, takım-iş parçası ara yüzeyinde oluşan sıcaklığın ani olarak düşmesine ve takım ile delik yüzeyindeki ince sıvı tabakasının katılaşmasına zaman tanımadığından yüzey pürüzlülüğü azaltmaktadır.

Sürtünme açısının artması delme esnasında iş parçası ile takım arasında oluşan sürtünme yüzeyinin azalmasına neden olur. Bu durum takım-iş parçası temas yüzey sıcaklığını düşürerek yüzey pürüzlülüğü ve kovan yüksekliğini azaltmaktadır. Ayrıca sürtünme açısının artması sürtünme kuvvetini azaltarak takım-iş parçası temas süresini sıcaklığı düşürmektedir.

Minimum Ra yüzey pürüzlülüğü, maksimum kovan yüksekliğini veren sürtünmeli delme parametreleri Taguchi metodunun ile birlikte Gri İlişkisel Analiz yönteminin kullanılmasıyla da çok amaçlı olarak başarılı bir şekilde optimize edilmiştir. İdeal delme parametreleri için çoklu performans cevap tablosunun en yüksek Gri ilişkisel derecesi ideal delme parametrelerini göstermektedir. Sürtünmeli delme işlemi için minimum yüzey pürüzlülüğünün ile maksimum kovan yüksekliğinin birlikte elde edildiği optimum delme parametreleri 30° sürtünme açısı, 100 m/dak delme hızı ve 225 mm/dak ilerleme olarak elde edilmiştir.

Sürtünmeli delmede deney parametre seviyelerinin çoklu performans çıktıları üzerindeki etkisi GRG ile belirlenebilmektedir. İşlem parametrelerinin çoklu performans karakterleri üzerindeki önemi sırası, faktör B₃(100 m/dak), faktör A₁(30°) ve faktör C₃(225 mm/dak) yani 0.137> 0.128> 0.033 olarak sıralanmaktadır. Elde edilen bu sonuçlara göre çoklu performans çıktıları üzerinde en fazla etkili olan deney parametresi delme hızı, en az etkili olan parametre ise ilerleme olarak belirlenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Cantero JL, Tardío MM, Canteli JA, Marcos M, Miguélez MH. Dry drilling of alloy Ti-6Al-4V. Int J Mach Tools Manuf 2005. doi:10.1016/j.ijmachtools.2005.01.010.
- [2] Zurrayen M, Mutalib A, Idris M, Ismail S, Aswan N, Jalil A, et al. Characterization of tool wear in friction drilling. J Tribol 2018;17:93–103.
- [3] Miller SF, Shih AJ. Thermo-Mechanical Finite Element Modeling of the Friction Drilling Process. J Manuf Sci Eng 2007. doi:10.1115/1.2716719.
- [4] Chow HM, Lee SM, Yang LD. Machining characteristic study of friction drilling on AISI 304 stainless steel. J Mater Process Technol 2008;207:180–6. doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.12.064.
- [5] Lee SM, Chow HM, Huang FY, Yan BH. Friction drilling of austenitic stainless steel by uncoated and PVD AlCrN- and TiAlN-coated tungsten carbide tools. Int J Mach Tools Manuf 2009;49:81–8. doi:10.1016/j.ijmachtools.2008.07.012.
- [6] Miller SF, Blau PJ, Shih AJ. Tool wear in friction drilling. Int J Mach Tools Manuf 2007;47:1636–45. doi:10.1016/j.ijmachtools.2006.10.009.
- [7] Lee SM, Chow HM, Yan BH. Friction drilling of IN-713LC cast superalloy. Mater Manuf Process 2007;22:893–7.
- [8] Ozler L, Dogru N. An experimental investigation of hole geometry in friction drilling. Mater Manuf Process 2013;28:470–

5. doi:10.1080/10426914.2012.746699.
- [9] Miller SF, Tao J, Shih AJ. Friction drilling of cast metals. *Int J Mach Tools Manuf* 2006;46:1526–35. doi:10.1016/j.ijmactools.2005.09.003.
- [10] Demir Z, Özek C. Investigate the effect of pre-drilling in friction drilling of A7075-T651. *Mater Manuf Process* 2014. doi:10.1080/10426914.2014.892986.
- [11] Dehghan S, Ismail M, Ariffin M, Baharudin B. Experimental investigation on friction drilling of titanium alloy. *Eng Solid Mech* 2018;6:135–42.
- [12] Boopathi M, Shankar S, Manikandakumar S, Ramesh R. Experimental investigation of friction drilling on brass, aluminium and stainless steel. *Procedia Eng*, 2013. doi:10.1016/j.proeng.2013.09.201.
- [13] Eliseev AA, Fortuna S V., Kolubaev EA, Kalashnikova TA. Microstructure modification of 2024 aluminum alloy produced by friction drilling. *Mater Sci Eng A* 2017. doi:10.1016/j.msea.2017.03.040.
- [14] El-Bahloul S, El-Shourbagy H, Al-Makky M, El-Midany T. Thermal Friction Drilling: (A Review). *Int Conf Aerosp Sci Aviat Technol* 2018;15:1–15. doi:10.21608/asat.2013.22057.
- [15] El-Bahloul SA, El-Shourbagy HE, El-Midany TT. Optimization of Thermal Friction Drilling Process Based on Taguchi Method and Fuzzy Logic Technique. *Int J Sci Eng Appl* 2015;4:54–9. doi:10.7753/ijsea0402.1006.
- [16] Ku WL, Hung CL, Lee SM, Chow HM. Optimization in thermal friction drilling for SUS 304 stainless steel. *Int J Adv Manuf Technol* 2011. doi:10.1007/s00170-010-2899-5.
- [17] Deng J-L. Control problems of grey systems. *Sys Contr Lett* 1982;1:288–94.
- [18] Tosun N, Pihtili H. Gray relational analysis of performance characteristics in MQL milling of 7075 Al alloy. *Int J Adv Manuf Technol* 2010. doi:10.1007/s00170-009-2118-4.
- [19] Wen K-L. The grey system analysis and its application in gas breakdown and var compensator finding. *Int J Comput Cogn* 2004;2:21–44.
- [20] Lin Y, Chen M, Liu S. Theory of grey systems: capturing uncertainties of grey information. *Kybernetes* 2004;33:196–218.
- [21] Taşkesen A, Küttükde K. Experimental investigation and multi-objective analysis on drilling of boron carbide reinforced metal matrix composites using grey relational analysis. *Meas J Int Meas Confed* 2014. doi:10.1016/j.measurement.2013.08.040.
- [22] Bilge T, Motorcu AR, Ivanov A. Optimization of drilling parameters for dimensional accuracy in drilling of compact laminate composite 2017;9:1–22.
- [23] El-Bahloul SA, El-Shourbagy HE, El-Bahloul AM, El-Midany TT. Experimental and Thermo-Mechanical Modeling Optimization of Thermal Friction Drilling for AISI 304 Stainless steel. *CIRP J Manuf Sci Technol* 2018;20:84–92. doi:10.1016/j.cirpj.2017.10.001.
- [24] Viswanathan R, Ramesh S, Subburam V. Measurement and optimization of performance characteristics in turning of Mg alloy under dry and MQL conditions. *Meas J Int Meas Confed* 2018. doi:10.1016/j.measurement.2018.02.018.
- [25] Lee SH, Lee S-H. Optimisation of cutting parameters for burr minimization in face-milling operations. *Int J Prod Res* 2003;41:497–511.

Mikroçoğaltımla Üretilmiş Fesleğenin (*Ocimum basilicum* L.) Tepsili Kurutucuda Kuruma Karakteristiğinin Belirlenmesi

Aykut TOPDEMİR*

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomühendislik Bölümü, Elazığ
atopdemir@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 20/05/2019;

Kabul/Accepted:29/08/2019)

Öz: Bu çalışmada mikroçoğaltım ile in vitro ortamda elde edilen, tıbbi ve aromatik öneme sahip *Ocimum basilicum* L. türüne ait bitki örneklerinin tepsili kurutucuda kuruma karakteristiği incelenmiştir. Tarımsal ürünlerin hasat sonrası işlemlerinin başında kurutma gelmektedir. Özellikle tıbbi ve aromatik öneme sahip olan bitkiler kurutma proseslerine tabi tutulmaktadır. Endüstriyel proseslerde kurutucu olarak tepsili kurutucu yaygın olarak kullanılmaktadır. Deneyler 3 farklı sıcaklık (30-50 °C) ve 3 farklı akış hızında (0.5-1.5 m/s) 3 tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda, mikroçoğaltımla üretilmiş *Ocimum basilicum* L örneklerinin azalan hız periyodunda kuruma sergilediği gözlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda hava akış hızının difüzyon katsayısına etkisinin olmadığı, fakat yüksek sıcaklıklarda artan hava hızı ile difüzyon katsayısının arttığı belirlenmiştir. Çalışılan tüm hava hızlarında artan sıcaklıkla beklenildiği gibi difüzyon katsayısının arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Tepsili kurutucu, *Ocimum basilicum* L., mikroçoğaltım, etkin difüzyon katsayısı.

Determination of Drying Characteristics of Basil (*Ocimum basilicum* L.) Produced by Micropropagation in Tray Dryer

Abstract: In this study, drying characteristics of plant samples, having medicinal and aromatic importance, belonging to *Ocimum basilicum* L. species obtained from micro-propagation and in vitro environment were examined in tray dryer. Tray dryer is widely used as a dryer in industrial processes. The experiments were carried out with three replications at three different temperatures (30-50 °C) and three different flow rates (0.5-1.5 m/s). As a result of the experiments, it was observed that *Ocimum basilicum* L. samples produced by micro-propagation showed drying in decreasing speed period. It was determined that airflow rate had no effect on the diffusion coefficient at low temperatures, but diffusion coefficient raised with increasing air velocity at high temperatures. It was concluded that the diffusion coefficient increased as expected with increasing temperature at all air velocities studied.

Key words: Tray dryer, *Ocimum basilicum* L., micropropagation, effective diffusivity.

1. Giriş

Gıda maddelerinin kurutulmasında kullanılan en basit yöntem güneş enerjisi ile açık havada gerçekleştirilen kurutma tekniğidir. Ancak bu şekilde yapılan kurutma işleminin mikrobiyal açıdan pek çok olumsuzluğu söz konusu olmaktadır. Endüstriyel olarak gerçekleştirilen kurutma işlemlerinden en çok kullanılan kurutma prosesleri sıcak havanın kullanıldığı proseslerdir [1-8]. Kurutma proseslerinin en önemli basamaklarından biri kabul edilen ve yaygın olarak kullanılan sıcak havayla (konvektif) kurutma prosesi vasıtasıyla, ürün kalitesinde herhangi bir bozulmaya olanak tanımadan, ürünün nemi en kısa sürede ve en az enerji harcanarak son nem değerine düşürülmektedir. Kurutma havasının sıcaklığı üründen ürüne değişmekle birlikte tıbbi ve aromatik bitkilerde 30 ile 50 °C arasında olması gerekmektedir [9-11].

Tıbbi ve aromatik bitkiler; beslenme, sağlığı sürdürme ve koruma, hastalıkları önleme ve tedavi etme, güzel koku, tat ve çeşni sağlama amacıyla oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [12]. *Ocimum basilicum* L. (fesleğen) baharat ve ilaç olarak kullanılan tek yıllık aromatik ve hoş kokulu bir bitkidir. *O. basilicum* L. bitkisinin içinde barındırdığı faydalı özellikler ve kullanım alanlarındaki ihtiyaçlar göz önüne alındığında daha geniş alanlarda tarımının yapılması gereklidir. *O. basilicum* L. tohumunun çok küçük oluşu makinalı hassas ekime olanak tanımamaktadır. Fide yetiştirme zorlukları nedeniyle de ülkemizde *O. basilicum* L. üretiminin yeteri kadar yapılamadığı bilinmektedir [13]. Çoğaltım, bitkilerin sürekliliğini sağlamak için onların kontrollü olarak üretilmesidir. Generatif (eşeyli) ve vejetatif (eşeysiz) çoğaltım olmak üzere iki şekilde gerçekleşir. Eşeyli

* Sorumlu yazar: atopdemir@firat.edu.tr. Yazarın ORCID Numarası: 0000-0002-9112-4767

(generatif) çoğaltma, tohum kullanılarak gerçekleşen çoğaltma çeşididir. Pek çok bitki türü çok kompleks genetik bir yapıya sahip olduğu için, bu türlerin tohumlarından üretilen bitkiler özellikleri yönüyle birbirlerine benzemezler ve genellikle yabancı olan türlerine benzerler.

Eşsyz (Vejetatif) çoğaltma ise, kök, yaprak, sürgün, farklılaşmış gövde ve kökler gibi bitki kısımları ile gerçekleştirilen çoğaltma şeklidir. Vejetatif çoğaltma ile üretilen bitkilerin kalıtsal yapısında hiçbir değişiklik gözlenmez ve ana bitkinin kalıtsal özellikleri tamamen yavru bitkiye geçer. Vejetatif çoğaltma; çelik, aşı, daldırma tekniği, farklılaşmış gövde ya da kök kısımları (yumru, soğan, rizom gibi), doku kültürü teknikleri (mikroçoğaltım) gibi farklı yöntemlerle yapılabilir [14]. Mikroçoğaltım, bir bitkiden alınan ve tam bir bitkiyi oluşturabilme potansiyeline sahip bitki kısımlarından yapay olarak hazırlanan besin ortamlarında ve mikroorganizmalardan arındırılmış şartlar altında genetik olarak birbirine benzeyen çok sayıda bitkiyi hızlı çoğaltmak için tercih edilen bir doku kültürü tekniğidir.

Bu çalışmada, mikroçoğaltım ile in vitro ortamda elde edilen *O. basilicum* L. bitkisini, tepsili kurutucuda farklı sıcaklık ve hava akış hızlarında kuruma karakteristiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

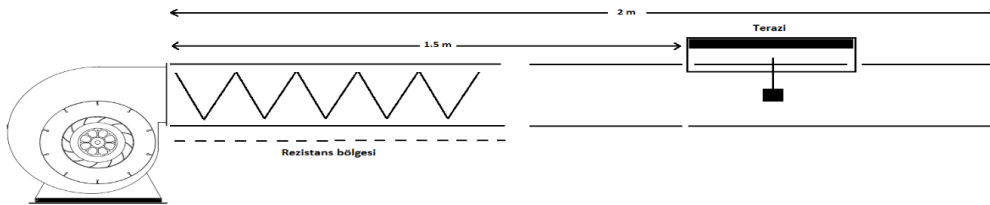
2. Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Deneyel çalışmalarda kullanılan ve Elazığ ili Sivrice ilçesi Güney köyü mevkiinden toplanan *O. basilicum* L. bitkisi Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomühendislik Bölümü Bitki Doku Kültürü laboratuvarında mikroçoğaltım yöntemiyle üretilmiştir. Besiyeri olarak Murashige Skoog (MS) besiyeri, bitki büyüme düzenleyicisi (BBD) olarak 0.5 mg/L Kinetin – 0.5 mg/L 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid ve % 0.8' lik plant agar kullanılmıştır. [15]. *O. basilicum* L. fidelerinden elde edilen gövdeler steril bir bisturiyle alındıktan sonra ilk olarak musluk suyuyla yıkanıp kültüre alınmadan önce 30 saniye %70'lik etil alkolde bekletilmiştir. Etil alkolden süzülen bitki eksplantları alkollere kabine içerisine alınmıştır. 5 dakika %50 oranda saf su ile seyreltilmiş sodyum hipokloritte (NaClO) bekletilmiştir. Sodyum hipoklorit olarak %5'lik ticari çamaşır suyu kullanılmıştır. Bitki eksplantlarına, sodyum hipokloritin yüzeye olan temasını arttırmak için bekletilmeleri sırasında 1-2 damla tween maddesi eklendi. 1.5 - 2 cm aralığındaki farklı uzunlukta *O. basilicum* L., gövdeleri BBD içeren besi yerlerine aktarıldı. Sürgünler 4 hafta boyunca her gün 16 saat 3000 lüks ışık ve 8 saat karanlıkta 24±1°C'de köklendirme ortamı üzerinde inkübe edildi. Mikroçoğaltımın son aşaması olarak bilinen aklimatizasyon sürecinde; köklenmesini tamamlayan *O. basilicum* L. bitkileri dikim ortamlarına ve çevre koşullarına kademeli olarak alıştırılması için adapte edildi. Köklendirme ortamlarından alınan bitkiler, besi ortamından çıkarıldıktan sonra musluk suyunda yıkanarak besi ortamından tamamen arındırılması sağlandı. Dikim ortamı olarak kullanılan materyal (torf), otoklavda 121°C' de 15 dk süreyle steril edildikten sonra bu toprağa 1:1 oranında perlit ilave edilerek saksılara pay edildi. Hazır hale getirilen bu saksılara köklenme sürecini tamamlamış olan *O. basilicum* L. bitkileri ekildi.

2.2. Tepsili Kurutucu Deneyleri

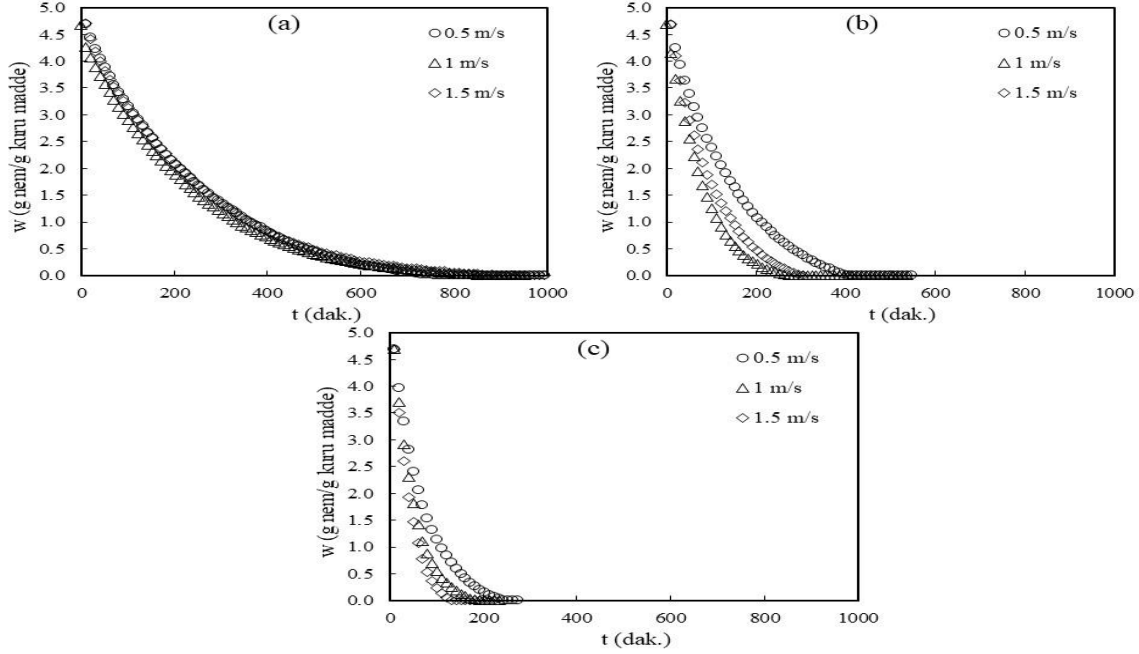
Deneyel çalışmalarda Fırat Üniversitesi Biyomühendislik Bölümü laboratuvarında mevcut olan ve Şekil 1'de gösterilen deney setinde gerçekleştirildi. Deney seti başlıca serpantenli ısıtıcı, fan, terazi ve bilgisayar sisteminden oluşmaktadır. *Ocimum basilicum* L. örneklerinin başlangıç nem içerikleri Mettler LJ16 marka infrared kurutucuda ölçüldü. Deneylerin her birinde 5 g. yaprak miktarı kullanıldı. Çalışma sıcaklıkları sırasıyla 30, 40 ve 50 °C olacak şekilde ayarlandı. Her bir sıcaklık değeri için 0.5, 1 ve 1.5 m/s hava akış hızlarında kurutma işlemi yapıldı. Deneyel çalışmalarda örneklerin 10'ar dakika aralıklarla tartım değerleri alınarak yürütüldü. İki tartım değeri arasındaki fark % 0.5 oluncaya kadar tartım işlemine devam edildi.



Şekil 1. Tepsili kurutucu sistemi.

3. Bulgular

Fesleğenin kuruma karakteristiğinin incelendiği bu çalışmada 30, 40 ve 50 °C’de farklı hava akış hızlarındaki kuruma eğrileri (zaman-nem içeriği (w) grafiği) Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Mikroçoğaltım ile üretilmiş *O. basilicum* L. örneklerinin çalışılan sıcaklıklarda (a: 30 °C, b: 40 °C, c: 50 °C) farklı hava akış hızlarındaki kuruma eğrileri.

4. Sonuçlar ve Tartışma

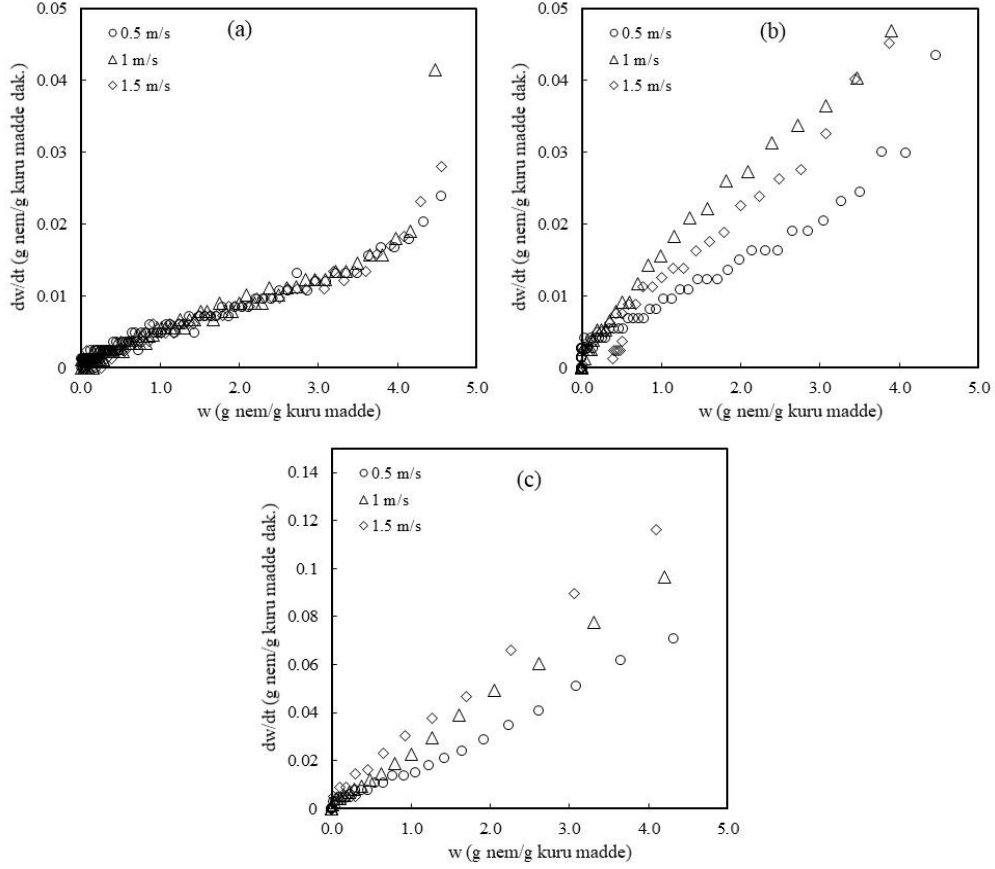
Deneylerde kullanılan tüm örneklerin başlangıç nem içeriği değerleri %82.4 olarak ölçülmüştür. Şekil 2’den çalışılan tüm sıcaklık ve hava akış hızlarında zamanla Mikroçoğaltım ile üretilmiş *O. basilicum* L. örneklerinin nem içeriği değerleri azaldığı ve belirli bir süre sonra örneklerdeki nemin tamamen uzaklaştığı görülmektedir. Şekil 2’den ayrıca sıcaklığın artmasıyla nem içeriği değerlerinin sıfıra yaklaşma zamanı değerlerinin daha kısa sürelerde gerçekleştiği de gözlenmektedir. 30 °C’de 750. Dakikalarda nemin tamamen uzaklaşması, 40 ve 50 °C’de sırasıyla 400. ve 200. dakikalarda gerçekleşmiştir. Çalışılan sıcaklıklarda hava akış hızının kuruma olayını özellikle düşük sıcaklıkta (30 °C) pek fazla etkilemediği Şekil 2’den elde edilen bir diğer sonuçtur. Elde edilen kuruma eğrileri literatürde farklı materyallerin kurutulmasında elde edilen tipik kuruma eğrileriyle uyumludur [16-18].

