



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
DERGİSİ

CUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING

Cilt/Vol: 37

Sayı/Issue: 3

Eylül/September 2022

ISSN 2757-9255



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DERGİSİ
Cukurova University, Journal of the Faculty of
Engineering



Sahibi (Owner)

Ulus ÇEVİK
Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi Dekanı

Editör (Editor)

Serin MEZARCIÖZ

EDİTÖR KURULU (Editorial Board)

Ramazan ÇOBAN (Çukurova Üniversitesi)

Mutlu AVCI (Çukurova Üniversitesi)

Mustafa GÖK (Çukurova Üniversitesi)

Ahmet DAĞ (Çukurova Üniversitesi)

Hüseyin AKILLI (Çukurova Üniversitesi)

Ulus ÇEVİK (Çukurova Üniversitesi)

Ali KOKANGÜL (Çukurova Üniversitesi)

Mesut BAŞIBÜYÜK (Çukurova Üniversitesi)

Mevlüt Sami AKÖZ (Çukurova Üniversitesi)

Oğuz DEMİRYÜREK (Erciyes Üniversitesi)

Hüsamettin BULUT (Harran Üniversitesi)

Metin GÜRÜ (Gazi Üniversitesi)

Mehmet Emin AYDIN (University of the
West of England, İngiltere)

Azra BİLGİN (University of Colorado Boulder,
ABD)

Ulvi Can ÜNLÜGENÇ (Çukurova Üniversitesi)

Özen KILIÇ (Çukurova Üniversitesi)

Serin MEZARCIÖZ (Çukurova Üniversitesi)

Zeynep ZAIMOĞLU (Çukurova Üniversitesi)

Ali KESKİN (Çukurova Üniversitesi)

R. Tuğrul OĞULATA (Çukurova Üniversitesi)

F. Duygu SABAN (Çukurova Üniversitesi)

Hüseyin VAPUR (Çukurova Üniversitesi)

Hüseyin R. YERLİ (Çukurova Üniversitesi)

Ergun ERÇELEBİ (Gaziantep Üniversitesi)

Nihan ÇETİN DEMİREL (Yıldız Teknik Üniversitesi)

Serter ATABAY (American University of Sharjah,
United Arab Emirates)

Muammer KOÇ (Hamad Bin Khalifa University,
Qatar)

Tamio ENDO (Mie University-Japonya)

Hakemli Bir Dergidir. Yılda Dört Sayı Basılır. / Refereed Journal. Published Quarterly.

Dergimiz **TÜBİTAK ULAKBİM** Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Listesi'nde taranmaktadır.
Indexed by **TÜBİTAK ULAKBİM** Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Listesi

Derginin eski adı: Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi
(ISSN: 1019-1011)

YAZIŞMA ADRESİ/CONTACT

Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı Balcalı 01330 Sarıçam/ADANA
Tel : (322) 338 63 57 Fax : (322) 338 61 26 E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr - cu.mmfdergi@gmail.com

AMAÇ ve KAPSAM

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, yılda dört sayı olarak yayımlanan hakemli bilimsel bir dergidir. Mühendislik alanındaki gelişmeleri takip etmek, meslek kuruluşları ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişmelerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda Türkçe bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır. Derginin yazım dili Türkçe/İngilizcedir. Daha önce başka bir yerde yayımlanmamış tüm özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları kapsayan makaleler kabul edilmektedir. Tüm mühendislik alanları ile ilgili teorik/deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar Dergi'nin ilgi alanındadır. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmemektedir. **“Araştırma ve uygulama içeren makaleleri”** yayınlamaktadır.

AIM and SCOPE

Journal of the Engineering Faculty of Cukurova University is a peer-reviewed scientific journal which is currently published quarterly. The journal is published to follow the developments in the field of engineering, to contribute to the national and international development of professional organizations and individuals, and to create a Turkish resource in these areas. The language of the journal is Turkish/English. All original and up to date scientific research and applications articles that have not been published elsewhere are accepted. Theoretical/experimental and practical studies related to all engineering fields are in the scope of the Journal. Translation and compilation articles are not accepted. The journal publishes **“articles of research and practice”**.

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Guar Gum ile İyileştirilen Kil Zeminlerin Donma Çözülme Etkisinde Mukavemet ve Şişme Basınçlarının Araştırılması..... 589**
Investigation of Strengths and Swelling Pressures in Freeze-Thaw Effect of Clay Soils Improved by Guar Gum
Bahadır OK ve Baki BAĞRIAÇIK
- Gallik Asit Katkılı Polivinil Alkol Nanofiblerinin Elektro Çekim Yöntemiyle Üretimi ve Morfolojik Karakterizasyonu 601**
Production and Morphological Characterization of Gallic Acid Loaded Polyvinyl Alcohol Nanofibers via Electrospinning
Halil İbrahim İÇOĞLU
- Süprem Örme Kumaşlarda Geri Dönüşüm Pamuk Elyaf Oranının Performans Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi..... 609**
Determining the Effect on Performance Characteristics of Recycled Cotton Fiber Ratio in Single Jersey Knitted Fabrics
Fusun DOBA KADEM ve Raziye SEVGİ
- Bipolar Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması 617**
Bipolar Particle Swarm Optimization Algorithm
Mashar Cenk GENÇAL
- Büyük Kızılçık (Göksun-K.Maraş) Bölgesi Silisifiye Zona Bağlı Kurşun Cevherleşmesinin Jeolojik İncelenmesi 627**
Geological Investigation of Lead Mineralization Associated with Silicified Zone in Büyük Kızılçık (Göksun-K.Maraş) Region
Avni TAPTIK, Mustafa AKYILDIZ ve Burcu KARATAŞ
- Noise and Disturbance Rejection Performance Evaluation on Explicit Model Predictive Control Technique Applied to Inverted Pendulum with Various Test Scenarios 643**
Çeşitli Test Senaryoları ile Ters Sarkaca Uygulanan Açık Model Öngörümlü Kontrol Tekniği Üzerinde Gürültü ve Bozucu Bastırma Performans Değerlendirmesi
Hüseyin Emre ÖZGÜR, Necdet Sinan ÖZBEK ve Mehmet İleriş SARIGEÇİLİ

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

| | |
|---|------------|
| SCADA Sistemi: Şehir İçi ve Şehirlerarası Yolların Aydınlatma Sisteminin Kontrolü ve Otomasyonu..... | 653 |
| <i>SCADA System: Control and Automation of Lighting System of Urban and Inter-Urban Roads</i> | |
| Mohammed H. İBRAHİM | |
| MEMS İvme Ölçerler için Analog Yapay Sinir Ağı Temelli Kontrolcü Tasarımı..... | 663 |
| <i>Analog Artificial Neural Network Based Controller Design for MEMS Accelerometers</i> | |
| Zehan KESİLMİŞ ve Murat AKSOY | |
| Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi ile Fonksiyonel Derecelenmiş Sandviç Dairesel Plakların Eğilme Analizi..... | 673 |
| <i>Bending Analysis of Functionally Graded Sandwich Circular Plates via the Complementary Functions Method</i> | |
| Ahmad Reshad NOORI | |
| Energy Analysis in a Solar House with Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) System..... | 685 |
| <i>Binaya Entegre Fotovoltaik Sistemli Bir Güneş Evinde Enerji Analizi</i> | |
| Atakan TANTEKİN ve N. Filiz (TÜMEN) ÖZDİL | |
| A Design of Fully Automated Irrigation System IoT-Based Approach for Greenhouses..... | 699 |
| <i>Seralar için Tam Otomatik IoT Tabanlı Sulama Sistemi Tasarımı</i> | |
| Halit ERİŞ, Eser ÇELİKTOPUZ, Ulus ÇEVİK ve Burçak KAPUR | |
| Determining Antibacterial Effect of Yellow Onion (Allium Cepa) Peel Extract on Some Pathogen Inoculated in Raw, UHT and Pasteurized Milks..... | 707 |
| <i>Sarı Soğan (Allium Cepa) Kabuğu Ekstraktının Çiğ, UHT ve Pastörize Sütlere İnoküle Edilen Bazı Patojenler Üzerindeki Antimikrobiyal Etkisinin Belirlenmesi</i> | |
| Sabire YERLİKAYA, Merve ÇİFTÇİ, Aysun İŞLER ve Hülya ŞEN ARSLAN | |
| Doğaltaş Fabrikasında Fayans Üretim Hattındaki Kalite Kontrol Uygulaması..... | 717 |
| <i>Quality Control Application on Tile Production Line in Natural Stone Factory</i> | |
| Merve KARAABAT VAROL ve M. Saim SARAÇ | |

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

| | |
|---|------------|
| Arabik Gam Katkılı Doğal Kil Zeminin Konsolidasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi | 731 |
| <i>Evaluation of Consolidation Results of Arabic Gum Added Natural Clay Soil</i> | |
| Ufuk TUNÇ, Baki BAĞRIAÇIK, Gökhan ALTAY, Ahmet ŞENOL ve Hayri ASLAN | |
| Free Vibration Analysis of Tapered Composite Aircraft Wing via the Finite Element Method | 741 |
| <i>Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Kompozit Konik Uçak Kanadının Serbest Titreşim Analizi</i> | |
| Büşra SARI, Mahsa KAZEMI LICHAEI ve Sefa YILDIRIM | |
| Kamu Sağlık Kurumlarında Farklı Risk Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi: Örnek Bir Uygulama..... | 753 |
| <i>An Investigation on Different Risk Analysis Methods in Public Hospitals: an Example Application</i> | |
| Gülistan KARAN BUTURAK ve Nil YAPICI | |
| Mechanical Analyses of Denim Fabrics Laminated with Recycled Polyethylene Packaging Wastes..... | 765 |
| <i>Geri Dönüştürülmüş Polietilen Ambalaj Atıkları ile Lamine Edilmiş Denim Kumaşların Mekanik Analizi</i> | |
| İpek YALÇIN-ENİŞ ve Hande SEZGİN | |
| Tensile and Morphological Properties of Waste Tire Rubber Granule/Polyester Polymer Matrix Composite | 773 |
| <i>Atık Lastik Kauçuk Granül/Polyester Polimer Matris Kompozitinin Çekme ve Morfolojik Özellikleri</i> | |
| Şafak YILDIZHAN, Feyza YEL, Mustafa Atakan AKAR ve Umut KUMLU | |
| Havaalanlarında Dijital Dönüşüm Risklerinin Değerlendirilmesi | 781 |
| <i>Evaluation of Digital Transformation Risks at Airports</i> | |
| Fatma Şeyma YÜKSEL, Olcay KALAN ve Melek IŞIK | |
| Performance of Machine Learning Methods in Location-Based Prediction | 793 |
| <i>Konum Tabanlı Tahminde Makine Öğrenme Yöntemlerinin Performansları</i> | |
| Nuh Mehmet ÖZMERDİVENLİ, Murat TAŞYÜREK, Serhat HIZLISOY ve Bahatdin DAŞBAŞI | |

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- An Experimental Study on Comparison of Selected Performance Properties of Soybean and Cotton Knitted Fabrics 803**
Soya ve Pamuklu Örmeye Kumaşların Seçilen Performans Özelliklerinin Karşılaştırılması Üzerine Deneysel Bir Çalışma
G. Banu GÖKGÖNÜL ve Emel Ceyhan SABİR
- Investigation of the Effect of Side Devices and Crosswind Flow on Aerodynamic Drag of a Ground Vehicle..... 813**
Bir Kara Aracının Aerodinamik Sürüklenmesi Üzerine Yan Cihazların ve Yan Rüzgâr Akışının Etkisinin İncelenmesi
Ahmet ŞUMNU
- Bir Taş Ocağındaki Patlatma Uygulamalarına Ait En Yüksek Parçacık Hızı ile Frekans İlişkisi 827**
Frequency Relationship with the Highest Particle Velocity of Blasting Applications in a Quarry
Serdar ERCİNS ve Abdurrahman TOSUN
- Kıyı Çizgisinin Makine Öğrenmesi Tabanlı Mean-Shift, Rastgele Orman ve Destek Vektör Makinaları ile Belirlenmesi 835**
Machine Learning Based Segmentation of Shoreline Using Mean-Shift, Random Forest and Support Vector Machine
Şeyma AKÇA ve Füsün BALIK ŞANLI
- Investigation of Shelf Life for Door Seal Mixture in Automotive Industry 843**
Otomotiv Endüstrisinde Kapı Fıtil Hamuru için Raf Ömrünün Araştırılması
Barış KANTOĞLU, İrem DÜZDAR ARGUN, Ahmet CİHAN ve Yusuf GÜNER

Guar Gum ile İyileştirilen Kil Zeminlerin Donma Çözülme Etkisinde Mukavemet ve Şişme Basınçlarının Araştırılması

Bahadır OK¹ ORCID 0000-0002-1860-2881

Baki BAĞRIAÇIK^{*2} ORCID 0000-0001-8333-5671

¹Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 25.03.2022

Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/How to cite: BAĞRIAÇIK, B., OK, B., (2022). Guar Gum ile İyileştirilen Kil Zeminlerin Donma Çözülme Etkisinde Mukavemet ve Şişme Basınçlarının Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 589-600.

Öz

Son yıllarda çevresel kaygılardan dolayı biyopolimerler gibi organik ve çevre dostu malzemelerin kullanım alanları hızla artmaktadır. Bu çalışmada bir biopolimer olan Guar Gum kullanılarak kohezyonlu bir zeminin iyileştirilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla kohezyonlu bir zemine belli oranlarda (%1, %2 ve %3) guar gum karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Numuneler farklı sürelerde kür edilmiş ve farklı sayılarda (1, 3, 5, 10) donma çözülme tabii tutulmuştur. Çalışmada Guar Gum'un karışım oranı ile kür süresi ve donma çözülmenin serbest basınç mukavemeti ve şişme basıncı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, biyopolimer katkı malzemesinin kohezyonlu bir zeminin serbest basınç mukavemeti ve şişme basıncı üzerinde olumlu etkileri olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu etkilerin kür süresi ve donma çözülme ile önemli ölçüde değiştiği elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Guar gum, Zemin iyileştirmesi, Biyopolimer, Donma-çözülme, Şişme basıncı

Investigation of Strengths and Swelling Pressures in Freeze-Thaw Effect of Clay Soils Improved by Guar Gum

Abstract

Nowadays, the areas of use of organic and environmentally friendly materials such as biopolymers have been increasing rapidly due to environmental concerns. The improvement of a cohesive soil using Guar Gum (GG) was investigated in this research. For this purpose, samples were prepared by adding GG to cohesive soil in some proportions (1%, 2%, and 3%). Specimens exposed to different numbers of freeze-thaw cycles (1, 3, 5, and 10) were cured for different times. Unconfined compression strength (UCS) and swelling pressure tests were carried out on the prepared samples. As a result, it was seen that the addition of biopolymer to the clay soils has a positive effect on strength values and swelling pressures. In addition, curing time and freeze-thaw conditions were thought to play an important role in soil improvement with the use of biopolymer.

Keywords: Guar gum, Soil improvement, Biopolymer, Freeze-thaw, Swelling pressure

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Baki BAĞRIAÇIK, bbagriacik@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Zeminlerin kayma mukavemeti ve oturma gibi geoteknik özelliklerinin yapının güvenliği açısından yetersiz olduğu durumlarda genellikle ya zemin iyileştirilmesi yapılmakta ya da temel sistemi değiştirilmektedir. Temel sistemini değiştirmenin ekonomik olmadığı veya yeterli arazi bulunmadığı birçok durumda da zemin için uygun bir iyileştirme yöntemi arayışı ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda özellikle yumuşak zeminler için katkı maddeleri ile zeminlerin iyileştirilmesi oldukça sık kullanılan bir zemin iyileştirme türüdür [1]. Bu yöntemde zemini iyileştirmek için çimento, kireç, uçucu kül ve cüruf gibi kimyasal tabanlı katkı maddeleri sıkça tercih edilmektedir. Önceki çalışmalarda bu katkı maddelerinin dışında polimerler, cam su, asit ve epoksi gibi birçok farklı kimyasal katkı maddesi kullanılarak zeminlerin iyileştirilmeye çalışıldığı görülmüştür [2-12]. Bu çalışmaların sonucunda zeminin taşıma gücü ve oturma davranışı adına olumlu sonuçlar elde edildiği ifade edilmiştir. Zemin iyileştirmede kullanılan bu kimyasal katkılar genellikle yüksek enerji tüketimi ile üretim sürecinde yoğun şekilde kömür tüketen, çevreye CO₂, SO₂ ve NO_x gibi zararlı gazlar salgılayan katkılardır. Bu katkılarının zemin iyileştirmede kullanılması sonrasında zararlı salınım yapan gazların yanı sıra zemin içinde toksik içeren ve yanıcı bir özelliğe dönüşebilmektedir. Ayrıca, bu toksik içeren maddeler zeminde yeraltı suyu, yağmur vb. sular ile karışması ile su yollarının kirlenmesine de neden olabilmektedir [13-15]. Bu nedenle, artan dünya nüfusuna paralel olarak birçok sektörde hızla yaygınlaşan kimyasal maddelerin kullanımı sonucunda ortaya çıkan çevresel sorunlar sektörlerin üzerinde kimyasal katkılardan ziyade çevre dostu organik katkılar kullanılması yönünde baskı kurmaktadır [16-19]. Günümüzde artan çevre kirliliği birçok ülkenin sıkı çevre güvenliği yasaları getirmelerine sebep olmakta dolaylı olarak kimyasal ürünlerin kullanımı için ek vergiler koyulmakta ve sayısız iş kolu için doğal ürünlerin kullanılması teşvik edilmektedir. Sonuç olarak hem çevre sürdürülebilirliği açısından hem de maliyet bakımından çevreyi kirletmeyecek ürünlere yönelmek gittikçe daha çok zorunluluk haline gelmektedir.

Organik ve çevre dostu bir malzeme olan biyopolimer malzemeler günümüzde birçok sektörde kullanılan çeşitli kimyasal katkı maddelerine alternatif olarak değerlendirilebilmektedirler. Biyopolimerler; mantarlar, algler ve bakteriler gibi biyolojik tepkimeler sonucunda biyolojik organizmalardan üretilen monosakkarit ve polisakkarit tabanlı polimerlerdir. Bu polimerler sahip oldukları yapıları nedeniyle toksik değildir ve biyolojik olarak parçalanabilir. Bu sebeple de çevre dostu katkı maddeleri olarak kabul edilebilirler [20-22].

Biyopolimerlerin diğer sektörlerde kullanımının yanında, birçok araştırmacı çeşitli kimyasalların kullanıldığı katkı ile zemin ıslah gibi geoteknik uygulamalarında kimyasal katkıların yerine organik biyopolimerlerin kullanılabilmesi yönünde araştırmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda daha çok kumlu kohezyonsuz zeminlerin permeabilitesi, serbest basınç mukavemeti, birim hacim ağırlığı gibi fiziksel/geoteknik özelliklerinin farklı biyopolimer katkıları ile iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Ayrıca bu çalışmalarda kür süresi de bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmaların sonucunda genel olarak biyopolimer katkıların özellikle kumlu zeminlerin ıslahı için bir alternatif olarak düşünülebileceği ifade edilmiştir [18,23-30]. Yumuşak kohezyonlu zeminlerin kimyasal katkılar ile iyileştirilmesi çok yaygın olmasına rağmen literatürde bu tip zeminlerde kimyasal katkılar yerine biyopolimerlerin kullanımı ile ilgili çok az sayıda yayın mevcuttur. Konu ile ilgili Soldo ve arkadaşları [31] yaptıkları çalışmada ince danelere sahip düşük plastisiteli bir siltli kum zeminin biyopolimerlerle iyileştirilmesini araştırmışlar ve çalışmalarının sonucunda biyopolimerlerin ince daneli zemin barındıran kumlarda da mukavemeti önemli ölçüde artırabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan zemin ince dane içerse de kum oranı daha fazla olan düşük plastisiteli bir zemindir. Bunun dışında Sujatha ve Saisree [32] killi zeminlerin biopolimer ile ıslahı üzerine bir çalışma yürütmüştür. Çalışmalarında Guar Gum biyopolimerin zeminin permeabilitesine, sıkışabilirliğine ve basınç dayanımına etkisini araştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda Guar Gum'un zemin ıslahındaki olumlu etkileri ifade

edilmekle birlikte konu ile ilgili daha detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Bağriacik ve arkadaşları [33] çalışmalarında Guar Gum ile ıslah edilen kohezyonlu bir zeminlerin serbest basınç mukavemeti araştırmışlar ve Guar Gum'un serbest basınç mukavemetini önemli ölçüde arttırabileceğini ifade etmişlerdir. Guar Gum katkının zemin üzerindeki etkilerini inceleyen yukarıda ifade edilen çalışmalar Guar Gum'un çok yaygın bulunan ve diğer biyopolimerlere kıyasla ucuz bir biyopolimer olduğunu ifade ederek zemin ıslahında bir alternatif olabileceğini belirtmişlerdir.

Ayrıca, bir zeminin donma-çözülme etkisi altındaki davranışının bilinmesi özellikle gündüz ve gece arasındaki sıcaklık farklarının çok yüksek olduğu çöl iklimi etkisindeki alanlarda çok önemlidir. Bu alanlarda, sıcaklık değişimlerine bağlı olarak zemin ortamında, düşük derecelerde donma sonrasında sıcaklığın artmasıyla çözülme meydana gelmektedir. Bu durumda, temel zemininde istenmeyen oturma ve/veya şişme durumları söz konusu olabilmektedir. Temel zemininde meydana gelen bu durumların, üst yapıda olumsuz etkiler yaratmaması için gerekli iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir. Guar Gum kullanımının bu olumsuzlukları önlemede alternatif bir yöntem olduğu düşünülmektedir. Ancak, Guar Gum katkılı kohezyonlu zeminlerin donma-çözülme etkisi altındaki performansını ve bu biyopolimerin şişme basıncına etkilerinin araştırıldığı kayda değer bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu durum da, Guar Gum'un donma-çözülme döngüleri etkisinde kaldığında killi bir zemini iyileştirme düzeyi ve özellikle fazla su emebildiği için bu killi zeminin şişme basıncına etkileri hala belirginleşmemiştir.

Bu nedenle çalışma kapsamında, bir biyopolimer türü olan ve katkı maddesi olarak kullanılabilen Guar Gum (GG) ile kohezyonlu bir zeminin iyileştirilmesi durumu araştırılmıştır. Çalışmada zemin %1, %2 ve %3 oranlarında GG ile karıştırılarak serbest basınç ve konsolidasyon deney numuneleri hazırlanmış sonrasında bu numuneler 1, 7, 14, 21, 28, 56 gün küre tabi tutulmuştur. Ayrıca katkı malzemesinin uzun dönem etkisini incelemek için bazı numuneler 196

gün küre tabi tutulmuştur. Kür işlemi sonrasında katkı malzemesinin donma çözülme sonrasında iyileştirme düzeyini incelemek için bazı numuneler 10 defaya kadar donma çözülmeye tabi tutulmuştur. Bu işlemler sonrasında elde edilen deney numunelerine serbest basınç deneyine ve konsolidasyon deney aletinde şişme deneyine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, GG ile iyileştirilmiş kohezyonlu bir zeminde katkı maddesi yüzdesi, uzun dönem de içeren kür süresi ve donma çözülme döngülerinin serbest basınç mukavemeti ve şişme basıncına etkileri araştırılarak GG katkının iyileştirme etkisi tartışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

2.1.1. İnce Daneli Zemin

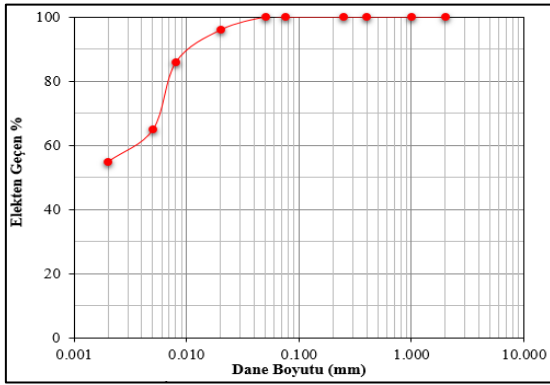
Deneyisel çalışmalarda, kullanılan ince daneli zemin numunesi Adana'dan elde edilmiştir. Numunenin alındığı yerin Google Earth görüntüsü Şekil 1'de gösterilmektedir. Laboratuvara getirilen ince daneli zemin öncelikle bir hafta oda sıcaklığında bekletilmiş sonrasında, 24 saat 105 derecede (C°) etüvde kurutulmuştur. Daha sonra, ince daneli zemin numunesi bir öğütücü yardımıyla daha küçük parçacıklara ayrılmıştır. Elde edilen zemin numunesine hidrometre deneyi yapılarak zeminin granülometre eğrisi belirlenmiştir [34]. İnce daneli zeminin granülometre eğrisi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. İnce daneli zeminin temin edildiği konum

İnce daneli zemin üzerinde bir seri laboratuvar deneyi gerçekleştirilerek, dane birim hacim ağırlığı, kıvam limitleri belirlenmiştir. Deneyler sonucunda zeminin dane birim hacim ağırlığı

27 kN/m³ [35], likit limiti %42, plastik limiti %24 ve plastisite indisi %18 olarak belirlenmiştir [36]. Ayrıca zemin birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre düşük plastisiteli kil (CL) olarak sınıflandırılmıştır [37]. Diğer yandan kil zemin üzerinde yapılan kompaksiyon deney sonuçlarına göre, zeminin optimum su muhtevası %18,10 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı ise 17,40 kN/m³ olarak bulunmuştur [38]. Kil zemin üzerinde yapılan XRF analizleri sonucunda [39], zeminin kuvars, kalsit ve kil grubu mineraller (kaolinit, simektit ve vermikülit) içerdiği görülmüştür.



Şekil 2. İnce daneli zeminin dane çapı dağılımı

2.1.2. Guar Gum (GG)

Çalışmada katkı malzemesi olarak kullanılan GG, İstanbul'da bir firmadan temin edilmiştir. GG guaran olarak kabul edilmektedir (Şekil 3). Mannoze ve galaktozdan oluşan doğal, iyonik olmayan bir polisakkarittir. Bu polisakkarit, (1-6) glikosidik bağlar içindeki mannoz omurgasına birleştirilmiş 3-D-galaktopiranoz birimleriyle (1-4) bağlı 3-D-mannopiranoz birimlerinden oluşan bir dizidir. Poli-mannoze dizisi 1,8-1,0 mannoze-galaktoz oranında rastgele galaktoz birimleriyle değiştirilerek GG elde edilmektedir [40]. GG, temel yapısal özelliği nedeniyle, endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılmaktadır ve düşük konsantrasyonlarda son derece viskoz çözümler sağlayan bir biyopolimerdir. Toksik olmayan ve biyolojik olarak parçalanabilen bu biyopolimer, ekonomik olarak kolayca temin edilebilir veya laboratuvarlarda üretilebilir [41,42].



Şekil 3. GG'nin saf ve işlenmemiş hali [43]

2.2. Metot

2.2.1. Karıştırma Yöntemi

Biyopolimerlerin kil zeminle karıştırılmasında, ıslak karıştırma yöntemi kullanılmıştır. Islak karıştırma yönteminde, her GG oranı için optimum oranda su ilave edilmiş ve bir karıştırıcı yardımıyla GG su içinde çözülmeye kadar karıştırılmıştır. Bu işlem toz GG'un hidrojel oluşmasını sağlamıştır. Bu oluşum benzer karıştırma yöntemi kullanılan önceki çalışmalarda rapor edilmiştir. Daha sonra, karışıma kil zemine ilave edilmiş ve uniform bir karıştırma oluşana dek karıştırılmıştır [18,30,32,33,44,45]. Sujatha ve Saisree [32] %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 oranlarında GG ile karıştırılmış kohezyonlu zeminlerin dayanımlarını incelemiş ve %0,5 karıştırma oranında dayanımda azalma elde ederken %1,0 karıştırma oranında optimum serbest basınç mukavemeti elde etmişlerdir. Diğer bir yandan Lee ve arkadaşları [28] çalışmalarında %0,5, %1,0 ve %2,0 oranlarında bir çeşit biyopolimer olan xanthan gum ile karıştırılmış kum zeminlerin dayanımlarını araştırmış ve %1,0 oranında en yüksek dayanımı elde etmiştir. Ayrıca Khatami ve O'Kelly [25] çalışmalarında %1 ile %4 arasında, Fatehi ve arkadaşları [30] ise çalışmalarında %0,5 ile %5 arasında biyopolimer karıştırılmış kum zeminleri araştırmışlar ve çalışmaları sonucunda biyopolimer oranı arttıkça dayanım arttığını ifade etmiştir. Literatürde araştırılan karıştırma oranları göz önünde bulundurularak ve karıştırma oranının etkisini

incelemek amacı ile %1, %2 ve %3 olmak üzere üç farklı oranda GG içeren zemin numuneleri hazırlanmıştır. Karışıma ilave edilen GG miktarı kuru zemin ağırlığına göre hesaplanmıştır.

2.2.2. Kür İşlemi

GG ilave edilen kil zeminde kür süresinin etkisinin belirlenebilmesi için, uygun yöntemle karıştırılan numuneler, önce optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı sağlanarak yapılacak deney ile ilgili kalıplara yerleştirilmiştir. Daha sonra, bu numuneler streç filmlerle sarılarak 1, 7, 14, 21, 28, 56 ve 196 gün olmak üzere 7 farklı kür süresi için desikatörde bekletilmiştir [33]. Sujatha ve Saisree [32] çalışmalarında GG'un su ile karıştırılması sonrasında hidrojenler oluştuğunu ve zemin ile karıştırılması sonrasında da bu hidrojenlerin zemin danelerini sararak hidrojen bağları oluşturduklarını ifade etmişlerdir. Ayrıca hidrojen bağları oluşuktan sonra susuz kaldıklarında bağların kuvvetlendiğini havasız ortamda da GG'nin oksidasyonunun azaldığını belirtmişlerdir. Bu nedenle GG ile iyileştirme için oda sıcaklığında kuru kürlenmeyi önermişlerdir. Benzer şekilde, çeşitli biyopolimerlerin güçlendirme etkilerini araştıran bazı araştırmacılar da çalışmalarında kuru kürlenmenin daha etkili olduğunu belirtmişlerdir [18,28]. Bu durum göz önünde bulundurularak bu çalışmada zemin numunelerine benzer bir kürlenme yapılmıştır.

2.2.3. Serbest Basınç Deneyi

Çalışmada kil zemine farklı oranlarda GG eklenerek serbest basınç deney numuneleri hazırlanmıştır [46]. Serbest basınç deney numuneleri, her karışım oranı için, optimum su muhtevasında, 50 mm çapında, 100 mm boyunda ve kılcal çatlak içermeyecek şekilde hazırlanmıştır. Zemin numunesi, yağlanmış iki parçalı çelik tüpe (kalıp) yerleştirilmiştir. Kalıbın iki ağzından taşan zemin numunesi, kil testereyle kesilip atılmıştır. Hazırlanan zemin numunesi, presin alt platformuna merkezlenerek oturtulduktan sonra, üst başlık numune üst yüzeyine rahatça ve tam degecek şekilde indirilmiş ve numunede dakikada %0,5-%2

arası birim boy kısalması oluşturacak şekilde yükleme yapılmıştır. Deney sırasında numunenin boy değişimi komparatör saati ile ölçülmüştür. Deney sonucunda yük-deplasman eğrisinin pik yaptığı değer serbest basınç mukavemeti olarak belirlenmiştir [46].

2.2.4. Şişme Basıncı Deneyi

Çalışmada kil zemine farklı oranlarda GG eklenerek konsolidasyon deney numuneleri hazırlanmıştır. Deney numuneleri üzerinde konsolidasyon deney aletinde şişme basıncı deneyi yapılmıştır. Deneylerde iç çapı 50 mm, yüksekliği 20 mm olan ringler kullanılmış ve numuneler 100 kPa ön-konsolidasyon basıncına tabi tutulmuştur [47]. Konsolidasyon hücresi içerisine doldurulan sıvı, ön-konsolide edilen zemindeki karışım sıvısı ile aynı olacak şekilde hazırlanmıştır. Hücre içerisindeki sıvının buharlaşmasını önlemek için, hücrenin üst yüzeyi lastik bir kılıf ile kapatılmıştır. Hücre sıvısı içerisinde 1 gün süreyle bekletilerek doymuş hale getirilen numunelerin şişme basınçları belirlenmiştir.

2.2.5. Donma Çözülme Davranışı

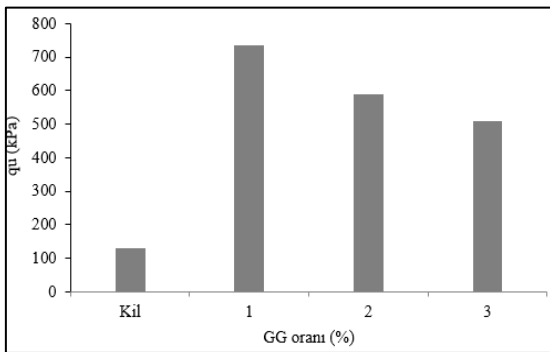
Çalışmada kullanılan deney numuneleri optimum su muhtevalarında ve belirlenen karışım oranlarında hazırlanmış ve numuneler donma-çözülme etkilerine maruz bırakılmıştır. Numuneler, su muhtevalarında değişim olmaması için desikatörlerde bekletilmiştir. Çalışmada, donma-çözülme çevrim sayısı 1, 3, 5 ve 10, sıcaklık değerleri donma için -20 °C ve çözülme için +25 °C, her bir sıcaklıkta bekleme süresi ise 6 saat olarak alınmıştır. Numuneler, folyo ile sarılarak donma-çözülme kabinine yerleştirilmiş ve deney süresince donma-çözülme kabininden çıkarılmamıştır. Numuneler, donma-çözülme kabinine konulduktan sonra, ilk olarak -20 °C'ye getirilerek 6 saat beklenmiş ve sonrasında +25 °C'ye getirilerek 6 saat daha beklenmiştir. 12 saatin sonunda tamamlanan bu işlem ise 1 çevrim olarak kabul edilmiştir [48-51]. Çevrimler sonunda, ilgili numuneler ile serbest

basınç ve şişme basıncı deneylerine tabi tutulmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. GG İlavesinin Serbest Basınç Mukavemetine Etkisi

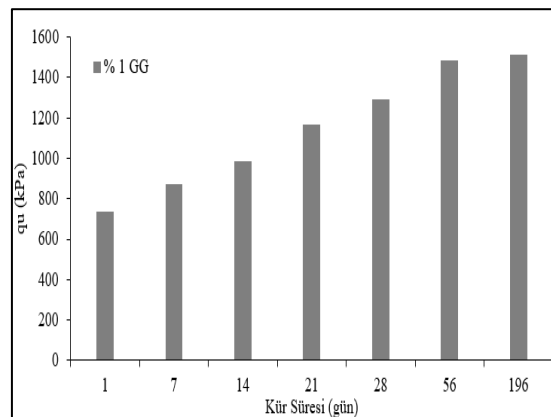
Kil zemin ve kil zemine %1, %2 ve %3 oranında GG ilave edilerek yapılan serbest basınç deneyi sonucunda elde edilen serbest basınç mukavemetleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında, kil zemin ve %1, %2 ve %3 oranlarında GG ilavesi oluşan numunelerin serbest basınç mukavemetleri yaklaşık olarak sırasıyla 129 kPa, 735 kPa, 588 kPa ve 508 kPa a kadar ulaşmıştır. Kil zemine, %1, %2 ve %3 oranlarında GG ilavesi ile serbest basınç mukavemetlerinde sırasıyla 5,7, 4,6 ve 3,9 kata varan artışlar olmuştur. Bu durum Bagriacik arkadaşları [33] tarafından da rapor edilmiştir. GG ilavesi ile dayanım artışının GG'un su ile karıştırılmasından sonra oluşan hidrojenlerin zemin danelerini kaplaması ve daha sonra hidrojen bağları oluşturmasından dayandığı tahmin edilmektedir. Ayrıca GG oranı arttıkça iyileştirme miktarının azalması da hidrojenlerin fazla olmasının boşlukları doldurarak daneleri birbirinden uzaklaştırmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Benzer duruma bir duruma Sujatha ve Saisree [32] GG üzerine yaptığı çalışmalarında da rastlanmış ve en yüksek serbest basınç mukavemet değeri buradaki gibi %1 karışım oranında elde edilmiştir.