Bu çalışmada elde edilen kuruma verilerinden kuruma hızı ($w-dw/dt$) grafikleri de oluşturulmuştur. Şekil 3’te gösterilen bu grafiklerden kuruma olayı için hız periyodunu belirlemek mümkündür [19,20]. Şekil 3a’da 30 °C’de farklı hava akış hızlarındaki kuruma hızı eğrileri görülmektedir. Hava akış hızının etkisinin kuruma hızına etkisinin neredeyse olmadığı kuruma hızı eğrilerinden de gözlenmektedir. Bu kuruma hızı grafiğinden çok az da olsa iki aşamalı azalan hız periyodunda bir kuruma olayının gerçekleştiği söylenebilir. Şekil 3b ve 3c’de ise tek aşamalı azalan hız periyodunda bir kuruma olayının gerçekleştiği çok açıktır. Bunun yanında hava akış hızı çalışılan daha yüksek sıcaklık değerlerinde farklı kuruma hızı eğrilerinin oluşmasına yol açmıştır. Fakat, bu etki çok da belirgin bir değişim şeklinde değildir.

Literatürde azalan hız bölgesinde katıdaki nem transferinin Fick’in ikinci yasası ile açıklanabileceği belirtilmiştir [21]. Fick’in ikinci yasasının tek yönlü difüzyon için matematiksel ifadesi çözümünden aşağıdaki denklem elde edilir:

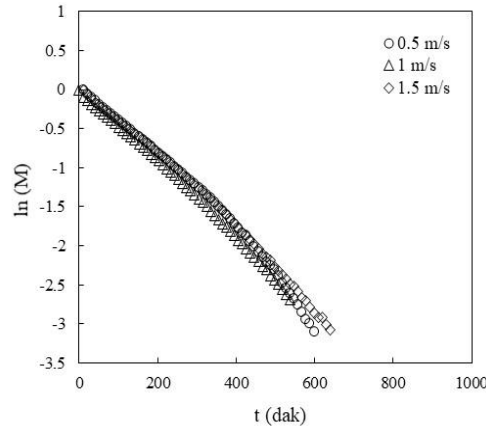
$$\ln \frac{w - w_e}{w_0 - w_e} = \ln(M) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{D_{eff} \pi^2}{L^2} t \quad (1)$$

Burada, w_0 ve w_e sırasıyla başlangıç ve denge anındaki nem içerikleri, M boyutsuz ayrılabilir nem oranı, D_{eff} suyun katıdaki difüzyon katsayısı, L katı içerisinde difüzyonun gerçekleştiği boyutun kalınlığı, t kuruma süresidir. Denklem 1'e bakıldığında $t-\ln M$ grafiği lineerdir ve eğimden D etkin difüzyon katsayısı hesaplanabilir. Bu şekilde oluşturulan 30 °C'de çalışılan hava akış hızlarındaki bir grafik Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Mikroçoğaltım ile üretilmiş *O. basilicum* L. örneklerinin çalışılan sıcaklıklarda (a: 30 °C, b: 40 °C, c: 50 °C) farklı hava akış hızlarındaki kuruma hızı eğrileri

Şekil 4'den görüldüğü gibi logaritmik kuruma eğrileri lineerdir. Böylece, Mikroçoğaltım ile üretilmiş *O. basilicum* L. örneklerinin kurumasına ilişkin etkin difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan kuruma mesafesi (L) yaklaşık olarak 1 cm olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. Farklı kurutma sıcaklıklarında Mikroçoğaltım ile üretilmiş *O. basilicum* L. örneklerine ait logaritmik kuruma eğrileri

Çalışılan diğer sıcaklıklardaki logaritmik kuruma eğrileri de Şekil 4'tekine benzer olarak elde edilmiştir. Mikroçoğaltım ile üretilmiş *O. basilicum* L'nin farklı sıcaklık ve hava akış hızlarındaki kuruma verilerinden faydalanarak $t-\ln M$ grafiklerinden hesaplanan etkin difüzyon katsayısı ve R^2 değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Mikroçoğaltım ile üretilmiş *O. basilicum* L'nin farklı sıcaklık ve hava akış hızlarındaki etkin difüzyon ve regresyon katsayısı değerleri.

Sıcaklık (°C)	Hava akış hızı (m/s)					
	0.5		1		1.5	
	$D_{eff}(m^2/s) \times 10^{10}$	R^2	$D_{eff}(m^2/s) \times 10^9$	R^2	$D_{eff}(m^2/s) \times 10^9$	R^2
30	8.452	0.988	8.114	0.996	8.452	0.995
40	14.341	0.988	2.738	0.997	2.163	0.995
50	29.075	0.989	4.192	0.997	5.206	0.998

Tablo 1'deki sonuçlar incelendiğinde tüm çalışma şartlarında oldukça yüksek R^2 değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Mikroçoğaltım ile üretilmiş *O. basilicum* L'nin difüzyon katsayısı değerlerinin (10^{-10}) literatürde *O. basilicum* türü için yapılan bir çalışmadaki difüzyon katsayısı ile yaklaşık olarak aynı mertebelerde olduğu söylenebilir [17]. Tablo 1'den 30 °C'de hava akış hızıyla difüzyon katsayısı değerlerinin pek değişmediği görülmektedir. Bununla beraber, 40 ve 50 °C'de hava akış hızıyla difüzyon katsayısının genellikle arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Çalışılan tüm hava hızı değerlerinde sıcaklık arttıkça beklenildiği gibi etkin difüzyon katsayılarının da arttığı Tablo 1'den elde edilen bir diğer sonuçtur.

5. Semboller

- D_{eff} : Etkin difüzyon katsayısı (m^2/s)
 M : Ayrılabilir nem oranı (-)
 L : Difüzyonun gerçekleştiği boyutun kalınlığı (m)
 t : Süre (dak.)
 T : Sıcaklık (°C)
 w : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg nem/kg kuru madde)
 w_o : Başlangıç nem içeriği değeri (kg nem/kg kuru madde)
 w_e : Denge nem içeriği değeri (kg nem/kg kuru madde)

Kaynaklar

- [1] Kalender, M., Akosman, C. Infrared Kurutucuda Ayçiçeği Tohumlarının Kuruma Davranışı ve Kuruma Modellerine Uyum Analizi. Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi 2015; 27(1), 51-56.
- [2] T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü (BÜGEM) Faaliyetleri Verileri. <http://www.tarim.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BUGEM.pdf> (Son erişim tarihi: 27.02.2015)
- [3] De Figueiredo, A., Bäuml, E., Riccobene, I., Nolasco, S. Moisture-dependent engineering properties of sunflower seeds with different structural characteristics. Journal of food engineering 2011; 102, 58-65.
- [4] Pereyra-Irujo, G.A., Aguirrezábal, L.A. Sunflower yield and oil quality interactions and variability: Analysis through a simple simulation model. Agricultural and forest meteorology 2007; 143, 252-265.
- [5] Georgogianni, K., Kontominas, M., Pomonis, P., Avlonitis, D., Gergis, V. Conventional and in situ transesterification of sunflower seed oil for the production of biodiesel. Fuel Processing Technology 2008; 89, 503-509.
- [6] Antolin, G., Tinaut, F., Briceno, Y., Castano, V., Perez, C., Ramirez, A. Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification. Bioresource technology 2002; 83, 111-114.
- [7] Seifi, M. R. & Alimardani, R. Moisture-dependent physical properties of sunflower seed. Modern Applied Science 2010; 4, 135-143.
- [8] Darvishi, H., Azadbakht, M., Asl, A.R. Experimental Analysis of Moisture Transfer during Thin layer Drying of Black Sunflower Seeds. International Journal of Agricultural and Food Science 2012; 2, 103-17.
- [9] Müller J. Convective Drying of Medicinal, Aromatic, and Spice Plants: a Review. Stewart Postharvest Review 2007; 4:2, 1-7.
- [10] İnan, E., Tarhan, S. Yeni Tip Doğrudan Değmeli Kurutucunun Geliştirilmesi ve Reyhan (*Ocimum basilicum* L.) Bitkisini Kurutma Performansının Belirlenmesi. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 2012; 5 (2): 151-155.
- [11] Güngör, A. Sebze Ve Meyve Kurutmada Kullanılan Kurutucular Ve Kurutma Teknolojileri. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 17-20 Nisan 2013; İzmir, Türkiye.
- [12] Faydaoğlu, E., Sürücüoğlu, M.S. Geçmişten Günümüze Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kullanılması ve Ekonomik Önemi. Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi 2011; 11 (1): 52 – 67.

- [13] Karakuzu, E. Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) Tohumunun Ekim Olanakları. Yüksek lisans tezi. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2015; Aydın.
- [14] Kaşka, N., Yılmaz, M. Bahçe bitkileri Yetiştirme Tekniği. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, 1990.
- [15] Murashige, T. and Skoog, F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum* 1962; 15(3), 473-497.
- [16] Chua, K.J., Chou, S.K. A comparative study between intermittent microwave and infrared drying of Bioproducts. *International journal of food science & technology* 2005; 40, 23-39.
- [17] Phoungchandang, S., Kongpim, P. Modeling Using A New Thin-Layer Drying Model And Drying Characteristics Of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) Using Tray And Heat Pump-Assisted Dehumidified Drying. *Journal of Food Process Engineering* 2011; 35, 851–862.
- [18] Kalender M. Makine Sıva Alçısının İnce Tabaka Infrared Kuruma Kinetiği, Karakteristiği ve Modellenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2017; 29: 285-291.
- [19] McCabe, W.L., Smith, J.C., Harriott, P. Unit operations of chemical engineering. McGraw-Hill New York, USA. 1993.
- [20] Perry, J.H. Chemical engineers' handbook. *Journal of Chemical Education* 1950; 27, 533.
- [21] Coulson, J.M. Coulson & Richardson's chemical engineering. Butterworth-Heinemann, 1999.

Renk Momentleri ve Destek Vektör Makineleri Kullanarak Haploid Mısır Tohumlarının Tanımlanmasında Renk Uzaylarının Sınıflandırma Performansına Etkisinin Karşılaştırılması

Yahya ALTUNTAŞ^{1*}, Adnan Fatih KOCAMAZ²

^{1,2} Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye
^{*1} yahyaaltuntas@gmail.com, ² fatih.kocamaz@inonu.edu.tr

(Geliş/Received: 01/07/2019;

Kabul/Accepted: 22/08/2019)

Öz: Katlanmış haploid mısır ıslah tekniği gerek ıslah süresini kısaltması, gerekse %100 homozigot hatlar elde edilmesi açısından, geleneksel ıslah yöntemleri ile karşılaştırıldığında önemli avantajlar sağlar. Katlanmış haploid mısır ıslah yönteminde önemli işlerden biri melezleme sonucunda elde edilen haploid ve diploid tohumların ayrıştırılmasıdır. Günümüzde bu işlemin elle yapılıyor olması, emek ve zaman kaybının yanı sıra yüksek sınıflandırma hatalarına neden olmaktadır. Bu çalışmada, haploid mısır tohumlarının tanımlanması için bilgisayar görmesine dayalı bir yöntem önerilmiştir. 3000 mısır tohumundan oluşan veri seti üzerinde yürütülen çalışmada, k-ortalama kümeleme yöntemi ile mısır tohum embriyoları bölütlenmiştir. RGB, HSV ve Lab renk uzaylarında her renk kanalı için ilk dört dereceden renk momentleri çıkarılmıştır. Böylece her renk uzayı için 12 öznitelik kullanılmıştır. Elde edilen öznitelikler destek vektör makinesi ile sınıflandırılmıştır. Daha genel sonuçlar elde edebilmek için 10-kat çapraz doğrulama yöntemi 20 kez tekrar edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre en iyi performans Lab renk uzayında %87,03 doğruluk, %80,15 duyarlılık ve %93,00 özgünlük değerleriyle ölçülmüştür.

Anahtar kelimeler: mısır, haploid tanıma, renk uzayları, renk momentleri, destek vektör makineleri.

Comparison of the Effect of Color Spaces on Classification Performance in Identification of Haploid Maize Seeds Using Color Moments and Support Vector Machines

Abstract: Doubled haploid maize breeding technique provides significant advantages over conventional breeding methods both in terms of shortening breeding time and obtaining 100% homozygous lines. One of the important works in doubled haploid maize breeding method is the separation of haploid and diploid seeds obtained as a result of hybridization. Today, this process is performed by hand, as well as loss of labor and time causes high classification errors. In this study, a computer vision based method for identification of haploid maize seeds was proposed. In the study conducted on the dataset of 3000 maize seeds, seed embryos were segmented by k-means clustering method. In the RGB, HSV and Lab color spaces, the first four degrees of color moments are extracted for each color channel. Thus, 12 features were used for each color space. Obtained features were classified with support vector machine. To obtain more general results, the 10-fold cross-validation method was repeated 20 times. According to the experimental results, the best performance was measured with 87,03% accuracy, 80,15% sensitivity and 93,00% specificity in Lab color space.

Key words: maize, haploid identification, color spaces, color moments, support vector machines.

1. Giriş

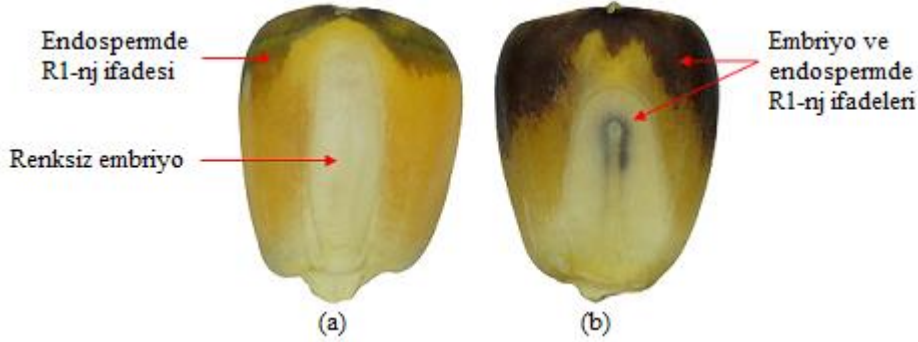
Diğer tüm kültür bitkilerinde olduğu gibi, artan dünya nüfusunun ihtiyaçlarını karşılayacak ve küresel iklim değişikliklerine uyum sağlayacak yüksek verimli, biyotik ve abiyotik stres koşullarına dayanıklı yeni mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinin geliştirilmesi bir zorunluluktur [1]. Katlanmış haploid (KH) mısır ıslah tekniği gerek ıslah süresini kısaltması, gerekse %100 homozigot hatlar elde edilmesi açısından, geleneksel ıslah yöntemleri ile karşılaştırıldığında önemli avantajlar sağlar. Geleneksel ıslah yönteminde, saf hatlar sürekli kendiyile melezlenerek geliştirilir. Bu işlem 6-7 yıl sürer ve işlem sonunda %99 homozigotluk düzeyinde hatlar elde edilir. Bununla birlikte, KH tekniği ile %100 homozigotluk düzeyinde hatların geliştirilmesi 1-2 yılda başarılabilir [2].

KH, tek n kromozoma sahip haploid embriyoların suni kromozom katlanmasıyla üretilen %100 homozigotluk düzeyinde hatlardır [2]. Bu işlem için öncelikle haploid bitkilerin elde edilmesi gerekir. Haploidler doğada %0,1 gibi çok düşük bir frekansta bulunmaktadır [3], bu nedenle pratik kullanıma uygun değildir [4]. Literatürde daha yüksek oranlarda haploid bitki elde etmek için yöntemler olmakla birlikte, in vivo maternal haploid yöntemi standart yöntem haline gelmiştir [4]. In vivo maternal haploid tekniğinde, daha yüksek oranlarda haploid bitkiler elde etmek için tozlayıcı olarak indirgeyici hat adı verilen özel genotipler kullanılmaktadır [5]. Mevcut indirgeyici

* Sorumlu yazar: yahyaaltuntas@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-7472-8251, ² 0000-0002-7729-8322

hatlar sayesinde haploid bitki elde etme oranı %8 ve daha yüksek olduğu bildirilmiştir [6]. In vivo maternal haploid tekniği dört aşamadan oluşur: (i) haploidlerin elde edilmesi, (ii) haploidlerin diploidlerden ayrılması, (iii) suni kromozom katlanması ve (iv) nihai KH hattının üretilmesi için kendisiyle tozlaşması.

Suni kromozom katlanmasında haploidler kullanıldığından, kromozom katlanmasından önce küçük bir orana sahip olan haploidlerin diploidlerden ayrılması gerekir. Tohum döneminde haploidlerin diploidlerden ayrılması; suni kromozom katlanmasına izin vermek, maliyeti düşürmek, işçiliği azaltmak, sera çalışmalarını ve tarla alanını azaltmak gibi avantajlar sağlar [2]. Bu gerçek, hızlı ve kesin olarak haploid tohum seçiminin önemini vurgulamaktadır [7]. Haploidlerin diploidlerden ayrımını yapabilmek için farklı yağ içeriği seviyeleri [6], embriyo ağırlıkları arasındaki fark [8] ve kırmızı kök [9] gibi alternatif seçilebilir genetik markörler önerilmişse de, en yaygın olarak ve başarıyla kullanılan R1-Navajo (R1-nj) [10] renk markörüdür. Baskın R1-nj geni embriyo ve endosperimde kırmızı-mor renklenmeye sebep olur. Diploid tohumlar hem kaynak genotipin hem de indirgeyici hattın kromozomlarını içerdiğinden embriyo ve endospermlerinde R1-nj renklenmesi gözlenir. Haploid tohumlar ise, endospermlerinden kaynak genotip ve indirgeyici hattın kromozomlarını taşıırken, embriyolarında sadece kaynak genotipin kromozomlarını taşıdıklarından endospermlerinde R1-nj renklenmesi gözlenirken, embriyolarında bu renklenme meydana gelmez. Bu durum, haploid ve diploidlerin görsel olarak ayrılmasına olanak tanır. Haploid ve diploid mısır tohumlarının R1-nj renk markörüne göre görsel ayrımı Şekil 1'de gösterilmiştir [1].



Şekil 1. R1-nj renk markörüne göre (a) haploid ve (b) diploid mısır tohumlarının görsel ayrımı [1]

Haploid mısır tohumlarının diploidlerden ayrılması günümüzde elle yapılmaktadır. Emek yoğun ve zaman alan bu işlem, R1-nj renklenmesinin küçük bir noktadan tüm endospermi kaplayan renkliliğe kadar çeşitlilik göstermesi ve renklenmenin açıktan çok koyuya kadar çeşitlilik göstermesi nedeniyle yüksek hataya sebep olmaktadır. Bu nedenle, haploid tohumların tanımlanmasını otomatik olarak gerçekleştirecek bir sisteme ihtiyaç vardır [11]

Son birkaç yılda R1-nj renk markör sistemine göre haploid mısır tohumlarının otomatik seçimini başarmak için makine görmesine dayalı çalışmalar yayınlanmıştır. Boote vd. [12] floresan bazlı yeni bir yöntem önerdiler. Floresan görüntülemenin tohum işleme için mevcut teknolojilerle birleştirildiğinde yüksek sınıflandırma etkinliğine sahip bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir. Lin vd. [13] haploid mısır tohumlarının yakın kızılötesi spektrum özellikleri kullanılarak otomatik olarak seçilebileceğini bildirmişlerdir. Fuente vd. [14] VideometerLab 3 yazılımının performansını test etmişler ve %50'nin üzerinde doğrulukla mümkün olduğunu bildirmişlerdir. Altuntaş vd. [15] 5 öznitelik ve destek vektör makinesi kullandıkları yöntemle %81,36 doğruluk elde etmişlerdir. Altuntaş vd. [16] aynı veriseti üzerinde gri seviye eş oluşum matrisinden elde ettikleri doku özniteliklerini farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak sınıflandırmışlar ve %84,48 doğruluk elde ettiklerini bildirmişlerdir. Altuntaş vd. [1] evrimsel sinir ağları kullanarak 3.000 örnek üzerinde yürüttükleri çalışmada, haploid tanımlama başarımının %94,22 doğruluk oranıyla mümkün olduğunu bildirmişlerdir.

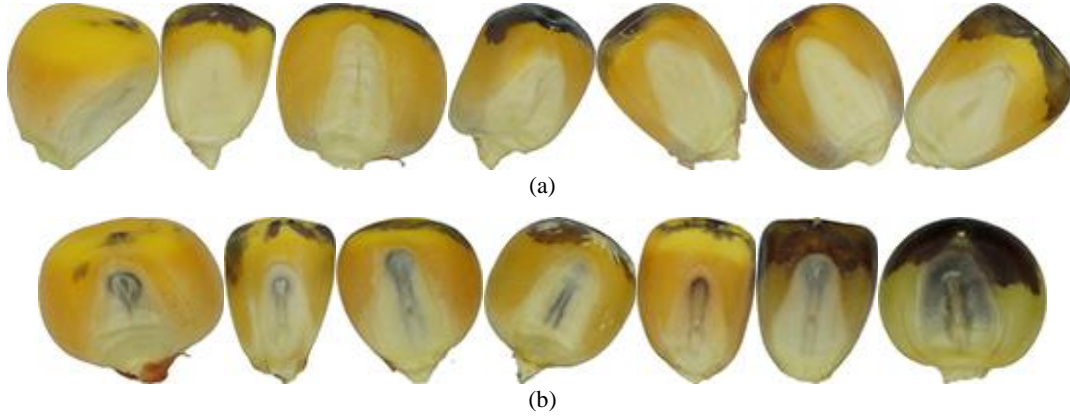
Bu çalışmada haploid ve diploid mısır tohumlarının R1-nj renk markör sistemine göre otomatik olarak tanımlanması için embriyo bölgesinden elde edilen ilk dört dereceden renk momentleri kullanılmış ve elde edilen öznitelik vektörü destek vektör makinesinin (SVM) eğitimi için kullanılmıştır. 3 farklı renk uzayından elde edilen öznitelikler karşılaştırılmış ve en uygun renk uzayının %87,03 doğruluk oranıyla Lab olduğu belirlenmiştir.

Bu makalenin yapısı şu şekilde düzenlenmiştir: 2. Bölümde kullanılan veri seti, embriyo bölütleme yöntemi, öznelik çıkarımı ve destek vektör makineleri anlatılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar Bölüm 3’de verilmiştir. Bölüm 4’de önerilen modelin performansı değerlendirilmiş ve gelecek çalışmalara değinilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Veri seti

Bu çalışmada, 3.000 mısır tohumundan oluşan açık erişimli “Haploid ve Diploid Mısır Tohumları Veri Seti” [1] kullanılmıştır. Veri seti 1.230 haploid ve 1.770 diploid mısır tohum görüntüsünden oluşmaktadır. Veri setini oluşturan mısır tohumları 107 kaynak genotip ile “RWS/RWK-76” [5] indirgeyici hatları arasında yapılan melezleme sonucunda elde edilmiştir. Haploid ve diploid mısır tohumlarının etiketlenmesinde R1-nj ifadeleri dikkate alınmıştır. Veri setini oluşturan mısır tohum görüntüleri, tohum boyutuna göre değişmekle birlikte 300x289 piksel ile 610x637 piksel aralığında değişmektedir. Veri setinden örnek haploid ve diploid mısır tohum görüntüleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Veri setini oluşturan (a) haploid ve (b) diploid mısır tohumlarına ait örnek görüntüler

2.2. Embriyo Bölütleme

Daha önce de belirtildiği gibi, hem haploid hem de diploid mısır tohumlarının endospermelerinde baba ebeveynin kromozomlarını taşıdıkları için R1-nj renklenmesi gözlenmektedir. Bununla birlikte diploid tohumların embriyolarında R1-nj renklenmesi oluşurken, baba ebeveynin kromozomlarını taşımayan haploid tohumların embriyolarında R1-nj renklenmesi oluşmamaktadır. Bu sebeple sadece embriyo renklenmelerine bakılarak, mısır tohumları haploid ve diploid olarak ayrılabilir.

Öznelikler çıkarılmadan önce veri setini oluşturan örneklerin embriyoları bölütlenmiştir. Embriyo bölütleme işlemi için k-ortalama kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Algoritma sonunda mısır tohumu embriyo ve endosperm olmak üzere iki parçaya ayrılmıştır. Embriyo bölütleme işlemine başlanmadan önce görüntünün arkaplanı temizlenmiş ve sadece tohum pikselleri hesaplamalarda kullanılmıştır. Denklem 1’e göre görüntünün B kanalı 150 eşik değeri ile eşiklenerek arka plan görüntüden çıkarılmıştır.

$$piksel_{i,j} = \begin{cases} \text{mısır tohumu}, & B_{i,j} \leq 150 \\ \text{arkaplan}, & \text{değilse} \end{cases} \quad (1)$$

Burada $piksel_{i,j}$ ikili görüntüde i . satır ve j . sütun piksel değerini, $B_{i,j}$ orijinal görüntünün i . satır ve j . sütundaki pikselin B değerini temsil etmektedir.

k-ortalama kümeleme yöntemi bir başlangıç çözümüne ihtiyaç duyar. R1-nj renklenmesi göz ardı edilirse, mısır tohumu embriyosu krem renkli ve endosperm sarı renklidir. Bu bilgi kullanılarak RGB renk kanalları analiz

edilmiş ve ampirik olarak B kanalı bölütleme işlemi için en uygun kanal ve eşik değeri 100 olarak ayarlanmıştır. Denklem 2 kullanılarak başlangıç çözümü bulunmuştur.

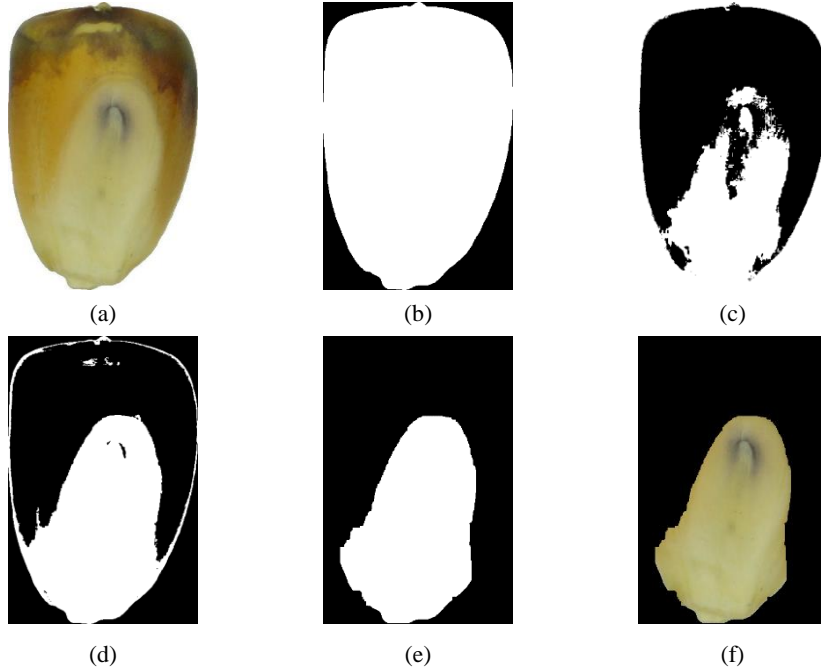
$$piksel_{i,j} = \begin{cases} embriyo, & B_{i,j} > 100 \\ endosperm, & de\u011filse \end{cases} \quad (2)$$

Yapılan eşikleme neticesinde embriyo ve endosperm olarak seçilen piksellerin ortalama B değerleri küme merkezleri olarak hesaplanmıştır. Daha sonra tekrarlamalı olarak her bir pikselin B değerinin küme merkezlerine olan öklid uzaklıkları hesaplanmış ve pikseller en yakın oldukları kümeye atanmıştır. Denklem 3 kullanılarak piksel atamaları gerçekleştirilmiştir.

$$piksel_{i,j} = \begin{cases} embriyo, & d_E[(B_{i,j})(B_{embriyo})] \leq d_E[(B_{i,j})(B_{endosperm})] \\ endosperm, & de\u011filse \end{cases} \quad (3)$$

Burada d_E i . satır ve j . sütunda bulunan pikselin B değerinin küme merkezlerine olan öklid uzaklığını temsil etmektedir. Piksel atama işleminin ardından küme merkezleri yeniden hesaplanmış ve piksel atama işlemi tekrarlanmıştır. Tekrarlama işlemi küme merkezleri değişmeyinceye kadar devam ettirilir. 5 tekrar nihai çözüm için yeterli olduğundan, bu çalışmada, tekrar sayısı 5 ile sınırlandırılmıştır.

Elde edilen çözüm, tohum kenarlarındaki parlamadan kaynaklanan gürültüden temizlemek için aşındırma ve genişletme morfolojik işlemlerine tabi tutulmuştur. Embriyo bölütleme işlem adımları Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Embriyo bölütleme işlem adımları: (a) orijinal görüntü, (b) arkaplan temizlenmiş ikili görüntü, (c) başlangıç çözümü, (d) kümeleme algoritması sonucunda elde edilen ikili görüntü, (e) aşındırma ve genişletme morfolojik işlemleri uygulanmış ikili görüntü, (f) nihai çözüm

2.3. Renk Uzayları

Renk uzayı, renk bilgisini üç veya dört farklı renk bileşeni olarak temsil eden matematiksel bir modeldir [17]. Aslında bir renk uzayı, her rengin tek bir nokta ile temsil edildiği bir koordinat sistemi içerisindeki bir alt uzayın

tanımlanmasıdır [18]. Bir renk uzayının amacı, bir takım standartlar ile renk tanımlamalarını kolaylaştırmaktır [18]. Farklı uygulamalar için kullanılacak farklı renk uzayları tanımlanmıştır. Bu çalışmada RGB, HSV ve Lab renk uzayları kullanılmıştır.

2.3.1. RGB Renk Uzayı

RGB renk uzayı yaygın olarak kullanılmaktadır ve dijital görüntüleri depolamak ve temsil etmek için varsayılan renk uzayıdır [17]. RGB renk uzayı üç farklı renk kanalına sahiptir: kırmızı, yeşil ve mavi. Bu üç temel renk karıştırılarak herhangi bir renk elde edilebilir. Bu üçlü 0 ile 255 arasında değişen bir renk değeri alır. RGB renk uzayında $256^3 = 16.777.216$ farklı renk temsil edilebilir. RGB renk uzayı, renk bilgisinin gerektiğinde farklı renk uzaylarına dönüştürülebildiği temel renk uzayıdır [19].

2.3.2. HSV Renk Uzayı

HSV renk uzayı, bilgisayar grafiklerinde sıkça kullanılır ve renkleri tanımlamanın sezgisel bir yoludur [19]. HSV renk uzayı renk özü, doygunluk ve değer olmak üzere üç kanaldan oluşur. Renk özü, baskın dalga uzunluğunu tanımlar ve 0 ile 360 arasında değişen açısal bir değerdir. Doymunluk, görüntüdeki gri seviye değerini tanımlar ve genel olarak 0 ile 100 arasında değişir. Değer ise yoğunluğu (parlaklığı) tanımlar ve %0 ile %100 arasında değişir, burada %0 en karanlık ve %100 en parlak renge karşılık gelir.

2.3.3. Lab Renk Uzayı

Lab renk uzayının en önemli özelliği, renkleri cihazdan bağımsız olarak tanımlanmasıdır. Bu özelliği, farklı renklerin farklı cihazlar arasında iletişim imkanı sağlaması anlamına gelmektedir [20]. Lab kullanılarak, spektrumdaki tüm renkler tanımlanabilir. L aydınlığı tanımlar ve 0 ile 100 arasında değerler alır. a ve b renk boyutlarını ifade eder ve her eksen için pozitif ile negatif arasında değerler alır. Pozitif a değerleri kırmızı miktarını belirtirken, negatif değerler yeşil miktarını belirtir. Pozitif b değerleri sarı miktarını belirtirken, negatif b değerleri mavi miktarını belirtir [20].

2.4. Öznitelik Çıkarımı

Renk momentleri, renkli bir görüntünün renk dağılımının karakteristiğini temsil eden özniteliklerdir. Her renk uzayından her renk kanalı için, ilk dört dereceden renk momentleri (ortalama, standart sapma, çarpıklık ve kurtosis) öznitelik olarak kullanılmıştır. Böylece, veri setini oluşturan her bir örnek, her renk uzayı için toplam 12 öznitelik kullanılarak temsil edilmiştir.

İlk dört dereceden renk momentleri şu şekilde tanımlanır:

$$\mu = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n piksel_{ij} \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (piksel_{ij} - \mu)^2} \quad (5)$$

$$s = \sqrt[3]{\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (piksel_{ij} - \mu)^3} \quad (6)$$

$$k = \sqrt[4]{\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (piksel_{ij} - \mu)^4} \quad (7)$$

Burada, μ ortalamayı, σ standart sapmayı, s çarpıklığı ve k kurtosisi ifade etmektedir. $m \times n$ çözünürlükte bir görüntüde $piksel_{ij}$ ilgili renk kanalında i . satır ve j . sütundaki piksel değerini temsil etmektedir.

2.5. Sınıflandırma

Bu çalışmada, elde edilen özneliklerin sınıflandırılmasında SVM kullanılmıştır. SVM, pek çok gerçek dünya probleminin çözümünde üstün sınıflandırma performansı göstermektedir [21]. Ayrıca, tarımsal verilerin sınıflandırılmasında, diğer geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerine göre daha üstün sonuçlar verdiği bildirilmiştir [22].

SVM, gözetimli bir sınıflandırma yöntemidir. SVM, bir sınıfın tüm veri noktalarını diğer sınıflardan ayıran en iyi hiper düzlemi bularak verileri sınıflandırır [23]. SVM için en iyi hiper düzlem, iki sınıf arasında en büyük aralığa sahip olan doğrusal ayırıcı olarak ele alınmaktadır. Aralık, iç veri noktaları bulunmayan hiper düzleme paralel doğrusal ayırıcının maksimum genişliğini ifade eder.

Eğitim verisi, y_j kategorileriyle birlikte bir dizi nokta (vektör) x_j' dir. Bazı boyutlar için d , $x_j \in R^d$ ve $y_j = \pm 1$ ' dir. Bir hiper düzlemin denklemi aşağıdaki gibidir.

$$f(x) = x'\beta + b = 0 \quad (8)$$

Bu denklemde $\beta \in R^d$ ve b gerçek bir sayıdır. Aşağıdaki problem, en iyi ayırıcı hiper düzlemini (yani karar sınırını) tanımlar. Bu problem kapsamında tüm veri noktaları (x_j, y_j) için, $\|\beta\|$ parametresini en aza indiren β ve b işaretlerini bulmak amaçlanır.

$$y_j f(x_j) \geq 1 \quad (9)$$

Destek vektörleri sınırdaki x_j' değerleridir, bu yüzden $y_j f(x_j) = 1$ ' dir. Matematiksel uygunluk için, problem genellikle $\|\beta\|$ seviyesinin minimize edilmesi eşdeğer problemi olarak verilir. Bu ikinci dereceden bir programlama problemine karşılık gelir. Optimal çözüm $(\hat{\beta}, \hat{b})$ bir vektör z' nin aşağıdaki gibi sınıflandırılmasını sağlar:

$$class(z) = sign(z'\hat{\beta} + \hat{b}) = sign(\hat{f}(z)) \quad (10)$$

$f(z)$ sınıflandırma puanıdır ve karar sınırından olan z mesafesini temsil eder. Bu çalışma kapsamında bu mesafe değerini en iyi şekilde bulmaya çalışan destek vektör makinesi yöntemi mısır tohumlarını haploid ve diploid olarak ayıran sınıflandırıcı olarak kullanılmıştır.

3. Bulgular

Bu çalışmada, haploid ve diploid mısır tohumlarının sınıflandırılması için, bölütleme, öznelik çıkarımı ve sınıflandırma olmak üzere üç ana aşamadan oluşan bir model önerdik. Bölütleme, öznelik çıkarımı ve sınıflandırma işlemlerinin tamamı MATLAB © (2016a) ortamında gerçekleştirildi.

Daha öncede belirtildiği gibi, hem haploid hem de diploid mısır tohumlarının endospermelerinde R1-nj renklenmesi oluştuğundan, endospermdeki renklenme ayırt edici değildir. Ancak, diploid mısır tohumlarının embriyolarında R1-nj renklenmesi meydana gelirken, haploid mısır tohumlarının embriyolarında bu renklenme oluşmamaktadır. Bu durum, haploid ve diploid mısır tohumlarının görsel olarak sınıflandırılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sebeple, öznelik çıkarma aşamasından önce mısır tohum embriyoları k-ortalama kümeleme yöntemiyle bölütlendi. Bölütleme işlemi için görüntünün B kanalı kullanıldı.

RGB renk uzayında bölütlenen embriyo görüntüleri HSV ve Lab renk uzaylarına dönüştürüldü. Üç renk uzayının üçer renk kanalından ilk dört dereceden renk momentleri hesaplandı. Böylece, veri setindeki her örnek her renk uzayı için sadece 12 renk momenti kullanılarak temsil edildi.

Sınıflandırma aşamasında, veri setinin yapısı bize haploid ve diploid mısır tohumlarını doğrusal olarak ayırma imkanı vermediğinden, gaussian radyal tabanlı fonksiyon (RBF) çekirdeği olan SVM, haploid örnekleri tanımak için kullanılmıştır. RBF gibi çekirdek fonksiyonları, çalışılan verilerin, verilerin ayrılacağı yeni bir hiper düzlemine dönüştürülmesini sağlar. SVM için bir diğer önemli parametre, yanlış sınıflandırılmış verinin oranını kontrol etmek için kullanılan ceza faktörüdür (kutu kısıtı olarak da bilinir). Ağ yapılandırma aşamasında, SVM için sigma ve ceza parametresi çiftlerini sırasıyla 1 - 10 ile 0,1 - 0,9 aralıklarında araştırdık. Gerçekleştirilen ampirik deneyler sonucunda sigma ve ceza faktörü sırasıyla 3 ve 0,8 olarak ayarlandı.

Modellerin başarısını ölçmek için kullanılan performans ölçütleri, Şekil 4'de [24] verilen karmaşıklık matrisinden elde edilir. Karmaşıklık matrisi, doğru pozitif (TP), doğru negatif (TN), yanlış pozitif (FP) ve yanlış negatif (FN) olarak adlandırılan dört endeksten oluşur. Bizim çalışmamızda, doğru bir şekilde tanımlanmak istenen haploidler pozitif sınıf, diploidler ise, negatif sınıf olarak ele alındı. Karmaşıklık matrisinde TP ve TN, doğru şekilde tanımlanmış haploid ve diploid örneklerinin sayısına karşılık gelirken, FP ve FN, yanlış sınıflandırılmış haploid ve diploid örneklerinin sayısını temsil etmektedir. $\pm R$, veri setindeki pozitif (haploid) ve negatif (diploid) sınıflarına ait örnek sayılarını temsil ederken, $\pm P$ önerilen model tarafından tahmin edilen pozitif (haploid) ve negatif (diploid) sınıflarına ait örnek sayılarını, ifade etmektedir.

		+R	-R	
+P	TP	FP	TP+FP	
-P	FN	TN	FN+TN	
	TP+FN	FP+TN	N	

Şekil 4. Karmaşıklık matrisi [24]

Renk uzaylarının karşılaştırılması için kullanılan performans ölçütleri, farklı renk uzaylarından elde edilen farklı öznelik vektörlerine dayanan modelleri değerlendirmek için kullanılmıştır. Doğruluk (Acc), modelin ortalama performansını verir. Duyarlılık (Se), haploid örnekleri tanıma model performansını gösterirken, Özgünlük (Sp) diploid örnekler üzerindeki model performansını gösterir. Örneklerin sınıflar arasındaki dağılımı eşit değildir. Böyle bir durumda, metriklerin yorumlanması bir hataya yol açabilir ve bu nedenle kalite endeksinin (QI) ve F-ölçütünün dikkate alınması model performanslarının daha doğru bir şekilde karşılaştırılmasına imkan verir. QI, Se ve Sp'in geometrik ortalamasını ifade eder. F-ölçütü, model performansının karakterizasyonunu değerlendirmek için yararlı bir ölçümdür. Çalışmada kullanılan performans metrikleri aşağıda verilmiştir [25, 26]:

$$Acc = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (11)$$

$$Se = \frac{TP}{TP + FN} \quad (12)$$

$$Sp = \frac{TN}{TN + FP} \quad (13)$$

$$QI = \sqrt{Se * Sp} \quad (14)$$

$$F - \text{ölçütü} = \frac{2TP}{2TP + FP + FN} \quad (15)$$

Sınıflandırıcı eğitim ve test aşamalarında, daha genel sonuçlar elde etmek için 10-kat çapraz doğrulama tekniği kullanıldı. Ayrıca, tüm deneysel kurulum 20 kez tekrarlandı. Bu işlem sonucunda toplam 60 test işlemi gerçekleştirildi. Deneylere göre, elde edilen karmaşıklık matrisleri Tablo 1'de sunulmuştur. Ek olarak, performans metriklerinin ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 2'de rapor edilmiştir.

Tablo 1. Renk uzaylarının karmaşıklık matrisleri

	TP	FP	TN	FN
RGB	22.084	2.516	29.245	6.155
HSV	22.235	2.365	29.056	6.344
Lab	22.353	2.247	29.864	5.536

Tablo 2. Performans metrikleri

	Acc (%)	Se (%)	Sp (%)	QI (%)	F-ölçütü (%)
RGB	85,55±0,20	78,20±0,24	92,08±0,21	84,86±0,20	83,59±0,23
HSV	85,49±0,18	77,80±0,24	92,47±0,21	84,82±0,19	83,62±0,21
Lab	87,03±0,13	80,15±0,23	93,00±0,14	86,34±0,13	85,17±0,13

Ortalama ± Standart sapma

DeneySEL sonuçlara göre, en iyi sınıflandırma performansı Lab renk uzayından çıkartılan öz nitelikler kullanılarak elde edildi. Acc, Se ve Sp değerleri sırasıyla %87,03, %80,15 ve %93,00 olarak gerçekleşmişti. RGB ve HSV renk uzaylarında elde edilen sınıflandırma sonuçları birbirlerine oldukça yakın olmakla birlikte, Lab renk uzayı ile karşılaştırıldığında nispeten düşüktü. RGB renk uzayında Acc, Se ve Sp değerleri sırasıyla %85,55, %78,20 ve %92,08 olarak ölçülmüştür. HSV renk uzayında Acc, Se ve Sp değerleri sırasıyla %85,49, %77,80 ve %92,47 olarak ölçülmüştür. Standart sapma değerleri tüm performans metrikleri için 0,13-0,24 aralığında değişmektedir. Bu düşük standart sapma değerleri önerilen modellerin stabil olduğunu göstermektedir.

4. Sonuç

Haploid mısır tohumlarının tanınması, KH mısır ıslah yönteminin hızlandırılması ve etkinliğinin artırılması açısından oldukça önemli bir konudur. Günümüzde *in vivo* maternal haploid tekniği ile elde edilen mısır tohumlarının haploid, diploid ayrımı el ile yapılmaktadır. Bu seçimin el ile yapılması emek yoğun, zaman alan bir iş olmasının yanı sıra yüksek hata oranına sebep olmaktadır. Haploid tohumların manuel seçimi çok uzun zaman gerektirir ve bu işlem aynı zamanda yüksek seviyede bir hata içerir. Bu çalışmada, haploid mısır tohumlarını otomatik olarak tanımak için renk momenti özneliklerine dayalı yeni bir bilgisayar destekli yöntem önerilmiş ve 3 farklı renk uzayı karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Renk momenti öznelikleri ve SVM sınıflandırıcısı kullanılarak tatmin edici bir başarı sağlanmıştır. 3.000 örnekten oluşan veri seti üzerinde yürütülen çalışmada, elde edilen deney sonuçları, önerilen yaklaşımın haploid mısır tohumlarının tanınması için geleneksel yaklaşımdan daha pratik bir sistem sağlayabileceğini kanıtlamıştır. Deneyler bağlamında, RGB, HSV ve Lab renk uzaylarından elde edilen renk momenti öznelikleri incelenmiştir. Deney sonuçları, renk uzayları birbirleriyle karşılaştırıldıklarında en iyi sonuçların sırasıyla Lab, RGB ve HSV uzaylarından elde edildiğini göstermektedir. Sonuç olarak, önerilen yöntem haploid mısır tohumlarını %87,03 doğruluk, %80,15 duyarlılık ve %93,00 özgünlük ile ayırt edebilmektedir. Gelecekteki çalışmalarda, elde edilen deneysel sonuçların sahaya aktarılması için bir makine tasarımı gerçekleştirilecektir.

Kaynaklar

- [1] Altuntaş Y, Cömert Z, Kocamaz AF. Identification of haploid and diploid maize seeds using convolutional neural networks and a transfer learning approach. *Comput Electron Agric* 2019; 163:104874.
- [2] Prasanna BM, Chaikam V, Mahuku G. *Doubled Haploid Technology in Maize Breeding: Theory and Practice*. Mexico: CIMMYT, 2012.
- [3] Geiger HH. *Doubled Haploids, Handbook of Maize*. New York, USA: Springer New York, 2009; 641-657.
- [4] Chidzanga C, Muzawazi F, Midzi J, Hove T. Production and use of haploids and doubled haploid in maize breeding: A review. *African Journal of Plant Breeding* 2017; 4: 201–213.
- [5] Röber FK, Gordillo GA, Geiger HH. *In vivo* haploid induction in maize - Performance of new inducers and significance of doubled haploid lines in hybrid breeding. *Maydica* 2005; 50: 275–283.
- [6] Melchinger AE, Schipprack W, Friedrich Utz H, Mirdita V. *In vivo* haploid induction in maize: identification of haploid seeds by their oil content. *Crop Sci* 2014; 54(4): 1497-1504.
- [7] Geiger HH, Gordillo GA, Koch S. Genetic Correlations among Haploids, Doubled Haploids, and Testcrosses in Maize. *Crop Sci* 2013; 53: 2313–2320.
- [8] Smelser A, Blanco M, Lübberstedt T, Schechert A, Vanous A, Gardner C. Weighing in on a method to discriminate maize haploid from hybrid seed. *Plant Breed* 2015; 134(3): 283–285.
- [9] Chaikam V, Martinez L, Melchinger AE, Schipprack W, Boddupalli PM. Development and validation of red root marker-based haploid inducers in maize. *Crop Sci* 2016; 56(4): 1678–1688.
- [10] Nanda DK, Chase SS. An Embryo Marker for Detecting Monoploids Of Maize (*Zea Mays* L.)1. *Crop Sci* 1966; 6(2): 213-215.
- [11] Melchinger AE, Schipprack W, Würschum T, Chen S, Technow F. Rapid and accurate identification of *in vivo*-induced haploid seeds based on oil content in maize. *Sci Rep* 2013; 3: 2129.
- [12] Boote BW, Freppon DJ, De La Fuente GN, Lübberstedt T, Nikolau BJ, Smith EA. Haploid differentiation in maize kernels based on fluorescence imaging. *Plant Breed* 2016; 135(4): 439–445.
- [13] Lin J, Yu L, Li W, Qin H, Method for Identifying Maize Haploid Seeds by Applying Diffuse Transmission Near-Infrared Spectroscopy. *Appl. Spectrosc* 2018; 72(4): 611–617.
- [14] De La Fuente GN, Carstensen JM, Edberg MA, Lübberstedt T. Discrimination of haploid and diploid maize kernels via multispectral imaging. *Plant Breed* 2017; 136(1): 50–60.
- [15] Altuntaş Y, Kocamaz AF, Cengiz R, Esmeray M. Classification of haploid and diploid maize seeds by using image processing techniques and support vector machines. In: 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU); 2-5 May 2018; İzmir, Turkey. 1–4.
- [16] Altuntaş Y, Kocamaz AF, Cömert Z, Cengiz R, Esmeray M. Identification of haploid maize seeds using gray level co-occurrence matrix and machine learning techniques. In: 2018 International Conference on Artificial

- Intelligence and Data Processing (IDAP); 28-30 September 2018; Malatya, Turkey. 1–5.
- [17] Kolkur S, Kalbande D, Shimpi P, Bapat C, Jatakia J. Human skin detection using RGB, HSV and YCbCr color models. In: Proceedings of the International Conference on Communication and Signal Processing 2016 (ICCASP 2016); 20-25 March 2016; Sanghay, China. 324-332.
- [18] Gonzalez RC, Woods RE. Digital image processing. Prentice Hall, 2008.
- [19] Sergyán S. Color Content-based Image Classification. In: 5th Slovakian-Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics; 25 - 26 January 2007; Poprad, Slovakia. 427–434.
- [20] Bora D, Gupta AK, Khan F. Comparing the Performance of L*A*B* and HSV Color Spaces with Respect to Color Image Segmentation. 2015. arXiv preprint arXiv:1506.01472.
- [21] Kotsiantis SB. Supervised machine learning: A review of classification techniques. Informatica 2007; 31: 249–268.
- [22] Shi L, Duan Q, Ma X, Weng M. The research of support vector machine in agricultural data classification. Springer, Berlin, Heidelberg 2012; 265–269.
- [23] Vapnik VN. The nature of statistical learning theory. Springer, 2000.
- [24] Cömert Z, Kocamaz AF, Subha V. Prognostic model based on image-based time-frequency features and genetic algorithm for fetal hypoxia assessment. Comput. Biol. Med 2018; 99: 85–97.
- [25] Cömert Z, Kocamaz AF. Comparison of machine learning techniques for fetal heart rate classification. Acta Phys. Pol. A 2017; 132(3): 451–454.
- [26] Cömert Z, Kocamaz AF. Open-access software for analysis of fetal heart rate signals. Biomed. Signal Process. Control 2018; 45: 98–108.