Şekil 4. Farklı GG oranları için serbest basınç mukavemeti değerleri

3.2. Kür Süresinin Serbest Basınç Mukavemetine Etkisi

GG ilave edilmiş kil zeminde kür süresinin mukavemet üzerindeki etkilerini belirleyebilmek amacıyla, optimum GG oranında hazırlanan numuneler 1, 7, 14, 21, 28, 56 ve 196 günün kür edildikten sonra serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda elde edilen serbest basınç mukavemetleri Şekil 5'te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Numunelerden 7, 14, 21, 28, 56 ve 196 gün sonunda elde edilen serbest basınç mukavemetlerinde, ilk günün sonundaki mukavemet değerine göre sırasıyla, 1,18, 1,34, 1,59, 1,76, 2,02 ve 2,06 kata varan artışlar gözlenmiştir. Sujatha ve Saisree [32] çalışmalarında GG su ile karıştırıldığında hidrasyona bağlı olarak hidrojenler oluşurmaya başladığını ve daha sonra zeminle karıştığında zemindeki suyun emilmesi ile hidrojel oluşumunun devam ettiği bildirilmiştir. Ayrıca çalışmalarında bu hidrojenlerin zemin danelerini sardığını, hidrojen bağları oluşturduğunu ve bu bağların susuz ortamda kuvvetlendiğini ifade etmişlerdir. Artan kür süresi ile dayanım artışının buna dayandığı düşünülmektedir. Ancak 56. günden sonra mukavemet değerinde kayda değer oranda bir artışın olmamıştır. Yani kür sebebi ile oluşan bağların kuvvetlenmesinin de bir sınırı vardır. Bu durum için 56 gün optimum kür süresi olarak düşünülebilir [33].

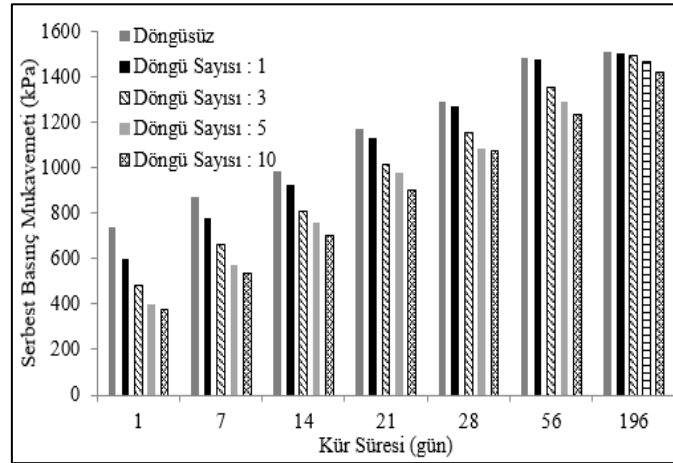


Şekil 5. Farklı kür süreleri için serbest basınç mukavemeti değerleri

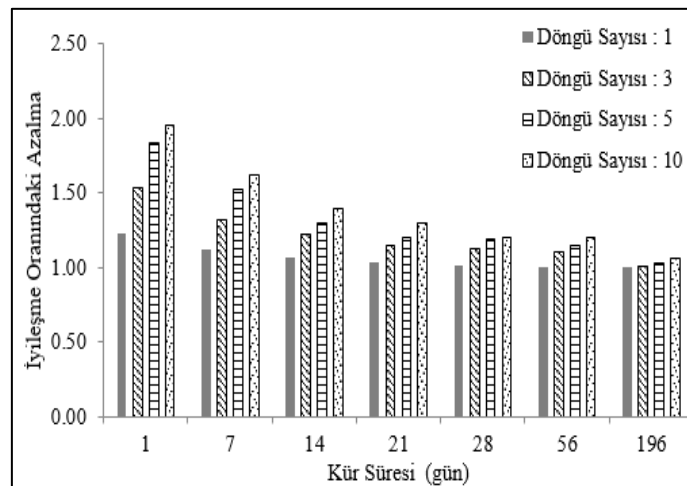
3.3. Donma Çözülme Döngüsünün Serbest Basınç Mukavemetine Etkisi

GG ilavesinin kil zeminin donma çözülme davranışına etkisini belirleyebilmek amacıyla, 7 farklı kür süresi sonunda elde edilen optimum GG (%1) oranına sahip numuneler farklı sayıda donma çözülme etkisine maruz bırakıldıktan sonra serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneylerin sonucunda numunelerin serbest basınç mukavemetleri kür süresi ve donma çözülme döngü sayısına bağlı karşılaştırmalı olarak Şekil 6'da, iyileşme oranındaki azalma miktarları Şekil 7'de sunulmuştur. Yapılan bu deneyler

sonucunda, döngü sayısı arttıkça GG ile iyileştirilen kil zeminin mukavemet değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. 1, 7, 14, 21, 28, 56 ve 196 günlerin sonunda, 1-3-5-10 döngüler sonrasında mukavemet değerlerinde 1,96, 1,62, 1,40, 1,30, 1,21, 1,20 ve 1,06 kata varan azalmalar meydana gelmiştir. Kür süresi arttıkça donma çözülme döngüleri sonrasındaki dayanım kayıplarının azaldığı görülmüştür. Burada dayanım kayıplarının hidrojen bağlarındaki tahribattan ziyade donma çözülme sırasındaki hacim değişimleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Aksi takdirde daha dramatik ve kür süresiyle artan dayanım kayıpları beklenebilirdi.



Şekil 6. Farklı donma çözülme döngüleri için serbest basınç mukavemeti değerleri

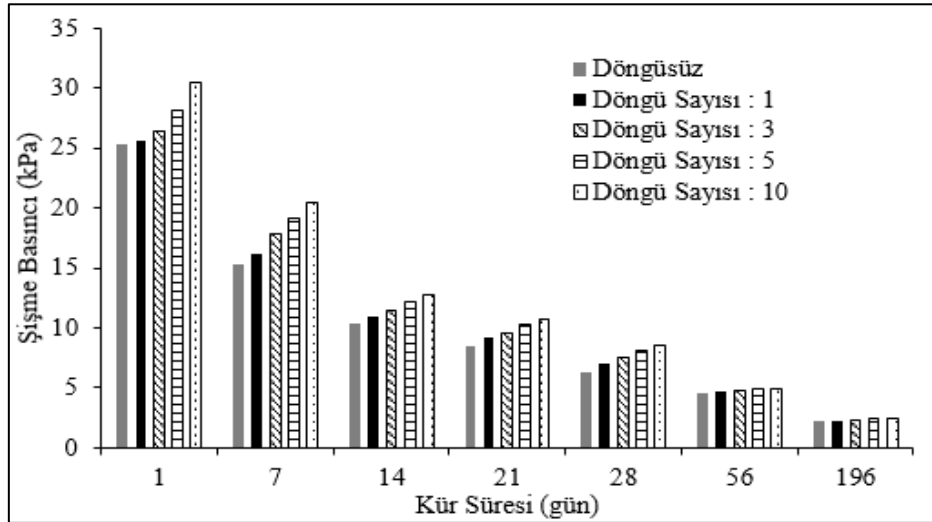


Şekil 7. Farklı donma çözülme döngüleri için iyileşme oranındaki değişimler

3.4. Kür Süresi ve Donma Çözülme Döngülerinin Şişme Basıncına Etkisi

Farklı kür süresi sonucunda elde edilen (1, 7, 14, 28, 56, 196 gün) ve farklı sayıda donma çözülme etkisine maruz bırakılan (1, 3, 5, 10 tekrar) optimum oranda GG ile karıştırılmış kil zemin numuneleri üzerinde yapılan şişme basıncı deney sonuçları Şekil 8'de görülmektedir. Sonuçlara göre, 1-3-5-10 döngü sayıları için 1, 7, 14, 21, 28, 56 ve 196 günün sonunda sırasıyla şişme basınçlarında 1,65 kattan 11,75 katta, 1,58 kattan 11,34 katta, 1,49 kattan 11,43 katta, 1,46 kattan 11,64 katta, 1,02 kattan 1,48 katta ve 1,01 kattan

12,32 katta azalmalar meydana gelmiştir. Buradan, her bir kür süresi için döngü sayısının artmasına bağlı olarak kil zeminin şişme basıncı değerlerinde artış görünse de kür süresi arttıkça şişme basıncı değerlerinde kayda değer oranlarda azalmalar meydana gelmiştir. Kür süresi arttıkça artan hidrojellerin bir ölçüde boşlukları doldurduğu ve bunun sonucunda şişme basıncını azalttığı tahmin edilmektedir. GG ilavesi ile kil zeminin şişme basıncının azaltılmasında, kürlemenin önemli bir etki yarattığı düşünülmektedir. Bununla birlikte donma çözülme etkisinde şişme basınçları bir miktar artsa da bu artış sınırlı kalmıştır.



Şekil 8. Farklı donma çözülme döngüleri için şişme basınçları değişimi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, GG ile iyileştirilen bir kil zeminin donma çözülme etkisi altında, mukavemet ve şişme davranışlarının kür süresine bağlı değişimleri serbest basınç ve şişme basıncı deneyleri ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

GG ilaveli numunelerde kür süresi arttıkça serbest basınç mukavemetlerinde 56 güne kadar önemli artışlar elde edilebilirken, numuneler donma çözülmeye tabi tutulduktan sonra serbest basınç mukavemetleri biraz düşmüştür. Ayrıca bu düşüş donma çözülme tekrar sayısının artması ile

artmıştır. Numuneler üzerinde donma çözülme tekrar sayısı arttıkça serbest basınç mukavemetinde iki katta varan düşüşler elde edilmiştir. Ancak bu düşüş kür süresi fazla olan numunelerde az olan numunelere göre nispeten az olmuştur. 196 gün kür edilen numunelerde serbest basınç mukavemetindeki düşüş 1,06 katı olarak elde edilmiştir.

Her bir kür süresi için döngü sayısının artmasına bağlı olarak kil zeminin şişme basıncı değerlerinde artış görülse de kür süresi arttıkça şişme basıncı değerlerinde kayda değer oranlarda azalmalar meydana gelmiştir. Bu durumda GG'un su ile karıştırdığı ve kür süresi ile artan

hidrojellerin boşlukları doldurmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte donma çözülme etkisinde şişme basınçları bir miktar artsa da bu artış sınırlı kalmıştır.

GG ile karıştırılan kil zeminde hem kür hem de donma çözülmeye göre serbest basınç mukavemeti ve şişme basıncı açısından çaba ve elde edilecek kazanç düşünüldüğünde optimum kür süresi yazarlar tarafından 56 gün olarak önerilmektedir.

GG ilavesinin, çalışmada araştırılan kil zeminin donma çözülme davranışı altında mukavemet ve şişme parametrelerine olumlu yönde katkısının olduğu belirlenmiştir. Bu durumda çevre dostu bir malzeme olan GG'un farklı kil zeminlerde yapılacak çalışmalar ve arazi çalışmaları ile desteklenmek sureti ile zemin iyileştirmede katkı maddesi olarak iyi bir alternatif olabileceği öngörülmektedir.

GG kullanımı zemin mühendislik özelliklerindeki iyileşmelerin sınırlı mertebelerde olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, üst yapıdan temel zeminine gelecek düşey yükün dikkatlice hesaplanarak, GG kullanımı ile zemin iyileştirilmesinin yeterliliğinin kontrol edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, GG ile yapılan zemin iyileştirmenin, karayolu temel dolguları gibi hafif yüke maruz yapı zeminlerinde uygun olduğu düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Kumar, J.K., Kumar, V.P., 2020. Soil Stabilization Using E-waste: A Retrospective Analysis. *Materials Today: Proceedings*, 223, 691–693. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.145>.
2. Marto, A., Latifi, N., Eisazadeh, A., 2014. Effect of Non-traditional Additives on Engineering and Microstructural Characteristics of Laterite Soil. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 3910, 6949–6958. <https://doi.org/10.1007/s13369-014-1286-1>.
3. Kampala, A., Horpibulsuk, S., Prongmanee, N., Chinkulkijniwat A., 2014. Influence of Wet-dry Cycles on Compressive Strength of Calcium Carbide Residue-fly Ash Stabilized Clay, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 264, 633–643. <https://doi.org/10.1061/ASCEMT.1943-5533.0000853>.
4. Arulrajah, A., Mohammadinia, A., Phummiphan, I., Horpibulsuk, S., Samingthong, W., 2016. Stabilization of Recycled Demolition Aggregates by Geopolymers Comprising Calcium Carbide, Fly Ash and Slag Precursors. *Construction and Building Materials*, 114, 864–873. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.150>.
5. Dash, S.K., Hussain, M., 2012. Lime Stabilization of Soils: Reappraisal. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 246, 707-714. <https://doi.org/10.1061/ASCEMT.1943-5533.0000431>.
6. Cristelo, N., Glendinning, S., Fernandes, L., Pinto, A.T., 2013. Effects of Alkaline-Activated Fly Ash and Portland Cement on Soft Soil Stabilization. *Acta Geotechnica*, 84, 395–405. <https://doi.org/10.1007/s11440-012-0200-9>.
7. Du, Y.J., Horpibulsuk, S., Wei, M.L., Suksiripattanapong, C., Liu, M.D., 2014. Modeling Compression Behavior of Cement-treated Zinc-contaminated Clayey Soils. *Soils and Foundations*, 545, 1018–1026. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2014.09.007>.
8. Tingle, J.S., Santoni, R.L., 2003. Stabilization of Clay Soils with Nontraditional Additives. *Journal of the Transportation Research Board*, 18191, 72–84. <https://doi.org/10.3141/1819b-10>.
9. Sarici, T., 2019. Evaluation of Usability of Pozzolan Reinforced Construction and Demolition Wastes as a Granular Fill, [Doctoral thesis]. Inonu University Graduate School of Natural and Applied Sciences, 310. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>.
10. Najah, L., Ahmed, F.B., Said, M.A.M., 2013. Influence of Polymer on Properties of Soils. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18, 1909-1915. <http://www.ejge.com/2013/Abs2013.183.htm>.
11. Junior, A.L.O., Juca, J.F.T., Ferreira, J.A., Guliharme, L.C., 2019. Geotechnical Behavior

- and Soil-fiber Interaction of Clayey Soil Mixed with Randomly Dispersed Coconut Fibers. *Soils and Rocks*, 422, 127-138. <https://doi.org/10.28927/SR.422127>.
12. Menezes, L.C.P., Sousa, D.P., Fucale, S., Ferreira S.R.M., 2019. Analysis of the Physical-mechanical Behavior of Clayey Sand Soil Improved with Coir Fiber. *Soils and Rocks*, 421, 31-42. <https://doi.org/10.28927/SR.421031>.
 13. Vik, E.A., Sverdrup, L., Kelley, A., Storhaug, R., Beitnes, A., Boge, K., Grepstad, G.K., Tveiten, V., 2000. Experiences from Environmental Risk Management of Chemical Grouting Agents Used During Construction of the Romeriksporten Tunnel. *Tunn Undergr Space Technol* 154, 369–378.
 14. Oss, H.G., Padovani, A.C., 2003. Cement Manufacture and the Environment, Part II: Environmental Challenges and Opportunities. *J Ind Ecol* 71, 93–126.
 15. Shafiqh, P., Bin Mahmud, H., Jumaat, M.Z., Zargar, M., 2014. Agricultural Wastes as Aggregate in Concrete Mixtures: a Review. *Constr Build Mater* 53, 110–117.
 16. Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C., Meida L.O., 2001. Carbon Dioxide Emissions from the Global Cement Industry. *Annual Review of Energy and the Environment*, 26, 303-329. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.26.1.303>.
 17. Afolabi, A., Francis, F.A., Adejomo, F. 2012. Assessment of Health and Environmental Challenges of Cement Factory on Ewukoro Community Residents, Ogun State Nigeria. *American Journal of Human Ecology*, 12, 51-57. <https://doi.org/10.11634/21679622150479>.
 18. Chang, I., Prasadhi, A.K., Im, J., Cho, G., 2015. Soil Strengthening Using Thermo-gelation Biopolymers. *Construction and Building Materials*, 77, 430–438. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.116>.
 19. Mascarenha, M.M.A., Neto, M.P.C., Matos T.H.C., Chagas, J.V.R., Rezende, L.R., 2018. Effects of the Addition of Dihydrate Phosphogypsum on the Characterization and Mechanical Behavior of Lateritic Clay. *Soils and Rocks*, 412, 157-170. <https://doi.org/10.28927/SR.412157>.
 20. Cole, D.M., Ringelberg, D.B., Reynolds, C.M., 2012. Small-scale Mechanical Properties of Biopolymers. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 1389, 1063–1074. <https://doi.org/10.1061/ASCEGT.1943-5606.0000680>.
 21. Ivanov, V., Chu, J., 2008. Applications of Microorganisms to Geotechnical Engineering for Biologging and Biocementation of Soil in situ. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 72, 139–153. <https://doi.org/10.1007/S11157-007-9126-3>.
 22. Mitchell, J.K., Santamarina, J.C., 2005. Biological Considerations in Geotechnical Engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 13110, 1222–1233. <https://doi.org/10.1061/ASCE1090-02412005131:101222>.
 23. Chang, I., Cho, G., 2011. Strengthening of Korean Residual Soil with b-1,3/1,6-glucan Biopolymer. *Construction and Building Materials*, 30, 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.030>.
 24. Chang, I., Im, J., Cho, G., 2016. Introduction of Microbial Biopolymers in Soil Treatment for Future Environmentally-friendly and Sustainable Geotechnical Engineering. *Sustainability*, 83, 1-23. <https://doi.org/10.3390/su8030251>.
 25. Khatami, H.R., O'Kelly B.C., 2013. Improving Mechanical Properties of Sand Using Biopolymers. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 1398, 1402–1406. <https://doi.org/10.1061/ASCEGT.1943-5606.0000861>.
 26. Ayeldeen, M.K., Negm, A.M., El Sawwaf, M.A., 2016. Evaluating the Physical Characteristics of Biopolymer/soil Mixtures. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2366-1>.
 27. Im, J., Tran, T.P.A., Chang, I., Cho G., 2017. Dynamic Properties of Gel-type Biopolymer-Treated Sands Evaluated by Resonant Column (RC) Tests. *Geomechanics and Engineering*, 12(5), 815-830. <https://doi.org/10.12989/gae.2017.12.5.815>.
 28. Lee, S., Im, J., Cho, G., Chang I., 2019. Laboratory Triaxial Test Behavior of Xanthan gum Biopolymer Treated Sands.

- Geomechanics and Engineering, 175 445-452. <https://doi.org/10.12989/gae.2019.17.5.445>.
29. Cabalar, A.F., Wiszniewski, M., Stunik, Z., 2017. Effects of Xanthan Gum Biopolymer on the Permeability, Odometer, Unconfined Compressive and Triaxial Shear Behavior of a Sand. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 546, 356–361. <https://doi.org/10.1007/s11204-017-9481-1>.
 30. Fatehi, H., Abtahi, S.M., Hashemolhosseini, H., Hejazi S.M., 2018. A Novel Study on Using Protein Based Biopolymers in Soil Strengthening. *Construction and Building Materials*, 167, 813–821. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.028>.
 31. Soldo, A., Miletic, M., Auad, M.L., 2020. Biopolymers as a Sustainable Solution for the Enhancement of Soil Mechanical Properties. *Scientific Reports*, 10, 267. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57135-x>.
 32. Sujatha, E.R., Saisree S., 2019. Geotechnical Behaviour of Guar Gum-treated Soil. *Soils and Foundations*, 596, 2155-2166. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.11.012>.
 33. Bağriacik, B., Ok, B., Kahiyah, M. T. M. A., 2021. An Experimental Study on Improvement of Cohesive Soil with Eco-friendly Guar Gum. *Soils and Rocks*, 44(2), 1-9.
 34. ASTM D6913-04. 2004. Standard Test Methods for Particle-Size Distribution Gradation of Soils Using Sieve Analysis, ASTM International, West Conshohocken, PA www.astm.org.
 35. ASTM D854-14. 2014. Standard Test Methods For Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
 36. ASTM D4318-17e1. 2017. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
 37. ASTM D2487-17e1. 2017. Standard Practice for Classification of Soils For Engineering Purposes Unified Soil Classification System, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.
 38. ASTM D698-12e2. 2012. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort 12 400 ft-lbf/ft³ 600 kN-m/m³, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
 39. ASTM E 2809. 2013. Standard Guide for Using Scanning Electron Microscopy/X-Ray Spectrometry in Forensic Paint Examinations. ASTM International, West Conshohocken, PA. <https://www.astm.org>.
 40. Whistler, R.L., Hymowitz, T., 1980. Guar: Agronomy, Production, Industrial Use, And Nutrition. Purdue University Press. <https://doi.org/10.2307/2806779>.
 41. Risica, D., Barbetta, A., Vischetti, L., Cametti, C., Dentini, M., 2010. Rheological Properties of Guar And Its Methyl, Hydroxypropyl And Hydroxypropyl-Methyl Derivatives in Semi Dilute And Concentrated Aqueous Solutions. *Polymer*, 519, 1972–1982. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2010.02.041>.
 42. Sharma, R., Kaith, B.S., Kalia, S., Pathania, D., Kumar, A., Sharma, N., Street, R.M., Schauer, C., 2015. Biodegradable and Conducting Hydrogels Based on Guar Gum Polysaccharide for Antibacterial and Dye Removal Applications. *Journal of Environmental Management*. 162, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.044>.
 43. What is in Your Food? Guar Gum. [<https://www.chroniclesinhealth.com/?s=guar+gum>].
 44. Bağriacık, B., Mahmutluoğlu B., 2021. Model Experiments on Coarse-Grained Soils Treated with Xanthan Gum Biopolymer. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(1621), 1-14., Doi: 10.1007/s12517-021-08134-8
 45. Kahiyah, M.T.M.A. 2020. Investigation of Engineering Properties of Clayey Soils Improved with Biopolymers [MSc Thesis]. Cukurova University Institute of Natural and Applied Sciences. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>.
 46. ASTM D2166 / D2166M-16. 2016. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
 47. Mahmutluoğlu, B., Bağriacık, B., 2020. Atık Lastik Parçalarıyla Güçlendirilmiş Killi Zeminlerin Donma Çözülme Davranışı.

- Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 35(3), 783-795.
48. Ghazavi M., Roustaie M., 2010. The Influence of Freeze-thaw Cycles on The Unconfined Compressive Strength of Fiber-reinforced Clay. *Cold Regions Science and Technology*, 61, 125-131.
49. Hazirbaba, K., Zhang, Y., Hulse, J.L., 2011. Evaluation of Temperature and Freeze-thaw Effects on Excess Pore Pressure Generation of Fine-grained Soils. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31, 372-384.
50. Zaimoğlu, A.Ş., Hattatoğlu, F., Akbulut, R.K., 2013. Yüke Maruz İnce Taneli Zeminlerin Donma-Çözülme Davranışı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 117-121.
51. Liu, Y., Chang, C.W., Namdar, A., She, Y., Lin, C.H., Yuan, X., Yang, Q., 2019. Stabilization of Expansive Soil Using Cementing Material From Rice Husk Ash and Calcium Carbide Residue. *Construction and Building Materials*, 221, 1-11.

Gallik Asit Katkılı Polivinil Alkol Nanoliflerinin Elektro Çekim Yöntemiyle Üretimi ve Morfolojik Karakterizasyonu

Halil İbrahim İÇOĞLU*¹ ORCID 0000-0003-0687-4721

¹Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

Geliş tarihi: 24.04.2022

Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: İÇOĞLU, H.İ., (2022). Gallik Asit Katkılı Polivinil Alkol Nanoliflerinin Elektro Çekim Yöntemiyle Üretimi ve Morfolojik Karakterizasyonu. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 601-607.

Öz

Elektro çekim tekniği ile üretilen nanoliflere farklı fonksiyonel özellikler kazandırmak amacıyla, polimer çözeltilerine farklı aktif maddelerin eklenmesi yaygın olarak yapılan bir uygulamadır. Birçok bitkide bulunan ve doğal bir fenolik asit olan gallik asit (GA) sahip olduğu avantajlardan (antiinflamatuvar, antioksidan vb.) dolayı nanolifler içerisinde katkı maddesi olarak kullanılabilir. Çalışmada, öncelikle farklı oranlarda GA içeren polivinil alkol/deiyonize su çözeltileri hazırlanmış ve çözelti özellikleri (yüzey gerilimi, iletkenlik, viskozite) tespit edilmiştir. Daha sonra bu çözeltilerden elektro çekim yöntemiyle nanolifler üretilmiştir. Üretilen nanoliflerin morfolojisi, alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca bir görüntü analiz yazılımı kullanılarak ortalama nanolif çapları ve çap dağılımları ölçülmüştür. GA oranı arttıkça çözelti viskozitesinin arttığı ve elektriksel iletkenliğinin azaldığı görülmüştür. Buna karşın, GA oranının çözeltilerin yüzey gerilimleri üzerinde net bir etkisi olmamıştır. Ayrıca GA oranının artması ortalama nanolif çapının artmasına neden olmuştur.

Anahtar kelimeler: Elektro çekim, Nanolif, Polivinil alkol, Gallik asit, Morfoloji

Production and Morphological Characterization of Gallic Acid Loaded Polyvinyl Alcohol Nanofibers via Electrospinning

Abstract

Adding of various active agents to polymer solutions is a common application in order to provide different functional properties to nanofibers produced by electrospinning method. Gallic acid, which is natural phenolic acid and found in various plants, can be used as additive for nanofibers due to its advantageous characteristics (anti-inflammatory, antioxidant etc.). In the study, polyvinyl alcohol/distilled water solutions containing gallic acid with different ratios were prepared and the solutions' characteristics (surface tension, conductivity, viscosity) were measured. Then, the nanofibers were produced from those solutions via electrospinning method. The morphology of the electrospun nanofibers were investigated by

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Halil İbrahim İÇOĞLU, icoglu@gantep.edu.tr

field emission scanning electron microscopy (SEM). Also, average fiber diameter and variations were calculated via an image analysis software. Increasing of viscosity and decreasing of conductivity of the solutions were seen when GA ratio was increased. However, there was no effect of GA ratio on surface tension of the solutions. Additionally, increasing of GA ratio caused to increase of average fiber diameter.

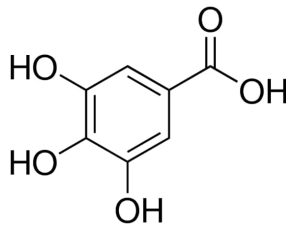
Keywords: Electrospinning, Nanofiber, Polyvinyl alcohol, Gallic acid, Morphology

1. GİRİŞ

Nanometre boyutunda çapa sahip olan nanolifler, yüksek özgül yüzey alanı, yüksek uzunluk/çap oranı gibi üstün özelliklere sahip olduklarından ilaç salınımı, doku mühendisliği, filtrasyon, kompozit malzemeler, optik sensörler gibi birçok ileri düzey kullanım alanı potansiyeline sahiptirler [1-3]. Nanolif üretim yöntemleri içerisinde; düşük maliyet, uygulama kolaylığı, tekrarlanabilirlik ve endüstriyel üretime uygunluk açısından elektro çekim yöntemi en ideal yöntem olarak öne çıkmaktadır [4,5]. Elektro çekim yönteminde temel bileşenler olarak; yüksek voltaj uygulamak için güç kaynağı, çözelti beslemek için şırınga pompası ile iğne ve nanoliflerin toplanması için toplayıcı plaka kullanılmaktadır [6].

Polivinil alkol (PVA); suda çözünürlüğü, hidrofil yapısı, biyoyoumluluğu ve doğal yapışkanlığı gibi avantajlarından dolayı nanolif üretiminde sık kullanılan bir polimerdir [7,8].

Elektro çekim çözeltilerine çeşitli biyoaktif maddeler eklenerek üretilen nanoliflere farklı fonksiyonel özellikler kazandırılmaktadır [9,10]. Antienflamatuvar, antioksidan, antitümör ve antibakteriyel özellikler gibi çeşitli biyolojik aktiviteye sahip olan gallik asit (GA) elektro çekim çözeltilerine katkı malzemesi olarak eklenmektedir. Gallik asit (Şekil 1), birçok bitkide bulunan doğal bir fenolik asittir [11,12].



Şekil 1. Gallik asit (3,4,5 trihidroksibenzoic acid)

Elektro çekim yöntemiyle GA kullanılarak elde edilen nanolifler ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. GA içerikli nanolif tabakalarının, ilaç salınımı ve aktif ambalaj malzemesi gibi potansiyel uygulama alanları üzerinde araştırmalar yapılmıştır [13-20].

GA katkılı nanolif yüzeylerin üretilmesi çalışmalarında taşıyıcı polimer olarak polilaktikasit (PLA) [13,14], polietilenoksit (PEO) [15,16], selüloz asetat (CA) [11,17] ve zein (Ze) [18,19] gibi polimerler kullanılmıştır. İlgili çalışmalarda GA kullanımının, genel olarak antioksidan aktiviteye [12], antibakteriyel aktiviteye [18], morfolojik [19,20], termal [16,20] ve mekanik [11] özelliklere etkisi üzerinde durulmuştur.

GA katkılı PVA nanoliflerine yönelik bir çalışmada, farklı GA katkı oranlarının (%2,5, %5 ve %7,5) yüzey özelliklerine, antioksidan aktiviteye ve termal dayanıma etkisi üzerinde durulmuştur. GA katkılı PVA electrospun nanoliflerin termal dayanımında artış gözlemlenmiş ve antioksidan aktivitesinin olduğu tespit edilmiştir [10].

Polimer çözeltilerine eklenen katkı maddelerinin, üretilen nanoliflerin morfolojisini önemli derecede etkilediği bilinmektedir [10,11]. İlgili literatür incelendiğinde GA katkılı PVA nanolifleri üzerine sınırlı sayıda çalışma yapıldığı görülmüştür.

Mevcut literatüre katkı sunmak adına bu çalışmada, geniş bir GA katkı oranı aralığında (%2,5, %5, %10, %20) PVA çözeltileri hazırlanmış ve çözelti özellikleri (yüzey gerilimi, iletkenlik ve viskozite) detaylı olarak analiz edilmiştir. Bu çözeltilerden elektro çekim tekniğiyle nanolifler üretilmiş ve nanoliflerin morfolojik özellikleri, çözelti özellikleriyle ilişkilendirilerek incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan polivinil alkol polimeri (PVA, Mw 80.000 - 100.000 g/mol) ve gallik asit (GA) Sigma Aldrich firmasından satın alınmıştır. Çözücü olarak deiyonize su kullanılmıştır. PVA/deiyonize su çözeltisi, ağırlıkça %10'luk konsantrasyonda bir manyetik karıştırıcı ile 80 °C'de 3 saat boyunca karıştırılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltilere polimeri ağırlığına göre dört farklı oranda (%2,5, %5, %10 ve %20) GA eklenmiş ve bir manyetik karıştırıcı ile oda sıcaklığında 4 saat boyunca karıştırılarak elektro çekim çözeltileri hazırlanmıştır. Aynı zamanda GA içermeyen PVA/deiyonize su çözeltisi de referans olarak kullanılmıştır.

2.2. Metot

Çalışmada, iki adet yüksek voltaj güç kaynağı (+50 kV ve -50 kV, Gamma High Voltage®), şırınga pompası (New Era®/NE1000) ve sabit bakır toplayıcı plakadan oluşan bir elektro çekim deney düzeneği kullanılmıştır. Deney düzeneği kapalı ve yalıtımlı bir kabin içerisindedir. Çalışma sırasında tüm fanlar devre dışı bırakılmıştır. Nanolifler, alüminyum folyo üzerine alınmıştır.

GA katkılı PVA nanoliflerinin üretiminde; uygulanan voltaj, iğne ucu-toplayıcı arası mesafe, besleme hızı ve iğne iç çapı sırasıyla, 30 kV (+24 kV, - 6kV), 15 cm, 12 µL/min ve 0,51 mm olarak sabit tutulmuştur. Bu değerler; kesiksiz ve stabil PVA nanolif üretimi gözlemlendiği için seçilmiştir [21]. Çalışma, 25 °C sıcaklık ve %40 rölatif nem ortam şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan elektro çekim çözeltilerinin viskozitesi, yüzey gerilimi ve elektriksel iletkenliği sırasıyla, Brookfield DV-III Ultra reometre cihazı, Attention Theta optik tensiyometre cihazı ve Orion 4 Star Plus iletkenlik ölçüm cihazı ile 25 °C'de tespit edilmiştir.

GA içermeyen ve 4 farklı oranda GA içeren PVA/deiyonize su çözeltileri kullanılarak toplamda

5 farklı nanolif numunesi üretilmiştir. Üretilen PVA nanoliflerinin morfolojisi, alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu altında (FE-SEM, ZEISS-Gemini SEM 300) iki farklı büyütme oranı (6kX ve 15kX) uygulanarak incelenmiştir. Nanolif numunelerine, SEM analizi öncesi altın/palladyum kaplaması yapılmıştır. Nanolif çaplarının ölçülmesinde ImageJ programı kullanılmış ve her nanolif numunesine ait görüntülerden 50 ölçüm alınarak ortalama nanolif çapı ve standart sapmaları hesaplanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Hazırlanan GA katkılı elektro çekim çözeltilerine ait yüzey gerilimi, iletkenlik ve viskozite değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'e göre, GA oranının, çözeltilerin yüzey gerilimleri üzerinde artış ya da azalış şeklinde net bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Benzer şekilde, PLA çözeltisine %40'luk GA eklenmesinin yüzey gerilimine etki etmediği literatürde gözlemlenmiştir [14]. Literatürde ayrıca gallik asitin suyun yüzey gerilimine etki etmediği yönünde çalışmalar da mevcuttur [22]. GA oranı PVA ağırlığına göre alındığı için, toplam çözelti hacmine göre oldukça düşük kalmıştır ve buna paralel çözeltilerdeki su miktarı da düşük oranda değişmiştir. Bu nedenlerden dolayı çözeltilerin yüzey gerilimlerinde artma ya da azalma yönünde değişim olmadığı söylenebilir.

Çizelge 1. GA katkılı elektro çekim çözelti özellikleri

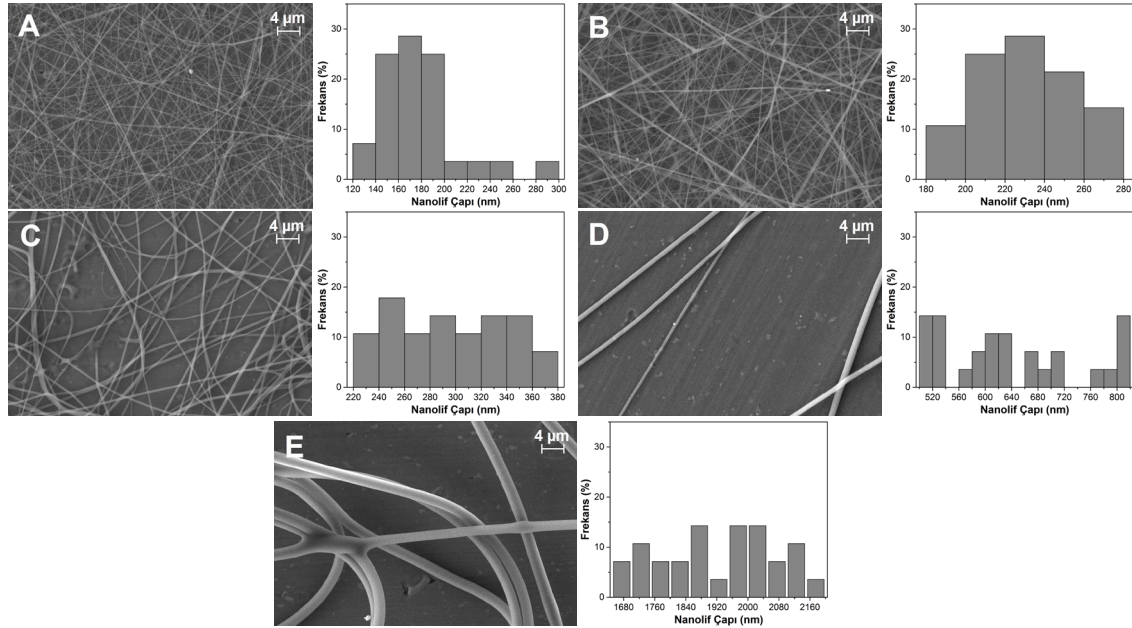
| GA oranı (%) | Yüzey gerilimi (mN/m) | İletkenlik (µS/cm) | Viskozite (cP) |
|--------------|-----------------------|--------------------|----------------|
| 0 | 40,2 | 728 | 483 |
| 2,5 | 39,3 | 654 | 495 |
| 5 | 41,2 | 641 | 563 |
| 10 | 41,1 | 625 | 862 |
| 20 | 39,2 | 613 | 3280 |

GA oranı arttıkça PVA çözeltilerinin viskoziteleri artmaktadır. CA [11,23] ve Ze [24] polimerinde de benzer etki görülmüştür. Viskozitenin, moleküller arası van der Waals bağları ile ilgili olduğu bilinmektedir. Gallik asitin fonksiyonel hidroksil

gruplarının çözeltilerdeki mevcut van der Waals bağlarını güçlendirdiği ve bu nedenle viskoziteyi arttırdığı söylenebilir.