Kompozit Yama ile Tamir Edilmiş V-Çentikli Levhaların Burkulma Davranışı: Üç Boyutlu Sayısal Yaklaşım

Ahmet SAYLIK^{1*}, Mete Onur KAMAN²

¹ Makine Mühendisliği, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye

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

*¹ a.saylik@alparslan.edu.tr, ² mkaman@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 25/02/2019);

Kabul/Accepted: 29/04/2019)

Öz: Bu çalışmada, kompozit yama ile tamir edilmiş beş farklı V-çentik boyutuna sahip alüminyum ve kompozit levhaların burkulma davranışı sayısal olarak incelenmiştir. Çentikli levhalara tek taraflı ve çift taraflı yama olmak üzere iki farklı tipte tamir işlemi uygulanmıştır. Yama malzemesi olarak; aynı takviye açısına sahip dört tabaka çapraz örgü karbon fiber ve epoksi yapıştırıcıdan oluşan tabakalı kompozit seçilmiştir. Levha malzemesi olarak ise alüminyum ve aynı yama malzemesinden üretilmiş kompozit kullanılmıştır. Üç boyutlu olarak hazırlanan sonlu eleman modeli kullanılarak tamirli kompozit levhalarda kritik burkulma yükleri hesaplanmıştır. Levhaların çentik boyut değişimine göre kritik burkulma yük analizleri tek ve çift taraflı tamir yöntemi için yapılmıştır. Çentik derinlik artışının, genişliğe göre burkulma yükü üzerinde daha etkili bir parametre olduğu görülmüştür. Ayrıca kompozit levha ya da yamadaki fiber takviye açılarının artışı levha mukavemetini düşürmüştür.

Anahtar kelimeler: Kompozit yama, sonlu elemanlar metodu, kritik burkulma, yapıştırıcı.

Buckling Behavior of V-Notched Plates with Composite Patch: Three-Dimensional Numerical Approach

Abstract: In this study, the buckling behavior of aluminum and composite plates with five different V-notch sizes repaired by composite patch were investigated numerically. Two different types of repair were applied to the notched plates. As patch material; the laminated composite consisting of four layers of cross linked carbon fiber and epoxy adhesive having the same reinforcement angle. As the sheet material, aluminum and composite made of the same patch material were used. The critical buckling loads were calculated by using the finite element model prepared in three dimensions. The critical buckling load analysis was performed for single and double-sided repair according to the notch size variation of the plates. It is observed that the increase of the notch height is a more effective parameter on the buckling load than the width. Furthermore, the increase in fiber reinforcement angles on the composite plate or patch reduced the sheet strength.

Key words: Composite patch, finite element method, critical buckling, adhesive.

1. Giriş

Çalışma şartlarına bağlı olarak istenilen özelliklerde üretilmesi mümkün olan fiber takviyeli kompozit levhaların kullanım alanı havacılık sektöründe günden güne artmaktadır. Ancak fiber takviyeli kompozitlerin yapısal olarak ince kesitlere sahip olması eksenel basınç yükleri altında burkulma davranışlarının ve yük taşıma kapasitelerinin incelenmesini zorunlu kılar. Özellikle düzlem içi yüklere maruz kalan tabakalı kompozit levhaların burkulma davranışı, uçak bileşenlerinin ön tasarımının yapılmasında gereklidir. İzotropik malzemelere göre daha karmaşık bir hasar davranışına sahip sürekli fiber takviyeli kompozitlerin burkulma davranışının incelenmesi bu noktada önem kazanır. Hu ve Lin [1] tek eksenli basınç yükü altında, simetrik olarak tabakalandırılmış kompozit levhaların burkulma yüklerini farklı fiber açıları için hesaplamışlardır. Levha sınır şartlarının, levha en/boy oranlarının ve çentik boyutlarının fiber yönlenmeleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Narayana ve diğ. [2] 16 tabakalı simetrik dizilime sahip yarı-izotropik grafit/epoksi kompozit levhaların burkulma davranışını belirlemek için sonlu elemanlar yöntemini kullanarak sayısal bir çalışma yapmışlardır. Kare ve dikdörtgen deliklere sahip levhalarda burkulma yüklerinin, artan levha en/boy oranı ve levha uzunluğu/kalınlığı oranı ile azaldığını gözlemlemişlerdir. Kömür ve diğ. [3] tarafından dairesel ve eliptik delikli dokuma cam/polyester tabakalı kompozit levhalarda sayısal burkulma analizi yapılmıştır. Dairesel ve eliptik deliğin, kare şeklindeki kompozit levhaların burkulma yükü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Eliptik deliği konumlandırmanın artmasının, burkulma yükünün azalmasına neden olduğu sonucuna varmışlardır. Hamani ve diğ. [4] sonlu elemanlar yöntemini kullanarak tek ve çift dairesel çentikli dikdörtgen kompozit levhalar için burkulma analizi yapmışlardır.

* Sorumlu yazar: a.saylik@alparslan.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-1801-0082, ² 0000-0003-0178-6079

Karbon/bismaleimde (IM7/5250-4) kompozit levhalarda çentik yarıçapı ne olursa olsun burkulma yükünün neredeyse sabit kaldığını, levhanın anizotropi derecesini arttırmanın ise kritik burkulma yükünü önemli ölçüde arttırdığını gözlemlemiştir. Turan [5] yama ile tamir edilmiş kompozit levhaların burkulma davranışını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Ortasında dairesel delik bulunan tek yönlü karbon/epoksi kompozit levhaları yapıştırıcı kullanarak tek ve çift taraflı yama ile onarmıştır. Onarılmış kompozit levhaların kritik burkulma yüklerinin, dairesel delikli kompozit levhalara göre %96 ile 263 oranı arasında daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Kumar ve diğ. [6] cam/epoksi tabakalı kompozit levhalar için burkulma yükü üzerinde uzunluk/kalınlık oranının, en/boy oranının, fiber yönlenmesinin ve delik şeklinin etkisini incelemiştir. Deng ve diğ. [7] tek ve çift taraflı karbon fiber kompozit yama ile onarılan ortası delikli tabakalı kompozit levhaların burkulma yüklerini ve hasar mekanizmalarını tahmin etmek için kademeli bir hasar modeli hazırlamışlardır. Yük ve hasar modları yama tipine göre kıyaslandığında yapısal simetrisinin yanıl esnekliği arttırdığını gözlemlemiştir. Seif ve Kabir [8] özel bir bağlama aparatı kullanarak içerisinde çatlak bulunan çeliğe simetrik ve simetrik olmayan burkulma testleri yapmışlardır. Kırılma kapasitesi ve yorulma ömür etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Solmaz ve diğ. [9] tabakalı kompozit levhalarda fiber takviye açısının kritik burkulma yüküne etkisini incelemiştir. Fiber takviye açısının levhaların yüklem ekseninden uzaklaşmasının, kritik burkulma yüklerini azalttığını gözlemlemiştir. Chattopadhyay [10] fiber doğrultusunun ve delaminasyon boyutunun değişiminin kritik burkulma yüküne etkisini incelemiştir. Fiber oryantasyon açısı ve delaminasyon boyutunun artması ile kritik burkulma yükünün arttığı gözlemlenmiştir. Rezaeepazhand ve Sabori [11] dairesel delik içeren alüminyum levhaları kompozit yama ile tamir ederek burkulma analizlerini yapmışlardır. Tabaka dizimlerini değiştirerek, tamir edilen levhaların yük taşıma kapasitelerinin artırılabilirliğini belirlemiştir. Ipek ve diğ. [12] tabakalı kompozitlerin burkulma davranışı üzerinde delaminasyon büyüklüğü ve yerinin etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Farklı delaminasyon boyutları ve tabakalar arasındaki konumu için hazırladıkları numunelerin kritik burkulma yüklerinin delaminasyon boyutu ile orantılı olarak değiştiğini gözlemlemiştir. Hwang ve Liu [13] sonlu elemanlar yöntemini kullanarak karbon/epoksi kompozit malzemelerin tek eksenli basınç kuvveti altında burkulma davranışını incelemiştir. Kutlu ve Chang [14], kalınlık boyunca çoklu delaminasyona sahip tabakalı kompozitlerde hasar davranışını basınç kuvveti altında modellemiştir. Wu ve diğ. [15], değişken kalınlıklı kompozit panellerin burkulma davranışlarını optimize etmişlerdir. Chen ve diğ. [16] dikdörtgen şekilli delaminasyona sahip değişken fiber açılı kompozit levhaların burkulma analizini yapmışlardır. Jeyaprakash ve diğ. [17] karbon fiber takviyeli plastik (CFRP) levhaların burkulma davranışını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Katafiasz ve diğ. [18] tipik bir kompakt çekme test numunesi geometrisi içinde kritik burkulma yükünü ve basınç gerilmelerinin dağılımını optimize etmek için başarılı bir model uygulaması sunmuşlardır. Termal yük, burkulma davranışını tetikleyen diğer önemli bir parametredir [19-22]. Manickam ve diğ. [13] termal yüklere maruz değişken rijitliğe sahip kompozit levhaların burkulma davranışını, birinci mertebe kayma deformasyon teorisine dayanan sonlu elemanlar yaklaşımını kullanarak incelemiştir. Ortasında delik vb. geometrik düzensizlik içeren yapıların dayanıklılığını ölçmeye yardımcı olan kritik burkulma yükü analizlerinin önemini, sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan birçok çalışma ortaya koymaktadır. Bu çalışmada ise literatürden farklı olarak, kompozit yama ile yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiş, farklı boyutlara sahip kenarında V-çentik içeren levhaların sonlu elemanlar modeli üç boyutlu olarak hazırlanmış ve kritik burkulma yükleri hesaplanmıştır. Sonuçta çentik boyutunun, levha malzemesinin ve tamir tipinin değişimin kritik burkulma yüküne etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen veriler grafikler halinde sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

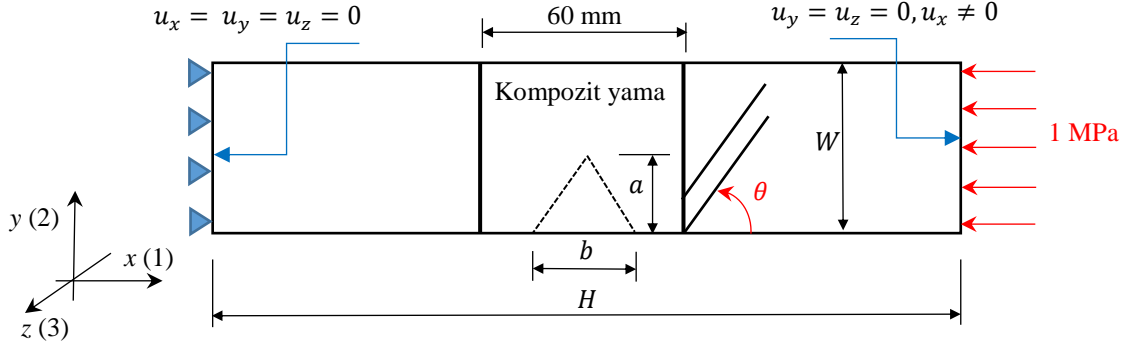
2.1. Problemin Tanımı

Tamir işleminde kullanılan V-çentikli levhalar 5754-H serisine ait alüminyum ve karbon/epoksi kompozit olarak seçilmiştir. Hazırlanan numunelerin boyutları Tablo 1'de verilmiştir.

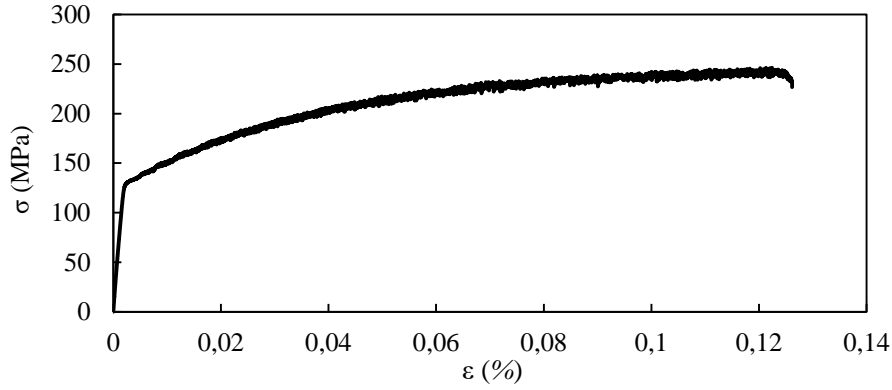
Tablo 1. Hazırlanan sonlu eleman levha modellerinin boyutları.

Numune Tipi	W (mm)	H (mm)	a (mm)	b (mm)	t (mm)
1	40	200	30	20	1.94
2	40	200	20	30	1.94
3	40	200	20	20	1.94
4	40	200	20	10	1.94
5	40	200	10	20	1.94

Levhalar $t = 1.94$ mm kalınlığında, 40 mm genişliğinde, 200 mm boyundadır. Modeller; çentik derinliği a ve çentik genişliği b değişimine göre beş farklı tipte hazırlanmıştır. W , levhanın genişliği, H ise levhanın uzunluğudur. Yama uzunluğu sabit olup 60 mm'dir (Şekil 1).



Şekil 1. Kompozit yama ile tamir edilmiş levha boyutları.



Şekil 2. Alüminyum için gerilme-şekil değiştirme grafiği [24].

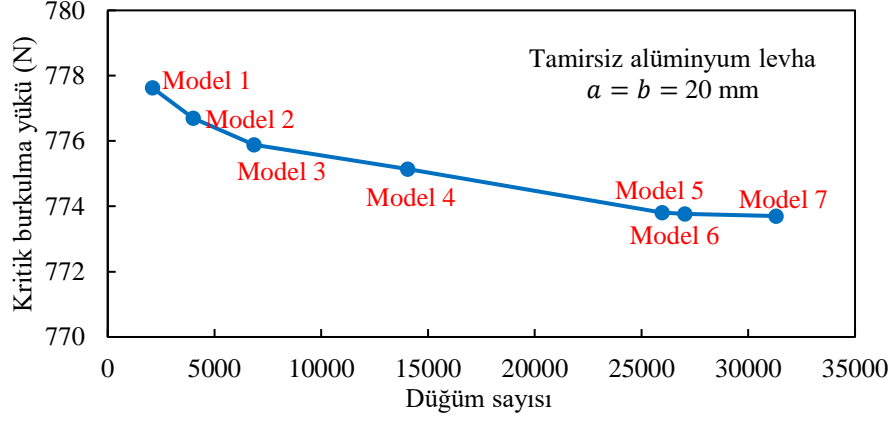
Tablo 2. Alüminyum levhanın mekanik özellikleri [24].

Kayma modülü (G)	25940 MPa
Çekme dayanımı (X_T)	246.72 MPa
Kopma uzaması (ϵ_K)	0.126
Elastisite modülü (E)	69000 MPa
Poisson oranı (ν)	0.33
Akma gerilmesi (σ_Y)	132 MPa

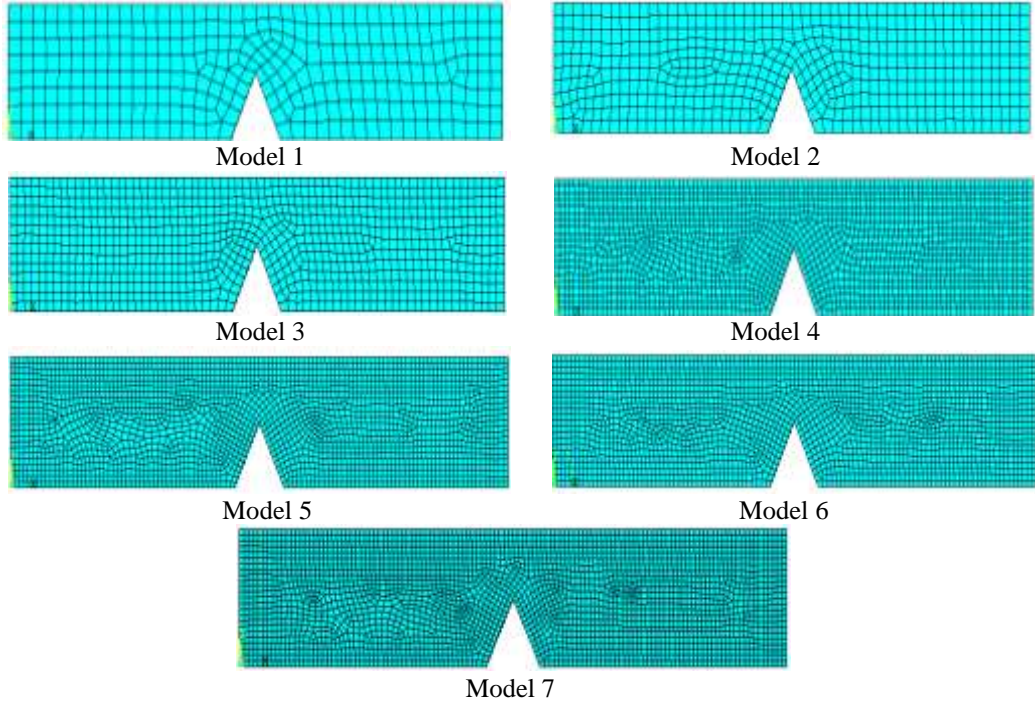
Tablo 3. Karbon/epoksi kompozit malzemenin mekanik özellikleri [24].

Fiber takviyesi yönündeki elastisite modülü (E_1)	74800 MPa
Fiber takviyesine dik doğrultudaki elastisite modülü (E_2)	74800 MPa
Kayma modülü (G_{12})	3400 MPa
Kayma mukavemeti (S)	48.1 MPa
Poisson oranı (ν_{12})	0.24
Fiber takviyesi yönündeki çekme mukavemeti (X_T)	609 MPa
Fiber takviyesine dik doğrultudaki çekme mukavemeti (Y_T)	609 MPa
Fiber takviyesi yönündeki basma mukavemeti (X_C)	354.457 MPa
Fiber takviyesine dik doğrultudaki basma mukavemeti (Y_C)	354.457 MPa

Alüminyum malzemenin gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 2' de gösterilmiştir. Mekanik özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir [24]. Yama malzemesi olarak karbon fiber takviyeli epoksi kompozit kullanılmıştır. Kompozit yamaların hepsi aynı fiber yönünde $[0^\circ]_4$ olacak şekilde modellenmiştir.



Şekil 3. Kritik burkulma yükünün sonlu eleman düğüm sayısı ile değişimi.



Şekil 4. Farklı eleman boyutları için levha sonlu eleman modelleri.

2.2 Sonlu eleman modeli

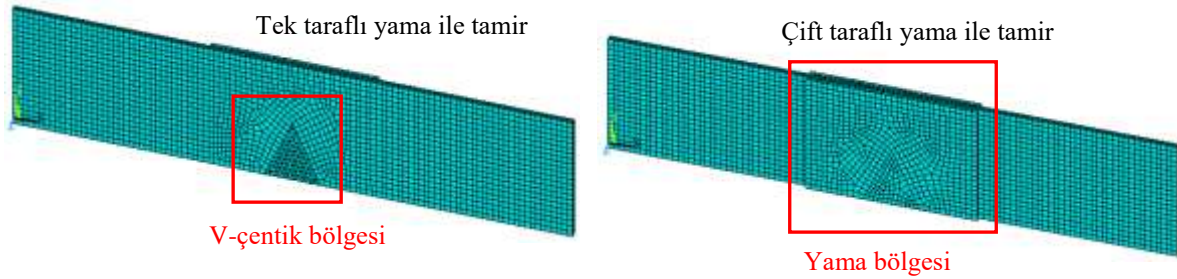
Farklı çentik boyutlarına sahip levha modellerinin kritik burkulma yüklerinin hesaplanması için ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanılmıştır [25]. Sonlu eleman modellemesinde düğüm başına üç serbestlik derecesine sahip 20 düğüm tarafından tanımlanan *Solid186* eleman tipi seçilmiştir. ANSYS sonlu elemanlar paket programında sayısal modelleme yapılırken ideal eleman sayısı için analizler yapılmıştır. Şekil 3'de tamirsiz alüminyum levha için yapılan çözümlerde kritik burkulma yükünün düğüm sayısı ile değişimi verilmiştir. Eleman boyutu azaldıkça kritik burkulma yük değeri azalmaktadır. Burkulma yükünün artık değişmediği en uygun düğüm

sayısının Model 6 için elde edildiği görülmüştür (Şekil 4). Sonuçta sayısal çözüm için hazırlanan modellerin ideal elaman ve düğüm sayıları Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4. Kompozit levhaların sonlu elamanlar modeli için düğüm ve elaman sayıları.

Çentik boyutları	Elaman sayısı	Düğüm sayısı
$a=10$ mm, $b=20$ mm	4512	25853
$a=20$ mm, $b=20$ mm	4524	25967
$a=30$ mm, $b=20$ mm	4288	24709
$a=20$ mm, $b=10$ mm	4352	25021
$a=20$ mm, $b=30$ mm	4336	24925

Lineer kritik burkulma analizi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, büyük yer değiştirme etkisi dikkate alınarak birim yük altında (1 MPa) statik analiz yapılmış, ikinci aşamada ise statik analiz verileri kullanılarak burkulma yükleri ve modları hesaplatılmıştır. Analizlerde sınır şartı olarak levhanın her iki ucu da ankastre mesnetlenmiş olup (levha sol kenarı: $u_x = u_y = u_z = 0$, levha sağ kenarı: $u_y = u_z = 0, u_x \neq 0$) uzun kenarlar serbesttir ($u_x = u_y = u_z \neq 0$)(Şekil 1). Kullanılan kompozitlerin lokal malzeme eksenleri, global kartezyen eksen takımı ile çakışmaktadır. Dolayısıyla fiber doğrultusu 1, aynı zamanda basma yük doğrultusu olan $-x$ eksenini tanımlamaktadır (Şekil 1). Şekil 5’de tek ve çift taraflı yama ile tamir edilmiş levhaların sonlu eleman modelleri verilmiştir. Kompozit yama ile yapıştırıcı arasında izotropik özellik gösteren yapıştırıcı hacim bulunmaktadır. Yapıştırıcı ile V-çentikli levha ve yapıştırıcı ile kompozit yama arasında mükemmel birleşme olduğu kabul edilmiştir. Üç boyutlu hazırlanan modellerde çentik nedeniyle boşalan levha hacmi yapıştırıcı ile doldurulmuştur. Kullanılan yapıştırıcının mekanik özellikleri lineer elastik olarak seçilmiş *Henkel Hysol EA 9396* marka epoksidir. Mekanik özellikleri Tablo 5’te sunulmuştur.



Şekil 5. Tek ve çift taraflı yama ile tamir edilmiş levhaların sonlu eleman modelleri.

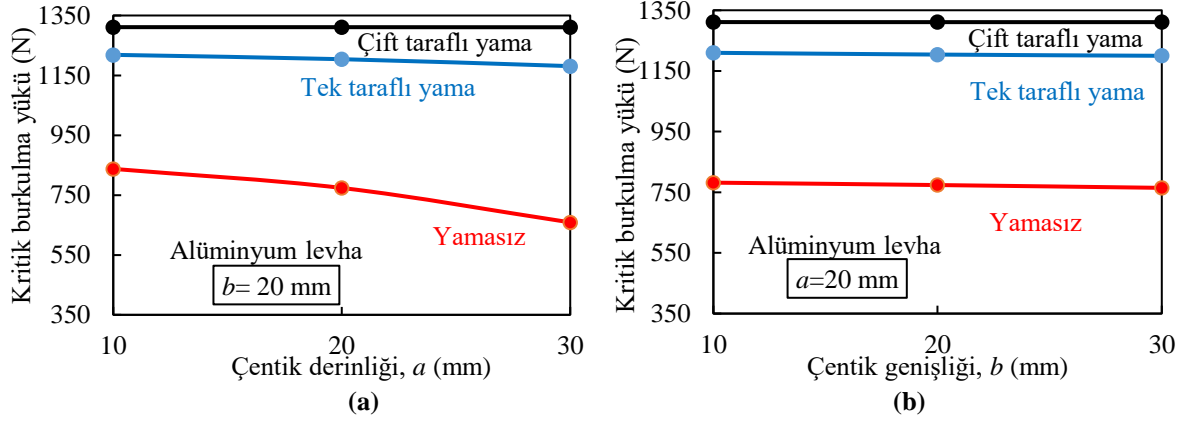
Tablo 5. Yapıştırıcı malzemeye ait mekanik özellikler [24, 26].