GA oranı arttıkça çözeltilerin iletkenlikleri azalmaktadır. Bu durum CA [11,23] ve Ze [24]

polimerleri için de benzer şekilde görülmüştür. GA oranının artmasıyla, PVA çözeltilerinin viskozitesi artmakta ve dolayısıyla iyonların hareketi daha zor olmaktadır. İletkenliğin azalmasının, bu durumdan kaynaklandığı söylenebilir.

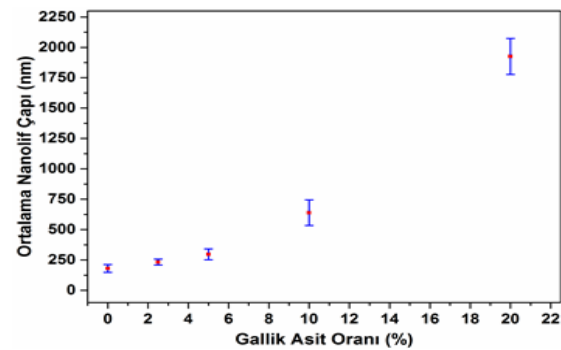


Şekil 1. Farklı GA oranlarında üretilen PVA nanoliflerinin SEM görüntüleri ve çap histogramları: a) %0, b) %2,5, c) %5, d) %10, e) %20

Farklı GA katkı oranlarında üretilen PVA nanoliflerine ait SEM görüntüleri ve çap histogramları Şekil 1'de verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde ham PVA ve GA katkılı çözeltilerden %2,5, %5 ve %10 oranları için nanoliflerin üretildiği ve bu liflerin genel olarak dairesel formda ve boncuksuz (bead formation) oldukları tespit edilmiştir. GA oranının PVA çözeltisinin saf haldeki yüzey gerilimini olumsuz yönde etkilememesi, tüm GA oranları için boncuksuz nanolif üretiminin gerçekleşmesini sağlamıştır.

%20'lik GA oranı için üretilen lifler mikro boyutta çapa sahiptirler. Bu durum, %20'lik GA katkılı PVA çözeltisinin viskozitesinin, diğer çözeltilere göre çok yüksek olmasıyla açıklanabilir. GA oranı arttıkça PVA liflerinin üretimlerinin azaldığı SEM görüntülerinden açıkça görülmektedir. Elektro

çekim üretiminin, artan GA oranlarına bağlı viskozite yükselmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 2'de Farklı GA oranlarında üretilen PVA nanoliflerinin ortalama çaplarındaki değişim, grafik olarak verilmiştir.



Şekil 2. GA oranına göre ortalama nanolif çapı değişimi

Ham PVA nanoliflerinin ortalama çapı 180 nm olarak ölçülmüştür. Elektro çekim çözeltilerine GA eklenmesi ve oranının artırılması ortalama nanolif çapını arttırmaktadır. PEO [16] ve CA [11] polimerleri için de benzer sonuçlar görülmüştür. Bu durum azalan iletkenlik ve artan viskozite ile açıklanabilir. Viskozite artışı; viskoelastik kuvvetleri artırarak polimer jetine uygulanan net kuvvetin azalmasına ve dolayısıyla jetin daha düşük düzeyde germeye ve uzamaya maruz kalmasına neden olur. Aynı şekilde iletkenliğin azalması da polimer jetine yüklenen elektrostatik kuvvetin ve buna paralel net kuvvetin azalmasına neden olur. Her iki etkinin üretilen nanoliflerin kalınlaşmasına neden olduğu söylenebilir.

Şekil 2'den de görüleceği üzere ortalama nanolif çapındaki artış oranları, %10 ve %20'lik GA katkılı numunelerde daha yüksek çıkmıştır. GA katkısı %2,5 ve %5 için ortalama nanolif çapları sırasıyla 232 nm ve 297 nm olarak ölçülürken; %10 ve %20 için çaplar, 639 nm ve 1925 nm olarak tespit edilmiştir. Çizelge 1'de verilen iletkenlik değerlerinde azalma oranı tüm GA oranları için birbirine yakinken, viskozite değerlerinde artma oranı ise 10% ve 20%'lik GA oranlarında yüksek çıkmıştır. Özellikle 10% ve 20%'lik GA oranlarında nanolif çaplarında görülen yüksek artış miktarı, çözelti viskozitesinde görülen bu yüksek artış oranlarıyla açıklanabilir. Çünkü viskozitedeki değişimin, nanoliflerin çap değişiminde birinci dereceden etkili olduğu bilinmektedir [25].

4. SONUÇ

Çalışma kapsamında, farklı oranlarda GA katkılı PVA/deiyonize su elektro çekim çözeltileri hazırlanmış ve çözeltilerin viskozite, iletkenlik ve yüzey gerilimi değişimi kontrol edilmiştir. Hazırlanan çözeltilerden elektro çekim tekniğiyle nanolifler üretilmiş ve üretilen nanoliflerin morfolojik özellikleri, çözelti özellikleriyle ilişkilendirilerek incelenmiştir. GA oranı arttıkça PVA çözeltilerinin viskoziteleri artmakta ve elektriksel iletkenlikleri azalmaktadır. Bununla beraber, GA oranının, çözeltilerin yüzey gerilimleri üzerinde net bir etkisinin olmadığı

görülmüştür. En yüksek GA katkı oranı hariç tüm numunelerden nanoliflerin üretildiği ve bu liflerin genel olarak dairesel formda ve boncuksuz (bead formation) oldukları tespit edilmiştir. %20'lik GA oranı için üretilen lifler ise mikro boyutta çapa sahip çıkmıştır. Elektro çekim çözeltilerine GA eklenmesi ve oranının artırılması ortalama nanolif çapının armasına neden olmuştur.

5. KAYNAKLAR

1. Meng, C., Xiao, Y., Wang, P., Zhang, L., Liu, Y., Tong, L., 2011. Quantum-Dot-Doped Polymer Nanofibers for Optical Sensing. *Advanced Materials*, 23(33), 3770-3774.
2. Huang, Z.M., Zhang, Y.Z., Kotaki, M., Ramakrishna, S., 2003. A Review on Polymer Nanofibers by Electrospinning and Their Applications in Nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 63(15), 2223-2253.
3. Rutledge, G.C., Fridrikh, S.V., 2007. Formation of Fibers by Electrospinning. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 59(14), 1384-1391.
4. Doshi, J., Reneker, D.H., 1995. Electrospinning Process and Applications of Electrospun Fibers. *Journal of Electrostatics*, 35(2-3), 151-160.
5. Baumgarten, P.K., 1934. Electrostatic Spinning of Acrylic Microfibers. *Journal of Colloid and Interface Science*, 36(1), 71-79.
6. Formhals, A., 1934. Process and Apparatus for Preparing Artificial Threads. US Patent No. 1975504.
7. Zeng, J., Hou, H., Wendorff, J.H., Greiner, A., 2005. Photo-Induced Solid-State Crosslinking of Electrospun Poly (vinyl alcohol) Fibers. *Macromolecular Rapid Communications*, 26(19), 1557-1562.
8. Hong, Y., Shang, T., Li, Y., Wang, L., Wang, C., Chen, X., Jing, X., 2006. Synthesis Using Electrospinning and Stabilization of Single Layer Macroporous Films and Fibrous Networks of Poly (Vinyl Alcohol). *Journal of Membrane Science*, 276(1-2), 1-7.
9. Kepekçi, R.A., İçoğlu, H.İ., Kireççi, A., 2017. Assessment of Antioxidant Activity and Phycocyanin Release of Spirulina Loaded Poly

- (ϵ -caprolactone) Electrospun Nanofibers. *The Journal of the Textile Institute*, 108(10), 1840-1846.
10. Chuysinuan, P., Thanyacharoen, T., Techasakul, S., Ummartyotin, S., 2018. Electrospun Characteristics of Gallic Acid-Loaded Polyvinyl Alcohol Fibers: Release Characteristics and Antioxidant Properties. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 3(2), 175-180.
 11. Wutticharoenmongkol, P., Hannirojram, P., Nuthong, P., 2019. Gallic Acid-Loaded Electrospun Cellulose Acetate Nanofibers as Potential Wound Dressing Materials. *Polymers for Advanced Technologies*, 30(4), 1135-1147.
 12. Hu, H., Nie, L., Feng, S., Suo, J., 2013. Preparation, Characterization and in Vitro Release Study of Gallic Acid Loaded Silica Nanoparticles for Controlled Release. *Die Pharmazie-An International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 68(6), 401-405.
 13. Aytac, Z., Kusku, S.I., Durgun, E., Uyar, T. 2016. Encapsulation of Gallic Acid/Cyclodextrin Inclusion Complex in Electrospun Polylactic Acid Nanofibers: Release Behavior and Antioxidant Activity of Gallic Acid. *Materials Science and Engineering: C*, 63, 231-239.
 14. Quiles-Carrillo, L., Montanes, N., Lagaron, J. M., Balart, R., Torres-Giner, S., 2019. Bioactive Multilayer Polylactide Films with Controlled Release Capacity of Gallic Acid Accomplished by Incorporating Electrospun Nanostructured Coatings and Interlayers. *Applied Sciences*, 9(3), 533.
 15. Acevedo, F., Hermosilla, J., Sanhueza, C., Mora-Lagos, B., Fuentes, I., Rubilar, M., Concheiro, A., Alvarez-Lorenzo, C., 2018. Gallic Acid Loaded PEO-Core/Zein-Shell Nanofibers for Chemopreventive Action on Gallbladder Cancer Cells. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 119, 49-61.
 16. Aydogdu, A., Sumnu, G., Sahin, S., 2019. Fabrication of Gallic Acid Loaded Hydroxypropyl Methylcellulose Nanofibers by Electrospinning Technique as Active Packaging Material. *Carbohydrate Polymers*, 208, 241-250.
 17. Song, Y., Huang, H., He, D., Yang, M., Wang, H., Zhang, H., Li, J., Li, Y., Wang, C., 2021. Gallic Acid/2-hydroxypropyl- β -cyclodextrin Inclusion Complexes Electrospun Nanofibrous Webs: Fast Dissolution, Improved Aqueous Solubility and Antioxidant Property of Gallic Acid. *Chemical Research in Chinese Universities*, 37(3), 450-455.
 18. Neo, Y.P., Swift, S., Ray, S., Gizdavic-Nikolaidis, M., Jin, J., Perera, C.O., 2013. Evaluation of Gallic Acid Loaded Zein Sub-Micron Electrospun Fibre Mats as Novel Active Packaging Materials. *Food chemistry*, 141(3), 3192-3200.
 19. Neo, Y.P., Perera, C.O., Nieuwoudt, M.K., Zujovic, Z., Jin, J., Ray, S., Gizdavic-Nikolaidis, M., 2014. Influence of Heat Curing on Structure and Physicochemical Properties of Phenolic Acid Loaded Proteinaceous Electrospun Fibers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(22), 5163-5172.
 20. Aydogdu, A., Yildiz, E., Aydogdu, Y., Sumnu, G., Sahin, S., Ayhan, Z., 2019. Enhancing Oxidative Stability of Walnuts by Using Gallic Acid Loaded Lentil Flour Based Electrospun Nanofibers as Active Packaging Material. *Food Hydrocolloids*, 95, 245-255.
 21. İçoğlu, H.İ., Ceylan, Ş., Yıldırım, B., Topalbekiroğlu, M., Kılıç, A., 2021. Production of Aligned Electrospun Polyvinyl Alcohol Nanofibers via Parallel Electrode Method. *The Journal of The Textile Institute*, 112(6), 936-945.
 22. Alonso, C., Lucas, R., Barba, C., Marti, M., Rubio, L., Comelles, F., Morales, J.C., Luisa, Coderch L., Parra, J.L., 2015. Skin Delivery of Antioxidant Surfactants Based on Gallic Acid and Hydroxytyrosol. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 67(7), 900-908.
 23. Phachamud, T., Phiriyawirut, M., 2011. In Vitro Cytotoxicity and Degradability Tests of Gallic Acid-Loaded Cellulose Acetate Electrospun Fiber. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2, 85-98.
 24. Neo, Y.P., Ray, S., Jin, J., Gizdavic-Nikolaidis, M., Nieuwoudt, M.K., Liu, D., Quek, S.Y., 2013. Encapsulation of Food

- Grade Antioxidant in Natural Biopolymer by Electrospinning Technique: A Physicochemical Study Based On Zein-Gallic Acid System. *Food Chemistry*, 136(2), 1013-1021.
25. Kirecci, A., Özkoç, Ü., İçoğlu, H.İ., 2012. Determination of Optimal Production Parameters for Polyacrylonitrile Nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 124(6), 4961-4968.

Süprem Örme Kumaşlarda Geri Dönüşüm Pamuk Elyaf Oranının Performans Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi

Füsün DOBA KADEM^{*1}, ORCID 0000-0002-7764-5910
Raziye SEVGİ², ORCID 0000-0003-4070-7679

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana
²Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana

Geliş tarihi: 03.01.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: DOBA KADEM, F., SEVGİ, R., (2022). Süprem Örme Kumaşlarda Geri Dönüşüm Pamuk Elyaf Oranının Performans Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 609-616.

Öz

Tekstil sektöründe atıkların minimize edilmesi ve geri dönüşümü son yıllarda üzerinde önemle durulan bir konudur. Tüketici öncesi ve tüketici sonrası atıkların geri dönüşüm işlemi özellikle tekstil sektöründe yaygın olarak tercih edilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, geri dönüşüm pamuk karışımı süprem örme kumaşların sıklık, gramaj, kalınlık gibi özellikleri ile hava geçirgenliği, kumaş sertliği ve patlama mukavemeti standartlara göre tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlara göre geri dönüşüm oranının bu özelliklere etkisi değerlendirilmiştir. Geri dönüşüm pamuk katkılı örme kumaşlarda geri dönüşüm oranı arttıkça patlama mukavemetinin azaldığı, hava geçirgenliğinin arttığı ve kumaş sertliğinin azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geri dönüşüm pamuk, Hava geçirgenliği, Kumaş sertliği, Patlama mukavemeti

Determining the Effect on Performance Characteristics of Recycled Cotton Fiber Ratio in Single Jersey Knitted Fabrics

Abstract

Minimization and recycling of wastes in the textile industry is an issue that has been emphasized in recent years. Recycling of pre-consumer and post-consumer wastes has started to be widely preferred, especially in the textile sector. In this study, properties such as density, weight, thickness, air permeability, fabric stiffness and bursting strength of recycled cotton blended single jersey knitted fabrics were determined according to standards and the effectiveness of the recycling rate was evaluated according to the results obtained. It has been determined that as the recycling rate increases, the bursting strength decreases, the air permeability increases and the fabric hardness decreases in recycled cotton-added knitted fabrics.

Keywords: Recycle cotton, Air permeability, Fabric stiffness, Bursting strength

*Corresponding author (Sorumlu yazar): Füsün DOBA KADEM, efsun72@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Sürdürülebilirlik, çevre değerlerinin ve doğal kaynakların akılcı yöntemlerle kullanılması ilkesiyle ekonomik gelişmenin sağlanmasını amaçlayan çevreci dünya görüşü olarak tanımlanmaktadır. Tekstil ve hazır giyim sektörü özellikle son yıllarda çevresel zararlar, atıkların minimize edilmesi, yeniden kullanım (re-use, up-cycle, down-cycle) ve geri dönüşüm (re-cyle) çalışmaları üzerine oldukça hızlı bir ivmelenme sergilemeye başlamıştır. Tekstil ve hazır giyim sektöründe sürdürülebilirlik kapsamında üzerinde önemle durulan elyaf türü olarak pamuk ilk sıralarda yer almaktadır.

Pamuk, dünyadaki en yaygın kar getiren gıda dışı mahsulüdür. Üretimi dünya çapında 250 milyondan fazla kişiye gelir sağlamakta olup gelişmekte olan ülkelerdeki işçiliğin ortalama %7'si pamuk üretiminde kullanılmaktadır [1]. Su, yaz aylarında çoğunlukla tercih edilen bir tişörtün ve her mevsim giyilebilen pamuklu bir gömleğin etiketinde yer almayan önemli bir bileşendir.

Tek bir pamuklu t-shirt için 2700 litre su harcanmaktadır. İnsanların ve doğanın ihtiyaçlarını karşılamak için mevcut tatlı su miktarı sınırlıdır, ancak talepler yıldan yıla artmaktadır. Suyu nasıl kullandığımız konusunda daha akılcı davranmak gerekmektedir Dünya Yaban Hayatı Fonu, 1 kilogram pamuk üretmek için 20000 litre su gerektiğini, mevcut üretim yöntemlerinin sürdürülemez olduğunu, atılan giysilerden geri dönüşümle elde edilen pamuk kullanılarak tüketici sonrası geri dönüştürülmüş ürün ile saf pamuk ihtiyacının azaltılıp milyarlarca galon su tasarrufu sağlanabildiğini belirtmiştir [1].

Geri dönüşüm, atık malzemeleri yeni malzeme ve nesnelere dönüştürme işlemidir. Bir malzemenin geri dönüştürülebilirliği, orijinal durumunda sahip olduğu özellikleri yeniden kazanma yeteneğine bağlıdır. Geri dönüşüm, modern atık azaltma sürecinde başlıca bileşenlerden olup, “azalt (reduce)-tekrar kullan (reuse) -geri dönüştür (recyle)” atık hiyerarşisindeki üçüncü bileşen olup günümüzde bu alanda önemli yol kat edilmiş hatta ileri dönüşüm (up-cycling) yapılarak süreç

boyunca herhangi bir kalite kaybının yaşanmadığı üretimler de gerçekleştirilmiştir [2].

Tekstil sektörü Dünya üzerinde çok büyük bir ekonomik değere sahip olmakla birlikte çevresel etkisi fazla olan sektörlerin de başında gelmektedir. Tekstil üretim proseslerinde ürün ağırlığının %10-%100 arasında değişen oranlarda kimyasal tüketimi olmakta ve bu kimyasalların %40-%60'ı atık su akışı ile uzaklaştırılmaktadır. Bu duruma ek olarak, her yıl milyonlarca ton tekstil materyali atılmaktadır. Tekstil üretim süreçlerinde uzun süreli fayda sağlama, yeniden kullanım ve sonrasında geri dönüşüm dikkate alınarak ürün tasarımı yapılması, sektörü bu konuda daha duyarlı davranmaya sürüklemektedir. Tekstil sektöründe geri dönüşüme giden atıklar genel olarak, imalat atıkları ve tüketiciden gelen atıklar olarak sınıflandırılabilir. Tekstil sektöründe söz konusu atıkların minimize edilmesi ve geri dönüşümü üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada, iplik üretim aşamalarında atık durumunda olan (tarak telefi, penye telefi gibi telefler, pre-consumer olarak ifade edilen üretim atıkları) materyalin mekanik yöntemle geri dönüştürülerek harmanda orijinal pamuk elyafı ile farklı oranlarda karıştırılması ile geri dönüşüm katkılı elyaf elde edilmiştir. Buradan elde edilen geri dönüşüm katkılı örme iplikleri ile süprem örme kumaşlar üretilmiş, söz konusu kumaşlar seçilmiş performans özellikleri ile kıyaslanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Gün ve arkadaşları, geri dönüşüm liflerden üretilen çorapların boyutsal ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Lif tipinin hava geçirgenliği üzerindeki etkisi oldukça önemli bulunurken patlama mukavemeti üzerinde geri dönüşümlü kumaşlar ve orijinal kumaşlar arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Geri dönüşüm kumaşların hava geçirgenliği daha düşük ve boncuklanma eğilimi daha yüksek bulunmuştur. Aşınma dayanımında ise kütle kaybı yoluyla yapılan değerlendirmede geri dönüşümden olanlarda daha düşük kütle kaybı tespit edilirken haslık değerlerinde daha iyi renk haslığı elde edilmiştir. Her ne kadar geri dönüşüm liflerden elde edilen ipliklerin kalite özellikleri orijinal (virgin)

ipliklerden farklı olsa da genel olarak, geri dönüşümlü kumaşların çok fazla kalite kaybına uğramadan rahatlıkla kullanılabilceği ortaya konmuştur [3].

Doba Kadem, denim sektöründe pamuk atıklarının geri dönüşümü üzerine yaptığı deneysel çalışmada atkısı ve çözgüsü geri dönüşüm pamukla (iplik üretim aşamasında elde edilen telefler, halat boya telefleri gibi pre-consumer elyaf atığı) harmanda karıştırılarak üretilmiş denim kumaş ile geri dönüşüm olmayan denim kumaşın mukavemet özelliklerini karşılaştırmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuç, geri dönüşüm pamuk elyafın harmanda kullanılarak elde edildiği pamuklu denim kumaşlarda %15 kumaş mukavemeti kaybının, performans özelliği olarak denim kumaşlarda kullanım performansına fazla olumsuz bir etkisi olmayacağı düşünülmüştür [4].

Wanassi ve arkadaşlarının çalışmasında, atık iplik geri dönüşüm işleminden sonra elde edilen lifler kullanılarak başka liflerle bu liflerin karıştırılması ile karışım iplikler elde edilmiştir. Mali, Yunan ve Brezilya pamuğu, iyi uzunluk özellikleriyle bilindiği için geri dönüştürülmüş elyafı karıştırılmak üzere seçilmiştir. Karışım oranları %100'e kadar farklı oranlarda olmak üzere bir deney planı şeklinde hazırlanmıştır. Elyaf testleri yapılarak liflere ait özellikler tespit edilmiş, eğrilebilirlik indeksi hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde Mali pamuğu ile yapılan karışımın uygulamada kullanılmak için en uygun elyaf özelliklerine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca bu karışımların daha düşük maliyetle elde edilebileceği tespit edilmiştir. İplikte artan geri dönüştürülmüş lif oranı ile karışım ipliğinin ince yer, kalın yer, neps ve pürüzlülüğünün arttığı sonucuna varılmıştır [5].

Doba Kadem ve Özdemir, denim üzerine yaptıkları çalışma ile tüketici kullanımı sonrası geri dönüştürülmüş elyaflar kullanılarak üretilen denim kumaş ile aynı konstrüksiyondaki orijinal denim kumaşın bazı konfor özellikleri tespit edilerek birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Kumaşların üretiminde aynı harmandan pamuk iplikleri kullanılmıştır. Kullanıcı sonrası geri dönüşüm (post-consumer) prosesinden elde edilen elyaf,

çözgü ipliği harmanına %20 oranında karıştırılmış olup %79 pamuk elyafı referans denim ile aynı harman olarak seçilmiştir. İki kumaş ta aynı terbiye işlemlerinden geçirilmiştir. Denim kumaşların hava geçirgenliği, eğilme dayanımı ve yıkamadan sonraki boyut değişimi standartlara göre tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlara göre söz konusu geri dönüşüm işleminin denim üretiminde etkin bir şekilde kullanılabilceği tespit edilmiştir [6].

Kertmen ve arkadaşları, çeşitli karışımlarda pamuk ve atık pamuk (pre-consumer) kullanılarak örülen süprem kumaşların seçilmiş özelliklerini değerlendirerek geri dönüşümün performans özelliklerine etkisini yorumlamıştır. Bu çalışmada %100 orijinal pamuk, %95 orijinal+ %5 geri dönüşüm pamuk ve %90 orijinal pamuk+ %10 geri dönüşüm pamuk harmanları kullanılarak Ne 20/1 open-end iplikler üretilmiştir. Üretilen iplikler kullanılarak elde edilen kumaşlara patlama mukavemeti, boncuklanma, ısıl direnç ve su buharı geçirgenliği gibi bazı konfor özellikleri belirlenmiştir. %100 orijinal pamuktan örülmüş kumaşın patlama mukavemetinin geri dönüştürülmüş elyaf katkılı örme kumaşa göre daha yüksek patlama mukavemetine sahip olduğu tespit edilmiştir. Yapılan testler sonucunda iplik yapısının termal konfor üzerinde fazla bir etkisi olmadığı görülmüştür. %10 geri dönüşüm pamuklu iplikten örülmüş kumaşlar daha düşük su buharı geçirgenliği sağlamıştır [7].

Jamshaid ve arkadaşları çalışmalarında, eğirme firelerini değerlendirmek ve katma değerli bir ürüne dönüştürmek için, farklı iplik teleflerinden ve paçavralardan geri kazanılan farklı elyaf karışımlarını kullanarak bir çalışma yapmıştır. Çalışmada %100 geri dönüşüm materyallerden open end ipliklerin üretilmesi hedeflenmiştir. Maliyet hesaplaması yapıldığında geri dönüşüm liflerden elde edilen iplik maliyetinin referans ipliklere göre daha ucuz olduğu görülmüştür. HVI testleri sonucunda, iplik telefi ve paçavra telefi karşılaştırıldığında iplik telefinin daha iyi lif uzunluğuna ve homojenliğe sahip olduğu gözlenmiştir. Harmanlanmış iplik telefinden üretilen ipliklerin, paçavra atık karışım ipliği göre daha az iplik düzgünsüzlüğüne ve daha iyi

çekme mukavemetine sahip olduğu tespit edilmiştir [8].

3. MATERYAL VE METOT

Çalışmada geri dönüşüm pamuk elyafının orijinal pamuk elyafı ile harmanda karıştırılarak elde edildiği Ne 20/1 open-end ipliklerle süprem örme kumaşlar üretilmiştir. Geri dönüşüm prosesinden elde edilen elyaf, orijinal (virgin) pamuk harmanına %10 (%90 orijinal pamuk), %15 (%85 orijinal pamuk) ve %20 (%80 orijinal pamuk) oranında karıştırılarak üç farklı iplik ve bu ipliklerden üç farklı örme kumaş elde edilmiştir. Geri dönüşümlü örme kumaşların iplik numaraları Ne 20/1 ve iplik büküm değeri 680 t/m'dir.

Çalışmada kullanılan geri dönüşüm karışımı ipliklerin özellikleri Çizelge 1.'de, söz konusu ipliklerden elde edilen kumaşların üretiminin yapıldığı makinenin teknik özellikleri ise Çizelge 2.'de verilmiştir. Çizelgelerde A,B ve C kodlu numunelerin açıklaması aşağıda verilmiştir.

A: %20 geri dönüşüm pamuk elyaf katkılı
B: %15 geri dönüşüm pamuk elyaf katkılı
C: %10 geri dönüşüm pamuk elyaf katkılı
Ref: Orijinal (%100 pamuk hammadden)

Çizelge 1. Süprem kumaşların iplik özellikleri

| İplik test sonuçları | Numune kodu | | | |
|---------------------------|-------------|-------|-------|-------|
| | Ref. | A | B | C |
| Rkm (km) | 10,74 | 10,04 | 10,57 | 10,65 |
| U % | 10,45 | 11,12 | 10,88 | 10,49 |
| CVm | 13,17 | 14,01 | 13,7 | 13,21 |
| Kopma uzaması (%) | 3,56 | 3,43 | 3,79 | 3,59 |
| İnce yer (-50) (sayı/km) | 3,2 | 8 | 6 | 3,5 |
| Kalın yer (+50) (sayı/km) | 12,5 | 29 | 31,5 | 12 |
| Neps (+280) (sayı/km) | 0,46 | 8 | 6 | 0,5 |
| Tüylülük (H) | 4,75 | 5,15 | 5,31 | 5 |

Çizelge 1'de +280 şeklinde gösterilmekte olan neps değeri, ortalama iplik kalınlığının %280'i kadar kalın yer hatası olan değer olup, diğer karışım oranlarına göre %20 geri dönüşümde daha yüksek tespit edilmiştir. Çizelge 1. değerlendirilecek olursa, iplik üretim aşamasında ortaya çıkan pamuk atıklarından (pre-consumer) elde edilen geri dönüşüm elyafın pamuk harmanında kullanım oranının artması ile iplik

düzensüzlüğü ve bazı iplik hatalarının (ince yer, neps) arttığı ancak buna rağmen iplik mukavemetinin (Rkm) değerinin bu durumdan olumsuz etkilenmediği söylenebilir.

Süprem kumaşların bazı fiziksel özellikleri (ilmek sıklığı, gramaj ve kumaş kalınlığı) ve performans özellikleri (kumaş sertliği ve hava geçirgenliği), %65 bağıl nem ve 20 °C sıcaklıkta kumaşlar kondüsyonlandıktan sonra standartlara göre ölçülmüştür.

Geri dönüşüm örme kumaşların performans özelliği olarak hava geçirgenliği TS 391 EN ISO 9237 [9] standardına göre, kumaş sertliği (stiffness) ise ASTM D4032-94 [10] standardına göre tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Örme makinesi teknik özellikleri

| | |
|------------------|----------------|
| Makine modeli | Pilotelli 2007 |
| Pus/Fein | 32/22 inch |
| Sistem Sayısı | 96 |
| İlmeğin uzunluğu | 29 cm/100 iğne |

4. BULGULAR

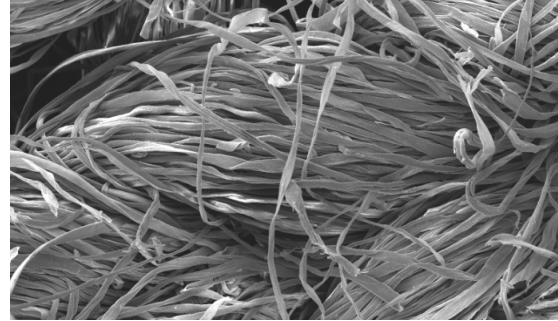
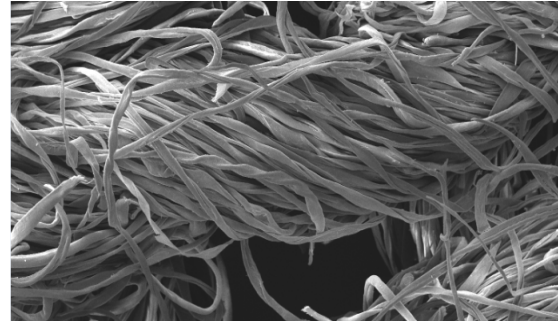
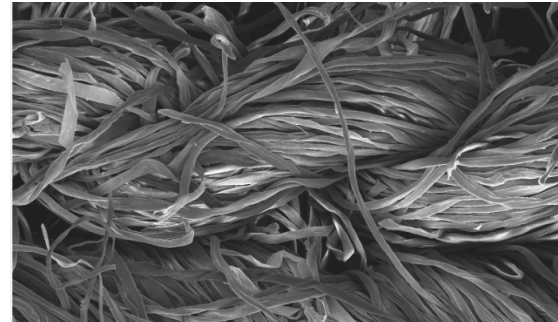
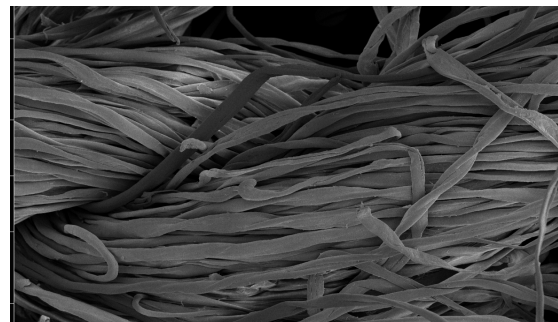
Süprem örme kumaşların fiziksel özellikleri olarak gramaj, ilmek ve çubuk sıklığı, kalınlık değerleri sırasıyla Çizelge 3-6.'da karşılaştırılmıştır. Örme kumaşlara ait may dönüşmesi değerleri de Çizelge 7'de verilmiştir. Çizelgelerden görüldüğü gibi, %10, %15 ve %20 geri dönüşüm oranlarının değişimi, kumaşların söz konusu fiziksel özelliklerinde dikkate değer bir farklılık ortaya koymamıştır. Birbirine yakın değerlerin tespit edilmesi, geri dönüşüm elyaf kullanımının bu tür kumaşlarda kullanılabilirliğini artıracak yönde yaklaşım olabileceğine işaret etmektedir.

Çizelge 3. Örme kumaşların gramaj değerleri

| Ölçüm no | Gramaj (g/m ²) | | | |
|----------------|----------------------------|-------|-------|-------|
| | Ref. | A | B | C |
| 1 | 163,5 | 162,3 | 163,5 | 170,4 |
| 2 | 162,3 | 159,1 | 160,0 | 158,4 |
| 3 | 159,7 | 158,3 | 159,5 | 167,2 |
| Ortalama | 161,8 | 159,9 | 161,0 | 165,3 |
| Standart sapma | 1,943 | 2,117 | 2,179 | 6,214 |

Çizelge 4. Örne kumaşların çubuk sıklığı değerleri

| Ölçüm no | Çubuk sıklığı (adet/cm) | | | |
|----------------|-------------------------|-------|----|-------|
| | Ref. | A | B | C |
| 1 | 12 | 11 | 11 | 12 |
| 2 | 12 | 11 | 11 | 11 |
| 3 | 12 | 10 | 11 | 11 |
| 4 | 12 | 11 | 11 | 11 |
| 5 | 12 | 11 | 11 | 12 |
| Ortalama | 12 | 10,8 | 11 | 11,4 |
| Standart sapma | 0 | 0,447 | 0 | 0,548 |

**Şekil 1.** A Numunesi SEM görüntüsü**Şekil 2.** B Numunesi SEM görüntüsü**Şekil 3.** C Numunesi SEM görüntüsü**Şekil 4.** Orijinal kumaş SEM görüntüsü**Çizelge 5.** Örne kumaşların ilmek sıklığı değerleri

| Ölçüm no | İlmeğin Sıklığı (sıra sıklığı/cm) | | | |
|----------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| | Ref. | A | B | C |
| 1 | 17 | 17 | 17 | 16 |
| 2 | 17 | 16 | 16 | 17 |
| 3 | 17 | 16 | 17 | 16 |
| 4 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| 5 | 17 | 16 | 17 | 16 |
| Ortalama | 17 | 16,4 | 16,8 | 16,4 |
| Standart sapma | 0 | 0,548 | 0,447 | 0,548 |

Çizelge 6. Örne kumaşların kalınlık değerleri

| Ölçüm no | Kumaş kalınlığı (mm) | | | |
|----------------|----------------------|-------|-------|-------|
| | Ref. | A | B | C |
| 1 | 0,58 | 0,55 | 0,57 | 0,57 |
| 2 | 0,58 | 0,57 | 0,55 | 0,56 |
| 3 | 0,58 | 0,57 | 0,57 | 0,56 |
| 4 | 0,56 | 0,56 | 0,57 | 0,58 |
| 5 | 0,56 | 0,56 | 0,57 | 0,56 |
| 6 | 0,56 | 0,57 | 0,56 | 0,58 |
| 7 | 0,58 | 0,56 | 0,57 | 0,58 |
| 8 | 0,58 | 0,57 | 0,57 | 0,58 |
| 9 | 0,57 | 0,56 | 0,57 | 0,58 |
| 10 | 0,57 | 0,57 | 0,55 | 0,57 |
| Ortalama | 0,572 | 0,564 | 0,565 | 0,572 |
| Standart sapma | 0,009 | 0,007 | 0,008 | 0,009 |

Numunelerin SEM- Taramalı elektron mikroskobu yardımıyla 400 büyütme oranı kullanarak alınan görüntüleri Şekil 1,2,3 ve 4'te gösterilmektedir.