Kayma modülü (G)	1060 MPa
Çekme dayanımı (X_T)	35.2 MPa
Kopma uzaması (ϵ_K)	3.4
Elastisite modülü (E)	2750 MPa
Basma dayanımı (X_C)	482.8 MPa
Poisson oranı (ν)	0.3
Kayma mukavemeti (S)	24.1 MPa

3. Sonuçlar

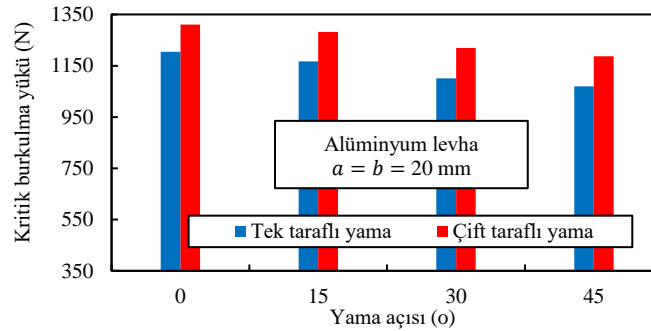
Çentik genişliği ve derinliğine göre değişen beş farklı tipteki modeller kompozit ve alüminyum malzeme için ayrı ayrı hazırlanmıştır. Modellerin burkulma analizleri farklı tamir tiplerine göre yapılmıştır. Her çentik tipi için yamasız, tek taraflı ve çift taraflı yama modelleri kullanılarak kritik burkulma yükleri hesaplanmıştır. Şekil 6 (a)’

da çentik genişliğinin aynı derinliğinin farklı olduğu, Şekil 6 (b)'de ise çentik derinliğinin aynı genişliğinin farklı olduğu levhaların kritik burkulma yükleri verilmiştir. Yama açısı Şekil 6 (a) ve Şekil 6 (b)'de $\theta_{yama}=0^\circ$ 'dir.



Şekil 6. (a) Farklı tamir tipleri için kritik burkulma yükünün çentik derinliği ile değişimi (b) Farklı tamir tipleri için kritik burkulma yükünün çentik genişliği ile değişimi.

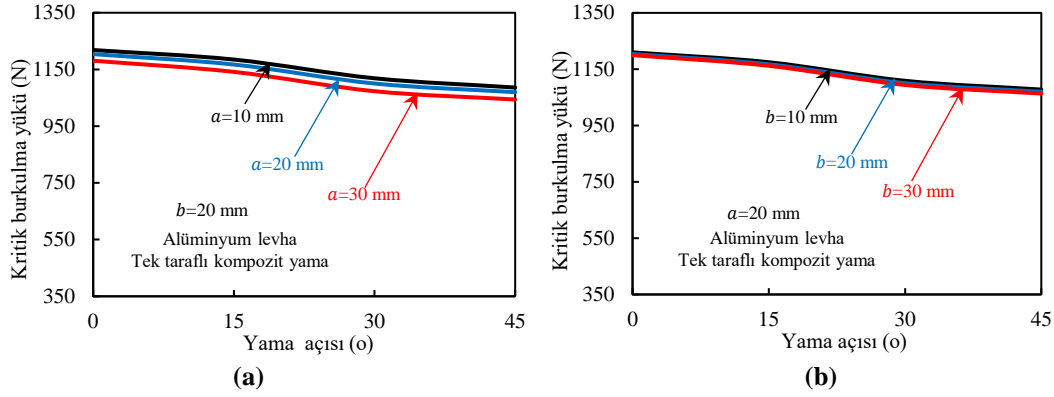
Şekil 6 (a) ve Şekil 6 (b) incelendiğinde çentik derinliğinin artışının çentik genişliğine oranla kritik burkulma yükünü daha fazla etkilediği görülmektedir. Çentik derinliği arttıkça, levhanın net kesit alanı azalacağı için burkulma yükleri azalmaktadır. Ancak çentik genişliğinin azalması yük taşıyan net kesit alanı değiştirmez. Bu nedenle de tamirsiz levhada $b=10$ mm'den 30 mm'ye arttığı zaman burkulma yükündeki azalma oranı %2.2 iken, $a=10$ mm'den 30 mm'ye arttığı zaman burkulma yükündeki azalma oranı %21.3 değerine ulaşmaktadır. Tek taraflı yama ile tamir, tüm modellerde burkulma yüklerini %47.9 ile %79 oranında artırmaktadır. Çift taraflı yama kullanımında ise burkulma yükleri tek taraflı yamalı numunelerden %7.6 ile %9.3 arasında daha fazladır. Çift taraflı yama levhaya yapısal simetrik özellik kazandırır. Tek taraflı yama kullanılan onarımlarda, asimetrik yapı yanıl esnekliği artırabilir ancak daha erken yama ayrılması ve mukavemet düşüşüne neden olur [7]. Çentik derinliğinin ve genişliğinin artması, tamir edilmiş levhalarda burkulma yüklerini yamasız levha değerleri ile kıyaslandığında önemli bir şekilde değiştirmedeği görülmektedir. Şekil 7'de çentik genişliğinin ve derinliğinin aynı olduğu ($a=b=20$ mm) bir alüminyum levha modelinde, yama açısının $\theta_{yama}=0^\circ$, 15° , 30° ve 45° farklı değerleri için kritik burkulma yükleri verilmiştir. Kullanılan kompozitin fiber ve fibere dik doğrultudaki elastisite modülleri aynı olduğu için fiber oryantasyon açısı maksimum 45° olarak alınmıştır.



Şekil 7. $a=b=20$ mm levha modeli için kritik burkulma yükünün kompozit yama fiber açısı ile değişimi.

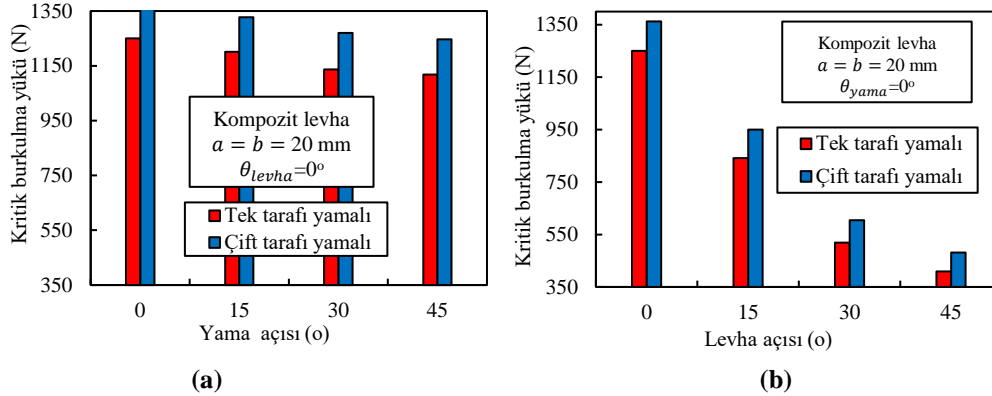
Şekil 7 'de başlangıçta $\theta_{yama}=0^\circ$ konumunda yük ile aynı doğrultuda olan fiberler, fiber takviye açısının artması ile yük doğrultusundan uzaklaşırlar ve levha mukavemetinin azalmasına sebep olurlar. $\theta_{yama}=45^\circ$ olduğunda tek taraflı yama ile tamir edilmiş numunelerde $\theta_{yama}=0^\circ$ 'ye göre yük azalması %12.5 iken, bu değer çift taraflı yama ile tamir edilmiş numunelerde %10.1'dir. Dolayısıyla da levha tamir edildikten sonra yama açısının artışının, her iki tip yama tekniğinde de aynı oranda kritik yük değerini azalttığı söylenebilir [9]. Şekil 8 (a)'da çentik genişliğinin aynı, derinliğinin farklı olduğu tek taraflı kompozit yama ile tamir edilmiş alüminyum levhaların yama açısının değişimine göre kritik burkulma yükleri verilmiştir. $a=10$ mm'de kritik burkulma yükü

1218 N iken, $a=30$ mm'de 1180 N değerinde olduğu görülmüştür. Şekil 8 (b)'de ise çentik derinliğinin aynı, genişliğinin farklı olduğu levhaların burkulma yükleri gösterilmiştir. Yama uygulanması ile birlikte çentik derinliğinin artışı kritik burkulma yükü üzerinde farklı yama açıları için %3 oranında azalmaya sebep olurken, çentik genişliğinin artmasının kritik burkulma yükü üzerindeki etkisi %1'in altındadır.



Şekil 8. (a) Farklı çentik derinlikleri için kritik burkulma yükünün yama açısı ile değişimi, (b) farklı çentik genişlikleri için kritik burkulma yükünün yama açısı ile değişimi.

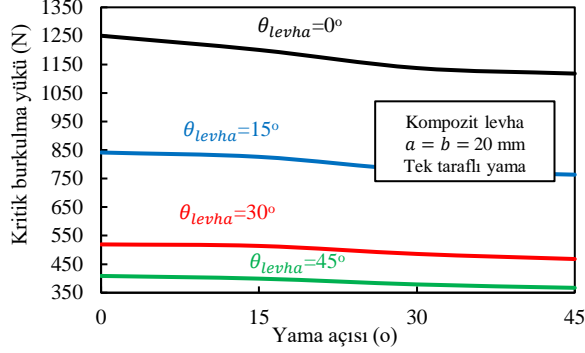
Bir diğer sayısal yaklaşımda; kompozit levhanın aynı malzemeden üretilmiş kompozit yama ile tamir edilmesine ait modeller oluşturulmuştur. $\theta_{levha}=0^\circ$ fiber doğrultusuna sahip kompozit levhada tek ve çift taraflı yama için kritik burkulma yükünün yama fiber açısı ile değişimi Şekil 9 (a) 'da verilmiştir. Alüminyum levhada olduğu gibi kompozit yama açısının artması burkulma yükünü azaltmaktadır. Tek taraflı yamada yama açısının artması ile burkulma yüklerindeki azalma maksimum %11.8 iken, bu değer çift taraflı yamada %9.2'dir. Elde edilen yüzdeler alüminyum levhalar ile benzerlik göstermektedir. Şekil 9 (b)'de ise yama açısının sabit ($\theta_{yama}=0^\circ$), levha açısının $\theta_{levha}=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ ve 45° olduğu durumlardaki kritik burkulma yükü değerleri sunulmuştur.



Şekil 9. (a) $a=b=20$ mm kompozit levha modeli için kritik burkulma yükünün yama fiber açısı ile değişimi, (b) $a=b=20$ mm kompozit levha modeli için kritik burkulma yükünün levha fiber açısı ile değişimi.

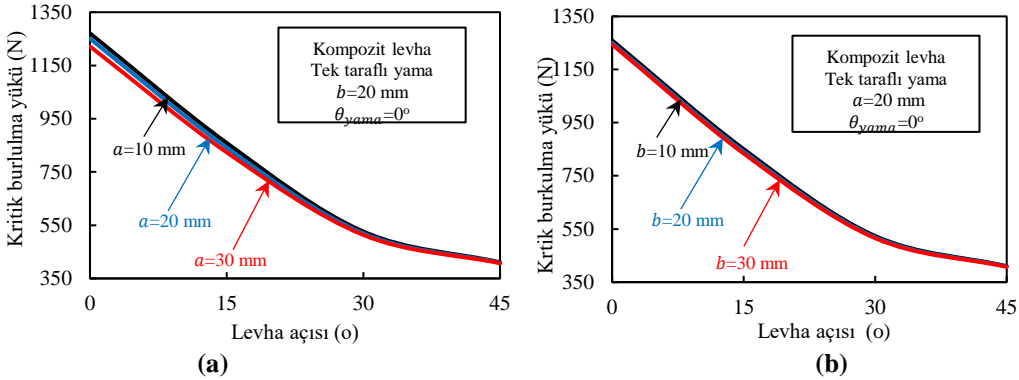
Levha açısının artmasıyla birlikte kritik burkulma yükünde önemli azalmalar elde edilmiştir [9]. Tek taraflı tamir yönteminde $\theta_{levha}=45^\circ$ için kritik yükteki azalma, $\theta_{levha}=0^\circ$ 'ye göre %67.3'tür. Bu değer benzer olarak çift taraflı yamada ise %64.7'dir. Levha malzemesindeki fiber doğrultularının değişiminin kritik burkulma yükü üzerindeki etkisi, yamadaki fiberlerin doğrultularının değişiminden daha önemli bir parametre olduğu açıktır (Şekil 9). Tek taraflı kompozit yama ile tamir edilen $a=b=20$ mm kompozit levhanın kritik burkulma yükünün yama açısı ile değişimi farklı levha açıları için değişimi Şekil 10'da gösterilmiştir. $a=b=20$ mm olan tek taraflı kompozit yamanın levha açısı $\theta_{levha}=0^\circ$, yama açısı $\theta_{yama}=45^\circ$ iken kritik burkulma yükü 1118 N, levha açısı

$\theta_{levha}=45^\circ$, yama açısı $\theta_{yama}=45^\circ$ olduğunda ise 367 N değerine düştüğü gözlemlenmiştir. $\theta_{levha}=0^\circ$ için kritik burkulma yükünün θ_{yama} ile değişimi maksimum %10.6 iken, $\theta_{levha}=45^\circ$ için kritik burkulma yükünün θ_{yama} ile değişimi maksimum %10.2'dir. Dolayısıyla da farklı levha açılarında yama açısının değişimi ile elde edilecek burkulma yükündeki oranının aynı olduğu söylenebilir.

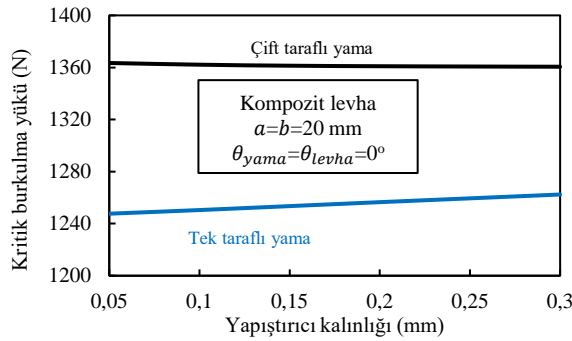


Şekil 10. Farklı levha açılarında tek taraflı kompozit yama ile tamir edilmiş kompozit levhanın kritik burkulma yükünün yama açısı ile değişimi.

Tek taraflı kompozit yama ile tamir edilen kompozit levhaların, levha açısının değişimine bağlı olarak kritik burkulma yükleri hesaplanmıştır. Hesaplanan kritik burkulma yükleri farklı çentik derinlikleri için Şekil 11 (a)'da, farklı çentik genişlikleri için ise Şekil 11 (b)'de gösterilmiştir.



Şekil 11. (a) Farklı çentik derinlikleri için kritik burkulma yükünün levha açısı ile değişimi, **(b)** Farklı çentik genişlikleri için kritik burkulma yükünün levha açısı ile değişimi.



Şekil 12. Farklı yama tipleri için kritik burkulma yükünün yapıştırıcı kalınlığı ile değişimi.

Şekil 11 incelendiğinde levha açısının artması ile birlikte çentik derinliğinin değişiminin burkulma yükü üzerindeki etkisi yok olmaktadır. $\theta_{levha} = 0^\circ$ için $a = 10$ mm ile $a = 30$ mm derinliğe sahip tek taraflı yamalı

levhaların kritik burkulma yükleri arasındaki fark %34.1'dir. $\theta_{levha} = 45^\circ$ olduğunda ise bu fark tamamen ortadan kalkmaktadır. Levha açısının artması ile birlikte çentik genişliğinin değişiminin burkulma yükü üzerindeki etkisi çok azdır. Şekil 6-12 arasındaki grafiklerde yapıştırıcı kalınlığı 0.1 mm olarak sabit tutulmuştur. Yapıştırıcı kalınlığının burkulma yükü üzerinde etkisini görebilmek amacıyla Şekil 12'de sunulmuştur. Çift taraflı yama kullanımında yapıştırıcı kalınlığının değişiminin kritik burkulma yükü üzerindeki etkisi yoktur. Çift taraflı yama kullanıldığında ise; 0.05 mm yapıştırıcı kalınlığı yerine 0.3 mm yapıştırıcı kalınlığı tercih edildiğinde burkulma yükünde %1.2 oranında bir artış elde edilmiştir. Tamir edilmiş levhalarda kritik burkulma yükü, levha kalınlığı arttığında artar [4], ancak yapıştırıcı kalınlığının değişiminin burkulma yükü üzerinde önemli bir parametre olmadığı söylenebilir. Ek olarak kompozit levhaların ilk burkulma modları ayrıca Tablo 6'da verilmiştir. İlk modların tamirsiz ve tamirli numuneler için benzer olduğu görülmüştür.

Tablo 6. V-çentikli kompozit numunelerin ilk burkulma modları ve $-z$ eksenindeki yer değiştirmeleri.

Numune tipi	Burkulma modu
Tamirsiz numune	
Tek taraflı yama	
Çift taraflı yama	
Yer değiştirme (mm)	

4.Tartışma

Bu çalışmada kenarında V-çentik bulunan alüminyum ve kompozit levhalar kompozit yama ile tek ve çift taraflı kompozit yama ile tamir edilerek kritik burkulma yükleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Çentik boyutlarının değişimi, tamir edilmiş levhalarda burkulma yüklerini önemli bir şekilde değiştirmedeği belirlenmiştir.
- Tek taraflı yapılan tamirler, çift taraflı yamalı tamirlere göre kıyaslandığında esnekliğin ve kritik burkulma yük değerlerinin daha az olduğu gözlemlenmiştir.
- Levha tamir edildikten sonra yama açısının artışı, her iki tip yama tekniğinde de aynı oranda kritik yük değerini azaltmıştır.
- Alüminyum levhada olduğu gibi kompozit yama açısının artması burkulma yükünü azaltmaktadır. Kompozit levha için elde edilen sonuçlar alüminyum levhalar ile benzerlik göstermektedir.
- Levha malzemesindeki fiber doğrultularının değişiminin kritik burkulma yükü üzerindeki etkisi, yamadaki fiberlerin doğrultularının değişiminden daha önemli bir parametredir.
- Levha açısının artması ile birlikte çentik derinliğinin değişiminin burkulma yükü üzerindeki etkisi yok olmaktadır.
- Tamir edilmiş levhalarda yapıştırıcı kalınlığının değişiminin burkulma yükü üzerinde önemli bir parametre olmadığı söylenebilir.
- Bu sonuçlara göre ideal şartlarda yapılmış mükemmel bir çift taraflı tamir ile kritik öneme sahip çentik boyutlarının, yapıştırıcı kalınlığının burkulma yükü üzerindeki etkisi ortadan kalkacaktır. Levhalarda yüklemeye doğrultusunda fiber kullanmak ise konstrüksiyonun yanıl dayanımı üzerinde etkili olduğu konusu tasarımcılar için önem taşır.

Kaynaklar

- [1] Hu HT, Lin BH. Buckling optimization of symmetrically laminated plates with various geometries and end conditions. *Composites Science and Technology* 1995; 55: 277-285.
- [2] Narayana AL, Rao K, Kumar RV. FEM buckling analysis of quasi-isotropic symmetrically laminated rectangular composite plates with a square/rectangular cutout. *Journal of Mechanical Science and Technology* 2013; 27 (5):1427-1435.
- [3] Komur MA, Sen F, Atas A, Arslan N. Buckling analysis of laminated composite plates with an elliptical/circular cutout using FEM. *Advances in Engineering Software* 2010; 41:161-164.
- [4] Hamani N, Ounias D, Taghezout N, Sahnoun M, Vina J. Effect of fiber orientation on the critical buckling load of symmetric composite laminated plates. *Advanced Materials Research Composite Structures*,2013; 629: 95-99.
- [5] Turan K. Buckling behavior of adhesively patch-repaired composite plates *Journal of Composite Materials* 2013; 48: 3253-3261.
- [6] Kumar MM, Jacop CV, Lakshminarayana N, Puneeth BM, Nagabhushana M. Buckling analysis of woven glass epoxy laminated composite plate. *American Journal of Engineering Research (AJER)* 2013; 02:33-40.
- [7] Deng J, Zhou G, Bordas SPA, Xiang C, Cai D. Numerical evaluation of buckling behavior induced by compression on patch-repaired composites. *Composite Structures* 2017; 168:582-596.
- [8] Seif AE, Kabir MZ. Experimental study on the fracture capacity and fatigue life reduction of the tensioned cracked plate due to the local buckling. *Engineering Fracture Mechanics* 2017; 175:168-183.
- [9] Solmaz Y, Kaman MO, Turan K, Turgut A. Fiber takviye açısının tabakalı kompozit levhaların kritik burkulma yüküne etkisi. XVI. Ulusal Mekanik Kongresi; 22-26 Haziran 2009, Kayseri, 1001-1010.
- [10] Chattopadhyay L. Analytical determination of buckling load in a laminated composite plate with embedded delamination. *International Journal of Engineering & Applied Sciences (IJEAS)* 2015; 7: 45-55.
- [11] Rezaeepazhand J, Sabori H. Buckling of perforated repaired with composite patches. *Key Engineering Materials* 2008; 385-387: 337-380.
- [12] Ipek G, Arman Y, Celik A. The effect of delamination size and location to buckling behavior of composite materials. *Composites Part B* 2018; 155: 69-76.
- [13] Hwang S.F Lui G. Buckling behavior of composite laminates with multiple delaminations uniaxial compression. *Composites Structures* 2001; 53: 235-243.
- [14] Kutlu Z. Chang FK. Modeling compression failure of laminated composites containing multiple through-width delaminations. *Journal of Composites Materials* 1992; 26: 350-387.
- [15] Wu Z, Raju G, Weaver PM. Optimization of post buckling behavior of variable thickness composite panels with variable angle tows: towards “buckle-free” design concept. *International Journal of Solids and Structures* 2018; 132-133: 66-79.
- [16] Chen X, Wu Z, Nie G, Weaver P. Buckling analysis of variable angle tow composite plates with a through-the-width or an embedded rectangular delamination. *International Journal of Solids and Structures* 2018; 138: 166-180.
- [17] Jeyaprakash P, Prabhakaran V, Devaraju A. Experimental and numerical analysis of carbon epoxy fiber composite under buckling load. *Materials Today: Proceedings* 2018; 5: 14526-14530.
- [18] Katafiasz TJ, Iannucci L, Greenhalgh ES. Development of a novel compact tension specimen to mitigate premature compression and buckling failure modes within fiber hybrid epoxy composites. *Composite Structures* 2019; 207 93-107.
- [19] Manickam G, Bharath A, Das AN, Chandra A. Thermal buckling behavior of variable stiffness laminated composite plates. *Materials Today Communications* 2018; 16:142-151.
- [20] Tran LV, Thai CH, Xuan HN. An isogeometric finite element formulation for thermal buckling analysis of functionally graded plates. *Finite Elements in Analysis and Design* 2013; 73:65-76.
- [21] Moita JS, Araujo AL, Correia VF, Soares CMM, Herskovits J. Buckling and nonlinear response of functionally graded plates under thermo-mechanical loading. *Composites Structures* 2018; 202: 719-730.
- [22] Shiau LC, Kuo SY, Chen CY. Thermal buckling behavior of composite laminated plates. *Composite Structures* 2010; 92: 508-514.
- [23] Cetkovic M. Thermal buckling of laminated composite plates using layer wise displacement model. *Composite Structures* 2016; 142, 238-253.
- [24] Saylık A, Kompozit yama ile tamir edilmiş çentikli alüminyum levhalarda gerilme analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2016.
- [25] ANSYS 13.0, Introduction Help Menu, 2010.
- [26] Guo S, Morishima R. Numerical analysis and experiment of composite sandwich T-joints subjected to pulling load. *Composite Structures* 2011; 94: 229-238.

Derin Öğrenme ile Resim ve Videolarda Nesnelerin Tanınması ve Takibi

Resul DAŞ¹, Berna POLAT², Gürkan TUNA³

^{1,2}Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ.

³Trakya Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, 22020, Edirne.