SEM görüntülerinde üç kumaşta da ipliklerde benzer bir görüntü olmakla birlikte (hammadde olarak üçü de pamuk lifi olduğundan) geri dönüşüm karışımı olan kumaşlardan alınan görüntüde iplik yapısının orijinal kumaştaki gibi düzgün bir yapıda olmadığı görülmektedir.

Kumaşlara ait may dönmesi Çizelge 7.'de, patlama mukavemeti test sonuçları Çizelge 8'de verilmiştir. İlmek satır ve ilmek sütunu arasındaki açının 90 dereceden sapma değeri olarak tespit edilen may dönmesi kumaşta istenmeyen bir durumdur ve örme kumaşlarda kabul edilebilir değer maksimum 5'tir [12]. Çizelge 7'de may dönmesi 1,2 ile 1,6 aralığında değişmektedir. Örme kumaşların geri dönüşüm oranlarındaki farklılık dışında, may dönmesinde etkili olan örgü yapısı (süprem örgü), iplik bükümü (kumaşların bükümü 680 t/m), ilmek sıklığı ve çubuk sıklığı gibi özelliklerin benzer olması nedeniyle may dönmesi sonuçları da birbirine yakın bulunmuştur. Bu değerlerin yüksek çıkması için genellikle dengeli örgü yapılarında örme (örneğin 1x1 ribana) tercih edilmektedir.

Çizelge 7. Numunelerin may dönmesi

| Ölçüm no | May dönmesi (derece) | | | |
|----------------|----------------------|-------|-------|-------|
| | Ref. | A | B | C |
| 1 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| ortalama | 1,4 | 1,2 | 1,6 | 1,6 |
| Standart sapma | 0,548 | 1,095 | 0,548 | 0,894 |

Çizelge 8'de örme kumaşların patlama mukavemeti sonuçlarının birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Kumaş örgü yapısı, kumaşı oluşturan ipliklerin mukavemeti gibi önemli faktörler patlama mukavemetini etkilemektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, %100 pamuk örme kumaşta 215 Pa patlama mukavemeti tespit edilmişken harmana %20 geri dönüşüm pamuk katılması ile elde edilen örme kumaşın patlama mukavemeti 197,8 ile en düşük değerde bulunmuştur. Ancak, iplik mukavemeti ve kumaş yapısının çok benzer olması, sonuçlar arasında kabul edilebilir bir durumu ortaya koymuştur.

Çizelge 8. Numunelerin patlama mukavemeti değerleri

| Ölçüm no | Patlama mukavemeti (Pa) | | | |
|----------------|-------------------------|--------|-------|--------|
| | Ref. | A | B | C |
| 1 | 225 | 184 | 197 | 211 |
| 2 | 219 | 208 | 206 | 205 |
| 3 | 197 | 200 | 199 | 214 |
| 4 | 211 | 201 | 206 | 187 |
| 5 | 223 | 196 | 203 | 211 |
| Ortalama | 215 | 197,80 | 202,2 | 205,6 |
| Standart sapma | 11,402 | 8,843 | 4,087 | 10,900 |

Kumaşlara ait hava geçirgenliği test sonuçları Çizelge 9'da, kumaş sertliği ise Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 9. Kumaşların hava geçirgenliği değerleri

| Ölçüm no | Hava Geçirgenliği (mm/sn) | | | |
|--------------------|---------------------------|--------|--------|-------|
| | Ref. | A | B | C |
| 1 | 8 | 12 | 12 | 11 |
| 2 | 10 | 12 | 11 | 12 |
| 3 | 8 | 12 | 12 | 11 |
| 4 | 10 | 12 | 11 | 11 |
| 5 | 9 | 12 | 12 | 12 |
| 6 | 8 | 12 | 12 | 12 |
| 7 | 8 | 12 | 11 | 12 |
| 8 | 10 | 12 | 12 | 12 |
| 9 | 10 | 11 | 11 | 13 |
| 10 | 9 | 12 | 11 | 12 |
| Ortalama süre (sn) | 9 | 11,9 | 11,5 | 11,8 |
| Standart sapma | 0,943 | 0,316 | 0,527 | 0,632 |
| Hava geçirgenliği | 751,5 | 993,65 | 960,25 | 985,3 |

Çizelge 10. Kumaşların sertlik (stiffness) değerleri

| Ölçüm no | Kumaş Sertliği (gf) | | | |
|----------------|---------------------|--------|--------|--------|
| | Ref. | A | B | C |
| 1 | 113 | 94 | 119 | 106 |
| 2 | 117 | 71 | 75 | 90 |
| 3 | 121 | 43 | 76 | 121 |
| 4 | 110 | 79 | 85 | 79 |
| 5 | 115 | 94 | 79 | 114 |
| 6 | 127 | 95 | 74 | 85 |
| 7 | 125 | 40 | 52 | 100 |
| 8 | 117 | 87 | 82 | 70 |
| 9 | 105 | 105 | 93 | 73 |
| 10 | 100 | 64 | 133 | 121 |
| Ortalama | 115 | 77,2 | 86,8 | 95,9 |
| Standart sapma | 8,446 | 22,409 | 23,399 | 19,267 |

Örme kumaşlarda hava geçirgenliğinin geri dönüşüm pamuk katılı kumaşlarda daha yüksek

olduğu Çizelge 9'dan görülmektedir. Lif tipinin hava geçirgenliği üzerindeki etkisinin önemli olduğu gerçeğinden hareketle, çalışmada test edilen kumaşların pamuk ve geri dönüşüm pamuk katkılı olmaları nedeniyle, lif türü aynı olduğundan geri dönüşüm pamuk katkısının hava geçirgenliğine etkisi bakımından kumaşların aralarında olumsuz bir fark gözlenmemiştir. Ancak geri dönüşüm kumaşlarda orijinal kumaşa göre daha gözenekli bir yapı olduğu ve bu durumun hava geçirgenliğini bir miktar artırıcı etki yaptığı düşünülmektedir.

Kumaş sertliği (stiffness) olarak test sonuçları değerlendirildiğinde, geri dönüşüm pamuk katkılı üç kumaş birlikte değerlendirildiğinde, %10 geri dönüşüm pamuk katkılı örme kumaşın tutumu diğerlerinden daha sert olarak tespit edilmiştir. Geri dönüşüm oranı arttıkça kumaşın tutumunun daha yumuşak olduğu görülmüştür. %10 geri dönüşümlü örme kumaşın gerek sıklığının diğerlerinden daha yüksek olması gerekse daha kalın olması gramajı daha yüksek olan bu kumaşın sertlik değerinin daha yüksek çıkmasına neden olmuştur. Bu da, beklenen bir durumdur.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, iplik üretim aşamalarında atık durumunda olan (tarak telefı, penye telefı gibi telefler) materyalin mekanik yöntemle geri dönüştürülerek harmanda orijinal pamuk elyafı ile farklı oranlarda karıştırılması ile geri dönüşüm pamuk katkılı elyaf edilmiştir. Geri dönüşüm prosesinden elde edilen elyaf, orijinal (virgin) pamuk harmanına %10 (%90 orijinal pamuk), %15 (%85 orijinal pamuk) ve %20 (%80 orijinal pamuk) oranında karıştırılarak üç farklı iplik ve bu ipliklerden üç farklı örme kumaş elde edilmiştir. Söz konusu kumaşların performans özellikleri standart şartlarda test edilerek orijinal pamuklu örme kumaş ile kıyaslanmıştır. Buna göre; geri dönüşüm oranının artması ile patlama mukavemeti düşmüş, hava geçirgenliği artmış, kumaş daha sert bir tutum almıştır. Her ne kadar geri dönüşüm oranı arttıkça özellikle iplik düzgünlüğü artmış olsa da genel olarak test edilen tüm özellikler için

%10, %15 ve %20 geri dönüşüm oranlı süprem örme kumaşların hava geçirgenliği, patlama mukavemeti ve kumaş sertliği olarak birbirine yakın değerler tespit edilmiştir. Orijinal pamuklu kumaş ile diğer kumaşlar kıyaslandığında, iplik düzgünlüğü ve bazı iplik hatalarının (ince yer, neps) arttığı ancak iplik mukavemetinin bu durumdan olumsuz etkilenmediği görülmüştür. Bugüne kadar yapılmış benzer çalışmalarda da geri dönüşüm elyaf kullanımının kumaş kalitesinde performans özellikleri açısından kabul edilebilir seviyede olduğu, iplikte artan geri dönüştürülmüş lif oranının karışımli ipliğin iplik düzgünlüğü ve ince yer, kalın yer, neps miktarını artırdığı sonucuna varılmıştır [4,5]. Ancak, geri dönüşüm elyaf maliyetinin, orijinal elyaf üretiminden daha az maliyete imkan verebilmesi, geri dönüşüm pamuktan elyaf kullanım oranının artırılarak ürün çeşitliliğinin artırılması ile ham madde kaynak kullanımına önemli katkı sağlanabileceğini ortaya koyulabilmektedir. Böylece ürün performansı çok fazla kayba uğramadan kaynakların verimli kullanımı sağlanabilecektir.

Dünyada kaynakların kullanımında yaşanan bilinçsiz davranışlar, özellikle tekstil ve konfeksiyon sektörü gibi ekonomik alanları önemli oranda etkilemektedir. Amaç, üst düzey geri dönüşüm sağlayarak ürüne değer katmak ise, sıfırdan pamuk üretilip kıyafet yapmak yerine tüketim öncesi/tüketim sonrası atık kaynaklardan elde edilen pamuk ile hem doğal kaynaklar duyarısızca kullanılmamış olur hem de enerji ve su tasarrufu sağlanarak doğaya verilen zarar önemli ölçüde azaltılır. Özellikle pamuk gibi tekstil liflerinin geri dönüşümü, bu kadar kıymetli olan bir malzemenin kullanım alanı dikkate alındığında, %100 geri dönüşüm elyaftan ürün eldesi gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

6. TEŞEKKÜR

Yazarlar olarak, çalışmaya verdiği destekten dolayı İSKUR TEKSTİL A.Ş.'ye (Kahramanmaraş) ve testlerin yürütülmesinde sağlanan laboratuvar desteği için Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümüne teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. <https://www.wordwild.org/industries/cotton>, Erişim tarihi: 06/04/2020.
2. <https://wikipedia.org>, Erişim tarihi: 06/04/2020
3. Gün, A. D., Aktürk, H. N., Macit, A. S, Alan, G.,2014. Dimensional And Physical Properties Of Socks Made From Reclaimed Fibre. J. Text. Inst., 105(10), 1108- 1117.
4. Doba Kadem, F., 2016. Sürdürülebilir Bir Yaklaşım: Denim Sektöründe Pamuk Atıklarının Geri Dönüşümü Üzerine Bir Çalışma, 12. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi (UKMK 2016), 23-26 Ağustos, İzmir.
5. Wanassi, B., Mohamed, B.H., Azouz, B., 2018. Industrial Cotton Waste: Recycling, Reclaimed Fiber Behavior and Quality Prediction of its Blend. Teks. ve Konfeksiyon, 28(1), 14-20.
6. Doba Kadem, F., Özdemir, Ş., 2020. Tüketici Sonrası Geri Dönüştürülen Denim Kumaşların Seçilmiş Konfor Özellikleri Üzerine Bir Çalışma. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35(2), 379-388.
7. Kertmen, M., Doba Kadem, F., Karagöl, H., 2021. A Study on Classified Quality Characteristics of Post-consumer Recycled Cotton Knitted Fabrics, XVth International Izmir Textile & Apparel Symposium (IITAS 2021), 216-223, October 26 – 27, 2021, İzmir.
8. Jamshaid, H., Hussain, U., Mishra, R., Tichy, M., Muller, M., 2021. Turning Textile Waste into Valuable Yarn, Cleaner Engineering and Technology, (5), 100341, ISSN 2666-7908, <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.10034>
9. TS 391 EN ISO 9237, 1999. Tekstil-Kumaşlarda Hava Geçirgenliğinin Tayini.
10. ASTM D 4032-94 1994. Stiffness of Fabric By the Circular Bend Procedure ASTM International, West Conshohocken, PA.
11. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Laboratuvar Föyleri 2020.
12. Doba Kadem, F., Sabır, E.C., Zervent Ünal, B., Gökgönül, B., 2022. Soya, Pamuk, Yün ve Yün/pamuk Karışımı İpliklerden İç Giyim Amaçlı Üretilen Örme Kumaşların Performans ve Konfor Özelliklerinin Karşılaştırılması, 7.

Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi, (151-157), 16-18 Nisan 2022, İstanbul.

Bipolar Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması

Mashar Cenk GENÇAL *¹ ORCID 0000-0002-1317-3950

¹Ardahan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
Ardahan

Geliş tarihi: 13.05.2022

Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: GENÇAL, M.C., (2022). Bipolar Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 617-625.

Öz

Evrimsel Algoritmalar (EA'lar), ağ tasarımı problemleri, yol bulma problemleri, sosyal ve ekonomik planlama gibi karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için yaygın olarak kullanılan algoritmalar. Kullandıkları akıllı yöntemler sayesinde EA'lar, yeni çözümler üretmek için ilk çözümü, yinelemeli olarak, iyileştirirler. Sıklıkla kullanılan EA'lardan biri Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritmasıdır. PSO algoritması, sürünün sunduğu en iyi sonuç ile sürüdeki her bir bireyin en iyi sonuçlarını temel alarak, verilen bir fonksiyonun optimum değerine ulaşır. PSO başarılı bir algoritma olmasına rağmen, sadece en iyiyi temel alan yapısı sebebiyle, belli bir düzene sahip olmayan, aldatıcı fonksiyon türlerinde, lokal değere sıkışıp optimum değere ulaşmayabilmektedir. Bu makalede, daha önce yapmış olduğumuz bir çalışmadan ilham alarak, PSO'ya bipolar davranış eklenerek, yeni bir algoritma olan Bipolar Parçacık Sürü Optimizasyonu (BPSO) sunulmuştur. BPSO algoritmasında, PSO'da olduğu gibi sadece en iyi bireylerin değil, kötü bireylerin de algoritmanın işleyişine katılmasına olanak sağlanmıştır. BPSO algoritmasının performansını, standart PSO algoritmasının performansıyla kıyaslamak için on test fonksiyonu kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, BPSO, standart PSO'ya göre daha başarılı sonuçlar sunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bipolar eşleşme eğilimi, Evrimsel algoritmalar, Parçacık sürü optimizasyonu

Bipolar Particle Swarm Optimization Algorithm

Abstract

Evolutionary Algorithms (EAs) are commonly used algorithms to solve complex optimization problems such as network design problems, pathfinding problems, social and economic planning. Thanks to the intelligent methods they use, EAs iteratively refine the initial solution to generate new solutions. One of the frequently used EAs is the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm. PSO algorithm reaches the optimum value of a given function based on the best results offered by the swarm and the best results of each individual in the swarm. Although PSO is a successful algorithm, due to its structure based only on the best, it may not reach the optimum value by being stuck in the local value in deceptive function types that do not have a certain order. In this paper, by inspiring from a previous study, bipolar behavior was

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mashar Cenk GENÇAL, masharcenkgençal@ardahan.edu.tr

added to PSO and a new algorithm, Bipolar Particle Swarm Optimization (BPSO), is presented. In the BPSO algorithm, as in PSO, not only the best individuals but also the bad individuals are allowed to participate in the process of the algorithm. Ten test functions were used to compare the performance of the BPSO algorithm with the standard PSO algorithm. According to the test results, BPSO offered more successful results than the standard PSO.

Keywords: Bipolar mating tendency, Evolutionary algorithms, Particle swarm optimization

1. GİRİŞ

Evrimsel algoritmalar (EA'lar), biyolojik evrimden ilham alan ve genellikle doğadaki canlıların davranışlarını taklit eden meta-sezgisel algoritmalarıdır. Doğayı taklit ederek modellenen EA'ların, optimizasyon problemlerinde sunduğu başarılı sonuçlar yeni düşünceleri doğurmuş ve böylelikle EA'lar, literatürde sıklıkla kullanılan algoritmalar olmaya başlamışlardır.

Rassallığı temel olan arama süreçleri, çözümlerden (bireyler) oluşan bir gruba (popülasyon) optimum değere(lere) ulaşmak için kullanılır. Bir EA, temel olarak, başlangıç popülasyonu adı verilen potansiyel çözümleri rastgele oluşturarak sürecine başlar. Başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra, algoritma uygunluk fonksiyonunu kullanarak, popülasyondaki her bir bireyin uygunluk değerini belirler. Daha sonra, biyolojik evrimden ilham alan süreçleri başlar: seçim, çaprazlama ve mutasyon.

Bir sonraki neslin popülasyonu, oluşan yeni bireyler ile mevcut popülasyondaki bireylerden seçkin olanları seçilerek (Elitizm) oluşturulur. Algoritma, oluşan yeni nesli kullanarak seçim aşamasına döner ve sonlandırma kriterleri (ya optimum çözümler bulunur ya da maksimum nesil sayısına ulaşılır) karşılanana kadar adımları tekrarlar.

Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) gibi birçok EA, optimal değere yakın bir çözüm bulduklarında arama alanını araştırmayı bırakma eğilimindedir. Keşfetmekten (*exploration*) vazgeçmelerinin nedeni, keşfedilen alanı kullanmanın optimal çözümü geliştirdiğine dair yaygın bir inançtır. Ancak, iyi bir çözüm tercih edildiğinde, ortalama veya zayıf çözümler (çoğunlukla) yeniden üretim sürecinden çıkarılır. Bu nedenle, daha az elverişli

bireylerde bulunan belirli miktardaki genetik materyal kaybedilmiş olur. Bu durum popülasyonun genetik çeşitliliğinin kaybolmasına ve algoritmanın yerel minimumlara takılıp kalmasına ya da erken yakınsamasına neden olabilmektedir.

PSO algoritması her ne kadar optimizasyon algoritmalarında başarılı sonuçlar sunsa da, belli bir düzene sahip olmayan ya da aldatıcı bir yapıya sahip olan fonksiyon türlerinde, beklenen ideal sonucu sunmayabilmektedir.

Bu makalenin amacı, standart bir PSO'nun karşılaşılabileceği yukarıda bahsedilen durumlar için, algoritmanın performansını iyileştirmektir. Bu sebeple, daha önce yapmış olduğumuz bir çalışmadan esinlenerek, standart PSO'ya bipolar davranış eklenmiş ve yeni bir algoritma olan Bipolar Parçacık Sürü Optimizasyonu (BPSO) tanıtılmıştır. BPSO algoritmasında sadece en iyi bireylerin değil, kötü bireylerin de eşleşmeye katılması sağlanmış ve böylece popülasyondaki genetik çeşitliliği artırmak ve algoritmanın keşfetme yeteneğini geliştirmek amaçlanmıştır.

Önerilen iyileştirmelerin performansa katkısını belirlemek için, BPSO, standart PSO ile test fonksiyonları üzerinde karşılaştırılmıştır.

Bu makale şu şekilde düzenlenmiştir: İkinci bölümde, literatürde yaygın olarak kullanılan ve PSO'yu temel alan algoritmalar ile ilgili bilgiler sunulmuş ve üçüncü bölümde ise, sunulan yöntemle ilham kaynağı olan algoritmalar ilgili bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, bipolar PSO algoritması sunulurken, beşinci bölümde kullanılan test fonksiyonları ile ilgili bilgiler verilmiş, yapılan testler ve test sonuçları gösterilmiştir, makale 6. Bölüm ile sonlandırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

PSO'yu temel alan algoritmalar ilk örneklerden biri Evrimsel PSO (Evolutionary Particle Swarm Optimization) dur [1]. Evrimsel PSO algoritması, PSO algoritmasına mutasyon ve seçim yöntemi ekleyerek oluşturulmuştur. Popülasyondaki her bir bireye, bir ağırlık değeri verilmiş ve Gauss dağılımı kullanılarak bu değerler mutasyona uğratılmıştır [1]. Seçim yöntemi olarak ise standart turnuva yöntemi kullanılmıştır [2].

PSO'nun çıkışından sonraki ilk yıllarda yapılan bir diğer çalışma ise Uygunluk-Mesafe-Oran PSO (Fitness-Distance-Ratio Particle Swarm Optimization) algoritmasıdır [3]. Bu algortmada, her bir parçacık kendisinin ve sürünün en iyi değerini kaydetmekle birlikte, aynı zamanda çevresindeki parçacıklarla da irtibat halindedir. Parçacıklar, belirli bir alanda bulunan [3] komşularının uygunluk değerine de bakarak hareket etmektedirler. Bu çalışmanın sunulduğu sempozyumda, PSO'yu temel alan, dikkate değer bir diğer çalışma ise Gauss Mutasyonu ile PSO'dur (Particle Swarm Optimization with Gaussian Mutation) [4]. Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan bir diğer EA olan Genetik Algoritmaların (Genetic Algorithms, GAs) [5] mutasyon aşaması, PSO'ya eklenmiştir. Standart bir GA'dan farklı olarak, mutasyon için rastgele seçilen bireylerin konumları, Gauss dağılımı altındaki olasılıkla belirlenmiştir [4]. Esmine ve arkadaşları [6] da, GAs'nin mutasyon aşamasını PSO'ya eklemiş, ancak Gauss dağılımı kullanmak yerine, rassallığa dayalı bir formülle [6] mutasyonu gerçekleştirmişlerdir.

Juang, 2004 yılında, PSO ve GAs'yi birlikte kullanan hibrit bir yöntemi tanıtmıştır [7]. Algoritma, başlangıçta, bir GA olarak çalıştırılmış ve bir sonraki nesil için seçkin bireyler seçilmiştir (Elitism). Seçkin bireyler, PSO algoritması kullanılarak daha iyi bireylere geliştirilmiş ve yeni nesil geliştirilen bu bireyler kullanılarak oluşturulmuştur.

Bir diğer çalışmada, Zhan ve arkadaşları, standart PSO'dan daha iyi bir arama sundukları, Uyarlanabilir PSO (Adaptive Particle Swarm

Optimization, APSO) algoritmasını tanıtmışlardır [8]. Standart PSO'yu temel alan algoritma, iki temel adımdan oluşmaktadır: tahmin prosedürü, seçkin yaklaşım. Tahmin prosedüründe, ilk olarak, popülasyon dağılımı ve parçacık uygunluğu değerlendirilir. Her nesilde keşif (*exploration*), sömürü (*exploitation*), yakınsama (*convergence*) ve atlama (*jumping out*) dahil olmak üzere dört tanımlanmış evrimsel durumdan biri gerçekleştirilerek, algoritmanın kontrolü sağlanmaya çalışılır. Seçkin yaklaşımda ise, olası yerel optimumdan kurtulmak için, global en iyi parçacık üzerinde atlamalar gerçekleştirilir.

Pedersen ve arkadaşları, Yerel Tek Modlu Örnekleme (Local Unimodal Sampling) yöntemini, bir meta-iyileştirici olarak, PSO algoritmasında kullanmışlar ve bu yeni yöntemle basitleştirilmiş PSO adını vermişlerdir [9]. Her bir problem türü için, o probleme ait en uygun PSO parametrelerini belirlemiş ve yeni yöntemlerini yapay sinir ağı problemlerinde uygulamışlardır.

Son yıllarda yapılan bir çalışmada, standart PSO algoritmasındaki parçacık (*particle*) değerlerinin, çözüm değerlerinden ziyade, olasılık dağılımlarını temsil ettiği ve PSO güncellemesinin olasılık dağılımlarını değiştirdiği, Tamsayı ve Kategorik PSO (Integer and Categorical PSO, ICPSO) algoritması tanıtmıştır [10]. Bu algortmada, sürekli (continuous) değişkenler yerine, soyut (discrete) değişkenler kullanılmıştır.

Wang ve arkadaşları, 2018 yılında, uyarlanabilir öğrenme stratejisini (adaptive learning strategy) PSO'ya ekleyerek hibrit bir algoritma oluşturmuşlardır [11]. Uyarlanabilir Öğrenme tabanlı PSO (Adaptive Learning based PSO, ALPSO) adını verdikleri bu yeni yaklaşımla, sürü yapısı öğreniminin ve parçacıkların yerel arama stratejisi öğreniminin iyileştirilmesine odaklanmışlar, keşif ve sömürü arasındaki dengeyi sağlayabildikleri için standart PSO'dan daha başarılı sonuçlar elde ettiklerini iddia etmişlerdir.

2020 yılına gelindiğinde, Darwish ve arkadaşları, ortogonal öğrenme PSO (orthogonal learning particle swarm optimization, OLPSO) algoritmasını sunmuşlardır [12]. Bu yayında,

sağlıklı ve sağlıksız yaprak görüntülerini sınıflandırarak, görev bitki hastalığı teşhisi için, VGG16 ve VGG19 adlarında, önceden eğitilmiş iki evrişimli sinir ağının (Convolutional Neural Networks, CNN) bir topluluk modelini geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu modelin parametrelerini optimize etmek için ise, sundukları yöntem olan, OLPSO'yu kullanmışlardır.

3. ESİNLENİLEN ALGORİTMALAR

3.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu

Algoritma 1. Parçacık Sürü Optimizasyonu

N: Sürüdeki parçacık sayısı
X_j: *j*. parçacık konum vektörü
f(): Uygunluk fonksiyonu
gBest: Global en iyi konum vektörü
pBest_j: *j*. parçacığın şimdiye kadar ki bulunduğu en iyi konum vektörü
MaxIter: maksimum iterasyon sayısı
count=0;
Sürü içerisindeki her bir parçacığa rastgele konum belirle;
pBest_j ve *gBest* konumlarını belirle;
while *count* ≤ *MaxIter*
 for *j* = 1 : *N* (her bir parçacık için)
 v_j parçacık hız vektörünü hesapla;
 x_j parçacık yeni konum vektörünü hesapla;
 if $f(x_j) \leq f(pBest_j)$ *pBest_j* = *x_j*;
 end
 for *j* = 1 : *N*
 if $f(x_j) \leq f(gBest)$ *gBest* = *x_j*;
 end
 gBest değerini bulunan en iyi değer olarak döndür;
 count++;
end

Eberhart ve Kennedy tarafından sunulan Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO) algoritması, ilk olarak, kuş ve balık sürülerinin sosyal davranışlarını taklit etmesi için tasarlanmıştır [13]. Ancak, yapılan incelemeler sonucunda, PSO'nun aslında optimizasyon yaptığı anlaşılmıştır. Optimizasyon problemlerinde başarılı sonuçlar sunan algoritma,

araştırmacıların dikkatini çekmiş ve yeni birçok algoritmaya ilham vermiştir.

Başlangıçta PSO, rasgele çözümlerle ilk popülasyonu (sürü, *swarm*) oluşturur. Sürüde yer alan her parçacığın (*particle*) bir de hız değeri (*velocity*) bulunmaktadır. Böylelikle, parçacık bu hız değeri sayesinde arama uzayında dolaşabilmektedir.

Sürüde yer alan her bir parçacığın hareketini etkileyen diğer unsurlar ise parçacığın ulaşabildiği en iyi konum (*pBest*) ve sürünün bulabildiği en iyi konumdur (*gBest*). Parçacık, bu konum değerlerinden daha iyi bir konum keşfederse, keşfedilen konumun durumuna göre, *pbest*, *gbest* değerlerinden biri veya her ikisi de güncellenip, istenilen kritere ya da kriterlere ulaşana kadar arama işlemi devam ettirilir (Algoritma 1).

3.2. Bipolar Eşleşme Eğilimi

Bipolar Eşleşme Eğilimi (Bipolar Mating Tendency, BMT), standart bir GA'da kullanılan Standart Turnuva (ST) [2] seçim yöntemine dayanmaktadır [14].

Algoritma 2. Bipolar Eşleşme Eğilimi

İlk eş ST yöntemiyle belirle;
İkinci eş olmaya aday bireyleri rastgele seç ve uygunluk değerlerini hesapla;
Adaylardan uygunluk değeri en iyi ve en kötü olanları belirle;
if (rastgele değer ≤ iki kutupluluk olasılığı)
 İkinci eş uygunluk değeri en iyi olan birey olarak seç;
 Eşleri çaprazla;
else
 İkinci eş uygunluk değeri en kötü olan birey olarak seç;
 Eşleri çaprazla;
end

BMT, popülasyonda bulunan eş olmaya aday bireyleri iki gruba rastgele ayırır. İlk seçilen eş, ST de olduğu gibi, grup üyeleri arasından seçilen en uygun ya da diğer adıyla en iyi bireydir.

İlk eş seçiminin aksine, ikinci eşin seçimi için kullanılacak olan uygunluk kriteri belirsizdir. Birinci eşin *bipolar* (iki kutuplu) olan psikolojik durumuna göre birinci eş, grup üyelerinden en iyi bireyi ya da en kötü bireyi ikinci eş olarak seçebilmektedir (Algoritma 2).

4. ÖNERİLEN YÖNTEM

BMT yönteminin GA'da uygulanması, popülasyondaki çeşitliliği artırmış ve standart GA'ya göre daha iyi sonuçlar sunmasını sağlamıştır [14]. Elde edilen bu başarı, *bipolar* davranışın başka EA'larda da gözlenmesi gerektiği düşüncesini oluşturmuş ve böylelikle Bipolar Parçacık Sürü Optimizasyonu (BPSO) algoritmasının fikri doğmuştur.

BPSO algoritması tamamen PSO algoritmasına dayanmaktadır. PSO algoritmasından tek farkı hız vektörüdür (*velocity vector*).

Standart bir PSO'da, j 'ninci birey için hız vektörü Eşitlik 1'deki gibi hesaplanmaktadır [15]:

$$\vec{v}_j(t+1) = w \cdot \vec{v}_j(t) + c_1 \vec{r}_1 (\overrightarrow{pBest}_i - \vec{x}_j(t)) + c_2 \vec{r}_2 (\overrightarrow{gBest} - \vec{x}_j(t)) \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte (Eşitlik 1), c_1 ve c_2 değerleri ivme katsayıları, w ise eylemsizlik ağırlığı olarak adlandırılmaktadır. Eşitlik 1'de verilen \vec{r}_1 ve \vec{r}_2 vektörleri, $[0,1]$ aralığından rastgele seçilen reel değerlerin oluşturduğu vektörleri temsil etmektedir. Son olarak, $\vec{x}_j(t)$ vektörü ise, j 'ninci bireyin t anındaki konumunu göstermektedir.

BPSO algoritmasıyla, PSO'ya *bipolar* davranış eklenmiş, böylelikle popülasyondaki bireyin psikolojik durumuna bağlı olarak hız vektörü belirlenmiştir. Bireyin psikolojik durumu, $(0,1)$ aralığında rastgele belirlenen reel değerler ile [14]'de kullanılan iki kutupluluk olasılık değerine $(0,25)$ bağlıdır. Her birey için rastgele seçilen bu değerler, $0,75$ 'den küçükse Eşitlik 1'de verilen hız vektörü, değilse Eşitlik 2'de verilen hız vektörü kullanılır:

Algoritma 3. Bipolar PSO

N : Sürüdeki parçacık sayısı
 X_j : j . parçacık konum vektörü
 $f()$: Uygunluk fonksiyonu
 $gBest$: Global en iyi konum vektörü
 $gWorst$: Global en kötü konum vektörü
 $pBest_j$: j . parçacığın şimdiye kadar ki bulunduğu en iyi konum vektörü
 $pWorst_j$: j . parçacığın şimdiye kadar ki bulunduğu en kötü konum vektörü
 $MaxIter$: maksimum iterasyon sayısı
 $count=0$;
Sürü içerisindeki her bir parçacığa rastgele konum belirle;
 $pBest_i$, $gBest$, $pWorst_j$ ve $gWorst$ konumlarını belirle;
while $count \leq MaxIter$
 for $j = 1 : N$ (her bir parçacık için)
 if (rastgele değer \leq iki kutupluluk olasılığı)
 v_j hız vektörünü Eşitlik 1 ile hesapla;
 else
 v_j hız vektörünü Eşitlik 2 ile hesapla;
 end
 x_j parçacık yeni konum vektörünü hesapla;
 if $f(x_j) \leq f(pBest_j)$ $pBest_j = x_j$;
 if $f(x_j) > f(pWorst_j)$ $pWorst_j = x_j$;
 end
 for $j = 1 : N$
 if $f(x_j) \leq f(gBest)$ $gBest = x_j$;
 if $f(x_j) > f(gWorst)$ $gWorst = x_j$;
 end
 $gBest$ değerini bulunan en iyi değer olarak döndür;
 $count++$;
end

$$\vec{v}_j(t+1) = w \cdot \vec{v}_j(t) + c_1 \vec{r}_1 (\overrightarrow{pWorst}_j - \vec{x}_j(t)) + c_2 \vec{r}_2 (\overrightarrow{gWorst} - \vec{x}_j(t)) \quad (2)$$

Böylece, birey ya Eşitlik 1'i seçerek standart PSO'daki gibi davranmış ya da Eşitlik 2'deki gibi en iyiler yerine en kötülerini temel alan hız vektörüyle hareket etmiştir, bkz. Algoritma 3.

Eşitlik 1 ve Eşitlik 2'de verilen hız vektörlerinden birini kullanarak parçacık hızını hesaplayan algoritma, standart PSO'daki konum güncelleme

formülü (Eşitlik 3'te verilen) ile parçacığın yeni konumunu belirler.

$$\vec{x}_j(t+1) = \vec{v}_j(t+1) + \vec{x}_j(t) \quad (3)$$

5. TESTLER

BPSO algoritması, standart PSO algoritmasına dayandığından, BPSO algoritmasının performansı sadece standart PSO algoritmasının performansı ile kıyaslanmıştır. BMT algoritması bir seçim yöntemi olup, BPSO'ya fikri anlamda katkıda bulunduğu için, BMT yöntemi yapılan testlerde kıyaslama için kullanılmamıştır.

5.1. Test Fonksiyonları

BPSO algoritmasının performansını test etmek için, literatürde yaygın olarak kullanılan test fonksiyonlarından [16], Çizelge 1'de belirtilen on çok modlu fonksiyon kullanılmıştır.

Çizelge 1. Kullanılan test fonksiyonları

| Fonksiyon no | Test fonksiyonları |
|--------------|---------------------------|
| f_1 | Branins |
| f_2 | Fifth function of de Jong |
| f_3 | Drop wave |
| f_4 | Goldstein-price |
| f_5 | Langermann |
| f_6 | Michalewicz |
| f_7 | Rastrigin |
| f_8 | Schubert |
| f_9 | Schwefel |
| f_{10} | Six Hump Camel Back |

Çok modlu fonksiyonların birden fazla yerel ekstremum değerine sahip olması, optimizasyon algoritmalarının bu ekstremum değerlerden birine yakalanma ihtimalini artırmaktadır [16]. Bu nedenle, algoritmaların performansını test etmek için çok modlu fonksiyonlar tercih edilmiştir.

Branins fonksiyonunda global minimum değeri $f_1 = 0,397887$ değeridir.

Fifth function of De Jong fonksiyonunda test alanı $-65,536 \leq x_i \leq 65,536$, $i = 1, 2$ bölgesinde sınırlandırılmıştır. Bu fonksiyonda yerel minimum değerleri düzensiz bir şekilde dağılmıştır.

Drop Wave fonksiyonunda test alanı genellikle $-5,12 \leq x_i \leq 5,12$ $i = 1, \dots, n$ bölgesinde sınırlandırılmıştır ve global minimum değeri $f_3 = -1$ dir.

Goldstein-Price fonksiyonunda test alanı $-2 \leq x_i \leq 2$, $i = 1, 2$ bölgesinde sınırlandırılmıştır. Global minimumu $f_4 = 0$ değeridir.

Langermann fonksiyonunun yerel minimum değerleri düzensiz bir şekilde dağılmıştır.

Michalewicz fonksiyonunda test alanı $0 \leq x_i \leq \pi$ $i=1, \dots, n$ bölgesinde sınırlandırılmıştır ve yerel minimum değerlerinden biri $f_6 = -1,8$ dir.

Rastrigin fonksiyonunda test alanı genellikle $-5,12 \leq x_i \leq 5,12$ $i = 1, \dots, n$ bölgesinde sınırlandırılmıştır. Global minimum değeri $f_7 = 0$ dir.

Schubert fonksiyonunda ise test alanı $-5,12 \leq x_i \leq 5,12$ $i=1, \dots, n$ bölgesinde sınırlandırılmıştır. Fonksiyonun yerel minimum değerleri düzensiz bir şekilde dağılmıştır.

Schwefel fonksiyonunda test alanı $-500 \leq x_i \leq 500$, $i = 1, \dots, n$ bölgesinde sınırlandırılmıştır. Global minimumu $f_9 = -418,9829 * n$ değeridir.

Six Hump Camel Back fonksiyonunda test alanı $-3 \leq x_1 \leq 3$, $-2 \leq x_2 \leq 2$ bölgesidir. $f_{10} = -1,0316$ değeri fonksiyonun global değeridir.

5.2. Test Sonuçları

Yapılan testlerde kullanılan algoritmalar, 20 farklı rastgele değerle çalıştırılmış ve böylece testlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak amaçlanmıştır. Çizelge 2'de sunulan sonuçlar bu 20 çalıştırmanın medyan ve standart sapma değerleridir.

Testler, popülasyon büyüklüğünün 20 ve tekrar sayısının (*iteration*) 100 olduğu durumda (düşük maliyetli bir durum altında) yapılmış, önerilen yöntem olan BPSO'nun, PSO'ya alternatif olup olmayacağı test edilmiştir. Ayrıca, testlerde standart PSO ayarları kullanılmıştır [13].

Yapılan tüm testlerde, kullanılan fonksiyonların minimum değerlerine ulaşmak amaçlanmıştır. Bu nedenle, Çizelge 2'de verilen sonuçlara bakıldığında, diğerine göre daha düşük değere ulaşabilen algoritma başarılı kabul edilmiş ve ulaştığı değer koyu olarak belirtilmiştir.

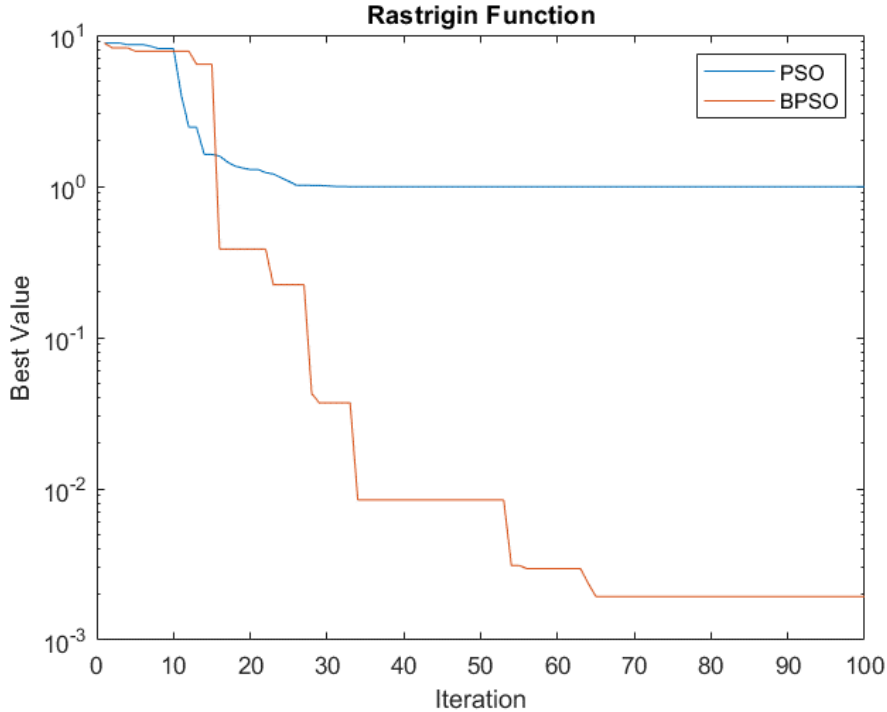
Çizelge 2 incelendiğinde, BPSO algoritması tüm test fonksiyonlarında da en iyi sonuçları vermiş, Fifth function of De Jong, Langermann, Michalewicz, Rastrigin, Schubert ve Schwefel fonksiyonlarında ise, standart PSO'ya kıyasla, çok daha başarılı sonuçlar sunmuştur.

Ayrıca, PSO ile BPSO'nun, Rastrigin fonksiyonundaki yakınsama yeteneklerinin

gösterildiği Şekil 1 incelenirse, PSO'nun yaklaşık 30. iterasyonda aramayı bıraktığı, buna rağmen, önerilen yöntem olan BPSO'nun yaklaşık 65. iterasyona kadar en iyiyi aramaya devam ettiği gözlemlenebilir. Yapılan bu gözlem neticesinde, BPSO'nun, belirtilen fonksiyon için, PSO'ya göre daha iyi bir arama sunduğu söylenebilir.

Çizelge 2. BPSO ve PSO'nun karşılaştırmalı test sonuçları

| Fonksiyon no | PSO | | BPSO | |
|--------------|-----------|----------------|------------------|----------------|
| | Medyan | Standart sapma | Medyan | Standart sapma |
| f_1 | 0,3979 | 0 | 0,3979 | 6,6831e-05 |
| f_2 | 7,8721 | 6,2089 | 1,9920 | 2,1812 |
| f_3 | -0,9362 | 1,1102e-16 | -0,9362 | 0,0314 |
| f_4 | 3 | 11,3841 | 3 | 0,0013 |
| f_5 | -3,6775 | 0,7308 | -3,8209 | 0,7527 |
| f_6 | -1,5076 | 0,3631 | -1,8012 | 0,2533 |
| f_7 | 0,9949 | 0,6633 | 0,0012 | 0,3459 |
| f_8 | -160,0571 | 78,3454 | -210,4365 | 74,0412 |
| f_9 | -719,5274 | 111,8444 | -837,9598 | 82,8065 |
| f_{10} | -1,0316 | 2,3405e-16 | -1,0316 | 2,8017e-05 |



Şekil 1. PSO ile BPSO'nun Rastrigin fonksiyonundaki yakınsama yetenekleri

6. SONUÇ

PSO algoritması, başarılı bir algoritma olmasına rağmen, zorlayıcı fonksiyon türlerinde, beklenen ideal sonucu sunmayabilmektedir. PSO'nun karşılaştığı bu sorunu çözmek için, standart PSO'ya bipolar davranış eklenmiş, sadece en iyi bireyleri değil, kötü bireyleri de algoritma işleyişine dahil eden yeni bir yöntem, BPSO, tanıtılmıştır.

BPSO'yu, standart PSO ile kıyaslamak için literatürde yaygın olarak kullanılan on test fonksiyonu kullanılmıştır. Yapılan testlerin sonucunda, geliştirilen yöntem olan BPSO'nun, on test fonksiyonunun altında en iyi sonucu sunduğu, kalan dört test fonksiyonunun da ise PSO ile aynı sonuçları verdiği gözlemlenmiştir. Yapılan bu gözlem ışığında, BPSO'nun, test edilen durumlar altında, PSO'ya göre daha başarılı olduğu aşıkardır.

Alınan sonuçlar göz önünde bulundurularak, BPSO'nun yüksek maliyetli durumlar altında da test edilmesi, gelecek çalışmalar için, tavsiye edilmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Miranda, V., Fonseca, N., 2002. EPSO-Evolutionary Particle Swarm Optimization, a New Algorithm with Applications in Power Systems. In IEEE/PES Transmission and Distribution Conference, IEEE, USA, 2, 745-750.
2. Blicke, T., Thiele, L., 1996. A Comparison of Selection Schemes Used in Evolutionary Algorithms. *Evolutionary Computation*, 4(4), 361-394.
3. Peram, T., Veeramachaneni, K., Mohan, C.K., 2003. Fitness-distance-ratio Based Particle Swarm Optimization. In Proceedings of the 2003 IEEE Swarm Intelligence Symposium. SIS'03, pp. 174-181, 25-26 April 2003, Indiana, USA.
4. Higashi, N., Iba, H., 2003. Particle Swarm Optimization with Gaussian Mutation. In Proceedings of the 2003 IEEE Swarm Intelligence Symposium, SIS'03, 25-26 April 2003, Indiana, USA.
5. Holland, J.H., 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor, University of Michigan Press, Michigan, USA.
6. Esmine, A.A., Lambert-Torres, G., De Souza, A.Z., 2005. A Hybrid Particle Swarm Optimization Applied to Loss Power Minimization. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(2), 859-866.
7. Juang, C.F., 2004. A Hybrid of Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization for Recurrent Network Design. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 34(2), 997-1006.
8. Zhan, Z.H., Zhang, J., Li, Y., Chung, H.S.H., 2009. Adaptive Particle Swarm Optimization. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 39(6), 1362-1381.
9. Pedersen, M.E.H., Chipperfield, A.J., 2010. Simplifying Particle Swarm Optimization. *Applied Soft Computing*, 10(2), 618-628.
10. Strasser, S., Goodman, R., Sheppard, J., Butcher, S., 2016. A New Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm. In Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO'16, 20-24 July 2016, Colorado, 53-60, USA.
11. Wang, F., Zhang, H., Li, K., Lin, Z., Yang, J., Shen, X.L., 2018. A Hybrid Particle Swarm Optimization Algorithm Using Adaptive Learning Strategy. *Information Sciences*, 436, 162-177.
12. Darwish, A., Ezzat, D., Hassanien, A.E., 2020. An Optimized Model Based on Convolutional Neural Networks and Orthogonal Learning Particle Swarm Optimization Algorithm for Plant Diseases Diagnosis. *Swarm and Evolutionary Computation*, 52, 100616.
13. Eberhart, R., Kennedy, J., 1995. A New Optimizer Using Particle Swarm Theory. *Micro Machine and Human Science*, 1995 MHS'95, Proceedings of the Sixth International Symposium, 4-6 October 1995, Nagoya, Japan.
14. Gençal, M.C., Oral, M., 2022. Bipolar Mating Tendency: Harmony Between the Best and the

- Worst Individuals. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47, 1849–1871.
15. Tao, X., Li, X., Chen, W., Liang, T., Li, Y., Guo, J., Qi, L., 2021. Self-Adaptive Two Roles Hybrid Learning Strategies-based Particle Swarm Optimization. *Information Sciences*, 578, 457-481.
 16. Molga, M., Smutnicki, C., 2005. Test Functions for Optimization Needs. <http://www.robertmarks.org/Classes/ENGR5358/Papers/functions.pdf>, Erişim tarihi: Kasım 2021.

Büyük Kızılıçık (Göksun-K.Maraş) Bölgesi Silisifiye Zona Bağlı Kurşun Cevherleşmesinin Jeolojik İncelenmesi

Avni TAPTIK¹ ORCID 0000-0003-0146-9655

Mustafa AKYILDIZ^{*2} ORCID 0000-0002-0371-8646

Burcu KARATAŞ² ORCID 0000-0003-2705-4319

¹MTA East Mediterranean Regional Directorate, Adana

²Çukurova University, Faculty of Engineering, Department of Geology Engineering, Adana

Geliş tarihi: 28.03.2022

Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: TAPTIK, A., AKYILDIZ, M., KARATAŞ, B., (2022). Büyük Kızılıçık (Göksun-K.Maraş) Bölgesi Silisifiye Zona Bağlı Kurşun Cevherleşmesinin Jeolojik İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 627-641.

Öz

Doğu Toroslar'da farklı ortam ve tektonik koşullarda oluşmuş birbirinden farklı istifler yüzeylemektedir. Bu istifler tabandan tavana Üst Jura-Kretase yaşlı peridotitler, bantlı gabro, izotrop gabro, levha dayk karmaşığında oluşan Kömürhan Ofiyolitleri ve Bodrum Napı'na ait metamorfik kaya birimleri yer almaktadır. Kömürhan Ofiyolitleri ve Bodrum Napı Geç Kretase yaşlı Baskil Granitoidleri tarafından kesilmiştir. Baskil Granitoidinin kesmiş olduğu birimler içerisinde cevherleşmeye ilişkin alterasyon zonları gözlemlenmektedir. Cevher mikroskopi çalışmalarında pirit, sfalerit, galenit, arsenopirit, manyetit ve hematit tespit edilmiştir. Pirit üzerinde yapılan izotop analizinde $\delta^{34}\text{S}$ değeri -3 ‰ olarak belirlenmiştir. Kuvars mineralleri üzerinde yapılan sıvı kapanım analizinde 69-127 °C arasında ve ortalama olarak 103 °C epitermal oluşum sıcaklığı belirlenmiştir. Çalışma alanında cevherleşmelerin birincil kökeni Miyosen'den itibaren bölgeyi etkileyen asidik karakterli volkanizmanın etkisiyle metamorfik istifler içerisindeki fay ve kırık çatlak sistemlerinde yerleşmiş sülfürlü yataklanma şeklinde oluşurken, ikincil cevherleşmelerin birincil sülfürlü minerallerin çözünerek tektonik olaylar sonucu oluşan süreksizlik zonlarında depolandığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Karaböğürtlen Formasyonu, Büyük Kızılıçık, Pb -Zn

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mustafa AKYILDIZ, akyildizm@cu.edu.tr

Geological Investigation of Lead Mineralization Associated with Silicified Zone in Büyük Kızılıcık (Göksun-K.Maraş) Region

Abstract

The interrelated stacks outcrop in Eastern Taurus which occurred in different environment and tectonic conditions each other. These stacks located from the elderly to young at the bottom Upper Jurassic-Cretaceous aged peridotites, banded gabbro, isotropic gabbro and plate-dike complex, Kömürhan Ophiolites and metamorphic rock units of Bodrum Napa. Kömürhan Ophiolites and Bodrum Napa cut by late Cretaceous aged Baskil Granodiorites. Alteration zones associated with mineralization are observed inside of the units which have been cut by Baskil Granodiorites. Pyrite, sphalerite, galenite, arsenopyrite, magnetite and hematite were detected in ore microscopy studies. In the isotope analysis performed on the pyrite sample, the $\delta^{34}\text{S}$ value was determined as -3 ‰. In the fluid inclusion analysis performed on quartz minerals, the epithermal formation temperature was determined between 69-127 °C and an average of 103 °C. While the primary origin of the mineralizations in the study area is formed as a sulfide bedding located in fault and fracture crack systems developed in metamorphic rocks with the effect of acidic volcanism affecting the region since Miocene. It is thought that secondary mineralizations are deposited in discontinuity zones formed as a result of tectonic events by dissolving primary sulfide minerals.

Keywords: Karaböğürtlen Formation, Büyük Kızılıcık, Pb -Zn

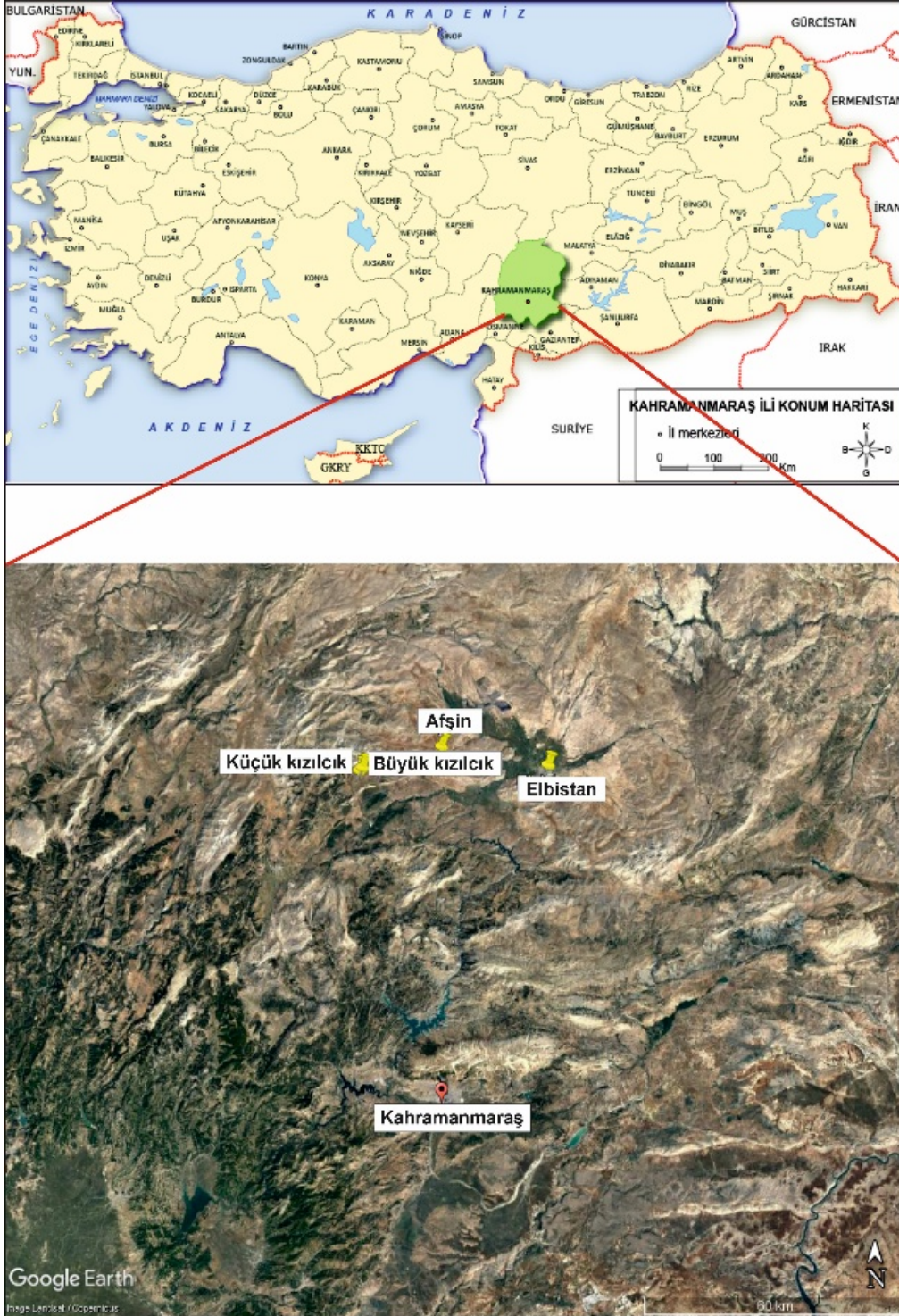
1. GİRİŞ

İnceleme alanı Doğu Torosların batı kesiminde Kahramanmaraş iline bağlı Göksun ve Afşin ilçeleri arasında kalan Büyük Kızılıcık ve Küçük Kızılıcık kasabalarının kuzeyinde Elbistan L37-d2 paftası içerisinde 30 km²'lik alanda yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı ve yakın çevresinde farklı amaçlarla çok sayıda jeolojik çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmalardan bazıları, Özgül (1976), Aziz ve arkadaşları (1979), Perinçek ve Kozlu (1981), Özgül ve arkadaşları (1981), Tarhan (1982), Erdoğan (1982), Çağlayan ve arkadaşları (1984), Tarhan (1986), Baydar (1989), Yiğitbaş (1989), Yıldırım (1989), Kozlu ve arkadaşları (1990), Yılmaz ve Yiğitbaş (1991), Pehlivan ve arkadaşları (1991), Yılmaz ve arkadaşları (1992), Vergili ve Parlak (2005), Yusufoglu ve arkadaşları (2005), Parlak (2006), Korkmaz ve arkadaşları (2012), Vergili ve arkadaşları (2013), Özbek (2016) ve Hozatlıoğlu ve arkadaşları (2020) sayılabilir [1-22]. Bu çalışmalar, bölgesel jeolojik modelin ortaya konmasında ve bölgedeki cevherleşmelerin anlaşılmasında büyük öneme sahiptir.

İnceleme alanı ve yakın çevresindeki jeolojik

birimler en altta Üst-Jura Kretase yaşlı tabanında peridotitler ve üste doğru sırasıyla bantlı gabro, izotrop gabro ve levha dayk karmaşığı, volkanitler ve sedimanter birimler ile örtülen Kömürhan Ofiyolitleri, Kömürhan Ofiyolitlerini tektonik dokanakla örten Bodrum Napı'na ait metamorfik kaya birimlerinden oluşmaktadır.

Bu çalışma ile K.Maraş ili Büyük Kızılıcık-Küçük Kızılıcık çalışma alanlarında yüzeyleyen birimlerin genel jeolojisi, stratigrafisi ve maden potansiyeli araştırılmış ve bölgede mostra veren tüm cevherleşmeler irdelenmiştir. Bu çalışmada özellikle silis zonuna bağlı cevherleşmeler ele alınmış olup çalışma alanı içerisindeki Barit cevherleşmeleri de ayrıca irdelenmiştir. Barit ile ilgili incelemelerde daha önce yapılan çalışmalar revize edilerek kullanılmıştır. Söz konusu inceleme alanında mostra veren silis zonuna bağlı cevherleşmelerin kökeni, minerolojik ve petrografik özelliklerinin aydınlatılması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak cevherli örnekler üzerinde ana element ve iz element analizleri ve parlak kesit incelemeleri; cevherleşmenin oluşum sıcaklıkları ve oluşum ortamlarını belirleyebilmek için sıvı kapanım ve izotop analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

2. YÖNTEM

Çalışmalar arazi ve laboratuvar çalışmaları şeklinde iki kısımda gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmaları, araziden derlenen örneklerden jeokimyasal analizlerin yapılması ve aynı örneklerden ince ve parlak kesitlerin hazırlanarak minerolojik ve petrografik özelliklerinin tanımlanması şeklinde yürütülmüştür.

Arazi çalışmaları esnasında çalışma alanı içerisinde kalan silis zonu detaylı olarak haritalanmış ve üzerinde toplam 8 adet kesit güzergahı belirlenmiştir. Belirlenen bu 8 adet güzergahtan oluk yöntemi ile toplam 133 adet jeokimya örneği derlenmiştir. Derlenen 133 adet jeokimya numunesi MTA Laboratuvarlarında ICP-MS yöntemi ile analize tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre belirlenen 3 lokasyonda toplam 1464,10 m sondaj yapılmıştır. Ayrıca sondajlardan derlenen 28 adet cevher numunesi, 33 adet mineroloji ve petrografi numunesi, 2 adet sıvı kapanım numunesi, de ayrıca analiz edilmiş ve sondajlarda kesilen birimlerin minerolojik ve petrografik tanımlamaları yapılmıştır.

Belirlenen profil hatları boyunca her bir metreden harmanlama yöntemi (Şekil 2) ile numuneler derlenmiştir. Yapılan sondajlarda karot yüzdesi %90'ın altına düşmeyecek şekilde karotlar elde edilmiş ve karotlar üzerinde arazide tanımlamaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen karotlardan gerekli görülen yerlerden Mineroloji ve Petrografi numuneleri derlenmiştir. Kayaç tanımlamaları ve cevher içerikleri elde edilen analiz sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen karotlardan her bir metrede jeokimya örnekleri derlenmiş ve bu numuneler ise kırma, öğütme ve çeyrekleme yöntemi ile elde edilmiştir.

Ayrıca önceki yıllarda yapılan jeokimyasal prospeksiyon çalışmalarında ortaya çıkan anomalilerin incelemesi yapılarak yaklaşık 19 km² lik alanda 1/1000 ölçekli detay maden jeoloji haritası yapılmıştır. Silisleşmiş floritli/baritli altere zondan oluk yöntemi ile numuneler derlenmiştir.

İnceleme alanından alınan sondaj örneklerinden 1 adet pirit örneği seçilerek $\delta^{34}\text{S}$ izotop analizi ACTLAB' da (Kanada) yaptırılmıştır.



Şekil 2. Oluk yöntemi ile numune alımı

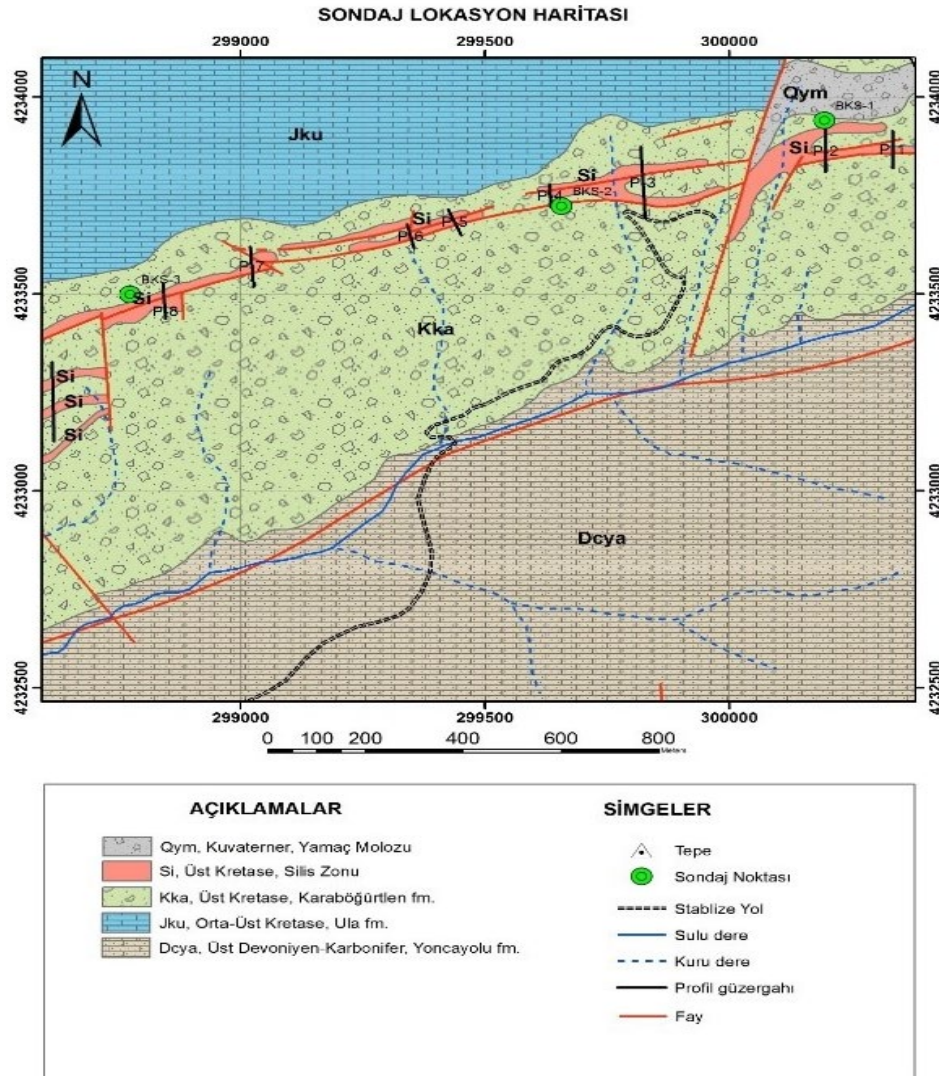
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Bölgesel Tektonik Konum ve İnceleme

Doğu Toroslar'da birbiriyle farklı ortam ve tektonik koşullarda oluşmuş birbirinden farklı yapısal istifler yüzeylemektedir. Çalışma alanında ve yakın çevresinde bu istifler tabandan tavana, Üst-Jura Kretase yaşlı peridotitler ve üstte doğru sırasıyla bantlı gabro, izotrop gabro ve levha dayk karmaşığı, volkanitler ve sedimanter birimler ile örtülen Kömürhan Ofiyoliti, Kömürhan Ofiyolitini tektonik dokanakla örten Bodrum Napı'na ait metamorfik kaya birimleri yer almaktadır. Kömürhan Ofiyoliti ve Bodrum Napı iki farklı evrede oluşmuş ve çalışma alanının güneyinde Geç Kretase yaşlı Baskil Granitoidleri tarafından kesilmiştir [23]. Tüm bu birimler Geç Paleosen-Eosen yaşlı Seske formasyonu tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir. En üstte ise tüm bu istifleri Pliyo-Kuvaterner yaşlı gölsel ortamda çökelmiş Ahmetcik formasyonu açısız uyumsuzlukla örter [23] ve bahsedilen birimlerin tamamı çalışma alanı içerisinde ve çevresinde

(Elbistan L37-d2) mostra vermektedir. Elbistan L37-d2 paftasının kuzeyinde çalışma alanı olarak belirlenen çalışma alanı içerisinde Bodrum Napı ve Kömürhan Ofiyolitini kesen altere silis zonu çoğunlukla Karaböğürtlen formasyonunu ve kısmende Jura-Kretase yaşlı Ula formasyonunu kesecek şekilde mostra vermektedir. Büyükkızılcık kesitinde Bodrum napı, bol oranda bazik bileşimli dayklar tarafından kesilmiştir. Çalışma alanı çevresinde Bodrum Napına ait Üst Devoniyen-Karbonifer yaşlı Yonca yolu formasyonu, Orta-Üst

Kretase yaşlı Ula formasyonu ve Üst Kretase yaşlı Karaböğürtlen formasyonu mostra vermektedir. Karaböğürtlen formasyonu başlıca şist, kalk şist, kuvars şist, bazik bileşimli şist ve metakonglomera ardalanımından oluşan birim, bu kaya türlerine eşlik eden çörtlü mermer, rekrystalize kireçtaşı, dolomit ve dolomitik kireçtaşından oluşur (Şekil 3). Karaböğürtlen formasyonu inceleme alanında Küçükızılcık ve Büyük kıızılcık kasabalarının güneyinde geniş alanlarda mostra vermektedir.



Şekil 3. Çalışma alanına ait jeoloji haritası [20]

3.2. Jeokimya

Çalışma alanında 1/1000 ölçekli maden jeoloji ve alterasyon haritası hazırlanmış ve Üst Kretase yaşlı Karaböğürtlen formasyonunu kesen silis zonu detaylı olarak çalışılmıştır. Silisifiye baritli-breşik altere zondan oluk yöntemi ile sistematik örnek alımı yapılmıştır. Silis zonu üzerinde belirlenen 8 adet profilden toplam 133 adet jeokimya numunesi derlenmiş ve MTA Laboratuvarlarında analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiş ve ayrıca profil güzergahları boyunca da enine kesitlerde numune loksayonları gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sözkonusu silisifiye zonda

Pb-Zn ve As değerlerinin anomali verecek düzeyde olduğu gözlenmiş ve 3 adet lokasyonda sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sahada belirlenen cevherleşme zonu silisleşmiş floritli/baritli altere zon olarak gözlenmektedir. Florit/barit içerikli cevher mineralleri silis zonu içerisinde düzensiz şekilli yamalar şeklindedir. Yapılan parlatma örneklerinin cevher mikroskopisi incelemelerinde belirlenen cevher mineralleri esas olarak limonit olup, buna eser miktarda gözlenen kalkopirit ve pirit mineralleri eşlik etmektedir. Ayrıca profillerden elde edilen analiz sonuçları Çizelge 1’de, Şekil 4 ve Şekil 5’te verilmiştir.