^{1*} rdas@firat.edu.tr, ² brnpolatt@gmail.com, ³ gurkan@trakya.edu.tr

(Geliş/Received: 21/07/2019;

Kabul/Accepted: 29/08/2019)

Öz: Görüntü işleme yöntemleri kullanılarak durağan görüntülerin analizleri gerçekleştirilebilir ve söz konusu görüntülerden anlamlı bilgiler çıkarılabilir. Tespit ve tanıma sonrasında takip edilecek olan nesnenin değişken bir ortam içinde bulunması zorlaştırıcı unsurlardan birisidir. Bunun gibi zorlaştırıcı unsurlarla başa çıkabilmek ve nesne takibini başarıyla gerçekleştirebilmek için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Askeri uygulamalarda yaygın olarak kullanılan elektro-optik algılayıcı sistemleri hareketli ve sabit hedeflerin belirlenmesini sağlamaktadır. Son yıllarda yapay zekâ tabanlı bileşenlerle güçlendirilen bu sistemler hem daha hızlı hem de daha kesin hedef tespiti yapmayı sağlamaktadır. Öte yandan, derin öğrenme algoritmaları yapay zekâ alanında bir devrim yaratmıştır. Derin öğrenme algoritmalarının görüntü işlemede kullanılması oldukça başarılı sonuçlar alınmasını ve karmaşık görüntü işleme problemlerinin kolaylıkla çözüme kavuşturulabilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada derin öğrenme ile hareketli nesne tanıma ve takibi için Google'ın açık kaynak kodlu makine öğrenmesi kütüphanesi olan TensorFlow kullanılmıştır. Nesne takibi için Region Based Convolutional Networks kütüphanesinden Faster R-CNN modeli ele alınmıştır. Bu kütüphaneler ile durağan görüntüler, video görüntüleri ve webcam görüntüleri üzerinde nesne tanıma işlemi gerçekleştirilmiş ve incelenen kütüphanelerin güçlü ve zayıf yönleri ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Nesne tanıma, nesne takibi, Faster R-CNN, görüntü işleme, derin öğrenme.

Recognition and Tracking of Objects in Pictures and Videos Using Deep Learning

Abstract: Analysis of still images using image processing methods can be performed and meaningful information can be extracted from the images. The presence of the object to be followed in a dynamic environment after detection and recognition is one of the factors that make it difficult. Different methods have been developed in order to cope with such challenging factors and to carry out object tracking successfully. Electro-optical sensor systems, which are commonly used in military applications, enable the determination of moving and fixed targets. In recent years, these systems, which are reinforced by artificial intelligence-based components, provide both faster and more precise target detection. On the other hand, deep learning algorithms have revolutionized the field of artificial intelligence. The use of deep learning algorithms in image processing provides very successful results and easy to solve complex image processing problems. In this study, TensorFlow, Google's open source machine learning library, is used for deep learning and moving object recognition and tracking. Faster R-CNN model from the Region Based Convolutional Networks libraries was used for object tracking. With these libraries, object recognition was performed on still images, video images and webcam images, and the strengths and weaknesses of the libraries examined were revealed.

Key words: Object recognition, object tracking, Faster R-CNN, image processing, deep learning, open source library.

1. Giriş

Dijital görüntü işleme uygulamalarının vazgeçilmez unsurlarından olan nesne tespiti ve nesne tanıma uzun yıllardır üzerinde çalışılan konulardır. Nesne tespiti ve nesne tanıma için farklı algoritmalar ve yöntemler geliştirilmiştir. Dijital görüntülerdeki nesnelerin hızlı tespitini etkin biçimde gerçekleştiren ilk algoritma Viola Jones [1] olmuştur. Son yıllarda grafik işleme birimlerindeki gelişmeler ve derin öğrenme sayesinde daha fazla doğruluk oranı ile nesne tespiti ve tanımlama yapabilen yöntemler geliştirildi. Literatürde nesne takibinin genel olarak dört farklı aşamada ele alınmaktadır. Bu aşamalar ön işlemler, nesne tespiti, nesne sınıflandırma ve nesne takibidir [2]. Bu aşamalardan özellikle nesne tespiti daha fazla önem taşımaktadır ve bu aşamanın başarısı sonraki aşamalarının başarısını da etkilemektedir. Nesne tespiti genel olarak video imgelerinde nesnenin belirginleşmesi ve işlenecek olan nesnenin arka plandan ayrılması olarak tanımlanabilir. Nesne tespiti ve tanımda kullanılan popüler kütüphaneler arasında Single Shot Multibox Detector (SSD), Region Based Convolutional Networks (R-CNN), Fast R-CNN, Faster R-CNN ve Mask R-CNN bulunmaktadır [2].

¹ Sorumlu yazar: Resul Daş, Yazarların ORCID numaraları: ¹0000-0002-6113-4649, ²0000-0002-1564-0604, ³ 0000-0002-6466-4696

Derin öğrenme insan beyninin işlevlerini taklit eden hesaplama sistemlerine dayanır. Derin öğrenmenin tarihi, 1943 yılında McCulloch ve Pitts tarafından düşünce sürecini taklit etmek için matematiğe ve sinir mantığı olarak adlandırılan algoritmalara dayalı bir hesaplama modeli geliştirmelerine dayanmaktadır [3]. 1958 yılında Rosenblatt iki katmanlı bir bilgisayar yapay sinir ağına dayalı, denetimli öğretimli bir desen tanıma algoritması geliştirmiştir [4]. 1965 yılında Ivakhnenko ve Lapa derin öğrenme algoritmalarını geliştirmeye yönelik olarak karmaşık denklemlerin aktivasyon fonksiyonlarına sahip modelleri kullanmışlardır [5]. 1988 yılında Fukushima el yazısı tanıma ve diğer desen tanıma sorunları için kullanılan hiyerarşik ve çok katmanlı yapay sinir ağı olan Neocognitron'ı önermiştir [6]. 1992 yılında Weng, Cohen ve Herniou karma sahnelerden otomatik olarak üç boyutlu nesne tanıma işlemini gerçekleştiren Cresceptron yöntemini yayımlamıştır [7]. 1995 yılında Cortes ve Vapnik tarafından benzer verilere sahip iki grubun sınıflandırılması için destek vektör ağları kullanılmıştır [8]. 1997 yılında Hochreiter ve Schmidhuber tarafından bilgiyi tekrarlayan geri yayılımla uzun süre boyunca saklamayı öğrenme için Uzun Kısa-Sürelili Bellek (LSTM) adlı bir model önerilmiştir [9]. [10] "Derin Öğrenme" alanının popülerlik kazanmasını sağlayan en önemli çalışmalardan birisidir. 2012 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada Google'ın araştırma ekibi tarafından tasarlanan ve 16000 işlemciden ve bir milyardan fazla bağlantıdan oluşan yapay desen tanıma algoritmalarının performansı insan düzeyine ulaşmıştır [11]. Facebook 2014 yılında fotoğraflarda kullanıcılarını otomatik olarak etiketlemek için 120 milyon parametreyi R-CNN katarak yüz tanıma görevlerini gerçekleştiren DeepFace adlı derin öğrenme teknolojisini kullanmıştır [12].

Derin öğrenme biyolojik sinir sistemlerinin bilgi işleme yöntemlerinden esinlenen yapay sinir ağları olarak bilinen algoritmaları kullanır. Böylece, bilgisayarların her bir verinin temsil ettiği şeyi tanımlamasına ve modelleri öğrenmesine olanak tanır [13]. Derin öğrenmede en popüler araçlardan birisi olan TensorFlow, makine öğrenimi ve derin sinir ağları araştırmalarını yürütmek amacıyla Google Beyin Ekibi'nde çalışan araştırmacılar ve mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Açık kaynak kodlu yapay zekâ ve makine öğrenmesi kütüphanesi olan ve algılama, keşfetme, sınıflama, anlama ve öngörü uygulamalarında kullanılan TensorFlow, modeller oluşturmak için veri akış grafikleri kullanır ve yazılımcıların çok katmanlı ve geniş ölçekli yapay sinir ağları oluşturmalarına olanak tanır [14].

TensorFlow özellikle derin öğrenme için kullanılmakta olup [13] bu çalışmada da uygulanmaktadır. Ancak, literatürde bulunan ve derin öğrenme süreçleri için TensorFlow kullanan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada nesne tanıma ve takibi R-CNN kütüphanesinin kullanımı ele alınmıştır. Bu kütüphane ve TensorFlow kullanılarak durağan görüntüler, video görüntüleri ve webcam görüntüleri üzerinde nesne tanıma ve takibi işlemi gerçekleştirilebilecek bir uygulama geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen uygulama aracılığıyla farklı görüntüler üzerinde testler gerçekleştirilmiş ve güçlü ve zayıf yönleri ortaya konmuştur.

2. Kullanılan Yöntemler

Nesne tespit ve tanıma süreçleri veri girişi, veri ön işleme ve aşamaları, öznelik çıkarımı ve öz nitelik seçimi, tanımlama aşamaları altında farklı algoritmalar yardımıyla çözüm bulmaktadır. Veri girişi aşamasında hazırlanan veri gürültülerinden ayrıştırılmak, istenilen formata getirilmek gibi amaçlar sisteme girdi olarak verilir. Bir insan, otomobil veya ev istediğimiz veriye örnek iken, üzerinde insan bulunan bir orman fotoğrafı girdi olarak tanımlanabilir. Dijital fotoğraf makineleri ile çekilmiş fotoğraflar, dijital olarak oluşturulmuş resimler, videolar ve taranmış metinler veri türlerine örnektir. Veri formatı birçok etmene bağlı olmakla birlikte kullanacağımız algoritmalar için geçerli format matris haline getirilmiş görüntü pikselleridir [2]. Ön işleme verilerin yapılacak olan işlemin amacına uygun hale gelmesi için hazırlamak veya engel teşkil etmesinin önüne geçmek için uygulanan yöntemlerdir. Ön işlem süreçleri veri, isterler, durum, ortam gibi birçok farklı etmene göre değişebilen genellikle önceden bilinmeyen ve deneme yanılma ile karar verilen yöntemlerdir. Gürültülü veriler ile eksik veya tutarsız veriler bulunması veri ön işleminin nedenleri arasındadır. Veri ön işleme için birçok algoritma ve yöntem mevcuttur. Regresyon, eşikleme, kümeleme, filtreleme ve karar ağaçları veri ön işlemede kullanılan yöntemlerden bazılarıdır. Bazen tek başına bir yöntemi uygulamak yeterli olmayabilir, bu durumlarda birkaç farklı yöntem peş peşe kullanılmalıdır. Öznelik, ön işleme tabi tutulmuş veri üzerinde daha önceden belirlenen nesnenin ve isterin elde edilmesidir. Bir cismin önceden tanımlanmış ölçütleri ve özellikleri sayesinde görüntüler üzerinden otomatik olarak tespit edilmesi ve detaylarının elde edilmesi işlemi öznelik çıkarma olarak tanımlanabilir [15]. Tanımlanması gereken çok fazla unsur olmakla birlikte, bu unsurlar tek tek matematiksel olarak tanımlanabileceği gibi bir algoritmada yardımıyla da elde edilebilir [2]. Tanımlama, tespit edilen görüntüden çıkarım yapabilmek ve bu görüntünün ne olduğunu anlamak olarak tanımlanabilir. Bu noktada sınıflandırma ve kümeleme önem kazanmaktadır. Sınıflandırma, veriyi önceden belirlenmiş sınıflardan birine dâhil etmektir. Kümeleme ise benzer verileri, benzer özellik gösterenleri aynı grupta toplamadır [2]. Belirli

kategorileri temel olarak dijital görüntü veya video üzerinde nesne tanıma yapılırken, belirli bir nesnenin yan yana veya birden çok olsa bile nesnenin tanıma işlemi gerçekleştirilebilmelidir. Nesne tanımayı normal sınıflandırma problemlerinden ayıran budur.

Nesne tespiti ile ilgili olarak literatürde farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler çerçeveler arasındaki fark, optik akış, arka plan modeli çıkartma olarak gruplanabilir. Bir görüntü veya videodaki nesnenin tespiti için iki temel bilgi kullanılır. Bunlar görsel öznitelik (renk, doku, şekil gibi) ve hareket bilgileridir. Bu bilgileri tek başına kullanan yöntemler olduğu gibi özellikle nesne takibi ve tespitinin zor olduğu durumlarda farklı öznitelikleri ve hareket bilgilerini birlikte kullanan yöntemler de bulunmaktadır [16]. Nesne tespiti için kullanılan bilgilerin çeşitliliği başarıyı arttırmakla beraber işlem zamanında bir artışa sebep olmaktadır. Bu durum gerçek zamanlı uygulamalarda nesne takibi için oldukça önemli bir problem oluşturmaktadır [17, 18]. Yaygın kullanılan yöntemlerden birisi videolarda arka arkaya gelen iki görüntünün arasındaki geçici değişiklikleri bulmayı hedefler. Bir video içerisindeki arka arkaya gelen iki video çerçevesinin birbirinden çıkartılması ile bilgi elde etmeye dayanır [19]. Bu yöntem oldukça basit ve hızlı olmakla beraber ışık değişimi ve gürültüye karşı oldukça hassastır. Bir görüntüde nesne tespit işlemi için kullanılan geçici değişiklikler yönteminin hata oranı yüksek çıkabilmektedir. Bundan dolayı daha kullanışlı ve başarılı olan diğer yöntemlerden birisi ise belirlenmiş nesnenin olduğu görüntüden sadece arka plan görüntüsünün bulunduğu çerçevenin çıkarılmasıdır. Sonraki adımda ise elde edilen fark görüntüsü belli bir eşik değerden geçilir ve istenmeyen nesnelere elenir [18, 20]. Bu yöntemle elde edilen yeni görüntüden gürültüleri temizlemek için morfolojik işlemler yapılır ve belirli oranlarda istenen nesne ortaya çıkarılmış olur [2].

Nesne takibi genel olarak bir video veya sıralı gelen görüntü dizisinde bulunan nesnenin takip edilmesidir. Nesne takibi yöntemleri temel olarak üç kategoriye ayrılır. Bunlar sırasıyla nokta tabanlı, çekirdek tabanlı ve silüet tabanlı yöntemlerdir. Nokta takip yönteminde takip edilecek nesne noktalar ile ifade edilir. Bu noktaların bir sonraki imgedeki konumları ve birbirlerine olan uzaklıkları gibi verilerin sonraki gelen video çerçevesinde de birbirine paralel olması beklenir. Bu bilgilerden yola çıkılarak nesne takibi sağlanır. Bu yöntemde temel amaç nesnenin video çerçevesi içinde tespit edilmesi ve bir önceki çerçevede kullanılan nokta benzerliklerinin hesaplanmasıdır. Bu yöntem deterministik ve istatistiksel yöntemler olarak kendi içinde alt sınıflandırmalar içermektedir [21]. Nokta takibi yöntemlerinde en yaygın kullanılan yöntemlerden birisi Kalman filtresidir. Bu yöntem nesnenin Gaussian dağılıma sahip durum değişkenleri yardımıyla videodaki bir sonraki gelen çerçevede nesne konumunu tahmin etmektedir. Kalman filtresi basit ve hızlı olma açısından gerçek zamanlı nesne takip uygulamalarında kullanıma uygundur [9, 10]. Durum değişkenleri Gaussian dağılımına sahip olmayan sistemlerde kalman filtresi başarısız olabilmektedir. Bu tür problemlerin giderilmesi için Parçacık filtresi yöntemi geliştirilmiştir. Parçacık filtresi olasılıksal yöntemlere dayanmaktadır. Bu yöntemin en büyük avantajı doğrusal olmayan ve çoklu dağılıma sahip sistemlerde çalışabilmesidir [22]. Çekirdek tabanlı yöntemlerde bir geometrik şekil yardımıyla takip edilecek nesne çerçevelenir. Bu çerçeve içerisinde bulunan nesne parçasının anlamlı bilgileri hesaplanarak başlangıçtaki şekil yardımıyla nesne takip edilir. Bu yöntemde nesnenin şeklinden ziyade kullanılan geometrik şeklin içerisinde bulunan nesne bilgilerinin çıkarılması yeterli olabilmektedir. Bu şekil içinde bulunan piksellerin hesaplanan olasılık yoğunluk bilgileri veya histogram özellikleri gibi bilgileri sonraki video çerçevelerinde takip edilebilmektedir. Silüet tabanlı yöntemler genellikle takip edilen nesnenin insan ya da hayvan gibi belli bir geometrik şekille ifade edilemediği durumlarda kullanılır. Bu yöntemin temel amacı nesneyi tanımlayacak kenar bilgisi ya da şekil bilgisi çıkartılarak sonraki imgelerde bu bilgiyi aramaktır. Bu yöntem şekil değişikliğine karşı oldukça hassas olmaktadır. Çekirdek ve silüet tabanlı yöntemler kıyaslandığında, çekirdek tabanlı yöntemlerin daha düşük işlem zamanına ve daha yüksek başarı oranlarına sahip oldukları görülmektedir. Bu sebepten dolayı çalışmalarda çekirdek tabanlı yöntemler geniş bir kullanım alanına sahiptir. Nokta tabanlı yöntemler diğer yöntemlere oranla daha düşük işlem zamanına sahip olmakla birlikte daha düşük başarı oranına sahiptirler [2].

Görüntü işlemede sınıflandırma, bir veri kümesindeki belirli nesnelere göre gruplara ayrılması şeklinde açıklanabilmektedir. Bu ayrıştırma yapılırken nesnenin kendine has öznitelikleri kullanılmaktadır. Kullanılan öznitelik nesnenin tanımlanması için kullanılan sayısal değerlerden oluşmaktadır. Bu değerler bir pikselin değeri veya bir görüntüdeki ortalama yoğunluk değeri gibi anlamlı ifadeler olabilmektedir. Nesne takibi veya sınıflandırması yöntemlerinde öznitelik seçimi ve kullanımı performansı doğrudan etkileyen işlemlerdir. Bir sınıflandırma veya takip algoritmasında kullanılan öznitelikler seçilirken başarıyı artırmasının yanı sıra getirdiği işlem yüküne de bakılması gerekmektedir. Gerçek zamanlı uygulamalarda daha basit öznitelikler kullanılırken zaman problemi olmayan uygulamalarda ise çok daha farklı ve zor öznitelikler kullanılmaktadır [22]. Sınıflandırma algoritmaları nesne takip yöntemlerinde önemli bir yere sahiptir. Özellikle çoklu nesne takip yöntemlerinde takip edilen her bir nesnenin diğer nesnelere ile karıştırılmaması için doğru bir şekilde sınıflandırılması oldukça önemli olmaktadır. Ayrıca bazı nesne takip yöntemlerinde sınıflandırma algoritmaları

kullanılarak arka plan ve hedef nesne iki sınıfta tanımlanarak nesne takibi yapılmaktadır [16, 23]. Hareket tabanlı sınıflandırma yönteminde, nesne hareket bilgileri kullanılarak sınıflandırma yapılmaktadır. Nesne takip çalışmalarında hareket öznitelikleri kullanılarak, bir sonraki gelecek video çerçevesinde nesnenin potansiyel olarak varacağı konum tahmin edilmektedir. Bu ön tahmin nesnenin konumunu bulmak için aranacak alanı da azaltmaktadır. Bu yöntemlerde genellikle nesnenin belli bir ortalama hızla hareket edildiği varsayılmaktadır [24]. Belli bir şekli olmayan nesnelerin takibinde kenar, şekil ve renk bilgileri seçici olmadığından, hareket tabanlı sınıflandırıcıların başarı oranları yüksek olabilmektedir. Optik akış özneliği bu başlık altında ayrı bir öneme sahip olmaktadır. Bu yöntem ön eğitim yapılmadan nesne takibi üzerinde yapılan çalışmalarda önemlidir [17]. Optik akış yöntemi hareket tabanlı sınıflandırmada çoklu nesne takibi yapılan çalışmalarda nesne tespitini kolaylaştırmaktadır [24]. Renk ve doku tabanlı sınıflandırmalar çok farklı alanlarda kullanılabilir. Doku tabanlı sınıflandırma yardımıyla nesne sınıflandırma işlemlerinde nesnenin yapısına ait öznitelikler kullanılmaktadır. Özniteliklerin çıkartılması ve kullanılması işlem maliyetini yükseltir. Bununla birlikte yüksek başarılar elde edilmektedir. Renk tabanlı sınıflandırma yöntemleri en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Renk özneliği kullanımı işlem zamanını azaltır. Bununla birlikte gürültü ve ışık değişimi içermeyen videolarda başarı oranını yükseltir [24].

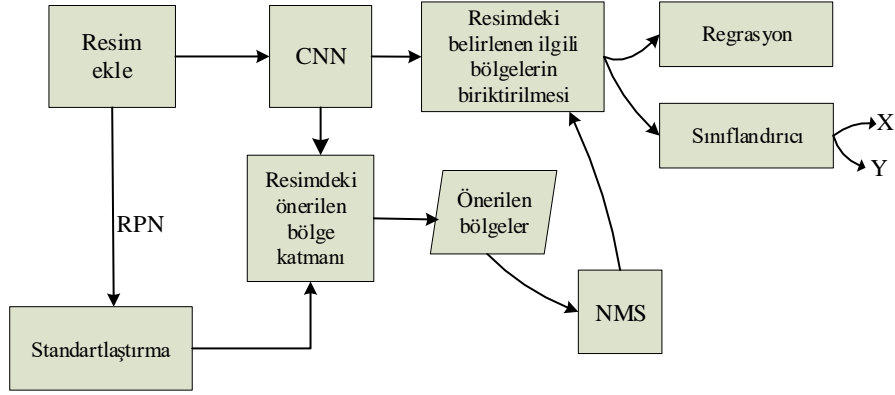
2.1. Nesne bulma ve tanımda kullanılan yaklaşımlar

Son yıllarda nesne tanıma ve tespiti için R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN, Mask R-CNN ve SSD kütüphaneleri yaygın olarak kullanılmaktadır. R-CNN ilgili kütüphanenin bölge önerisi yaklaşımını kullanan en temel modelidir. Öte yandan, R-CNN kütüphanesinin Fast R-CNN, Faster R-CNN ve Mask R-CNN gibi geliştirilmiş modelleri de bulunmaktadır. Bu modeller içerisinde genel başarıyı itibariyle en iyi model Faster R-CNN'dir. Farklı boyutlarda bölge önerisi yapan modelde ilgili pencereler konvansiyonel sinir ağlarından geçirilerek pencerelerin boyutları eşitlenmektedir. Sinir ağının sonucunda o bölgede sınıflandırma yapmak için Destek Vektör Makineleri (SVM) sınıflandırıcısı kullanılmaktadır. Bu gözetimli öğrenmede kullanılan bir makine öğretimi yöntemidir. R-CNN bölgede bir nesne arar ve nesneyi bulduğunda bu nesnenin sınıfını döndürür. Aynı zamanda nesnenin resimdeki yerini gösteren 4 tane değer verir. Bu değerler dikdörtgenin sol üst köşesinin X ve y koordinatları genişlik ve uzunluk değerleridir [25]. Faster R-CNN'de SVM kullanılmamaktadır. Bağımsız değişkenler ile bir bağımlı değişken arasındaki bağlantıyı modellemek için kullanılan doğrusal regresyon ile nesnenin sınırları belirlenmektedir. Bu şekilde etrafına dikdörtgen çizilebilir. Doğrusal regresyon ile nesnenin bulunduğu yeri tam olarak tespit ederek nesnenin etrafında çizilecek olan dikdörtgenin tam oturacak şekilde ayarlanmalıdır. İlgi bölgesi ile belirlenen bölgelerde nesne bulunursa ve bu nesnenin bir parçası alanın dışında ise sonuç olarak çizilen dikdörtgen ilgi bölgesinin dışına çıkabilmektedir.

Fast R-CNN, R-CNN modelinin bir türevi olup R-CNN modelinin yavaşlığının giderilmesi için geliştirilmiştir. R-CNN oldukça yavaş çalışan bir modeldir ve gerçek zamanlı nesne tanıma uygulamalarında kullanılması mümkün değildir. Fast R-CNN, R-CNN'e benzemekle birlikte hızlandırma için farklı teknikler kullanılmaktadır. Resimlere bölge önerisi yapmak yerine görüntüleri doğrudan konvansiyonel sinir ağından geçirir ve daha sonra orijinal resime uyan yüksek çözünürlüklü bir özellik haritası çıkarır. Özellik haritasında seçici arama ile bölge önerisi çıkartılarak, birçok bölge önerisi oluşturmak yerine aynısı özellik haritasında yapılmaktadır. Böylece her bölgeyi ayrı ayrı konvansiyonel sinir ağından geçirmek zorunda kalınmamaktadır ve ilgili görüntü sadece bir defa konvansiyonel sinir ağından geçirilmektedir. Sonra önerilen bölgeler alınıp boyut eşitleme işlemi yapılmaktadır. Fast R-CNN ile sınıflandırma yapmak için softmax layer kullanılmaktadır. Sınıflandırma yapabilmesi için yeni bir model oluşturmak yerine sinir ağını genişletip sinir ağı içerisinde sınıflandırma yapılmaktadır. Fast R-CNN tek bir zayıf yönü vardır. Zamanın çoğunu test aşamasında bölge önerisi yapmak için harcamaktadır. Bölge önerilerinin daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi olasılığının bu modele ciddi kazanç sağlayacağı fikrinden yola çıkılarak Faster R-CNN geliştirilmiştir.