Çizelge 1. Profillerden elde edilen analiz sonuçları (ppm)

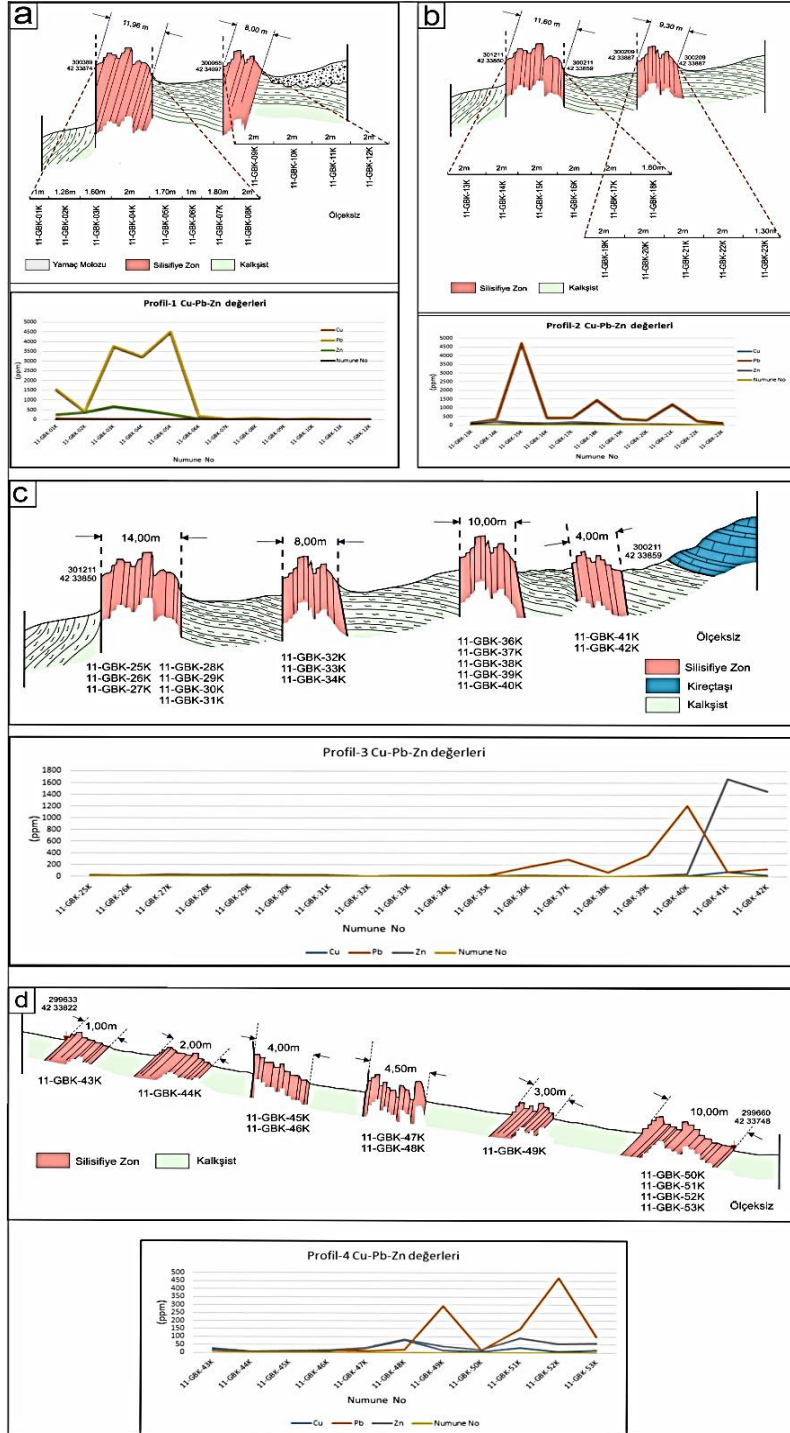
| Numune no | Cu | Pb | Zn | Ag | Sb | Mo | As | Au |
|-----------|----|------|-----|------|-----|----|-------|-----|
| 1 | 63 | 1545 | 282 | 12,6 | 274 | 11 | 2505 | <40 |
| 2 | 43 | 440 | 391 | 2,7 | 323 | 6 | 3910 | <40 |
| 3 | 16 | 3771 | 702 | 6,6 | 822 | 20 | 10690 | <40 |
| 4 | 24 | 3240 | 514 | 10,2 | 777 | 15 | 9026 | <40 |
| 5 | 24 | 4517 | 303 | 9,7 | 988 | 10 | 5526 | <40 |
| 6 | 18 | 207 | 80 | <1 | 284 | 5 | 4352 | <40 |
| 7 | 8 | 54 | 13 | <1 | 73 | <5 | 466 | <40 |
| 8 | 11 | 87 | 17 | <1 | 58 | <5 | 854 | <40 |
| 9 | 10 | 34 | 5 | <1 | 31 | <5 | 547 | <40 |
| 10 | 5 | 69 | 13 | <1 | 49 | <5 | 287 | <40 |
| 11 | 8 | 22 | 9 | <1 | 51 | <5 | 954 | <40 |
| 12 | 9 | 23 | 9 | <1 | 40 | <5 | 461 | <40 |
| 13 | 29 | 139 | 165 | <1 | 155 | 8 | 2082 | <40 |
| 14 | 27 | 402 | 237 | 24 | 279 | 10 | 4480 | <40 |
| 15 | 7 | 4714 | 157 | 2,0 | 908 | 47 | 9325 | <40 |
| 16 | 19 | 440 | 123 | <1 | 209 | 20 | 3472 | <40 |
| 17 | 23 | 432 | 200 | <1 | 184 | 14 | 2018 | <40 |
| 18 | 21 | 1459 | 146 | 3,9 | 135 | 17 | 1000 | <40 |
| 19 | 13 | 404 | 82 | <1 | 192 | 7 | 2048 | <40 |
| 20 | 19 | 330 | 88 | <1 | 158 | 8 | 1784 | <40 |
| 21 | 8 | 1225 | 43 | <1 | 81 | 11 | 665 | <40 |
| 22 | 10 | 279 | 30 | <1 | 107 | 9 | 786 | <40 |
| 23 | 5 | 160 | 42 | <1 | 148 | 9 | 1152 | <40 |
| 24 | 47 | 131 | 214 | <1 | 2^0 | 6 | 5986 | <40 |
| 25 | 14 | 27 | 9 | <1 | 166 | <5 | 2254 | <40 |
| 26 | 5 | 14 | 15 | <1 | 141 | <5 | 1947 | <40 |
| 27 | 3 | 10 | 32 | <1 | 30 | <5 | 855 | <40 |
| 28 | 8 | 9 | 30 | <1 | 46 | <5 | 1344 | <40 |
| 29 | <3 | 11 | 39 | <1 | 48 | <5 | 788 | <40 |
| 30 | 4 | 15 | 31 | <1 | 53 | <5 | 1326 | <40 |
| 31 | 4 | 10 | 21 | <1 | 45 | <5 | 778 | <40 |
| 32 | 4 | <5 | 6 | <1 | 86 | <5 | 615 | <40 |
| 33 | 8 | 12 | 12 | <1 | 311 | 17 | 13440 | <40 |
| 34 | 5 | 9 | 5 | <1 | 60 | <5 | 849 | <40 |

Çizelge 1. Devamı

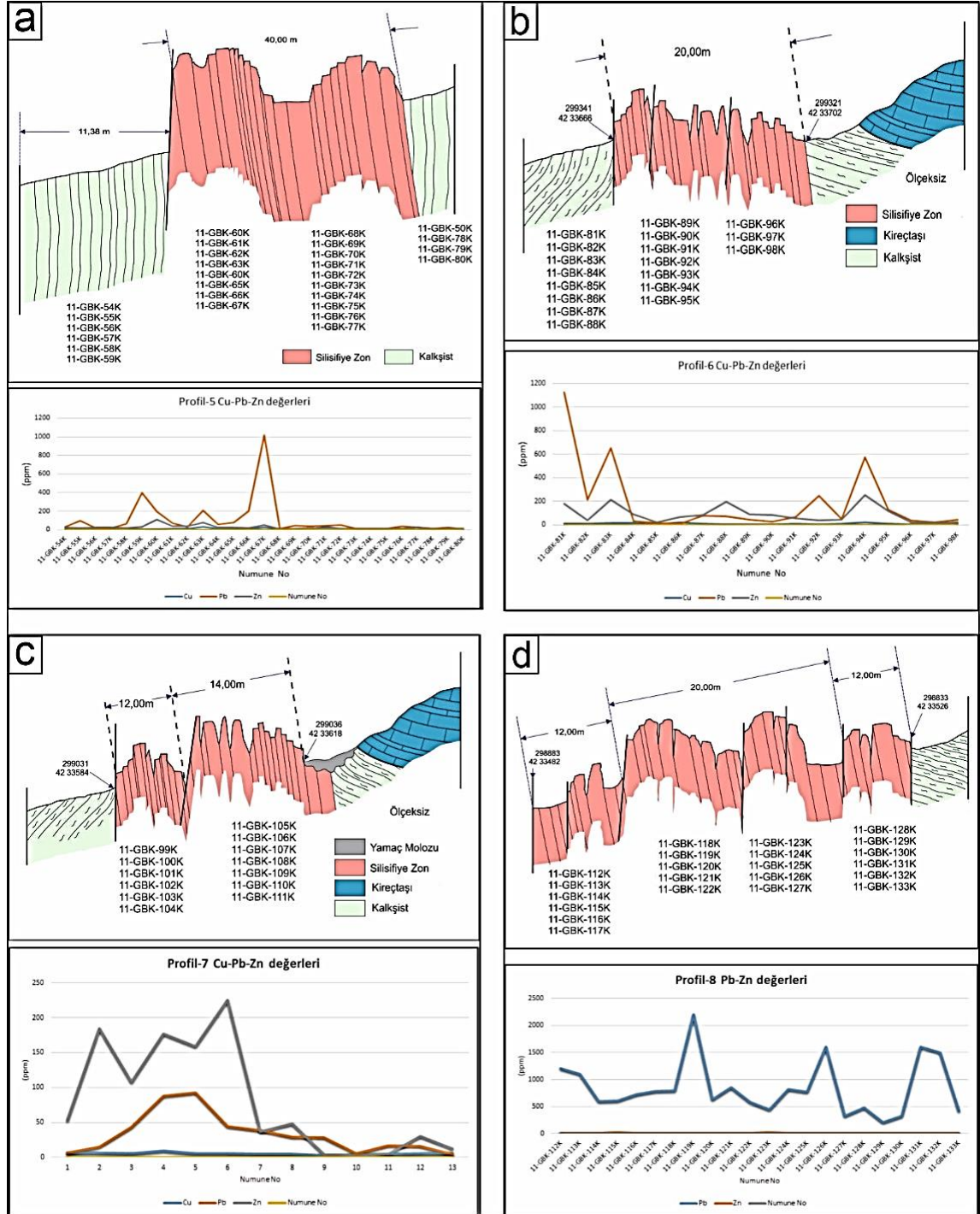
| Numune no | Cu | Pb | Zn | Ag | Sb | Mo | As | Au |
|-----------|----|------|------|-----|-----|----|-------|-----|
| 35 | 4 | 24 | 9 | <1 | 8 | <5 | 66 | <40 |
| 36 | 15 | 172 | 23 | <1 | 102 | 10 | 850 | <40 |
| 37 | 8 | 294 | 13 | <1 | 64 | 9 | 535 | <40 |
| 38 | 4 | 76 | 5 | <1 | 34 | <5 | 278 | <40 |
| 39 | 7 | 370 | 17 | <1 | 67 | <5 | 1960 | <40 |
| 40 | 13 | 1214 | 47 | 1,3 | 641 | <5 | 12710 | <40 |
| 41 | 82 | 82 | 1670 | 1,7 | 125 | <5 | 2300 | <40 |
| 42 | 26 | 129 | 1460 | 1,0 | 144 | <5 | 2467 | <40 |
| 43 | 27 | 13 | 15 | <1 | 346 | 6 | 2420 | <40 |
| 44 | 7 | 6 | 8 | <1 | 46 | <5 | 738 | <40 |
| 45 | 7 | 5 | 11 | <1 | 24 | <5 | 436 | <40 |
| 46 | 12 | 13 | 15 | <1 | 92 | <5 | 748 | <40 |
| 47 | 27 | 12 | 31 | <1 | 38 | <5 | 774 | <40 |
| 48 | 78 | 20 | 84 | <1 | 95 | <5 | 833 | <40 |
| 49 | 14 | 291 | 38 | <1 | 92 | 14 | 1490 | <40 |
| 50 | 8 | 16 | 18 | <1 | 337 | 5 | 2634 | <40 |
| 51 | 29 | 148 | 91 | <1 | 167 | 8 | 3130 | <40 |
| 52 | 7 | 468 | 54 | <1 | 177 | 18 | 2555 | <40 |
| 53 | 15 | 98 | 57 | 1,1 | 94 | 8 | 2136 | <40 |
| 54 | 9 | 28 | 24 | <1 | 79 | <5 | 984 | <40 |
| 55 | 8 | 95 | 17 | <1 | 22 | <5 | 1130 | <40 |
| 56 | 9 | 15 | 22 | <1 | 15 | <5 | 272 | <40 |
| 57 | 9 | 15 | 26 | <1 | 15 | <5 | 301 | <40 |
| 58 | 10 | 61 | 17 | <1 | 34 | <5 | 604 | <40 |
| 59 | 6 | 398 | 33 | <1 | 93 | <5 | 364 | <40 |
| 60 | 4 | 195 | 106 | <1 | 93 | <5 | 372 | <40 |
| 61 | 10 | 69 | 37 | <1 | 30 | <5 | 267 | <40 |
| 62 | 9 | 33 | 38 | <1 | 13 | <5 | 190 | <40 |
| 63 | 32 | 208 | 76 | <1 | 44 | 6 | 447 | <40 |
| 64 | 12 | 59 | 23 | <1 | 17 | 10 | 213 | <40 |
| 65 | 9 | 75 | 25 | <1 | 15 | <5 | 149 | <40 |
| 66 | 8 | 203 | 17 | <1 | 15 | <5 | 181 | <40 |
| 67 | 25 | 1016 | 53 | <1 | 89 | 9 | 724 | <40 |
| 68 | 10 | 8 | 6 | <1 | 7 | <5 | 222 | <40 |
| 69 | 6 | 41 | 8 | <1 | 18 | <5 | 211 | <40 |
| 70 | 5 | 38 | 18 | <1 | 37 | <5 | 200 | <40 |
| 71 | 28 | 45 | 13 | <1 | 37 | <5 | 343 | <40 |
| 72 | 12 | 50 | 11 | <1 | 26 | <5 | 229 | <40 |
| 73 | 7 | 9 | 6 | <1 | 5 | <5 | 89 | <40 |
| 74 | 13 | 12 | 6 | <1 | 22 | <5 | 211 | <40 |
| 75 | 7 | 9 | 8 | <1 | 11 | <5 | 189 | <40 |
| 76 | 10 | 34 | 11 | <1 | 20 | <5 | 622 | <40 |
| 77 | 25 | 24 | 26 | <1 | 13 | <5 | 394 | <40 |
| 78 | 13 | 14 | 6 | <1 | 32 | <5 | 350 | <40 |
| 79 | 14 | 25 | 10 | <1 | 76 | <5 | 322 | <40 |
| 80 | 6 | 5 | 14 | <1 | 38 | <5 | 182 | <40 |
| 81 | 7 | 1128 | 176 | <1 | 34 | <5 | 492 | <40 |
| 82 | 8 | 211 | 37 | <1 | 10 | <5 | 480 | <40 |
| 83 | 15 | 652 | 211 | <1 | 46 | <5 | 449 | <40 |

Çizelge 1. Devamı

| Numune no | Cu | Pb | Zn | Ag | Sb | Mo | As | Au |
|-----------|------|------|-----|-----|------|-----|------|-----|
| 84 | 13 | 32 | 90 | <1 | 40 | <5 | 1050 | <40 |
| 85 | 5 | 13 | 23 | <1 | 7 | <5 | 274 | <40 |
| 86 | 19 | 9 | 67 | <1 | 9 | <5 | 508 | <40 |
| 87 | 8 | 75 | 84 | <1 | 28 | <5 | 497 | <40 |
| 88 | 5 | 73 | 195 | <1 | 18 | <5 | 237 | <40 |
| 89 | 5 | 45 | 90 | <1 | 10 | <5 | 92 | <40 |
| 90 | 6 | 27 | 80 | <1 | 46 | <5 | 285 | <40 |
| 91 | 12 | 63 | 56 | <1 | 123 | 5 | 965 | <40 |
| 92 | 5 | 249 | 36 | <1 | 109 | 7 | 435 | <40 |
| 93 | 8 | 50 | 42 | 2,2 | 59 | <5 | 1110 | <40 |
| 94 | 18 | 574 | 251 | <1 | 50 | <5 | 343 | <40 |
| 95 | 8 | 128 | 115 | <1 | 19 | <5 | 174 | <40 |
| 96 | 3 | 40 | 20 | <1 | 38 | <5 | 211 | <40 |
| 97 | 4 | 22 | 17 | <1 | 37 | <5 | 165 | <40 |
| 98 | 7 | 41 | 18 | <1 | 30 | <5 | 312 | <40 |
| 99 | 7 | 7 | 53 | <1 | 25 | <5 | 504 | <40 |
| 100 | 7 | 15 | 184 | <1 | 72 | <5 | 410 | <40 |
| 101 | 6 | 43 | 108 | <1 | 49 | <5 | 419 | <40 |
| 102 | 9 | 88 | 177 | <1 | 63 | <5 | 716 | <40 |
| 103 | 6 | 93 | 159 | <1 | 58 | <5 | 476 | <40 |
| 104 | 6 | 44 | 225 | <1 | 89 | <5 | 620 | <40 |
| 105 | 5 | 39 | 37 | <1 | 50 | <5 | 546 | <40 |
| 106 | 5 | 29 | 48 | <1 | 31 | <5 | 375 | <40 |
| 107 | 3 | 28 | 4 | <1 | 31 | <5 | 333 | <40 |
| 108 | 4 | 6 | 3 | <1 | 17 | <5 | 305 | <40 |
| 109 | 5 | 17 | 5 | <1 | 32 | <5 | 572 | <40 |
| 110 | 6 | 16 | 30 | <1 | 39 | <5 | 465 | <40 |
| 111 | 6 | 5 | 12 | <1 | 21 | <5 | 610 | <40 |
| 112 | 1,0 | 1200 | 10 | <5 | 1700 | 220 | 43 | <40 |
| 113 | <1,0 | 1100 | 8 | <5 | 190 | 99 | 36 | <40 |
| 114 | <1,0 | 600 | 3 | <5 | 81 | 91 | 71 | <40 |
| 115 | 1 4 | 610 | 16 | <5 | 380 | 96 | 200 | <40 |
| 116 | <1,0 | 720 | 4 | <5 | 110 | 97 | 53 | <40 |
| 117 | <1,0 | 780 | 3 | 5 | 140 | 180 | 85 | <40 |
| 118 | <1,0 | 790 | 4 | 8 | 350 | 220 | 97 | <40 |
| 119 | <1,0 | 2200 | 13 | 11 | 1200 | 260 | 38 | <40 |
| 120 | <1,0 | 630 | 5 | <5 | 150 | 43 | 85 | <40 |
| 121 | <1,0 | 850 | 7 | <5 | 47 | 190 | 71 | <40 |
| 122 | <1,0 | 580 | 5 | <5 | 43 | 120 | 160 | <40 |
| 123 | <1,0 | 440 | 17 | <5 | 40 | 100 | 6 | <40 |
| 124 | <1,0 | 820 | 4 | 5 | 82 | 210 | 68 | <40 |
| 125 | <1,0 | 770 | 6 | <5 | 39 | 51 | 110 | <40 |
| 126 | <1,0 | 1600 | 3 | <5 | 73 | 150 | 310 | <40 |
| 127 | <1,0 | 330 | 3 | <5 | 7 | 51 | 17 | <40 |
| 128 | <1,0 | 480 | 5 | <5 | 9 | 65 | 14 | <40 |
| 129 | <1,0 | 210 | 9 | <5 | <5 | 55 | 3 | <40 |
| 130 | <1,0 | 330 | 7 | <5 | 5 | 50 | 8 | <40 |
| 131 | <1,0 | 1600 | 9 | <5 | 6 | 350 | 18 | <40 |
| 132 | <1,0 | 1500 | 10 | <5 | 16 | 290 | 47 | <40 |
| 133 | <1,0 | 420 | 6 | <5 | 6 | 110 | 17 | <40 |



Şekil 4. Profillere ait enine kesit ve analiz sonuçları (a-1 nolu profil, b- 2 nolu profil, c-3 nolu profil, d-4 nolu profil)



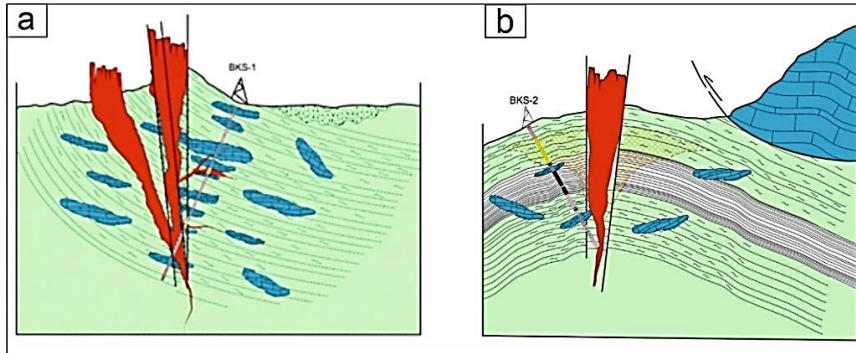
Şekil 5. Profillere ait enine kesit ve analiz sonuçları (a-5 nolu profil, b- 6 nolu profil, c-7 nolu profil, d-8 nolu profil)

Yukarıda verilen analiz sonuçları değerlendirildiğinde Pb-Zn değerlerinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir ve bu cevherleşmenin düşey yönde araştırılması ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla üç adet sondaj planlanmıştır. Sondaj lokasyonlarının belirlenmesinde analiz sonuçları dikkate alınmış ve 2 nolu profilde elde edilen Pb-Zn değerlerine göre BKS-1 nolu sondaj planlanmıştır. BKS-2 nolu sondaj altere silisifiye zonun yeraltındaki konumunu belirlemek amacı ile diğer sondajlara ters yönde gerçekleştirilmiştir. BKS-3 nolu sondaj ise altere silisifiye zonun en kalın gözlendiği 8 nolu profili kesecek şekilde planlanmıştır (Şekil 3).

BKS-1 nolu sondaj 2 nolu profilden elde edilen Pb değeri gözönünde bulundurularak planlanmıştır. Elde edilen Pb değeri 4714 ppm olup tüm

profillerden elde edilen en yüksek değerdir. BKS-1 nolu sondaj determinasyonu gözönünde alındığında silisleşmenin şistler içerisinde bulunan normal faylara bağlı olarak geliştiği ve sülfürlü çözeltilerin yine şistler içerisindeki kırık ve çatlaklarda yoğunlaştığı söylenebilir (Şekil 6-a).

BKS-2 nolu sondaj 1 nolu sondajın güneyinde fakat ters yönde yapılmıştır. Sondajın ters yönde yapılması altere silisifiye zonun konumu ile ilgili bilgi edinmek içindir. Sondaj lokasyonu 4 nolu profil güzergahı boyunca yapılmış olup ayrıca bölgede sülfür çıkışlarının çok yoğun gözlendiği bir lokasyonda gerçekleştirilmiştir. BKS-2 nolu sondaj determinasyonu esnasında aynı BKS-1 nolu sondajda olduğu gibi cevherleşmenin kırık ve çatlaklar boyunca geliştiği tespit edilmiştir (Şekil 6-b).



Şekil 6. BKS-1 ve BKS-2 nolu sondaja ait enine kesit

BKS-3 nolu sondaj 8 nolu profilin bulunduğu bölgede gerçekleştirilmiştir. 8 nolu profil bölgede en kalın silis zonunun gözlendiği kesimdir. Ayrıca 8 nolu profilde 2000 ppm üzerinde Pb değerlerinin elde edilmiş olması sondaj lokasyonunun belirlenmesinde de etkili olmuştur. Ayrıca bölgede üst Kretase yaşlı Karaböğürtlen formasyonunu kesen ve Kurtuluş Mahallesi güneyinde de tespit edilen granitik-andezit sokulumlar bu sondaj ile tanımlanmıştır. Makroskopik tanımlamasında rengi soluk sarımsı yeşil, dokusu şist/lepidoblastik, bileşenleri ise; Karbonat grubu mineral, serizit, kuvars, lökoksendir.

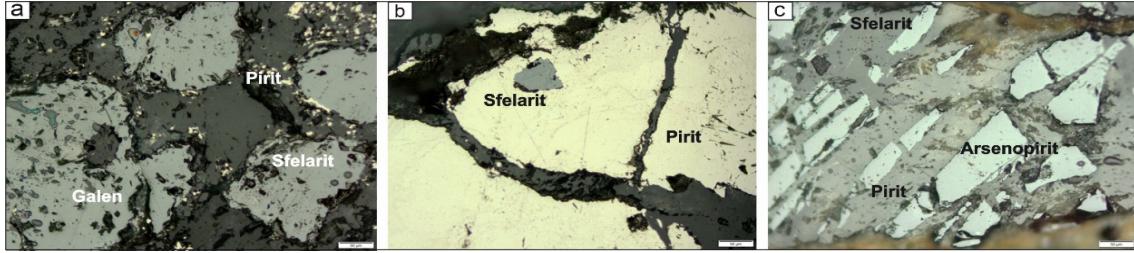
BKS-1 nolu sondajdan derlenen cevher parlatma

örneğinde az miktarda sfalerit, galenit, pirit ve çok az miktarda submikroskopik organik malzeme tespit edilmiştir. Galenitlerin bir kısmı çatlak dolgusu şeklindedir. Piritler ise yarı özşekilli-özşekilsiz olup yer yer galenit ve sfalerit içerisinde kapanım şeklinde izlenmiştir (Şekil 7-a).

BKS-2 nolu sondajdan derlenen örnekte yapılan parlatma kesitte bol miktarda pirit izlenmiştir. Piritler, yarı özşekilli ve özşekilsiz taneler halinde, bazı kısımlarda yarı radyal dizilimli, bazen de kırıklı-çatlaklı olarak izlenmiş olup yer yer de az oranda markazite dönüşüm gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 7-b).

BKS-3 nolu sondajdan derlenen cevher parlatma örneğinde yapılan cevher mikroskobisi incelemelerine göre tanımlanmış olan cevher mineralleri Pirit, Arsenopirit, Sfalerit, Manyetit,

Hematit'tir. Pirit mineralleri özşekilsiz, yarı özşekli taneler halinde, yer yer arsenopiritle birlikte gözlenmiştir. Hematit mineralleri yer yer çubuk şekilli gözlenmiştir (Şekil 7-c).



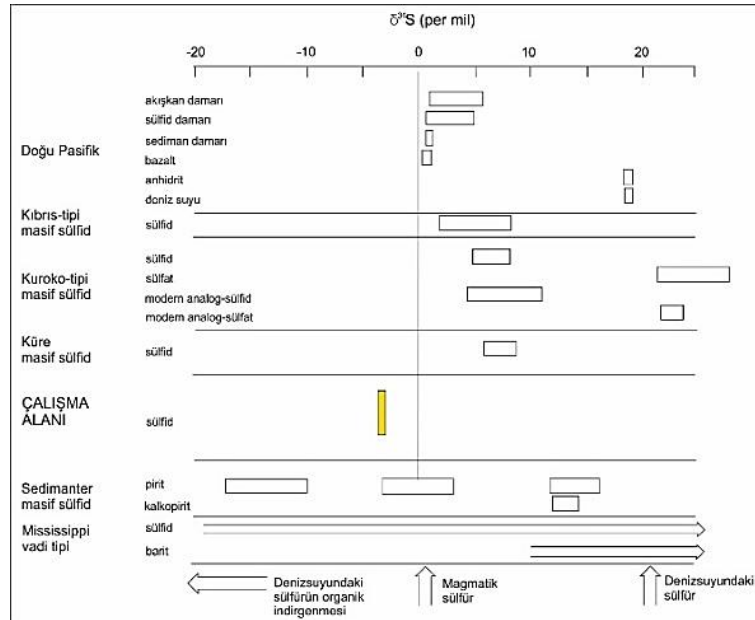
Şekil 7. BKS-1, 2 ve 3 nolu sondajlardan alınan cevher örneklerine ait parlak kesit görüntüleri a-Sfalerit, Pirit, Galen b- Pirit, Sfalerit c- Arsenopirit, Sfalerit, Pirit

3.3. İzotop Analizi

İnceleme alanından alınan sondaj örneklerinden 1 adet pirit örneği seçilerek $\delta^{34}\text{S}$ izotop analizi yaptırılmış ve -3 ‰ sonucu bulunmuştur. Kükürt izotopları cevherleşme kökeninin araştırılmasında sık kullanılan izotoplardır. Mafik ve ultramafik kayalarda $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinin sıfır'a yakın oluşu, buna karşılık yüzeye yakın ortamlarda oksitlenme-İndirgenme süreçlerinden etkilenen kükürtte, bu

değerlerin geniş bir aralığa yayılışı, cevher yataklarındaki $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ oranlarının cevherleşme kökeninin yorumunda kullanılmasına yol açmıştır.

Çalışma alanında bulunan sülfürlü minerallerin bileşiminde bulunan $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinin ‰ 0'a çok yakın olması (-3 ‰) cevher minerallerinin oluşumunu sağlayan hidrotermal çözeltiler içindeki kükürtün magmatik kökenli olduğunu göstermektedir (Şekil 8), [24].



Şekil 8. Hidrotermal yataklardaki sülfür taşıyıcı mineraller için sülfür izotop değerleri [24]

3.4. Sıvı Kapanım Çalışmaları

Sıvı kapanım çalışmaları için seçilen örnekler çoğunlukla opak kesimlerden oluşmaktadır. Şeffaf-yarı şeffaf kristallerde yapılan sıvı kapanım incelemelerinde saptanan sıvı kapanımların büyüklükleri oldukça küçüktür. Bu nedenle kapanımlar, çoğunlukla bileşimsel olarak sınıflandırılmamıştır. Bazı kristaller de ise saptanabilen sıvı kapanımlar tek fazlı (sıvı) kapanımlar olarak ayırtlanabilmiştir. Tek fazlı kapanımlar genellikle birincil kökenli daha az oranda da ikincil kökenli olanları mevcuttur. Tek fazlı (sıvı) kapanımların boyutları <1-40 mikrometre arasında değişmektedir. Örneklerde sadece eser oranda iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar tespit edilebilmiştir. İki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar <1-8 mikrometre arasında değişmektedir. Kapanımlar genel olarak üçgenimsi, elipsoidal ve/veya düzensiz şekiller sunmaktadır. Bu kapanımlarda yapılan ölçümler kapanımların oldukça küçük olması nedeniyle güçlüklerle gerçekleştirilmiştir. Homojenleşme sıcaklığının ölçüldüğü birincil kökenli iki fazlı (sıvı+gaz) bu kapanım sıvı azot kullanılarak dondurulmuştur. Kapanımın genellikle küçük boyutlu olması nedeniyle, sıvı kapanımların düşük sıcaklıklardaki (<0°C) faz değişimleri optik olarak gözlemlenememiştir. Bu nedenle iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımların tuzluluk değerleri hesaplanamamıştır. Ölçüm yapılan kapanımların tamamı sıvı faza homojenleşmiştir. Kapanımlardaki sıvı fazın gaz faza oranı fazladır. Elde edilen homojenleşme sıcaklıkları (Th °C) Çizelge 2’de verilmiştir:

Çizelge 2. Sıvı kapanım ölçüm sonuçları

| Homojenleşme sıcaklığı Th (C ⁰) | Kapanım türü |
|---|--------------|
| 69 | İki fazlı |
| 85 | İki fazlı |
| 91 | İki fazlı |
| 93 | İki fazlı |
| 94 | İki fazlı |
| 96 | İki fazlı |
| 96 | İki fazlı |
| 100 | İki fazlı |
| 108 | İki fazlı |
| 109 | İki fazlı |
| 110 | İki fazlı |
| 111 | İki fazlı |
| 114 | İki fazlı |

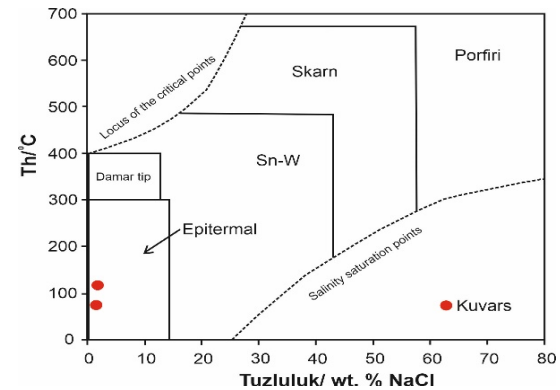
| | |
|-----|-----------|
| 120 | İki fazlı |
| 122 | İki fazlı |
| 127 | İki fazlı |

Homojenleşme sıcaklıklarının ölçüldüğü iki fazlı (sıvı+gaz) kapanımlar sıvı azot kullanılarak dondurulmuş ve ergime sıcaklıkları (Tm°C) bulunmuştur. Ölçülen ergime sıcaklıkları (Tm°C) ve bunlara karşılık gelen % NaCl eşdeğerleri Çizelge 3’te Bodnar (1993)’ın eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır [25].

Çizelge 3. Tm (°C) ve % NaCl değerleri

| Tm (°C) | % NaCl eşdeğeri | Tm (°C) | % NaCl eşdeğeri |
|---------|-----------------|---------|-----------------|
| -0,8 | 1,4 | -0,1 | 0,2 |
| -0,3 | 0,5 | 0 | 0 |
| -0,2 | 0,4 | | |
| -0,2 | 0,4 | | |

Yapılan 16 adet ölçüm değerine göre, kapanımların homojenleşme sıcaklığı 69-127 °C arasında değişmektedir. Bununla birlikte, kristallerde yaygın olarak izlenen tek fazlı (sıvı) kapanımların varlığı, oluşum sıcaklıklarının 100 °C’nin altında olduğuna işaret etmektedir [26]. Elde edilen homojenleşme sıcaklık değerleri de bunu destekler niteliktedir. Sıvı kapanım ölçümlerinde elde edilen sıcaklık aralığı 69-127 °C olup ortalama olarak 103 °C’dir Bu değere göre; cevherleşmeyi oluşturan çözeltilerin epitermal sıcaklığa sahiptir (Şekil 9).



Şekil 9. Değişik yatak tiplerinden elde edilen homojenleşme-tuzluluk değişim alanları ve cevherleşme alanından elde edilen sıvı kapanım verilerinin bu yataklarla ilişkisi [26]

4. SONUÇLAR

Bölgedeki cevherleşme Büyük Kızılılık ve Küçük Kızılılık kasabalarının kuzeyinde yaklaşık 15 km uzunluğunda 1 km genişliğinde irili ufaklı mostralr şeklinde gözlemlenmektedir. Cevherleşme, Üst Kretase yaşlı Karaböğürtlen formasyonunu kesen silis zonu içerisinde bulunmaktadır. Sahada belirlenen cevherleşme zonu silisleşmiş floritli/baritli altere zon olarak gözlenmektedir. Florit/barit içerikli cevher mineralleri silis zonu ppm, BKS-2 sondajında ise ortalama Pb 47 ppm, Zn 202 ppm, As ise 3116 ppm, BKS-3 sondajında ise Pb 46 ppm, Zn 220 ppm As 2900 ppm değerleri alınmıştır. Ancak kurşun ve çinko cevherleşmesi için ekonomik bir değer elde edilememiştir. Arsenik değerlerinin yüksek çıkmasına rağmen Au değerleri de oldukça düşüktür.

Cevher mikroskopi çalışmalarına göre az miktarda pirit, sfalerit, galenit ve submikroskopik organik malzeme tespit edilmiştir. Piritler hem özşekilsiz taneler halinde, hemde çatlak dolgusu şeklinde izlenmiştir. Çatlak içerisindeki piritler yer yer yarı radyal dizilimlidir. Sfalerit ve galenitler ise genelde piritlerin ara, boşluk ve çatlaklarında izlenmiştir. Sfaleritler ayrıca devamlılığı olmayan çatlak dolgusu şeklinde de bulunmaktadır. Cevherleşmenin kaynağını teşkil ettiği düşünülen Granitoidler bu çalışmada Toroslar'da isim birlikteliğinin sağlanması ve genel adlama olması nedeniyle "Baskil Granitoidleri" olarak benimsenmiştir.

Pirit örneği üzerinde yapılan izotop analizine göre ($\delta^{34}\text{S}$; -3 ‰) cevher minerallerinin oluşumunu sağlayan hidrotermal çözeltiler içindeki kükürtün magmatik kökenli olduğunu göstermektedir. Kuvars mineralleri üzerinde yapılan 16 adet sıvı kapanım analizinde 69-127 °C arasında ve ortalama olarak 103 °C oluşum sıcaklığı belirlenmiştir. Bu sıcaklık cevherleşmeyi oluşturan çözeltilerin epitermal sıcaklığa sahip olduğunu göstermektedir.

Büyük Kızılılık Pb-Zn cevherleşmelerinde yapılan çalışmalar sonucunda birincil köken olarak Miyosen'den itibaren bölgeyi etkileyen asidik karakterli volkanizmanın etkisiyle metamorfik istifler içerisindeki fay ve kırık çatlak sistemlerinde yerleşmiş sülfürlü bir yataklanma şekli

içerisinde düzensiz şekilli yamalar şeklindedir. Jeokimyasal prospeksiyon numunelerinden alınan sonuçlara göre ortalama 215 ppm Pb, 82 ppm Zn ve 1228 ppm As değerleri saptanmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre söz konusu silisifiye zonda Pb-Zn ve As değerlerinin anomali verecek düzeyde olduğu gözlenmiş ve 3 adet lokasyonda sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir. BKS-1 nolu Sondaj karotlarından alınan örneklerden yapılan analizlere göre ortalama Pb 134 ppm, Zn 542 ppm As 1535

düşünülürken, ikincil cevherleşmeler için birincil sülfürlü minerallerin çözünerek tektonik olaylar sonucu oluşan süreksizlik zonlarında depolandığı düşünülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma MMF2014YL1 proje numarası ile Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tarafından desteklenmiştir. Maden Tetkik ve Arama (MTA) Maden Etüt ve Arama Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Özgül, N., 1976. Toroslar'ın Bazı Temel Jeoloji Özellikleri: T.J.K. Bült., (19), 65-78, Ankara.
2. Aziz, A., Meşhur, M., Serdar, H.S., 1979. Sarız-Pınarbaşı-Kaynar Dolayının Jeolojisi Ve Hidrokarbon Olanakları TPAO (Rapor No.1257) (Yayımlanmamış).
3. Perinçek, D., Kozlu, H., 1981. Afşin-Elbistan-Doğanşehir Dolaylarının Jeolojisi ve Petrol İmkanları TPAO (Rapor No. 4209) (Yayımlanmamış).
4. Özgül, N., Turşucu, A., Özyardımcı, N., Şenol, M., Bingöl, İ., Uysal, Ş., 1981. Munzur Dağları'nın Jeolojisi MTA (Rapor No. 6995) (Yayımlanmamış).
5. Tarhan, N., 1982. Göksun-Afşin-Elbistan Dolayının Jeolojisi: MTA, (Rapor No. 7296, 63) (Yayımlanmamış).
6. Erdoğan, B., 1982. Ergani-Maden Yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit Kuşağının Jeolojisi ve Volkanik Kayaları: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 25(1), 45-59.

7. Çağlayan, M.A., İnal, R.N., Şengün, M., Yurtsever, A., 1983, Structural Setting of Bitlis Masif. Tekeli, O., and Göncüoğlu, C., Eds., *Geology of the Taurus Belt International Symposium*, 245-254.
8. Tarhan, N., 1986. Doğu Toroslar'da Neo-Tetis'in Kapanımına İlişkin Granitoyid Magmalarının Evrimi ve Kökeni: MTA Dergisi, 107, 95-110.
9. Baydar, O., 1989. Berit-Kandil Dağları (Kahramanmaraş) ve Civarının Jeolojisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 248.
10. Yiğitbaş, E., 1989. Engizek Dağı (K.Maraş) Dolayındaki Tektonik Birliklerin Petrolojik İncelemesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 347.
11. Yıldırım, M., 1989. Kahramanmaraş Kuzeyindeki (Engizek-Nurhak Dağları) Tektonik Birliklerin Jeolojik-Petrolojik İncelemesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 306.
12. Kozlu, H., Fourcade, E., Günay, E., 1990. Doğu Toros Bölgesinde Neo-Tetisin Evrimi: Türkiye 8. Petrol Kong., Genişletilmiş Bildiri Özleri, 387-402.
13. Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E., 1991. The Different Ophiolitic-Metamorphic Assemblages of the SE Anatolia and Their Significance in the Geological Evolution of the Region. *Proceedings of the 8th Petroleum Congress*, 128-140.
14. Pehlivan, Ş., Barkurt, M.Y., Bilginer, E., Kurt, Z., Sütçü, Y.F., Can, B., Bilgi, C., Örcen, S., Süer, T., Karabıyıkoglu, M., 1991. Elbistan-Nurhak (Kahramanmaraş) Dolayının Jeolojisi MTA (Rapor No. 9423) (Yayımlanmamış).
15. Yılmaz, A., Bedi, Y., Uysal, Ş., Yusufoglu, H., Atabey, E., Aydın, N., 1992. Doğu Toroslar'da Uzunyayla ile Beritdağı Arasının Jeolojisi MTA (Rapor No. 9543) (Yayımlanmamış).
16. Vergili, Ö., Parlak, O., 2005. Geochemistry and Tectonic Setting of Metamorphic Sole Rocks and Mafic Dikes from the Pınarbaşı (Kayseri) Ophiolite, Central Anatolia (Turkey): *Ofiolit*, 30(1), 37-52.
17. Yusufoglu, H., Bedi, Y., Usta, D., Özkan, M.K., Beyazpınar, M., Yıldız, H., 2005. Afşin-Elbistan Neojen Havzasının Tektonik Evrimi, Doğu Toroslar, Türkiye. 58. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, 264-265, Ankara.
18. Parlak, O., 2006. Geodynamic Significance of Granitoid Magmatism In The Southeast Anatolian Orogen: Geochemical and Geochronological Evidence From Göksun-Afşin (Kahramanmaraş, Turkey) Region: *Int. Journal of Earth Sci.*, 95, 609-627.
19. Korkmaz, H., Karabulut, M., Karataş, A., 2012. Tekir-Göksun (Kahramanmaraş) Arasındaki Karstik Şekiller. III. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu (Ujes' 2012), 48, Hatay.
20. Vergili, Ö., Taptk, M. A., Çakır, C., Öcal, H., 2013. Ülkemizde Bir İlk; Okyanusal Yayda Keşfedilen, Hüyükli Porfiri Cu-Mo Yatağı; Afşin-Kahramanmaraş, MTA Raporu.
21. Özbek, A., 2016. Kahramanmaraş ve Çevresindeki Kireçtaşlarının Mühendislik Özellikleri ve Agrega Olarak Kullanılabilirliği. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19- 3.
22. Hozatlıoğlu, D., Bozkaya, Ö., Yalçın, H., Yılmaz, H., 2020. Mineralogical Characteristics of Metamorphic Massif Units Outcropping in Göksun, Afşin and Ekinözü (Kahramanmaraş) Region. *Bull. Min. Res. Exp.*, 162, 103-143.
23. Bedi, Y., Yusufoglu, H., Özkan, M.K., Beyazpınar, M., Usta, D., Baran, C., 2009. Malatya-Elbistan Dolayının Tektono-Stratigrafik Özellikleri, MTA Derleme Raporu.
24. Ohmoto, H., Rye, R.O., 1979. Isotopes of Sulphur and Carbon. In: Barnes, H.L., (Ed.), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. New York: Wiley, 506-567.
25. Bodnar, R.J., 1993. Revised Equation and Table for Determining the Freezing Point Depression of H₂O-NaCl Solution. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 57, 683-884.
26. Roedder, E., 1984. *Fluid Inclusions: Reviews in Mineralogy*, Mineralogical Society of America, v. 12-644, Washington.

Noise and Disturbance Rejection Performance Evaluation on Explicit Model Predictive Control Technique Applied to Inverted Pendulum with Various Test Scenarios

Hüseyin Emre ÖZGÜR*¹ ORCID 0000-0001-6368-0689

Necdet Sinan ÖZBEK² ORCID 0000-0002-7184-9015

Mehmet İlteriş SARIGEÇİLİ³ ORCID 0000-0002-9969-2005

¹Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Adana

²Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Engineering Faculty, Electrical-Electronics Engineering Department, Adana

³Çukurova University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Adana

Geliş tarihi: 18.04.2022

Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: ÖZGÜR, H.E., ÖZBEK, N.S., SARIGEÇİLİ, M.İ., (2022). Noise and Disturbance Rejection Performance Evaluation on Explicit Model Predictive Control Technique Applied to Inverted Pendulum with Various Test Scenarios. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 643-651.

Abstract

An inverted pendulum on a cart (IPC) system, which is a widely used test environment for controller design due to ease of applicability, has the opportunity to be applied in different fields with nonlinear and under-actuated characteristics. In this study, the performance of the explicit MPC control method has been examined against the noise and disturbances by using two test cases and analysis approaches. Different trajectory tracking, disturbance, and noise situations have been taken into account in the elaborated scenarios. The numerical applications have been performed by the model predictive control toolbox of Matlab®/Simulink®. The advantages and drawbacks of the controller have been discussed in terms of time-domain specifications.

Keywords: IPC, Explicit MPC, Disturbance rejection, Noise attenuation

* Corresponding author (Sorumlu yazar): Hüseyin Emre ÖZGÜR, heozgur@atu.edu.tr

Çeşitli Test Senaryoları ile Ters Sarkaca Uygulanan Açık Model Öngörüllü Kontrol Tekniği Üzerinde Gürültü ve Bozucu Bastırma Performans Değerlendirmesi

Öz

Uygulama kolaylığı nedeniyle kontrolör tasarımı için yaygın olarak kullanılan bir test ortamı olan araba üzerinde ters sarkaç (IPC) sistemi, doğrusal olmayan ve düşük harekete geçirilmiş özellikleri ile farklı alanlarda uygulama imkânına sahiptir. Bu çalışmada, açık MPC kontrol yönteminin, iki test durumu ve analiz yaklaşımları kullanılarak gürültü ve bozululara karşı performansı incelenmiştir. Ayrıntılı senaryolarda farklı yörünge takibi, bozucu ve gürültü durumları dikkate alınmıştır. Sayısal uygulamalar, Matlab®/Simulink®'in model öngörüllü kontrol araç kutusu tarafından gerçekleştirilmiştir. Kontrolcünün avantajları ve dezavantajları, zaman alanı spesifikasyonları açısından tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: IPC, Açık MPC, Bozucu bastırma, Gürültü azaltma

1. INTRODUCTION

Inverted pendulum on a cart (IPC) is an under-actuated nonlinear system with non-minimum phase zero dynamics. Pendulum-based systems are widely used in real world applications. To mention a few; rockets, Segway (a mobile inverted pendulum system), and even bipedal movement modelling can be modelled by IPC. The main task of the IPC is balancing an inverted pendulum on a moving cart. To balance the pole, only horizontal force input on the cart is permitted [1]. A wide variety of control approaches can be examined with IPC due to the aforementioned properties. Further, IPC systems are widely used as a classical control problem for teaching control techniques. Up to date various control methods have been developed for the IPC. Among these, linear quadratic regulator (LQR) approach is one of the fundamental optimal control approaches and it's an improvement to full state control by usage of quadratic cost function in controller optimization [2]. The LQR uses an infinite horizon approach for the optimization process. Kumar et al. [3] presented a modern implication of LQR on IPC systems. LQG is yet another optimal control approach with a Gaussian State estimator. Eide et al. [4] presented a modern example of an LQG controller on an IPC system. Askari et al. [5] presented a model predictive control (MPC) implication on the IPC system. Boubaker [6] presented a nonlinear control approach to the IPC.

Even some of the data-driven control approaches have been implemented on the IPC systems. Baciu and Lazar [7] presented a data-driven controller usage on an IPC system.

Disturbance and noise in control systems are the important challenges to overcome. The disturbance is unexpected/undesirable effects on the system caused by external sources. Noise is random distortion in sensor signals. Although disturbance or noise can be ignored under ideal conditions, their effects can be seen in real-life applications. The performance of controllers under these effects is very important for both industrial and research implementations of control systems.

Generally speaking, linear control schemes are designed by considering an infinite period. Those types of controllers can provide excellent performance in well modelled and relatively stable systems. In particular, the LQR is in this category and it can give successful results with low computational cost under fully specified conditions. However, the LQR may not be able to reject disturbances and noise effects in an unpredictable dynamic environment. This dilemma can be overcome by limiting the optimization horizon to a finite range with repetitive re-optimization after each step.

MPC approach is one of the solutions to overcome the aforementioned drawback. One of the most

significant benefits of a MPC technique for multivariate systems is its ease of deployment. Further, the MPC can reduce the effects of time delays and deal with constraints systematically. Despite the simple nature of the MPC, the constraints of the system states and control inputs can effectively be overcome. In the MPC, the optimization process is implemented in a finite control horizon with re-optimization after each time step. The general concepts of the MPC approach have been presented in Figure 1. By using this approach, a controller might adapt to unpredicted parameter effects, disturbance effects, and noise effects to produce the required control performance with desired system control parameter ranges. Other significant advantages include its capacity to avoid the influence of time delays due to its nature and the systematic inclusion of system restrictions in the design process.

The application of MPC on an IPC to analyze the effects of input disturbance was studied by Mills et al. [8]. It should be noted that conventional MPC has high computational costs due to its online optimization approach. However, Bemporad et al. [9] presented a linear programming-based explicit MPC solution that reduces optimization cost by converting the online optimization approach to offline optimization with an affine piecewise computation approach. Furthermore, Bemporad presented a chapter about the explicit MPC approach in [10], where the central notion of the explicit MPC is discussed.

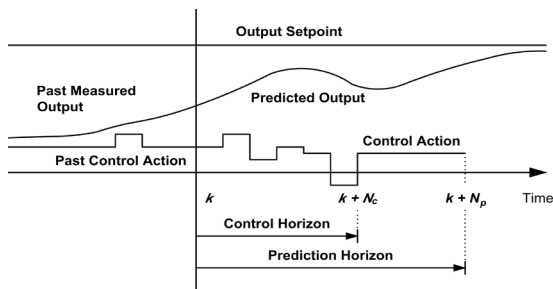


Figure 1. MPC Horizon Scheme (k is the time step representation, N_c is the selected control horizon time-step, and the N_p is the selected prediction horizon time-step)

The linear control strategy is used in the conventional MPC control approach. An IPC, on the other hand, is a nonlinear system. Hence several prominent nonlinear methods are presented in various studies. For example, Jaiwat and Ohtsuka [11] designed nonlinear model predictive control (NMPC) to tackle a double IPC system swing-up problem. Hybrid MPC is another solution for systems with continuous-valued states and discrete-valued states. Patne et al. [12] presented an FPGA application of HMPC on an IPC system, wherein a step-by-step technique for FPGA implementation using the inverted pendulum model is demonstrated. A further solution is Robust MPC (RMPC) to control nonlinear systems. In this context, Tian et al. [13] addressed an RBF-ARX-ERPC approach for the solution of an IPC by using model-based RMPC. Data-driven control is yet another approach to solution of nonlinear control problems. Verhoek et al. [14] presented a data-driven predictive control (DPC) solution on double IPC.

The prediction horizon is a finite time range where the MPC controller tries to predict the outcomes and the effects on the controlled systems. The control horizon is another finite time range where the controller predicts the required control inputs in that time range for each time step to the controlled system and produces desired plant output. The MPC predicts output in a range of prediction horizon and predicts required Δu in the range of control horizon (after that point, Δu is assumed as 0).

The repetitive online optimization process of the MPC approach requires a considerable amount of computational power which limits applications of the MPC controllers. To deal with extensive computational cost requirements, the Explicit MPC approach was presented by Bemporad [9] by using an offline optimization process. In the explicit method, solutions are found across all regions in an offline manner by converting the process calculations to piecewise affine functions which require fewer computation costs. Performance analysis of Explicit MPC applied to IPC with various optimization parameters of trajectory and pole stability without noise and

disturbance inputs has been presented by in a recent study [15].

The main motivation of this research is to assess the noise and disturbance rejection capability of the Explicit MPC method applied to an inverted pendulum system. Therefore, various configurations on the positional trajectory, disturbance, and noise have been defined. Then, testing scenarios have been developed for trajectory tracking schemes, disturbance rejection capabilities and measurement noise scenarios.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material

2.1.1. IPC Model

The system model represented in Figure 2a has one control input. The controllers have been utilized by consideration of the reference trajectory, the position state feedback, and the pole angle state. The general diagram of the control structure is shown in Figure 2b. As a computation and simulation tool, the Matlab®/Simulink® program, the Control Toolbox, and the MPC Control Toolbox have been used to design and implement the controllers.

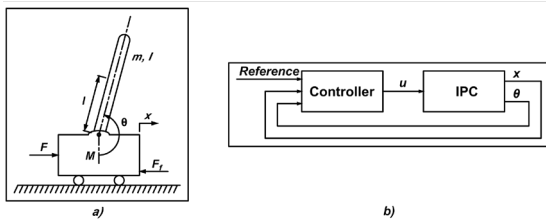


Figure 2. a) Schematic representation of an IPC b) Block diagram of a used closed-loop structure

In Figure 2, M , m , b , l , I , F and F_f represent the mass of the cart, the mass of the pendulum, coefficient of friction between the ground and cart, length to the pendulum center of mass (COM), mass moment of inertia, force applied to the cart and friction force, respectively. Furthermore, u , x and θ show the control signal, state of cart position

and pole angle, respectively. The numerical values of the parameters are given in Table 1.

Table 1. The numerical values of IPC parameters

| M | m | b | l |
|-----|-----|------------|-------|
| 1kg | 1kg | 10 N/m/sec | 0.5 m |

The dynamical equations of the IPC [16] have been shown in Equations 1 and 2.

$$(M+m)\ddot{x}+b\dot{x}+ml\ddot{\theta}\cos\theta-ml\dot{\theta}^2\sin\theta=F \quad (1)$$

$$(I+ml^2)\ddot{\theta}+mgl\sin\theta=-ml\ddot{x}\cos\theta \quad (2)$$

The dynamical system equations are nonlinear. Hence, those equations have to be linearized for the utilization of the Explicit MPC technique. Toward this goal, the system is linearized by selecting an equilibrium point then a linear approximated model is obtained. During the linearization, the upward position ($\theta = \pi$) has been selected as the equilibrium point. The linearized model of the nonlinear system can be employed for small angular deviation (ϕ) where ϕ has been limited to $\pm 20^\circ$. The results of the linearized system and the linear governing equations have been given in Equations 3 and 4.

$$(I+ml^2)\ddot{\phi}-mgl\phi=ml\ddot{x} \quad (3)$$

$$(M+m)\ddot{x}+b\dot{x}-ml\ddot{\phi}=u \quad (4)$$

The state-space model has been implemented for the IPC system. The obtained equations of the linearized IPC system have been shown in Equations 5 and 6. The state-space model has been utilized for the Explicit MPC approach [17].

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \\ \dot{\phi} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{-(I+ml^2)b}{I(M+m)+Mml^2} & \frac{m^2gl^2}{I(M+m)+Mml^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{-mlb}{I(M+m)+Mml^2} & \frac{mgl(M+m)}{I(M+m)+Mml^2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{I+ml^2}{I(M+m)+Mml^2} \\ 0 \\ \frac{ml}{I(M+m)+Mml^2} \end{bmatrix} u \quad (5)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (6)$$

By using the parametric values in Table 1 and Equations 5 and 6, the following state matrices can be obtained. The additional dimensions in B and D are caused by disturbance.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \\ \dot{\phi} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -10 & 9.81 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -20 & 39.24 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 2 & 2 \end{bmatrix} u \quad (7)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} u \quad (8)$$

2.1.2. Environments and Testing Scenarios

Environment scenarios are created with consideration of regulation, trajectory tracking, disturbance and noise conditions. Two different scenarios have been determined. In theory, movement sequences do not affect an evaluation of controller performance for correctly tuned controllers. But in real-life conditions, nonlinearities and inertial effects may play unpredictable effects, especially in sequences that include start-stop or direction-changing/oscillating conditions. The first trajectory sequence is the classical step reference signal for trajectory tracking. The second sequence provides conditions to analyze oscillating trajectory tracking performance, which provides insights about properties under direction change.

Table 2. Position tracking performance test environment configurations

| Sequence | | 1st sec | 6 th sec | 11 th sec | 16 th sec | Notes |
|------------|---|---------|---------------------|----------------------|----------------------|--|
| Sequence 1 | 0 | 0.2m | 0.2m | 0.2m | 0.2m | Step reference of 0.2 m at 1 st sec |
| Sequence 2 | 0 | 0.15m | -0.15m | 0.15m | -0.15m | Oscillating Trajectory tracking (performance under direction change) |

The proposed scenarios and various configuration options have been presented in Table 2. The disturbance is a 1N force change when implemented. The noise is a band-limited white noise with a 1×10^{-9} gain option on pole angle readings when utilized.

2.1.3. Explicit MPC

In implicit MPC (classical MPC), the optimization solution for control occurs in an online manner. Online optimization calculations require less memory but higher computational power. In the explicit MPC, the optimization calculations are made offline manner. The explicit MPC pre-solves optimization problems and converts the problem to regions in a piecewise affine manner which is easier to calculate. This approach demands higher memory with a less computational cost which is suitable for industrial applications. In Equation 9, the process has been shown. The complex

optimization problem is reduced to arithmetic calculations [10].

$$\min_{z, \epsilon} \sum_{k=0}^{N-1} \frac{1}{2} (y_k - r_k)' Q_y (y_k - r_k) + \frac{1}{2} \Delta u_k' R_\Delta \Delta u_k + (u_k - u_k^r)' R (u_k - u_k^r) + \rho_\epsilon \epsilon^2 \quad (9a)$$

$$s. t. x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + B_v v_k \quad (9b)$$

$$y_k = Cx_k + D_u u_k + D_v v_k \quad (9c)$$

$$u_k = u_{k-1} + \Delta u_k, k = 0, \dots, N - 1 \quad (9d)$$

$$\Delta u_k = 0, k = N_u, \dots, N - 1 \quad (9e)$$

$$u_{min}^k \leq u_k \leq u_{max}^k, k = 0, \dots, N_u - 1 \quad (9f)$$

$$\Delta u_{min}^k \leq \Delta u_k \leq \Delta u_{max}^k, k = 0, \dots, N_u - 1 \quad (9g)$$

$$y_{min}^k - \epsilon V_{min} \leq y_{max}^k + \epsilon V_{max}, k = 0, \dots, N_c - 1 \quad (9h)$$

In Equation 9; N is the prediction horizon, N_u is the control horizon, and N_c is constrain horizon. y_k is output vector, r_k is tracked reference, u_k^r is input reference, and u_k is the reference. R_Δ , Q_y , and R are matrices. v_k is the vector of measured disturbances, y_k is the output vector, r_k is tracked reference, Δu_k is the input increments vector and u_k^r is the input reference. u_{min}^k , u_{max}^k , Δu_{min}^k , Δu_{max}^k , y_{min}^k and y_{max}^k are limits.

2.1.4. Controller-Application of Explicit MPC

The simulation models for the explicit MPC method are constructed by utilizing the Model Predictive Control Toolbox of Matlab/Simulink. The Output Variable (OV) of the positional tracking weight w_x has been examined by a value of 0.75. Trajectory tracking is the primary objective of the study. Lower weight results in a lower cost of positional tracking, which directs the optimization process towards better trajectory tracking. Hence, the w_x can be selected as a lower value. MPC controllers have adequate pole balancing performance. Hence w_θ value is selected as 1.

2.2. Method

In the current study, two different comparisons were made using the Explicit MPC controllers with different control inputs, outputs and two different trajectories: disturbance and noise scenarios. In the first comparison, step trajectory tracking performance of controllers with control input constraints at three different levels (no limit, $F=\pm 1$, $F=\pm 2$) were examined. In the second comparison, the oscillating trajectory tracking the performance of controllers with the same three different levels of control input constraints were examined. Both comparisons are examined in scenarios without disturbance and noise effects without control input restrictions as the first steps. The relevant comparison options are shown in Table 3.

Table 3. Configurations for analyses

| Analyzing performance effects of control input limit, disturbance, and noise | w_x | Control input limit |
|--|-------|---------------------------|
| 1 st comparison: by using step trajectory | 0.75 | F = 0 F = ±1 F = ±2 |
| 2 nd comparison: by using oscillating trajectory | 0.75 | F = 0 F = ±1 F = ±2 |

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The results of the first group of trials have been presented in Figure 3. The figure is based on a step trajectory reference of 0.2 m. 1N disturbance is introduced at the 7th second.

The first line (solid line) represents a pure response of the controller from the IPC without disturbance and noise scenario. The dotted line represents the controller configuration without control input limit under disturbance and noise conditions.

The dashed line represents the controller with limited control input ($\pm 1N$) and the dash-dot line represents the controller with limited control input ($\pm 2N$) under disturbance and noise scenarios.

The controller configurations (except $F=\pm 1N$) have shown adequate trajectory tracking performance. The reference position has been achieved in 4 seconds. The effect of the noise is successfully compensated by the controllers. The controller with limited control output of ± 1 was able to track trajectory until the introduction of disturbance. After the disturbance, the controller cannot produce the required control force which causes inadequate trajectory tracking performance due to limited control output level. However, the controller with $F=\pm 2N$ can produce adequate tracking performance with slight misses and overshoots. The misses are caused by the control input production limit. The limit causes response latency which also creates overshoots.

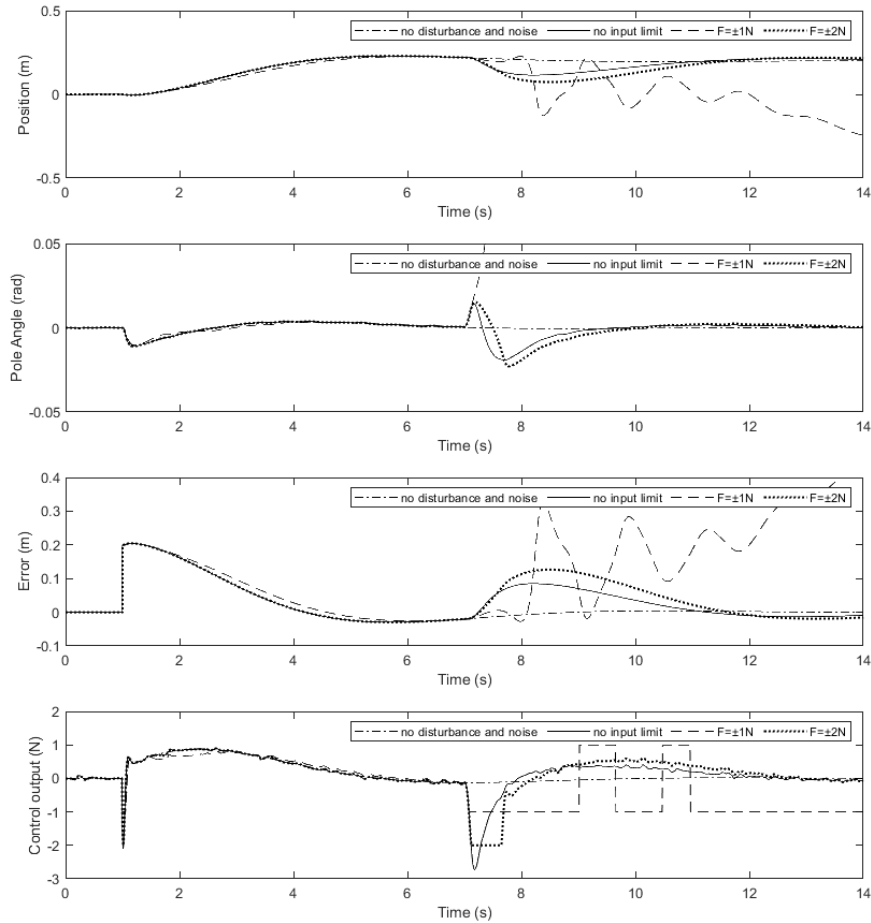


Figure 3. The results of the first group of tests which include a step trajectory (with/without noise and disturbance)

In the second scenario, an oscillating trajectory tracking the performance of explicit MPC controllers have been inspected. The results of the second group of tests have been shown in Figure 4.

Unlike the first scenario, the controller with control input limit $\pm 1N$ showed inadequate position tracking performance before the introduction of disturbance input. This result is caused by the required control input by the direction change. $\pm 1N$ limited controller cannot produce the required control signal for the direction change which caused the poor performance on trajectory tracking for the sequent movement. After the introduction of the disturbance, $\pm 1N$ controller cannot produce a

reasonable control input signal for the plant which causes total failure of its tracking performance. The controller with a $\pm 2N$ limit produced adequate positional tracking performance, even after direction change and disturbance. The $\pm 2N$ limited controller showed a slight tracking performance cost due to the limit on instantaneous control force limitation which causes a slight amount of overshoot when compared to the limitless controller. But the positional tracking performance differences of $\pm 2N$ limited and limitless controller can be neglected.

The results of the trials have shown that an Explicit MPC with adequate control input limit can track positional trajectory with pole balance on

various trajectory scenarios, disturbance effects, and noise effects.

4. CONCLUSION

Disturbance and noise have detrimental factors in a control system. Disturbance rejection and noise attenuation are some useful properties for the performance assessment of a controller. In this context, an explicit MPC-based controller can work under such undesirable conditions. With this motivation in mind, several Explicit MPC controller configurations of various control output limits have been implemented on the step and oscillating trajectory tracking with disturbance and noise scenarios. The IPC system was selected as the controlled plant due to IPC's under-actuated nonlinear system with non-minimum phase zero

dynamics and its wide usage. Most of the controllers (except the controller with a $\pm 1N$ limit) showed adequate position tracking performances even under disturbance and noise conditions.

The classic and Explicit MPC approaches are based on the linear control approach. To utilize those controllers on a nonlinear system, a linearization process has to be implemented. The linearization process alters the characteristics of a system for linearization reference state ranges. Unfortunately, there can be significant differences between nonlinear and linear characteristics. A linearized model might not reflect the reality of a system. Hence, controlling a nonlinear system might be beneficial for implementations. In a future study, an IPC system can be analyzed without linearization.

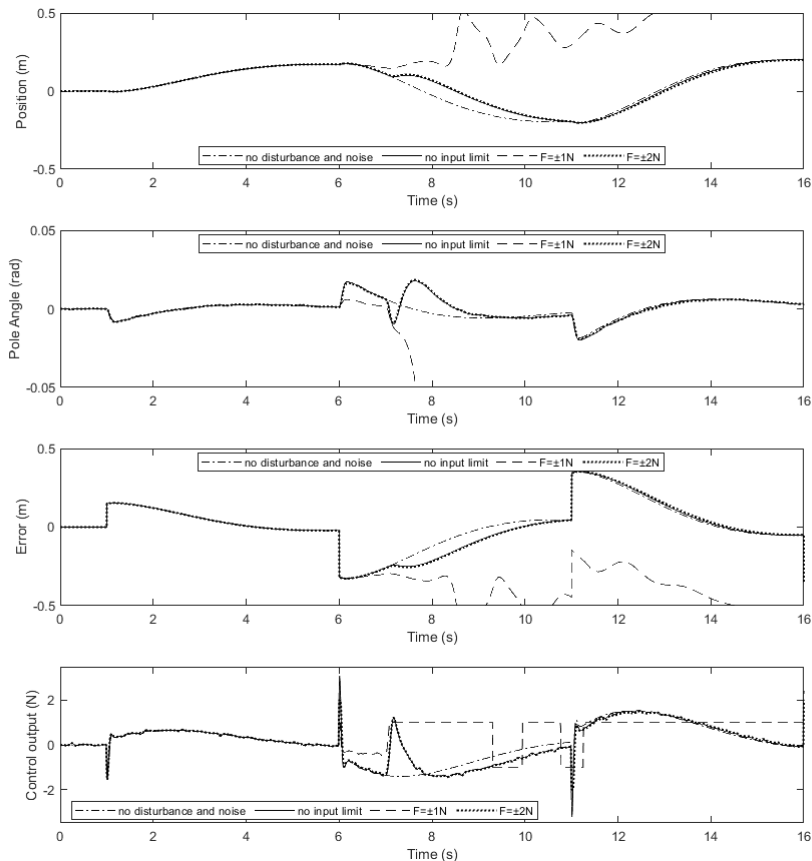


Figure 4. The results of the second group of tests which include an oscillating trajectory (with/without noise and disturbance)

5. REFERENCES

1. Tedrake, R., 2022. Underactuated Robotics: Algorithms for Walking, Running, Swimming, Flying, and Manipulation (Course Notes for MIT 6.832).
2. Kalman, R. E. 1960. Contribution to the Theory of Optimal Control, Bull. Soc. Math. Mex, 102–119.
3. Kumar E., V., Jerome, J. 2013 Robust LQR Controller Design for Stabilizing and Trajectory Tracking of Inverted Pendulum, Procedia Eng., 64, 169–178.
4. Eide, R., Egelid, P.M., Stamsø, A., Karimi, H. R., 2011. LQG Control Design for Balancing an Inverted Pendulum Mobile Robot, Intell. Control Autom., 02(02), 160–166.
5. Askari, M., Mohamed, H.A.F., Moghavvemi, M., Yang, S. S., 2009. Model Predictive Control of an Inverted Pendulum, 2009 Int. Conf. Tech. Postgraduates (TECHPOS 2009), Kuala Lumpur, 6, 1-4.
6. Boubaker, O., 2013. The Inverted Pendulum Benchmark in Nonlinear Control Theory: A Survey, Int. J. Adv. Robot. Syst., 10(5), 233.
7. Baciu, A., Lazar, C., 2021. Data Driven Control for Swing-up and Stabilization of an Inverted Pendulum System. 2021 29th Mediterr. Conf. Control Autom. (MED 2021), 1155–1160.
8. Mills, A., Wills, A., Ninness, B., 2009. Nonlinear Model Predictive Control of an Inverted Pendulum. 2009 American Control Conference, St. Loise, 2335–2340.
9. Bemporad, A., Borrelli, F., Morari, M., 2002. Model Predictive Control Based on Linear Programming-The Explicit Solution, IEEE Trans. Automat. Contr., 47(12), 1974–1985.
10. Bemporad, A., 2019. Explicit Model Predictive Control. Encycl. Syst. Control, 1–7.
11. Jaiwat, P., Ohtsuka, T., 2014. Real-Time Swing-up of Double Inverted Pendulum by Nonlinear Model Predictive Control. 2014 5th Int. Symp. Adv. Control Ind. Process., Hirosima, 290–295.
12. Patne, V., Ingole, D., Sonawane, D., 2020. FPGA Implementation Framework for Explicit Hybrid Model Predictive Control, IFAC-PapersOnLine, 53(1), 362–367.
13. Tian, X., Peng, H., Zhou, F., Peng, X., 2019. RBF-ARX Model-based Fast Robust MPC Approach to an Inverted Pendulum, ISA Transactions, 93, 255–267.
14. Verhoek, C., Abbas, H. S., Tóth, R., Haesaert, S., 2021. Data-Driven Predictive Control for Linear Parameter-Varying Systems, IFAC-PapersOnLine, 54(8), 101–108.
15. Ozgur, H.E., Ozbek, N.S., Sarigecili, M.I., 2022. Assessment of Lqr and Explicit Mpc Methods for an Inverted Pendulum on a Cart System. 2022 MAS 16th International European Conference on Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences, Mardin, 225–234.
16. Franklin, G.F., Powell, J., Emami-Naeini, A., Sanjay, H.S., 2015. Feedback Control of Dynamic Systems (7/E Global Edition), Pearson Education Ltd.
17. CTMS Michigan University, "Inverted Pendulum: System Modeling.", <https://ctms.engin.umich.edu/>. (Accessed 12.04.2022).

SCADA Sistemi: Şehir İçi ve Şehirlerarası Yolların Aydınlatma Sisteminin Kontrolü ve Otomasyonu

Mohammed H. İBRAHİM*¹ ORCID 0000-0002-6093-6105

¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
Konya

Geliş tarihi: 19.04.2022

Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: İBRAHİM, M.H., (2022). SCADA Sistemi: Şehir İçi ve Şehirlerarası Yolların Aydınlatma Sisteminin Kontrolü ve Otomasyonu. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 653-661.

Öz

Denetim kontrolü ve veri toplama (SCADA) sistemleri, petrol ve su dağıtım otomasyonu, enerji otomasyonu ve su arıtma sistemi otomasyonu gibi çeşitli alanlarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, şehir içi ve şehirlerarası yolların aydınlatma sisteminin izlenmesi ve kontrolü için Visual Studio C#.NET ortamında geliştirilen bir SCADA sistemi yazılımı tasarlanmıştır. Tasarlanan SCADA yazılımında, şehir içi ve şehirlerarası yolların aydınlatma sistemindeki tüm olayların izlenmesi ve kontrolü, animasyonlar ve renkli grafikler ile ifade edilerek gerçekleştirilmiştir. Bu olaylar, sahada bulunan ışık şiddetini ölçen, arızaları tespit eden algılayıcılar ile aydınlatma direkleri ekipmanlarının nasıl çalıştığını ve bağlantı yapılarını içermektedir. Ayrıca tasarlanan SCADA yazılımı şehir içi ve şehirlerarası yolların aydınlatma sisteminin günlük verilerini, alarm yönetimini, güvenlik yönetimini, veri arşivini ve raporlama işlemlerini de kapsamaktadır. Sonuç olarak, Irak-Kerkük şehrinde yapılan uygulama ile tasarlanan SCADA sistemi yazılımının şehir içi ve şehirlerarası yolların aydınlatma sistemi kontrolünde eş zamanlı, hatasız ve verimli bir şekilde çalıştığı kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Algılayıcı, Aydınlatma direkleri, Aydınlatma sistemi, Mikrodenetleyici, SCADA

SCADA System: Control and Automation of Lighting System of Urban and Inter-Urban Roads

Abstract

Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems are used in various areas such as the automation of oil and water distribution, energy automation, and the automation of water treatment systems. In this study, Visual Studio C#.NET program-based SCADA system software is designed to monitor and control the lighting system for urban and inter-urban roads. In the designed SCADA software, the monitoring and control of all the events of the lighting system of the urban and inter-urban roads are carried out in the form of animated color graphics. These events include how sensors such as light intensity and fault detection in the field and lighting pole equipment work and how they are related. In addition, the designed SCADA software includes daily data of the lighting system of urban and inter-

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mohammed H. İBRAHİM, mibrahim@erbakan.edu.tr

urban roads, alarm management, security management, data archive, and reporting processes. As a result, it has been proven that the SCADA system software designed with the application in the city of Iraq-Kirkuk works simultaneously, error-free, and efficiently in the control of the lighting system of urban and interurban roads.