Faster R-CNN RCNN'de görülen yavaşlık problemini tam olarak çözmektedir. Seçici arama ile bölge önerisi almak yerine bu önerileri ağ içerisinde yaparak hız kazanabilmektedir. Faster R-CNN'de giriş görüntüsü konvansiyonel sinir ağlarından geçirip bir özellik haritası çıkartılmaktadır. Daha sonra bölge önerisi ağı oluşturulup ağ bölgeleri belirlendikten sonra Fast R-CNN ile aynı işlemler gerçekleştirilmektedir. Belirlenen bölgeler alınıp yeniden şekillendirdikten sonra sınıflandırma yapılmaktadır. Eğitilmesi gereken 4 farklı parametre vardır. Hem bölge önerisi veren ağ eğitilecek hem de normal konvansiyonel işlemlerin yapıldığı ağ eğitilecektir. Bu eğitimlerin dengesini tutturmak biraz zor olabilmektedir [25]. Bölge önerisi ağının iki tane görevi vardır; her bir öneri için nesne var mı yok mu karar verilmesi ve önerilerin pencere büyüklüğünün belirlenmesi. Daha sonra asıl sinir ağı sınıflandırma işlemi gerçekleştirilerek bakılan bölge içerisinde nesne var mı yok mu tespit edilecektir.

En sonunda bulunan nesnenin sınırları belirlenecektir [25]. Şekil 1’de Faster R-CNN’in akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 1. Faster R-CNN modelinin akış diyagramı.

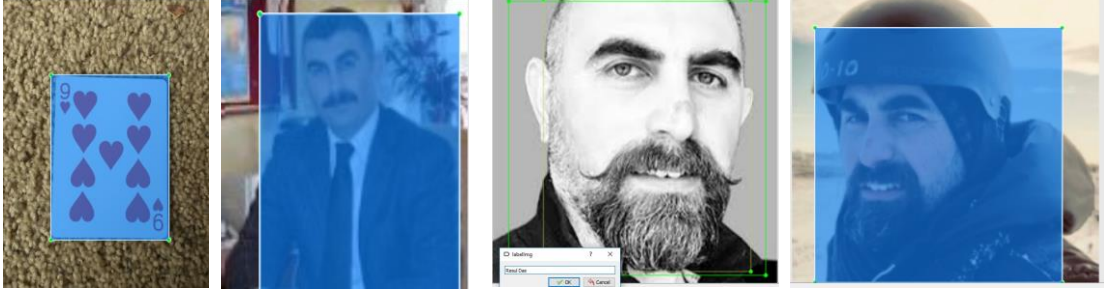
Mask R-CNN modelinde hem nesnenin bulunduğu yere dikkörtgen çizilip hem de bu nesnenin resimde kapladığı tüm pikseller tespit edilmektedir. Resimde nesnenin olduğu tüm pikselleri belirleyerek görselleştirmek için o kısımda maskeleyme işlemi yapılmaktadır. Nesne tanımak için Faster R-CNN kullanılarak bulunan nesnelere maskelenebilmektedir. Mask R-CNN temel olarak Faster R-CNN kullanılmaktadır. Farklı olarak Mask R-CNN’de maskeleyme yapmak için eklenen kısım ikilik sayı sistemindedir. Belirlenen pikselde maske olacak mı olmayacak mı kararını veren bir mekanizma kullanılmaktadır. Maskeleyme yapılacak bu aşamada girdi olarak Faster R-CNN’den gelen özellik haritasını alınmaktadır. Çıktı olarak ise 1’ler ve 0’lardan oluşan bir matris elde edilmektedir. Bu matrisde maskeleyme olması gereken yerlerde 1, maskeleyme olmaması gereken yerlerde 0 vardır.

Faster R-CNN’den daha hızlı çalışan bir model olan SSD tek seferde nesne tanıma işlemi yapmaktadır. R-CNN ile bölge önerisini iki farklı aşamada yapılmakta iken ilk önce resimde nesne olması beklenen bölgeler belirlenmektedir. Daha sonra tam bağlı katman ile sınıflandırma yapılmaktadır. SSD bu ikisini tek seferde gerçekleştirmektedir. Diğer modellerde olduğu gibi her zamanki gibi ilk öncelikle girdi olarak bir resim alınmaktadır. Resim konvansiyonel sinir ağından geçirilmektedir. Böylece farklı boyutlarda özellik haritaları çıkmaktadır. Tüm özellik haritalarında 3x3 konvansiyonel filtre yardımıyla az miktarda sınırlayıcı dikkörtgenler elde edilmektedir. Her dikkörtgen için aynı zamanda hem sınırlar hem sınıflandırmalar belirlenmektedir. Bu dikkörtgenler her aktivasyon haritasında olduğu için hem küçük nesnelere hem büyük nesnelere tanıyabilmektedir.

3. Geliştirilen Nesne Tanıma Uygulaması

Geliştirilen uygulama Python programlama dili platformunda geliştirilmiştir. Bu bölümde geliştirilen uygulamanın ve yapılan testlerin geliştirilme aşamaları adım adım aşağıda verilmektedir.

Adım 1: Resim toplama ve etiketleme: Belirli nesnelere eğitebilmek için öncelikle bir dataset oluşturulmalıdır. Dataset bünyesinde birkaç yüz adet resim bulunması ve bu resimlerin farklı ortamlarda ve farklı açılardan çekilmiş olması modelin daha iyi eğitilmesini sağlayabilecektir. Nesnenin bazı yerleri kapatılmış şekilde ve farklı ışıklandırmalarda fotoğraflar çekilmelidir [14]. Çok büyük resimlerin eğitimi uzun süreceği için resimlerin boyutu küçültülmelidir. Resimler toplandıktan sonra train ve test klasörlerine paylaştırılmalıdır. Resimler uygun klasörlere atıldıktan sonra hepsinin tek tek etiketlenmesi gerekmektedir. LabelImg ile tüm resimlerdeki tanımlanmış nesnelere tek tek seçerek etiketleme işlemi yapılmalıdır [14]. Her etiketlenen resim için .xml dosyası oluşturulacaktır. Bu .xml dosyaları tfrecords’a çevirilerek eğitim yapılacaktır. Test ve train klasörleri içerisindeki her bir resim için bir tane .xml dosyası olması gerekmektedir. Şekil 2’de gösterildiği gibi LabelImg programıyla xml dosyaları çıkarılan resimler tek tek işaretlenip isimleri atanmalıdır.



Şekil 2. Resimlerin LabelImg ile etiketlenmesi.

Adım 2: Eğitim verisi oluşturma: Her resim etiketlendikten sonra TFRecord oluşturmak gerekmektedir. Öncelikle etiket bilgisini barındıran .xml dosyalarını .csv dosyasına çevirilmelidir. .csv dosyaları oluşturulduktan sonra generate tfrecord.py dosyası herhangi bir metin editörü ile açılıp sınıf bilgilerinin girilmesi gerekmektedir. Kaç tane sınıf varsa o kadar id bilgisi girilmelidir [13]. Geliştirilen uygulama için “kedi”, “kopek”, “dokuz”, “on”, “uc”, “as” ve “resuldas” etiketleri oluşturuldu.

Adım 3: Label map oluşturma: Label map modele hangi ID’de hangi sınıf var onu belirtir. Object detection training klasörü içerisinde yeni bir dosya oluşturulmalıdır. Oluşturulan dosyaya "labelmap.pbtxt" ismi verilmeli ve dosya bir metin editörü açılıp içine aşağıdaki şekilde sınıf ve ID bilgileri girilmelidir [13]. Adım 2’de belirlenen her etiket için bir ID numarası verilmiştir.

Adım 3: Eğitim ayarlarının yapılması: Bu aşamada, programlama platformu üzerinde hangi model ve hangi parametrelerin kullanılacağı belirlenmelidir. Önce, çalışmak istenilen modelin yolu verilmelidir. Sonra, oluşturulan record ve labelmap dosyasının yolu verilmelidir. Daha sonra, kaç tane test için resim varsa sayısının yazılması gerekmektedir. Son aşamada ise oluşturulan test record ve label map dosya yollarının belirtilmelidir.

Adım 4: Eğitimin gerçekleştirilmesi: Konsoldan TensorFlow aktif edildikten sonra Phyton path ayarı gerekmektedir. İşlem sonrasında her adımda ekrana loss değeri yazdırılacaktır. Loss değeri tahmin edilen değer gerçek değerden ne kadar uzak olduğunu belirtmektedir. Eğitim esnasında zamanla sıfır yaklaşması beklenir [13].

Adım 5: Nesne tespiti: Bu adımda resim, video ve webcam verileri üzerinde nesne tanıma uygulaması gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada aşağıdaki işlem adımları tek tek uygulanmıştır.

- Resim tanıma işleminde, öncelikle os, cv2, numpy, sys ve tensorflow paketleri program içine aktarılmalıdır.
- Bulunan dizine göre göreceli olarak üstte bulunan dizin için bir yol tanımı (path) oluşturulmalıdır.
- Daha sonra ihtiyaç duyulan yardımcı programlar içe aktarılmalıdır. Kullanılan nesne algılama modülünü içeren dizinin adı girilmelidir.
- Geçerli çalışma dizinine giden yol tutulmalıdır.
- Nesne tespiti için kullanılan modeli içeren donmuş algılama grafiği .pb dosyasının yolu belirtilmelidir.
- Harita dosyasını etiketleme yolu belirtilmelidir.
- Resmin yolu belirtilmelidir.
- Nesne algılayıcısının tanımlayabileceği sınıf sayısı belirtilmelidir. Etiket haritası yüklenmelidir. Label harita indekslerini kategori isimlerine göre eşleştirir.
- TensorFlow modeli belleğe yüklenmelidir.
- Nesne algılama sınıflandırıcısı için giriş ve çıkış tensörleri (veri) tanımlanmalıdır. Giriş tensörü görüntüdür. Çıktı tensörleri tespit kutuları, skorlar ve sınıflardır. Her kutu, görüntünün belirli bir nesnenin algılandığı bölümünü gösterir.
- Skor, nesnelerin her biri için güven düzeyini temsil eder. Skor, sonuç etiketinde, sınıf etiketiyle birlikte gösterilir.
- Algılanan nesne sayısı tespit edilmelidir. OpenCV kullanılarak görüntüyü yüklenir ve şekli olacak şekilde resim boyutlarını genişletilir. Sütundaki her bir öğenin piksel RGB değerine sahip olduğu tek bir sütun dizisi ifade edilmektedir.

- Giriş olarak model görüntüyle çalıştırılarak gerçek algılama işlemini gerçekleştirilir.
- Tüm sonuçlar görsel olarak elde edilir ve görüntüyü göster komutu girilir. Resmi kapatmak için herhangi bir tuşa basılır.

Resim tanıma işleminde olduğu gibi video verisinde nesne tanıma işleminde de öncelikle paketler içe aktarılmalıdır. Video verisinde nesne algılaması gerçekleştirmek için bir TensorFlow tarafından eğitilmiş sınıflandırıcı kullanır. Sınıflandırıcı videoda nesne algılamak için kullanır ve her karedeki ilgi nesnelerinin çevresine kutular çizer ve skorları belirtir.

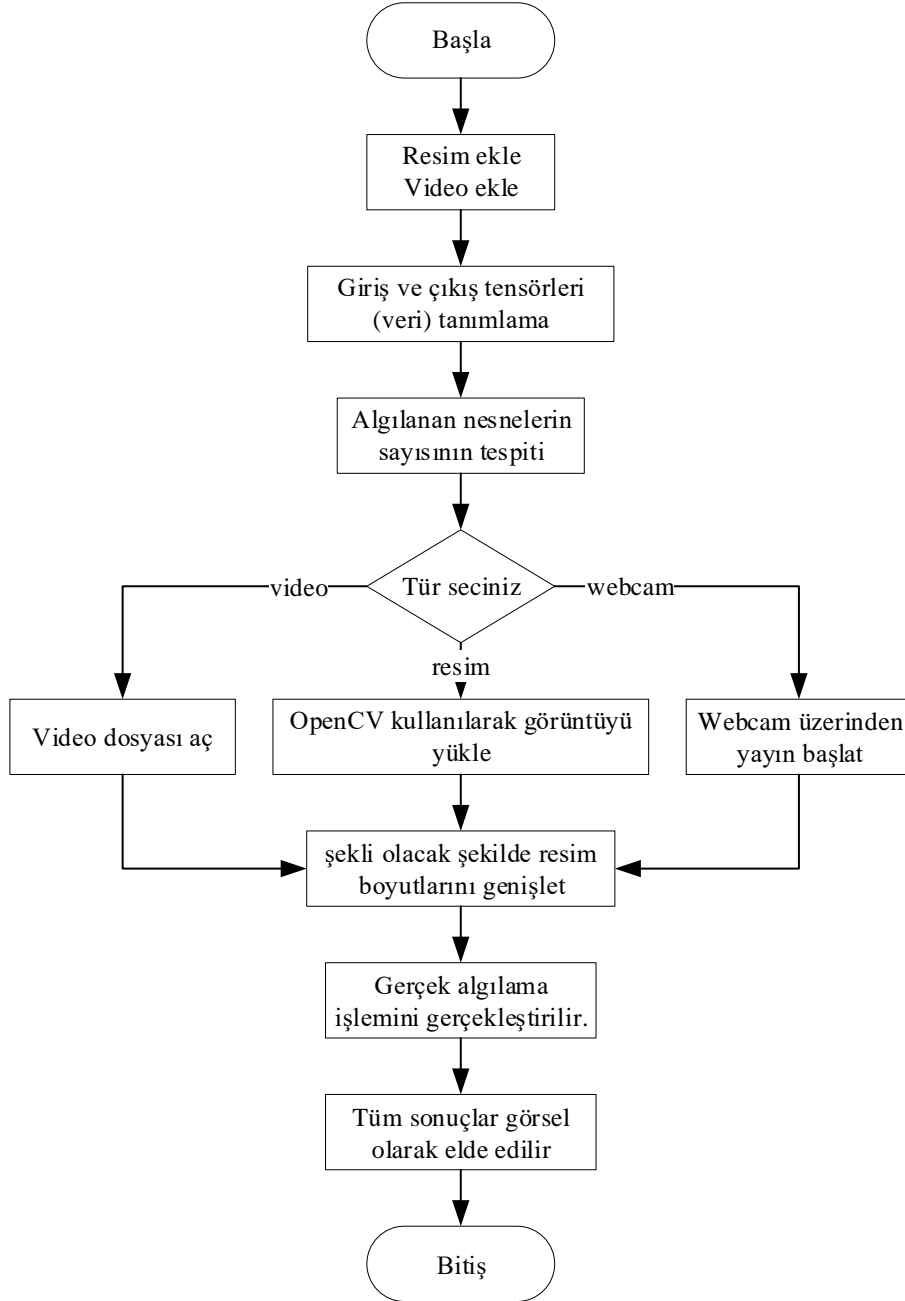
Video verisinden nesne tanıma işlemi için aşağıdaki işlem adımları izlenmiştir.

- Bulunan dizine göre göreceli olarak üstte bulunan dizin için bir path oluşturulmalıdır.
- Yardımcı programlar içe aktarılmalıdır.
- Kullanılan nesne algılama modülünü içeren dizinin adı girilmelidir.
- Geçerli çalışma dizinine giden yol tutulmalıdır.
- Nesne tespiti için kullanılan modeli içeren donmuş algılama grafiği .pb dosyasının yolu belirtilmelidir.
- Harita dosyasını etiketleme yolu belirtilmelidir.
- Videonun yolu belirtilmelidir.
- Nesne algılayıcısının tanımlayabileceği sınıf sayısı belirtilmelidir.
- Etiket haritası yüklenmelidir. Label harita indekslerini kategori isimlerine göre eşleştirir.
- TensorFlow modeli belleğe yüklenmelidir.
- Nesne algılama sınıflandırıcısı için giriş ve çıkış tensörleri (veri) tanımlanmalıdır. Giriş tensörü görüntüdür.
- Çıktı tensörleri tespit kutuları, skorlar ve sınıflardır. Her kutu, görüntünün belirli bir nesnenin algılandığı bölümünü gösterir.
- Skor, nesnelerin her biri için güven düzeyini temsil eder. Skor, sonuç etiketinde, sınıf etiketiyle birlikte gösterilir.
- Algılanan nesne sayısı tespit edilmelidir.
- Video dosyası açılmalıdır.
- Çerçeve alınır ve şekillendirilmek için boyutları genişletilir. Sütundaki her bir ögenin piksel RGB değerine sahip olduğu tek bir sütun dizisidir.
- Giriş olarak model görüntüyle çalıştırılarak gerçek algılama işlemini gerçekleştirilir.
- Tüm sonuçlar görsel olarak elde edilir ve görüntüyü göster komutu girilir.

Video tanıma işleminde olduğu gibi webcam verisinde nesne tanıma işleminde de öncelikle paketler içe aktarılmalıdır. Webcam verisinde nesne algılaması gerçekleştirmek için bir TensorFlow tarafından eğitilmiş sınıflandırıcı kullanır. Sınıflandırıcı webcam verisinde nesne algılamak için kullanır ve her karedeki ilgi nesnelerinin çevresine kutular çizer ve skorları belirtir.

- Bulunan dizine göre göreceli olarak üstte bulunan dizin için bir path oluşturulmalıdır.
- Yardımcı programlar içe aktarılmalıdır.
- Kullanılan nesne algılama modülünü içeren dizinin adı girilmelidir. Geçerli çalışma dizinine giden yol tutulmalıdır.
- Nesne tespiti için kullanılan modeli içeren donmuş algılama grafiği .pb dosyasının yolu belirtilmelidir.
- Harita dosyasını etiketleme yolu belirtilmelidir.
- Videonun yolu belirtilmelidir.
- Nesne algılayıcısının tanımlayabileceği sınıf sayısı belirtilmelidir.
- Etiket haritası yüklenmelidir. Label harita indekslerini kategori isimlerine göre eşleştirir.
- TensorFlow modeli belleğe yüklenmelidir.
- Nesne algılama sınıflandırıcısı için giriş ve çıkış tensörleri (veri) tanımlanmalıdır. Giriş tensörü görüntüdür.
- Çıktı tensörleri tespit kutuları, skorlar ve sınıflardır. Her kutu, görüntünün belirli bir nesnenin algılandığı bölümünü gösterir.
- Skor, nesnelerin her biri için güven düzeyini temsil eder. Skor, sonuç etiketinde, sınıf etiketiyle birlikte gösterilir.
- Algılanan nesne sayısı tespit edilmelidir.
- Webcam üzerinden yayın başlatılır. Çerçeve alınır ve şekillendirilmek için boyutları genişletilir. Sütundaki her bir ögenin piksel RGB değerine sahip olduğu tek bir sütun dizisidir.

- Giriş olarak model görüntüyle çalıştırılarak gerçek algılama işlemini gerçekleştirilir.
 - Tüm sonuçlar görsel olarak elde edilir ve görüntüyü göster komutu girilir.
- Şekil 3'de resim ya da video içerisinde nesne tanıma işlemlerinin akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3. Nesne tanıma işlemlerinin akış diyagramı.

4. Uygulama Sonuçları ve Değerlendirilmesi

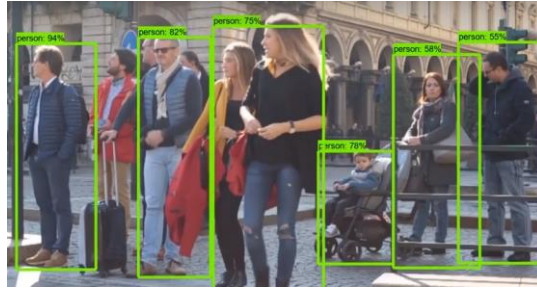
Resim veya görüntü üzerinden nesne tanıma veya yüz tanıma üzerine birçok farklı yaklaşımlar ve uygulamalar mevcuttur. Geliştirilen bu yaklaşımlarda izlenen metotlar farklı olduğu gibi, literatürdeki son yaklaşımlara göre

başarım oranları düşüktür [26]. Ancak derin öğrenme ile geliştirmiş olduğumuz bu yaklaşımın başarım oranı çok daha yüksek olmuştur.

3. bölümde detayları açıklanan uygulama Faster R-CNN modeliyle resim, video, webcam verileri üzerinde kullanılarak nesne tanıma işlemi yapılmıştır. Öncelikle object detection hazır eğitilmiş kütüphanesi kullanılarak video, resim ve webcam verileri için nesne algılama yapılmıştır. Şekil 5’de video görüntüsü üzerinden ve Şekil 6’da ise webcam video verileri üzerinde nesne tespiti ve tanıma işlemi gösterilmektedir. Şekil 7’de iskambil kartları üzerinde gerçekleştirilen nesne tanıma işlemi gösterilmektedir. Kartların her yönden birçok fotoğrafı çekilmiş olup test ve train adında ik farklı dosyada kaydedilmiştir. Bu resimlerin test kısmında olanları eğitim için kullanılmıştır. Resimler tek tek LabelImg ile etiketlenip xml dosyaları oluşturulmuştur. Oluşturulan sınıf kadar her resime id atanmıştır. Bu id lere sınıf isimleri atanmıştır. Yeterli düzeyde eğitim gerçekleştikten sonra geliştirilen model iskambil kartlarını tanımayı öğrenmiştir. Şekil 8’de insan için nesne tanıma işlemi yapılmıştır. Bunun için her ortamda çekilen farklı ışık tonlarında fotoğrafları toplanıp test ve train klasörü içinde toplanmıştır. Bunların xml ve csv dosyaları oluşturulmuştur. Eğitim gerçekleştikten sonra Faster R-CNN modelinde %98 başarı oranı yakalanmıştır.



Şekil 5. Video verileri üzerinde nesne tespiti.



Şekil 6. Webcam video verileri üzerinde nesne tespiti.



Şekil 7. Kartlarla geliştirilen nesne modeli.



Şekil 8. Resim üzerinden kişi tanıma.

Geliştirilen uygulamada yapılan testlerde görüldüğü üzere, nesne tespiti ve tanıma işleminde başarı oranının daha yüksek olması için Faster R-CNN kullanılmalıdır. Ancak, Faster R-CNN benzerlerine kıyasla daha güçlü bir donanıma ihtiyaç duymaktadır ve Single Shot Multibox Detector (SSD)'ye göre daha yavaştır. Ayrıca, SSD sadece tek ileri gidiş yaptığı için düşük donanımlı cihazlarda bile hızlı bir şekilde nesne tanıma yapabilmektedir. Ancak SSD ile çok isabetli modeller oluşturulamamaktadır. Bu nedenle, sadece hız önemli ise ve gerçek zamanlı nesne tespiti ve tanıma işlemi gerçekleştirilecekse SSD tercih edilmelidir.

5. Sonuç

Derin öğrenme, makine öğreniminin birçok pratik uygulamasını ve yapay zekâ alanının genişletilmesini sağlamıştır. Görevlere özgü algoritmaların aksine, öğrenme verilerini temsil etmeye dayanan derin öğrenme, görüntü işleme alanında oldukça başarılı sonuçlar alınmasını ve karmaşık görüntü işleme problemlerinin kolaylıkla çözüme kavuşturulabilmesini sağlamaktadır. Derin öğrenme yöntemlerinin eğitim süreleri uzun olmasına rağmen test aşamasında elde edilen başarı oranları derin öğrenme yöntemlerine olan güveni arttırmıştır.

Bu çalışmada derin öğrenme ile hareketli nesne tanıma ve takibi için Google'ın açık kaynak kodlu kütüphanesi olan TensorFlow kullanılmıştır. Nesne takibi için Region Based Convolutional Networks kütüphanelerinden Faster R-CNN modeli ele alınmıştır. Bu kütüphaneler ile durağan görüntüler, video görüntüleri ve webcam görüntüleri üzerinde nesne tanıma işlemi gerçekleştirilmiş ve incelenen kütüphanelerin güçlü ve zayıf yönleri ortaya konmuştur. Çalışmada elde edilen sonuçlar, basit görüntü işleme problemlerinde işlem zamanı ve hesaplama karmaşıklığı az olan algoritmaların kullanılmasının daha uygun olabileceğini göstermiştir. Ayrıca, literatür taraması sonuçları Kalman Filtresi ve Parçacık Filtresi gibi yöntemlerinin nesne takibinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmesini sağladığını göstermiştir.

Kaynaklar

- [1] Viola P. and Jones M., Rapid object detection using a boosted cascade of simple features, in Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on, vol. 1. IEEE, 2001.
- [2] Özbaysar E. And Borandağ E., Vehicle plate tracking system, in 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). IEEE, 2018, pp. 1–4.
- [3] McCulloch WS. And Pitts W., A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, The bulletin of mathematical biophysics, 1943, 5(4): 115–133.
- [4] Haykin SS., Neural networks and learning machines. 3, Pearson Upper Saddle River, 2009.
- [5] Ivakhnenko AG. and Lapa VG., Cybernetic predicting devices. CCM Information Corporation, 1965.
- [6] Fukushima K., Neocognitron: A hierarchical neural network capable of visual pattern recognition. Neural networks, 1988, 1(2): 119–130.
- [7] Weng J., Cohen P., and Herniou M., Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation, IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1992, no. 10, pp. 965–980.
- [8] Cortes C. and Vapnik V., Support-vector networks, Machine learning, 1995, 20(3): 273–297,
- [9] Hochreiter S. and Schmidhuber J., Long short-term memory, Neural computation, 1997, 9(8): 735–1780.
- [10] Hinton GE., Srivastava N., Krizhevsky A., Sutskever I., and Salakhutdinov RR., Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors. July 3, 2012, URL <http://arxiv.org/abs/1207.0580>, 2016.
- [11] Lohr S., The age of big data, New York Times, 2012, 11(2012).

- [12] Taigman Y., Yang M., Ranzato M., and Wolf L., Deepface: Closing the gap to human-level performance in face verification, in Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2014, pp. 1701–1708.
- [13] Lee K. and Son M., Deepspotcloud: leveraging cross-region gpu spot instances for deep learning, in Cloud Computing (CLOUD), 2017 IEEE 10th International Conference on. IEEE, 2017, pp. 98–105.
- [14] Tokui S., Oono K., Hido S., and Clayton J., Chainer: a next-generation open source framework for deep learning, in Proceedings of workshop on machine learning systems (LearningSys) in the twenty-ninth annual conference on neural information processing systems (NIPS), vol. 5, 2015, pp. 1–6.
- [15] Şahin Ö., Kurtoğlu A., and Ercan G., Computer science terminology extraction from parallel corpora, in 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). IEEE, 2018, pp.1–4.
- [16] Luo W., Xing J., Milan A., Zhang X., Liu W., Zhao X., and Kim T.-K., Multiple object tracking: A literature review, arXiv preprint arXiv:1409.7618, 2014.
- [17] Chen Y., Yang X., Zhong B., Pan S., Chen D., and Zhang H., Cntracker: Online discriminative object tracking via deep convolutional neural network, Applied Soft Computing, 2016, 38, pp. 1088–1098.
- [18] Hardas A., Bade D., and Wali V., Moving object detection using background subtraction shadow removal and post processing, in International Journal of Computer Applications (0975–8887) International Conference on Computer Technology (ICCT 2015), 2015.
- [19] Shaikh S.H., Saeed K., and Chaki N., Moving object detection approaches, challenges and object tracking, in Moving Object Detection Using Background Subtraction. Springer, 2014, pp. 5–14.
- [20] Aldhaferi A.R. and Edirisinghe E.A., Detection and classification of a moving object in a video stream, in Proc. of the Intl. Conf. on Advances in Computing and Information Technology-ACIT, 2014.
- [21] Yilmaz A., Javed O., and Shah M., Object tracking: A survey, Acm computing surveys (CSUR), 2006, 38(4): p. 13.
- [22] Trier O.D., Jain A.K., Taxt T. et al., Feature extraction methods for character recognition-a survey, Pattern recognition, 1996, 29(4): pp. 641–662.
- [23] Avidan S., Support vector tracking, IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2004, 26(8): 1064–1072.
- [24] Fan L., Wang Z., Cail B., Tao C., Zhang Z., Wang Y., Li S., Huang F., Fu S., and Zhang F., A survey on multiple object tracking algorithm, in Information and Automation (ICIA), 2016 IEEE International Conference on. IEEE, 2016, pp. 1855–1862.
- [25] Redmon J., Divvala S., Girshick R., and Farhadi A., You only look once: Unified, real-time object detection, in Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2016, pp.779–788.
- [26] Baykara M and Daş R, Real time face recognition and tracking system, 2013 International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO), Ankara, 2013, pp. 159-163. doi: 10.1109/ICECCO.2013.6718253

Alt Uzak k-NN ile Eritmato-Skuamöz Hastalık Türlerinin Sınıflandırılması

Duygu KAYA*

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye
dgur@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 04 /02/2019;

Kabul/Accepted: 10/06/2019)

Öz: Veri analiz ve sınıflandırma tekniklerinin gelişmesinin sonucu olarak biyomedikal çalışmalarda akıllı hesaplama yöntemlerinin kullanımı oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Eritmato-Skuamöz Hastalığı (ESD), altı çeşidi bulunan dermatoloji alanında büyük öneme sahip bir hastalıktır. Parçacık tanıma, veri madenciliği bileşenin özelliklerini tanımlamaya ve hastalığı teşhis etmeye yardımcı olur. Bu çalışmada UCI veri tabanından alınan veri setinden ESD'nin, Topluluk Öğrenim algoritmalarından alt uzak k-NN ile teşhis edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, hem klinik hem de histopatolojik özellikleri bir arada bulunduran ESD verileri ilk önce z normalizasyonu ile normalize edilmiştir. Normalize edilen veriler daha sonra alt uzak k-NN algoritması ile çapraz doğrulama uygulanarak sınıflandırılmıştır. Model başarıml ölçütü için doğruluk, kesinlik, hassasiyet, F ölçütü ve Kappa katsayısı parametreleri kullanılmıştır ve sonuçlar yorumlanmıştır. Önerilen modelin doğruluğu %98.045'tir. Sonuçlar, kullanılan sınıflandırıcının ESD hastalık türlerinin sınıflandırılmasında faydalı olabileceğini göstermiştir. Ayrıca veri sayısının artırılarak derin öğrenme algoritmaları ile daha iyi sonuçlar alınabileceği öngörülmektedir

Anahtar kelimeler: Topluluk öğrenimi, Eritmato-Skuamöz Hastalığı, Alt uzak k-NN.

Classification of Erythmato-Squamous Disease Types with Subspace k-NN

Abstract: As a result of the development of data analysis and classification techniques, the use of intelligent calculation methods in biomedical studies is very important. Erythmato-Squamous Diseases (ESD) is a disease of great importance in the field of dermatology and which has six types. Particle recognition helps identify the properties of the data mining component and diagnose the disease. In this study, it is aimed to identify ESD from the data set obtained from UCI database with subspace k-NN from Ensemble Learning algorithms. For this purpose, ESD data which includes both clinical and histopathological features were first normalized by z normalization. Normalized data were then classified by applying cross validation with the subspace k-NN algorithm. Accuracy, precision, sensitivity, F score and Kappa coefficient parameters were used for the model performance criterion and the results were interpreted. The success of the proposed model is 98.045%. The results showed that the used classifier is useful in the classification of ESD disease types. In addition, it is predicted that by increasing the number of data, better results can be obtained with deep learning algorithms.

Key words: Ensemble learning, Erythmato-Squamous Diseases (ESD), Subspace k-NN.

1. Giriş

Eritmato-Skuamöz Hastalıkları (ESD) dermatoloji alanında büyük öneme sahip olup sedef hastalığı, seboreik dermatit, liken planus, pityriasis rosea, kronik dermatit ve pityriasis rubra pilaris olmak üzere bilinen altı çeşidi vardır [1, 2]. Bu hastalıklar genellikle cilt hücrelerinin kaybıyla ciltte kızarıklığa neden olur. Bu hastalık genetik veya çevresel sebeplerden dolayı ortaya çıksa da, geç çocukluk / erken ergenlik gibi yaşamın belirli dönemlerinde görülür [3]. Bu hastalığın ilerleyen aşamalarda kendine ait spesifik özellikler göstermesine rağmen, ilk aşamalarda başka bir hastalığın belirtileriyle aynı özellikler gösterebileceğinden uygun bir veri analizi yapmak gereklidir. Bu nedenle doğru tanı için bazen biyopsi gerekmektedir [4]. Literatürde, ESD hastalığının teşhisi için veri madenciliği yaygın olarak kullanılmaktadır.

Veri madenciliği alanında kullanılan çok sayıda model ve algoritma bulunmaktadır. Veri madenciliği, önceden bilinmeyen bilgilerin verilerden otomatik çıkarılması algoritmasını ifade eder. Ayrıca veri madenciliği yapay zeka, makine öğrenmesi ve istatistik gibi alanlarla ilişkili olarak değerli özelliklerin keşfedilmesini ve yorumlanmasına imkan sağlar [5].

Veri madenciliği temel olarak denetimli ve denetimsiz olmak üzere iki gruba ayrılırlar ve özelliklerin saptanması, verilerin kategorilere ve alt gruplara ayrılması amacıyla kullanılabilirler [6]. Denetimli veri madenciliğinde özellikler çıkarılır ve verileri önceden belli olan sınıflara yakınlığına göre sınıflandırılır ve

* Sorumlu Yazar: rorhan@firat.edu.tr. Yazarın ORCID Numarası: 0000-0002-6453-631X

sonuçlar yorumlanır. Literatürde sınıflandırma için denetimli algoritmalardan biri olarak düşünülen karar ağaçları, veri sınıflandırması ve tahmini için popüler bir algoritma olarak bilinmektedir [3].

Bu çalışmada hem klinik hem de histopatolojik özellikleri içeren ESD'nin verileri sınıflandırılma işlemi yapılmadan önce z normalizasyon yöntemi ile normalize edilmiştir. Normalize edilen veriler, alt uzay k-NN algoritmasına uygulanıp, elde edilen başarımlar ölçütleri analiz edilmiş ve yorumlanmıştır.

Makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: 2. Bölümde, kullanılan ESD verilerinin klinik ve histopatolojik özellikleri ile verilerin alındığı veri tabanından bahsedilmiştir. 3. Bölümde literatürdeki ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir. 4. bölümde, topluluk öğrenmesi ve özellikleri verilmiştir. 5. bölümde, kullanılan yöntemin etkinliğini göstermek için deneysel sonuçlar ve tartışmalar sunulmuştur. Son olarak, sonuçlar 6. bölümde sunulmuştur.

2. Kullanılan Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan veri seti, Irvine Kaliforniya Üniversitesinde makine öğrenmesi deposundan (UCI) alınmıştır [7,8]. Ayrıca, bu veri seti ilk olarak N. Ilter (Gazi Üniversitesi) ve H.A. Guvenir (Bilkent Üniversitesi) tarafından hazırlanmıştır [1,2]. Veri seti Tablo 1'de gösterildiği gibi 12 klinik ve 22 histopatolojik olmak üzere toplam 34 özelliğden, 366 örnek ve 1 hedef verisinden oluşmaktadır.

Tablo 1. Dermatoloji verisine ait klinik ve histopatolojik özellikler

Sınıflar	Özellikler	
	Klinik	Histopatolojik
sedef hastalığı	kızarıklık	melanin inkontinansı
seboreik dermatit	ölçekleme	sızıntıdaki eozinofiller
liken planus	kesin sınırlar	PNL sızması
pityriasis rosea	kaşıntı	papiller dermisin fibrozu
kronik dermatit	koebner fenomeni	ekzositoz
pityriasis rubra pilaris	poligonal papüller	akantozis
	foliküler papüller	hiperkeratoz
	oral mukozal tutulum	parakeratoz
	diz ve dirsek tutulumu	Rete Sırtı Kulübesi
	kafa derisi tutulumu	Rete sırtlarının uzaması
	aile öyküsü, (0 veya 1)	suprapapiller epidermisin incilmesi
	yaş	spongiform püstül
		munro microabcess
		fokal hipergranüloz
		granül tabakanın kaybolması
		Vacuolisation ve bazal tabaka hasarı
		spongiyoz
		retelerin testere dişi görünümü
		foliküler korna tapası
		perifoliküler parakeratoz
		inflamatuvar mononükleer infiltrat
		bant benzeri sızma

Kullanılan verideki 8 örnek kaybından dolayı veri 358 örneğe düşürülüp sınıflandırma için 358x34 verisi kullanılmıştır. Kullanılan veri ve sayıları Tablo 2'de listelenmiştir

Tablo 2. Veri Dağılımı

Etiket	Sınıflar	Örnek Sayısı
1	sedef hastalığı	111
2	seboreik dermatit	61
3	liken planus	71
4	pityriasis rosea	47
5	kronik dermatit	48
6	pityriasis rubra pilaris	20
	TOPLAM	358

Veri seti özelliklerinde aile üyelerinin birinde herhangi bir hastalığın olması durumunda aile öyküsü özelliği 1, aksi durumda 0 olmaktadır. Yaş özelliği sadece kişinin yaşını ifade etmektedir. Bunların dışındaki diğer tüm klinik ve histopatolojik özellikler 0 ile 3 aralığında derecelendirilmiştir. 0 özelliğin mevcut olmadığını, 3 olası en büyük miktarı, 1 ile 2 ise göreceli ara değerleri göstermektedir [1,2].

3. İlgili Çalışmalar

Veri seti ilk olarak Güvenir ve çalışma arkadaşları tarafından hazırlanmıştır [2]. Son yıllarda veri madenciliği ve topluluk öğrenimi algoritmaları ESD rahatsızlık teşhisinde kullanılmaktadır. Tablo 3'te ESD hastalığının teşhisi için literatürde kullanılan metotlar ve elde edilen doğruluk oranları verilmiştir.

Tablo 3. İlgili Çalışmalar

Çalışma	Metotlar	Doğruluk
Menai and Altayash [9]	Karar ağacı topluluğu	%96.72
Polat ve Güneş [10]	Karar ağacı sınıflandırıcısı	%86.18
K. M., M. L., L. S., M. H., M. J. Ve H. B., [4]	CART	%93.69
Bu çalışmada	Alt uzay k-NN	%98.045

4. Topluluk Öğrenimi

Denetimli sınıflandırma yöntemlerinde amaç, yeni örneklerle bir sınıf etiketi atayan bir tahminleyici oluşturmaktır. Bir gözlemin sınıf etiketi, bir özellik vektörü ile tanımlanmaktadır. Gerçek dünya problemlerinde, algoritmaların sınıflandırma doğruluğunu azaltan, veri içerisinde bulunan önemli sayılamayacak özelliklerin etkisi özellik seçim veya boyut azaltma algoritmaları ile azaltılmaktadır [11]. Böylece sınıflandırma performansı artacak, verinin en ayırt edici özellikleri bulunacaktır. Topluluk öğrenme teknikleri olarak bilinen çoklu sınıflandırıcıların birleştirilmesi, zayıf sınıflandırma performansını iyileştirmek için umut verici yöntemler olarak ortaya çıkmıştır. Bu teknikler birçok gerçek hayattaki uygulamalarda sınıflandırma hatasının önemli ölçüde azalmasına neden olmaktadır.

Bir topluluk modeli, bir dizi temel modeli eğiterek ve tahminlerini belirli bir toplama kuralı kullanarak birleştirir. Baz modellerin doğru ve çeşitli olması toplama sonuçlarının bireysel modellere göre daha doğru sonuçlar vermesini sağlayacaktır [12,13]. Özellikle, topluluk modellerinin başarısı temel olarak çeşitlilik özelliğine bağlıdır. Torbalama, en basit topluluk tekniğinden biri olup ilk önce Breiman tarafından kullanılmıştır [14]. Burada örnek, N boyutlu eğitim setinden muhtemel değişikliklerle B kez elde edilir. B önyükleme alt kümesinin her biri için ayrı bir CHAID modeli eğitilmiştir. Ortaya çıkan modellerin tahminleri, ağırlıklı oy çoğunluğu ile birleştirilmiştir. Tüm eğitim süreçleri paralel olarak çalışmaktadır.

Sınıflandırma için en basit ve en eski yöntemlerden biri, en yakın komşu (k-NN) sınıflandırıcısıdır. k-NN, yeni bireyin önceden k kategorisine ayrılmış bireylere yakınlığını inceler [15]. Yeni bir örnek geldiğinde, en yakın komşusuna bakar ve örneğin sınıfına karar verir. Basitliğine rağmen, kNN rekabetçi sonuçlar verir ve bazı durumlarda diğer karmaşık öğrenme algoritmalarından bile daha iyi performans gösterir. Bu çalışmada da literatürde kullanılan diğer algoritmalara göre alt uzay kNN'nin en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

5. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada 358 örnek ve 34 özelliğe sahip bir veri kullanılmıştır [8]. İstatistiksel normalizasyon, veriler arasında çok fark olduğunda veriyi bir düzende sıralar. Diğer bir deyişle, farklı sistemlerdeki veriler ortak bir sisteme taşınarak kıyaslanabilir hale getirilir. Bu veriler, klinik ve histopatolojik özellikleri birlikte bulundurmaktadır. Bu çalışmada normalizasyon tekniği olarak z normalizasyonu kullanılmıştır. Z normalizasyonu ile öncelikle verilerin Denklem 1'deki gibi standart sapması ve Denklem 2'deki gibi ortalama değeri hesaplanır. Daha sonra ortalama değer ve standart sapması kullanılarak z-normalizasyonu elde edilir Denklem 3 ile elde edilir

$$s = \sqrt{\sum_i (x_i - x_{ort})^2 / n} \quad (1)$$

$$x_{ort} = \frac{\sum_i x_i}{n} \quad (2)$$

$$z = \frac{x_i - x_{ort}}{s} \quad (3)$$

z normalizasyonu sonrası önerilen modellerle sınıflandırılan verilerin performansları, hata matrisi ve bazı başarımlar ölçüt parametreleri kullanılarak incelenmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

z normalizasyonu sonrası 10 katlı çapraz doğrulama yapılarak sınıflandırılan verilerin hata matrisi Tablo 4'te, modele ait başarımlar ölçütleri ile kappa değeri de Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 4'te verilen hata matrisinde GVS gerçek veri sayısını, BVS sınıflandırma sonrası elde edilen veri sayısını göstermektedir. Tablo 4'te görüldüğü gibi 2. ve 4. türe ait rahatsızlıkta sınıflandırma hatası mevcuttur. Sınıflandırıcının genel doğruluk oranı ise %98.045'tir.

Tablo 4. Hata Matrisi

Etiket	GVS	BVS	1	2	3	4	5	6
1	111	111	111	0	0	0	0	0
2	61	60	0	57	0	3	0	0
3	71	71	0	0	71	0	0	0
4	47	48	0	4	0	44	0	0
5	48	48	0	0	0	0	48	0
6	20	20	0	0	0	0	0	20

Ayrıca sınıflandırma doğruluğu dışında doğru tahmin edilen varların gerçek varlara oranını veren hassasiyet, doğru tahmin edilen varların toplam var tahminlere oranını veren kesinlik ve kesinlik ve duyarlılık ölçütlerini birlikte değerlendiren F ölçütü de Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Başarımlar ölçüt parametrelerinin değerleri

Doğruluk		%98.045	
Kappa		0.975	
Etiket	Hassasiyet	Kesinlik	F-skor
1	1	1	1
2	0.93	0.95	0.94
3	1	1	1
4	0.94	0.92	0.93
5	1	1	1
6	1	1	1
Genel	0.9783	0.9783	0.9783

Bahsedilen ölçüm parametreleri dışında Kappa katsayısı da kategorik verilerin değerlendirilmesinde gözlemciler arasındaki uyumu ölçen istatistiktir. -1 ile +1 arasında bir değer alabilir. Kappa değeri +1 olduğunda gözlemciler arasında mükemmel uyum olduğunu, -1 olduğunda gözlemciler arasındaki uyumsuzluğun çok fazla olduğunu belirtir. Kappa katsayısının yorumlanmasında Tablo 6'da Landis ve Koch [16] tarafından önerilen uyum düzeyleri kullanılmaktadır. Uygulamada elde edilen Kappa katsayısı Tablo 5'te de görüldüğü gibi 0.975'tir. Bu da gözlemciler arasındaki uyumun çok yüksek olduğu göstermektedir.

Tablo 6. Kappa İstatistiği

Kappa	Uyum
<0.00	zayıf
0.00-0.20	önemsiz
0.21-0.40	düşük
0.41-0.60	Orta önemli
0.61-0.80	önemli
0.81-1.00	Çok yüksek

6. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada dermatoloji alanında büyük öneme sahip, altı çeşidi bulunan Eritmato-Skuamöz Hastalığının sınıflandırılması için Topluluk Öğrenimi algoritmasına başvurulmuştur. Kullanılan veri seti UCI veri tabanından alınmıştır [8]. Çalışmada hem klinik hem de histopatolojik özellikleri bir arada bulunduran ESD verileri ilk önce z normalizasyonu ile normalize edilmiş daha sonra alt uzay k-NN topluluk öğrenimi algoritması ile 10 katlı çapraz doğrulama uygulanarak sınıflandırılmıştır. Model başarımları ölçütü için doğruluk, kesinlik, hassasiyet ve F ölçütü değerleri ile Kappa katsayısı parametreleri elde edilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Önerilen modelin genel doğruluk oranı % 98.045 olup, % 1.955'lik bir hata oranına sahiptir. Sonuçlar, kullanılan sınıflandırıcının ESD hastalığının türlerinin sınıflandırılmasında faydalı olabileceğini göstermiştir. Ayrıca veri sayısının artırılarak derin öğrenme algoritmaları ile daha iyi sonuçlar alınabileceği öngörülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Güvenir H. A. ve Emeksiz N., "An expert system for the differential diagnosis of erythematous-squamous diseases," *Expert Systems with Applications*, 2000; 18: 43-49.
- [2] Güvenir, H. A., Demiröz, G. ve İltter, N. "Learning differential diagnosis of erythematous-squamous diseases using voting feature intervals," *Artificial Intelligence in Medicine*, 1998; 13: 147-165.
- [3] Elsayad, A., Dhaifullah, M., Nassef A. M., Analysis and Diagnosis of Erythematous-Squamous Diseases Using CHAID Decision Trees, 15th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), 2018.
- [4] Maghooli, K., Langarizadeh, M., Shahmoradi, L., Habibikoolae, M., Jebraeily, M. and Bouraghi, H., Differential Diagnosis of Erythematous Squamous Diseases Using Classification and Regression Tree, *Acta Inform Med.* 2016 OCT; 24(5): 338-34.
- [5] Wang, L. and Sui, T. Z. "Application of Data Mining Technology Based on Neural Network in the Engineering," in *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2007, pp. 5544-5547.
- [6] Baumgartner, C., *Knowledge Discovery and Data Mining in Biomedicine*, Thesis for Habilitation, University for Health Sciences, Medical Informatics and Technology, 2005.
- [7] Bache, K. and Lichman, M., "{UCI} Machine Learning Repository", University of California, Irvine, School of Information and Computer Sciences, 2013.
- [8] <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Dermatology>.
- [9] MEB, M. and N., Altayash, Differential Diagnosis of Erythematous-Squamous Diseases Using Ensemble of Decision Trees; *Modern Advances in Applied Intelligence Springer*; 2014, pp. 369-77.
- [10] Polat K. ve Güneş, S. A novel hybrid intelligent method based on C4. 5 decision tree classifier and one-against-all approach for multi-class classification problems. *Expert Systems with Applications*. 2009; 36(2):1587-92.
- [11] Kaya, D. Biyomedikal İşaretlerin Sınıflandırılması İçin Akıllı Tekniklerin LabVIEW Ortamında Gerçeklenmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Mayıs 2018.
- [12] Paleologo, G., Elisseeff, A. and Antonini, G. "Subagging for credit scoring models," *European Journal of Operational Research*, 2010, vol. 201, pp. 490-499.
- [13] Gang, W., Jinxing, H., Jian, M. and Hongbing, J. "A comparative assessment of ensemble learning for credit scoring," *Expert Syst. Appl.*, 2011; 38: pp. 223-230.
- [14] Breiman, L., Friedman, J., Stone, C. J., ve Olshen, R. A., *Classification and Regression Trees*: Taylor & Francis, 1984.
- [15] Kaya, D., Türk, M. ve Kaya, T., En Yakın Komşu Algoritması Kullanılarak EEG Sinyallerine Boyut Azaltmanın Etkilerinin İncelenmesi, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2018; 5(2): 591 – 595.
- [16] J.R. Landis & G.G.Koch, The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 1977; 33: 159-174.



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.