Keywords: Lighting poles, Lighting system, Microcontroller, SCADA, Sensor

1. GİRİŞ

Son yıllarda otomasyon cihazları, endüstriyel sistemlerde süreçlerin parametrelerini izlemek ve kontrol etmek için kullanılan basit elektronik devrelerden, otomasyon ağlarında birbirleriyle iletişim kuran akıllı cihazlara dönüşmektedir. Otomasyon cihazlarının gelişimi, otomasyon sürecinden kontrol parametrelerinin ve durum değişkenlerinin görselleştirilmesi için yeni tekniklerin geliştirilmesine yol açmıştır [1]. Otomasyon ekipmanları üreten firmalar, ilk görselleştirme sistemlerini geliştiren ve uygulayan firmalardır ve bu firmalar tarafından Viewer adında genel amaçlı bir otomasyon yazılımı geliştirilmiştir. Denetim kontrolü ve veri toplama (SCADA) sistemi, algılayıcılar aracılığıyla dağıtılmış süreçlerden veri toplar ve bu veriler merkezi bir bilgisayar tarafından ön işlemden geçirilerek saklanır. Sistem, insan operatör tarafından işlenen verilere dayalı olarak komutları otomatik olarak veya manuel olarak alabilir [2]. SCADA terimi ilk olarak 1960'larda Bonneville Güç İdaresi'nde sunulmuştur ve ilk olarak Güç Endüstrisi Bilgisayar Uygulamaları kongresinde bildiri olarak yayınlanmıştır. Genel olarak, SCADA sistemi endüstriyel süreçlerin uzak bölgelerden izlenmesi ve kontrol edilmesi için kullanılmaktadır [3]. Endüstriyel sistemlerinde, birden fazla noktadan süreci izleme ve endüstriyel sistemlerin çalışmasını kontrol etme ihtiyacı çağımızda önemli bir konu haline gelmektedir. Ancak mevcut olan SCADA sistemlerinde kullanılan farklı platform türleri ile uyumsuzluk, temel bir engel olarak bilinmektedir. Ayrıca, maliyet, güvenlik, erişilebilirlik, sistem entegrasyonu, veri bütünlüğü ve tutarlılık gibi problemler de bulunmaktadır [4,5]. SCADA kullanım felsefesi 1971 yılında Gould Modicon tarafından tasarlanan ve üretilen Programlanabilir Lojik Kontrolörler (Programmable Logic Controllers PLCs) ile değişmiştir. Elektrik Güç

Sistemindeki PLC'ler, 1977 yılında Allen-Bradley tarafından tanıtıldı ve elektrikçiler tarafından birçok Elektrik Güç Sistem projelerinde kullanıldı. SCADA terimi ilk kez 1980'lerin sonlarında kullanılmıştır, fakat bu kavram, teknolojinin geliştiği 1990'lara kadar yaygın olarak kullanılmamıştır [3]. 1998'de, PLC üretici firmalarının çoğu, iletişim sistemleri ve açık protokoller kullanarak İnsan Makine Arayüzü'nü (Human Machine Interface HMI) SCADA sistemlerine entegre etmiştir. HMI/SCADA sistemlerine kontrolörler, giriş-çıkış cihazları, ağlar ve sisteme uygun yazılım gibi bileşenleri dahil ederek HMI/SCADA sistemleri PLC'ler ile tam uyumluluk sunmaktadır [6]. Genel bir SCADA sistemi, dağıtılmış bir veri tabanından oluşmaktadır ve bu dağıtılmış veri tabanı, donanım veya yazılım olabilen uç noktalar adı verilen öğeleri içermektedir [7]. SCADA sistemi sayesinde giriş veya çıkış uç noktaları kontrol edilir ve izlenir ayrıca tüm uç noktalarının geçmiş durumlarına sahip olmak için uç noktalarının durumları veri tabanında saklanır. Aynı zamanda, SCADA sistemi Elektrik Güç Sisteminde tahmini bakıma ve sistem güvenliğine yardımcı olmaktadır [8,9]. Böylece SCADA sistemi, temel işlevler, haberleşme ve grafik kullanıcı arayüzü olmak üzere üç katmanlı bir yapıya sahiptir. Temel işlevler katmanında, gerçek zamanlı olarak denetlenen donanımların bilgileri haberleşme protokolleri yoluyla ile anlık olarak grafik kullanıcı yazılımı arayüzünde grafiksel olarak izlenebilir ve denetlenebilir. Ayrıca grafik kullanıcı arayüzü yazılımı donanımlardan elde edilen verileri toplama, alarm yönetimi, veri tabanı yönetimi ve raporlama işlemleri gibi özellikleri de içermektedir [10]. Son zamanlarda, araştırmacılar tarafından SCADA sisteminin kullanım alanları ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar yaygın olarak bulunmaktadır. Örneğin, yenilenebilir enerji kaynakları olan rüzgar enerjisi sisteminin takibi [11], akıllı binaların güneş enerjisi sisteminin

kontrolü [12], güneş ve rüzgar enerjisi dağıtım sistemlerinin izlenmesi ve kontrolü [10] gibi uygulamaların yanında yenilenebilir enerji sektöründe SCADA sistemleri farklı uygulamalarda başarılı bir şekilde kullanılmıştır [9,11-13]. SCADA sistemleri, su arıtma sistemleri [6,14], su dağıtım sistemleri [15,16] ve kritik altyapı kazalarının [17] izlenmesi ve kontrolü gibi su ve altyapı sistemlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca, SCADA sistemleri doğal gaz [18] ve petrol sektörünün [19] dağıtım sistemlerinin izlenmesi ve kontrolü, aynı zamanda petrol arıtıcı sistemlerinde de kullanılmaktadır [20,21]. SCADA sistemleri veri madenciliği ve makine öğrenme algoritmaları ile enerji üretim tahmini sistemlerinde de kullanılmaktadır [22].

Bu çalışmada, SCADA sistemi şehir içi ve şehirlerarası yolların aydınlatma sisteminin izlenmesi ve kontrolü amacı ile kullanılmıştır. SCADA sistemi ile arızalar tespit edilerek ve bu arızalara göre ani müdahaleler yapılarak şehirler için park ve sokaklarda güvenlik sağlarken şehirlerarasında dengeli bir ışık sistemi ile güvenli bir trafik sağlar. Bu çalışmanın birinci bölümünde, SCADA ve SCADA kullanımı hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümünde, SCADA hakkında genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümünde, şehir içi ve şehirlerarası aydınlatma sistemi hakkında

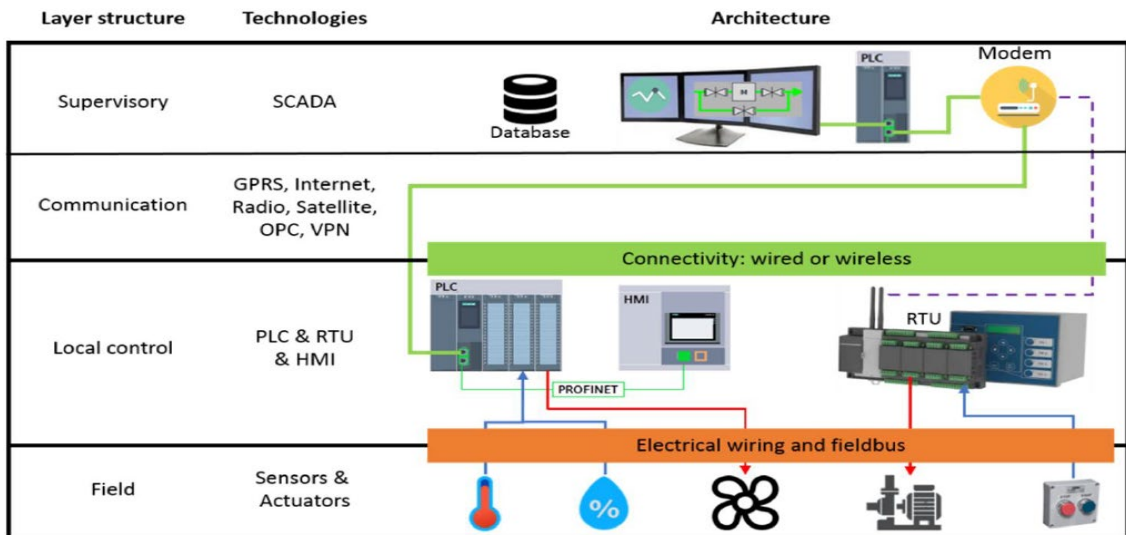
bilgiler sunulmuştur. Dördüncü bölümünde, SCADA sistemi ile şehir içi ve şehirlerarası aydınlatma sisteminin tasarımı açıklanmıştır. Son bölümde ise çalışmanın sonucu verilmiştir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemler bu başlığın alt başlıklarında detaylı olarak verilmiştir.

2.1. SCADA Sistemi

SCADA, Türkçesi “Denetim kontrolü ve veri toplama” anlamına gelen “Supervisory Control and Data Acquisition” kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır [23]. SCADA sistemi genel olarak donanım, haberleşme ve yazılım olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır [3]. Donanım katmanında, saha ekipmanları, bu ekipmanları kontrol eden uzak uç birimi (Remote Terminal Unite RTU), PLC ve mikrodenetleyici gibi denetleme ve veri toplama kartları bulunmaktadır. Haberleşme katmanında haberleşme cihazları bulunmaktadır. Yazılım katmanında ise denetleme ve veri toplama kartının yazılımı ile merkezi İnsan Makine Arayüzü (HMI) yazılımından oluşmaktadır. Genel bir SCADA sisteminin yapısı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. SCADA sisteminin yapısı [6]

SCADA sistemi, işleme endüstrilerinde üretkenliği ve verimliliği ciddi bir şekilde artıran bilgisayar teknolojisinin son derece önemli bir uygulamasıdır. SCADA sistemi genellikle üretim işlemleri, arıtma işlemleri ve dağıtım sistemleri üzerinde uygulanmaktadır [24]. SCADA sistemleri, kontrolün yanı sıra, büyük ve karmaşık işletme sistemlerinin güvenli bir şekilde çalıştırılabilmesi ve nispeten küçük bir ekip tarafından bakımının yapılabilmesi için izleme, veri toplama, alarm, raporlama ve problem teşhis fonksiyonlarını da yerine getirmektedir [25]. SCADA sisteminin işlevleri aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Kontrol işlevi: SCADA sistemleri, tanklarda belirli seviyeleri, akış hızlarını, belirli sıcaklık ve basınç değerlerini elde etmek için P, PI ve PID kontrol algoritmaları gibi standart kontrol algoritmalarını çalıştırabilir. Ayrıca, SCADA sistemleri ile pompaların başlatılması ve durdurulması, vanaların açılması ve kapanması ve diğer saha ekipmanlarının Açma/Kapama olarak otomatik kontrolü sağlanabilir [26].

İzleme işlevi: Genel olarak, saha aygıtları ile operatör arasında etkili bir görsel arayüz yazılımı sağlamak SCADA sisteminin önemli bir işlevidir. Bu görsel arayüz yazılımı, saha ekipmanlarının değerlerini görüntülemek ve bu değerleri animasyonlu grafiklerin içine dahil etmek için gelişmiş bir araç setine sahiptir. Ayrıca, gerçek zamanlı olarak veri toplama ve bu verilerin zamana dayalı değişimlerini göstererek süreçlerdeki değişimlerin detaylı bir şekilde gözlemlenebilmesine olanak sağlar [27].

Veri toplama ve raporlama işlevi: Sahada bulunan ekipmanlardan toplanan veriler sisteme belirli bir haberleşme yöntemi ile aktarıldıktan sonra, SCADA sistemi seçilen verileri daha sonra geri çağırabilmek ve gözden geçirebilmek amacıyla arşivler. Bu veriler, sahada bulunan ekipmanların belirli zaman ve tarih aralığında ki durumlarını içermektedir. Örneğin, hangi alarmların meydana geldiği, hangi ayar noktası değişikliklerinin yapıldığı ve hangi ekipmanın başlatıldığı veya durdurulduğu gibi bilgileri içerir. İhtiyaç durumunda, arşivlenen veriler kronolojik

akışlarına göre SCADA sisteminden .csv, .docx veya .pdf dosya formatında rapor şeklinde dışarı aktarılabilir [4].

Alarm işlevi: SCADA sisteminde veriler grafik ekranlarına entegre edilir ve sistemde istenmeyen durumlar sonucu meydana gelen alarmlar, grafiksel, telefon araması veya bildirimler şeklinde kullanıcılara bildirilir [25].

2.2. Şehir İçi ve Şehirlerarası Aydınlatma Sistemleri

Günümüzde şehir içi ve şehirlerarası aydınlatma sistemleri güvenlik açısından önem taşımaktadır. Bir şehrin park alanlarında ve sokaklarında güvenlik sağlayan aydınlatma sistemleri aynı zamanda sakin ve ışıklı bir atmosfer yaratmaktadır. Bunlara ek olarak, şehrin aydınlatma sistemleri vatandaşlara yaya ve bisiklet yollarında olası zemin düzensizliklerinin fark edilmesini sağlamaktadır. Şehir içi ve şehirlerarasında bulunan trafik yolları, caddeler ve çevre yolları dengeli bir aydınlatma sistemi ile yolculara çok güvenli bir trafik ve çevrenin daha iyi bir şekilde algılanmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, şehir içi ve şehirlerarası yollarında meydana gelen kazaları ve kötü olayları en aza indirmek amacıyla şehir içi ve şehirlerarası yollar için doğru ve kaliteli bir aydınlatma sistemi şarttır. Şehir içi ve şehirlerarası aydınlatma sistemlerinin görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir.



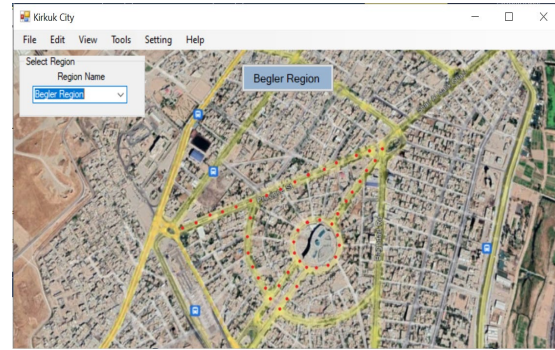
Şekil 2. Şehir ve şehirlerarası aydınlatma sistemleri

Tüm şehirler, vatandaşlarına enerji, iletişim, kamu aydınlatması ve diğer hizmetleri sağlayan altyapı ağlarına sahiptir. Bu altyapı ağları büyük bir entegrasyon içinde olmasına rağmen, değiştirildiğinde veya güncellendiğinde, genellikle birbirinden bağımsız olarak yapılmaktadır. Fakat modern teknoloji, daha güvenli şehir ortamları, daha iyi bağlantı ile şehirlere ve vatandaşlarına daha fazla hizmet sunmak için bu entegrasyonu kullanabilir. Kamu aydınlatma altyapısı bir şehir için yalnızca akıllı aydınlatma sistemi değildir, aynı zamanda birden fazla işlev ve fayda sunan bir sistemdir. Şehir içi veya şehirlerarası yollarında bulunan aydınlatma direkleri bir merkezden izlenebilir ve kontrol edilebilir durumda olması için telekomünikasyon teknolojileri ile entegre edilebilir. Merkezi sistem izleme ve kontrol sayesinde şehirlerin ve şehirler arasında yer alan yolların trafiğinin olmadığı zamanlarda aydınlatma tasarrufu yapılabilir ya da tamamıyla kapatılabilir. Buna ek olarak, şehir içinde veya şehirler arasında bulunan aydınlatma direklerinin algılayıcıların da bir arıza meydana geldiğinde yerinde müdahaleye gerek kalmadan bu direkler merkezden kontrol edilebilir.

3. ŞEHİR İÇİ VE ŞEHİRLERARASI AYDINLATMA SİSTEMLERİ İÇİN TASARLANAN SCADA YAZILIMI

Bu bölümde, şehir içi ve şehirlerarası aydınlatma sistemi için tasarlanan SCADA yazılımının tasarımı açıklanmıştır. Bu çalışmada, Irak-Kerkük şehrinin ana caddeleri ve Kerkük şehrinin bağlı olduğu komşu şehirleri arasında şehirlerarası yollarının aydınlatma sistemleri tasarlanan SCADA yazılımı ile izlenmiş ve kontrol edilmiştir. Vatandaşlar tarafından belirli zamanlar arasında bu yolların bazıları yoğun bir şekilde kullanılırken diğeri ise yoğun bir şekilde kullanılmamaktadır. Tasarlanan SCADA yazılımının izleme yeteneği ile bu yollarda dengeli bir aydınlatma kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Buna ek olarak, aydınlatma sisteminin çalışma ve arıza bilgileri kullanıcı tarafından belirlenen zamanlara göre veri

tabanına kaydedilmektedir. Bu da yöneticilere bilgi analizi imkanı sunmaktadır. Tasarlanan sistemde bilgiler anlık olarak izlenmesi feci kazaların önüne geçilmesi ve arızaların daha kısa sürede çözülmesi açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır. Tüm bu bilgiler MQTT haberleşme protokolü ile merkeze aktarılmaktadır. Örnek bir bölgenin aydınlatma sistemi görsel olarak Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Örnek bir bölgenin aydınlatma sistemi

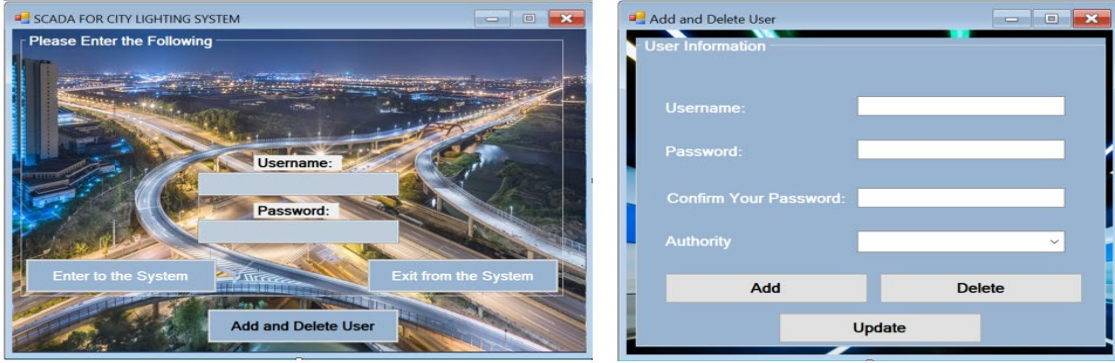
Sistemin genel yapısı saha istasyonu (yollar) ile merkez istasyondan oluşmaktadır. Saha istasyonunda aydınlatma direkleri, ışık ve arıza tespit algılayıcı, mikrodenetleyici ve veri alışverişi için router bulunmaktadır. Saha istasyonunda bulunan aydınlatma direkleri, algılayıcılardan gelen bilgilere göre mikrodenetleyici tarafından kontrol edilmektedir. Ayrıca, aydınlatma direklerinin ve algılayıcıların bilgileri ve durumları belirli aralıklarla belli adreslerde tutulmakta ve bu bilgiler ve durumlar haberleşme yolu ile merkez istasyonuna aktarılmaktadır. Merkez istasyonunda ise birden fazla kişisel bilgisayar, yazıcılar ve tarayıcılar bulunmaktadır. Bu çalışmada, tasarlanan SCADA yazılımının özellikleri aşağıda alt bölüm olarak verilmiştir.

3.1. Kullanıcı Yönetimi

Şehir içi ve şehirlerarası aydınlatma sistemi için tasarlanan SCADA yazılımı kullanıcı tabanlı bir sistemdir. Bu kullanıcı tabanlı özelliği ile sistemde çalışan ekiplere belirli haklar ve kısıtlamalar verilmektedir. Tasarlanan SCADA sisteminde yönetici, izleme, kontrol, rapor ve alarm şeklinde

kullanıcılara haklar tanımlanabilir. Bir kullanıcı yönetici olarak tanımlandığı zaman SCADA yazılımının tüm işlemlerini görebilir ve tüm

pencerelere erişebilir. Şehir içi ve şehirlerarası aydınlatma sisteminin kullanıcı yönetimi ekranı Şekil 4’te verilmiştir.

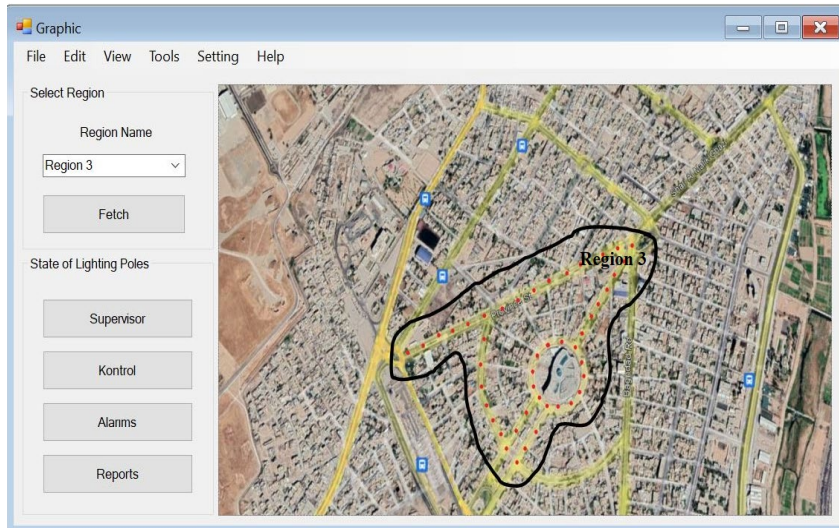


Şekil 4. Örnek bir bölgenin aydınlatma sistemi

Şekil 4’te görüldüğü gibi her bir kullanıcı kendine ait kullanıcı adı ve şifresi ile giriş yaptığında daha önce yönetici tarafından kullanıcıya verilen haklara erişebilir. Dolayısıyla, kullanıcı yönetimi özelliği ile şehir içi ve şehirlerarası aydınlatma sistemi kullanıcıları kendilerine tanınan haklar doğrultusunda sistemi kullanabilirler. Aynı zamanda tasarlanan SCADA yazılımı çoklu kullanıcı özelliği de taşımaktadır, yani birden fazla kullanıcı aynı hak veya hakları alabilir.

3.2. Grafik Yetenekleri

Şehir içi ve şehirlerarası aydınlatma sistemi için tasarlanan SCADA sistemi içerisinde yer alan aydınlatma direklerinin merkezden daha net ve detaylı bir şekilde izlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla yüksek çözünürlüklü, renkli ve animasyonlu bir arayüze sahiptir. Bu arayüzün pencereleri grafik yazılım paketi içermektedir. Örnek bir bölgenin görsel arayüz penceresi Şekil 5’te verilmiştir.

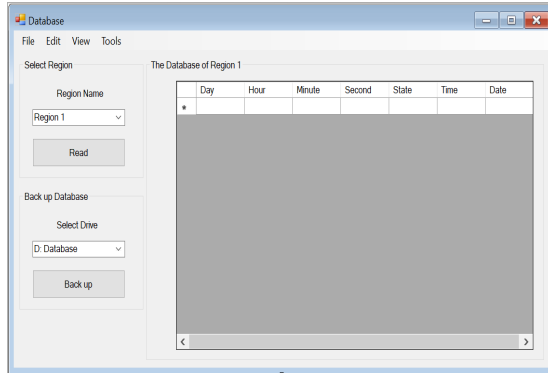


Şekil 5. Örnek bir bölgenin görsel arayüz penceresi

Şekil 5'te görüldüğü gibi grafik yazılım paketi ile seçilen bir bölgenin harita üzerinde çok net bir şekilde sağlanmaktadır. Buna ek olarak, grafik düzenleyici özelliği ile haritada bulunan kırmızı nokta şeklinde gösterilen direklerin boyutları ve renkleri kullanıcılar tarafından çok kolay bir şekilde değiştirilebilmektedir. Aynı zamanda aydınlatma direklerinin çalışıp çalışmadığı görsel bir şekilde kullanıcılara sunulmaktadır.

3.3. Veri Tabanı Yönetimi

Şehir içi ve şehirlerarası aydınlatma sistemi için tasarlanan SCADA sisteminde veri tabanı yönetimi yer almaktadır. Mikrodenetleyicilerden gelen aydınlatma direkleri ile ilgili algılayıcı ve lamba bilgileri belirli aralıklara gerçek zamanlı olarak veritabanına kaydedilmektedir. Bu bilgiler, lambaların algılayıcı değerlerine göre çalışıp çalışmadığı, algılayıcılarda meydana gelen arıza bilgileri ve herhangi bir aksaklıktan veya arızadan dolayı aydınlatma direklerin çalışıp çalışmadığıdır. Aynı zamanda, aydınlatma direklerden gelen bilgilerin hangi saatte ve hangi tarihte meydana geldiği de tutulmaktadır. Şekil 6'da örnek bir bölgenin veri tabanı verilmektedir.

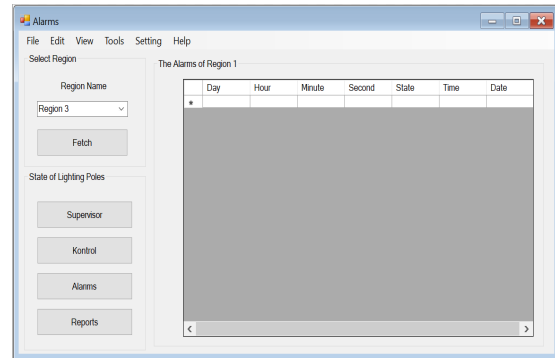


Şekil 6. Örnek bir bölgenin veri tabanı

Şekil 6'da görüldüğü gibi tasarlanan SCADA yazılımında arka planda her bölge için gün, saat, dakika, saniye, ekipmanların durumları, zaman ve tarih bilgileri veri tabanına kaydedilmektedir. Ayrıca, her bölgenin veritabanı kullanıcı tarafından belirlenen süreler arasında yedeklenmektedir.

3.4. Alarm Yönetimi

Tasarlanan SCADA yazılımı alarm yönetici özelliği ile aydınlatma direklerinde meydana gelen tüm uyarılar hem görsel hem de bilgi şeklinde veri tabanına kaydedilmektedir. Ayrıca önemli bölgelerin önemli yerlerde bulunan aydınlatma direklerinde bir arıza oluştuğunda, bu arızalar da alarm olarak veritabanına kaydedilmektedir. Şekil 7'de örnek bir bölgenin alarm yönetimi penceresi verilmektedir.

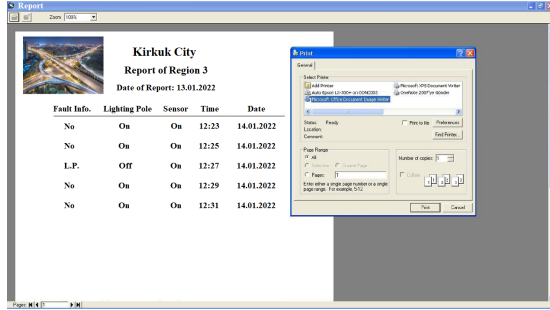


Şekil 7. Örnek bir bölgenin alarm yönetimi penceresi

Operatörlerin ve kullanıcıların işlerini kolaylaştırmak ve aydınlatma direklerinde ortaya çıkan problemleri bir an önce yok etmek amacıyla, Bu arızalar, daha önceden tanımlanan uyarılar, alarm yönetici yazılımı ile operatörlere sesli ve görüntülü olarak bildirilmektedir. Aydınlatma direklerinde alarm durumu oluştuğunda uyarılmak için önceden yapılan tanımlamalara göre sesli ve görüntülü uyarı verilebilmekte, önceden tanımlanmış alarm mesajları ekrana ve yazıcıya gönderilebilmekte ve oluşan alarmlar daha sonra incelenebilmesi için sunucu veya bilgisayarın diskinde saklanabilmektedir.

3.5. Rapor Üretim Yönetimi

SCADA merkezinde arşivlenen bilgiler veya veri tabanı bloklarının gerçek zamanlı değerleri kullanılarak gereksinim duyulan raporlar yazıcıdan alınabilmektedir. Bu amaçla bir rapor paketi sağlanmıştır. Örnek bir bölgenin günlük rapor ekranı Şekil 8'de verilmektedir.



Şekil 8. Örnek bir bölgenin günlük rapor ekranı

Şekil 8’de görüldüğü gibi rapor paketi, bir rapor tanımlama yazılımı ile yapılan tanımlara uygun şekilde raporları üretecek bir rapor üretme yazılımından oluşmaktadır. Rapor tanımlama yazılımı aracılığıyla yazıcıdan üretilen raporların şekli ve içeriği tanımlanmış ve rapor üretme mantığı belirlenmiştir. Rapor tanımlarken sayfa üzerine istenilen yerlere rapor başlıkları ve açıklayıcı yazılar konulmuş, değeri arşivden ya da veri tabanından gelecek değerler için de arşive ya da veri tabanına erişimi sağlayacak tanımlar (arşiv dosyası adı, etiket adı v.b.) sayfa üzerinde ilgili yerlerine konularak rapor tanımı oluşturulmuştur.

4. SONUÇLAR

SCADA sistemi birden fazla sektörde uygulanmaktadır ve geniş uygulama alanına sahiptir. SCADA sistemi, donanım ve yazılımdan oluşmakta olup çok sayıda sektörde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu sistemlerin uygulama alanları her geçen gün genişlemektedir. Bu çalışmada, otomasyon ve SCADA sistemi; donanım, yazılım, iletişim protokolleri ile bağlantı tipleri yönünden incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda, şehir içi ve şehirlerarası yolların aydınlatma sisteminin izlenmesi ve kontrolü SCADA sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Şehir içi ve şehirlerarası yolların aydınlatma sistemi için standart SCADA yazılımı yerine Visual Studio C#.NET editörünü kullanarak hem veri toplama ve kontrol kartına hem de sisteme uygun bir yazılım tasarlanmıştır. Tasarlanan yazılım, standart SCADA yazılımının kullanıcı yönetimi, grafik yetenekleri, veri tabanı yönetimi, alarm yönetimi ve rapor üretim yönetimi gibi önemli tüm özelliklerini kapsamaktadır. Sonuç olarak, şehir içi

ve şehirlerarası yolların aydınlatma sistemi için tasarlanan SCADA yazılımı çok başarılı bir şekilde aydınlatma direklerinden gelen bilgileri görsel olarak kullanıcılara yansıtmaktadır. Bunun sayesinde kusurların ve hataların giderilmesi daha hızlı ve verimli bir şekilde yapılmaktadır. Buna ek olarak tasarlanan SCADA yazılımı ile şehir içi ve şehirlerarası yolların aydınlatma sistemi daha düşük bir maliyet ile işletilmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Figueiredo, J., Da Costa, JS., 2012. A SCADA System for Energy Management in Intelligent Buildings. *Energy and Buildings*, 49, 85-98.
2. Tomić, J., Kušljević, M., Vidaković, M., Rajs, V., 2014. Smart SCADA System for Urban Air Pollution Monitoring. *Measurement*, 58, 138-146.
3. Enescu, FM., Bizon, N., 2017. SCADA Applications for Electric Power System. In: *Reactive Power Control in AC Power Systems*, Springer, 561-609.
4. Maseda, F.J., López, I., Martija, I., Alkorta, P., Garrido, A.J., Garrido, I., 2021. Sensors Data Analysis in Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems to Foresee Failures with an Undetermined Origin. *Sensors*, 21, 8, 2762.
5. Yadav, G., Paul, K., 2021. Architecture and Security of SCADA Systems: A Review. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 34, 100433.
6. Brad, S., Murar, M., Vlad, G., Brad, E., Popanton, M., 2021. Lifecycle Design of Disruptive SCADA Systems for Waste-Water Treatment Installations. *Sustainability*, 13(9), 4950.
7. Vásquez, E., Castrillón, H., 2021. Scientific Literature Review for the Search of Vulnerabilities and Pentesting Tools for SCADA System. In *International Congress of Telematics and Computing*, Springer, Cham.
8. Jozi, A., Ramos, D., Gomes, L., Faria, P., Pinto, T., Vale, Z., 2019. Demonstration of an Energy Consumption Forecasting System for Energy Management in Buildings. In *EPIA*

- Conference on Artificial Intelligence, Springer, Cham.
9. Katyara, S., Shah, M. A., Chowdhary, B. S., Akhtar, F., Lashari, G. A., 2019. Monitoring, Control and Energy Management of Smart Grid System via WSN Technology Through SCADA Applications. *Wireless Personal Communications*, 106, 4, 1951-1968.
 10. Abou El-Ela, A. A., El-Sehiemy, R. A., El-Shebiny, A. M., 2019. Review of SCADA System for Distribution Power System Automation. *ERJ. Engineering Research Journal*, 42(2), 93-98.
 11. Dai, J., Tan, Y., Shen, X., 2019. Investigation of Energy Output in Mountain Wind Farm Using Multiple-units SCADA Data. *Applied Energy*, 239, 225-238.
 12. Parisio, A., Molinari, M., Varagnolo, D., Johansson, K.H., 2018. Energy Management Systems for Intelligent Buildings in Smart Grids. In *Intelligent Building Control Systems*, Springer, Cham.
 13. Kumar, A., Singh, A., Kumar, A., Singh, M. K., Mahanta, P., Mukhopadhyay, S.C., 2018. Sensing Technologies for Monitoring Intelligent Buildings: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 18, 12, 4847-4860.
 14. Sean, W.Y., Chu, Y.Y., Mallu, L.L., Chen, J.G., Liu, H.Y., 2020. Energy Consumption Analysis in Wastewater Treatment Plants Using Simulation and SCADA System: Case Study in Northern Taiwan. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124248.
 15. Dobriceanu, M., Bitoleanu, A., Popescu, M., Enache, S., Subtirelu, E., 2008. SCADA System for Monitoring Water Supply Networks. *WSEAS Transactions on Systems*, 1(7), 1070-1079.
 16. Saravanan, K., Anusuya, E., Kumar, R., Son, L.H., 2018. Real-time Water Quality Monitoring Using Internet of Things in SCADA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(9), 1-16.
 17. Gold, S., 2009. The SCADA Challenge: Securing Critical Infrastructure. *Network Security*, 2009(8), 18-20.
 18. Qiang, G.U.O., De-Ju, M.O., 2005. Application of SCADA System in Natural Gas Dispatching Network. *Journal of Beijing University of Chemical Technology*, 32(1), 78.
 19. Subramanian, N., 2008. Improving Security of Oil Pipeline SCADA Systems Using Service-Oriented Architectures. In *OTM Confederated International Conferences" On the Move to Meaningful Internet Systems"*, Springer, Berlin, Heidelberg.
 20. Morsi, I., El-Din, L. M., 2014. SCADA System for Oil Refinery Control. *Measurement*, 47, 5-13.
 21. Sabri, L.A., Mohammed, S.A., Issa, M.I., 2017. Design of SCADA System for Oil Pipeline Control Using LabVIEW. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*, 20(3), 600-614.
 22. Garbea, R., Scarlatache, F., Grigoras, G., Neagu, B.C., 2021. Integration of Data Mining Techniques in SCADA System for Optimal Operation of Hydropower Plants. In *2021 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, IEEE.
 23. Gündoğdu, S., Şahin, Ö., 2008. Su Dağıtım Sistemlerinde SCADA Uygulaması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10(3), 23-32.
 24. Andhare, S.L., Palkar, P.J., 2014. SCADA a Tool to Increase Efficiency of Water Treatment Plant. *Asian Journal of Engineering and Technology Innovation*, 2(4), 7-14.
 25. Hunzinger, R., 2017. *SCADA Fundamentals and Applications in the IoT. Internet of Things and Data Analytics Handbook*, 283-293.
 26. Bailey, D., Wright, E., 2003. *Practical SCADA for Industry*. Elsevier, 512.
 27. VanderZee, M., Fisher, D., Powley, G., Mohammad, R., 2015. *Scada: Supervisory Control and Data Acquisition. Oil and Gas Pipelines*, 6(3), 13-26.

MEMS İvme Ölçerler için Analog Yapay Sinir Ağı Temelli Kontrolcü Tasarımı

Zehan KESİLMİŞ*¹ ORCID 0000-0002-5781-9450
Murat AKSOY² ORCID 0000-0002-6980-5902

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Adana

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 13.06.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: KESİLMİŞ, Z., AKSOY, M., (2022). MEMS İvme Ölçerler için Analog Yapay Sinir Ağı Temelli Kontrolcü Tasarımı. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 663-672.

Öz

Bu çalışmada tek eksenli kapasitif MEMS ivme ölçer için yeni bir analog yapay sinir ağı temelli bir kontrolcü önerilmektedir. Bu kontrolcü giriş katmanında bir, gizli katmanda altı ve çıkış katmanında iki nöron olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu kontrolcü, AMI C5N 0,6 µm CMOS üretim teknolojisi kullanılarak Electric serim editörü ile tasarlanmıştır. Tasarlanan kontrolcünün başarısı çeşitli bilgisayar benzetimleriyle PID kontrolcüyle karşılaştırılmıştır. Benzetim sonuçları önerilen kontrolcünün tepki süresi, aşım ve ölçüm aralığı açısından PID kontrolcünden daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Analog tüm devre, MEMS, Yapay sinir ağı

Analog Artificial Neural Network Based Controller Design for MEMS Accelerometers

Abstract

In this study, a new artificial neural network-based analog controller is proposed for the uniaxial capacitive MEMS accelerometer. This controller is designed with one neuron in the input layer, six neurons in the hidden layer, and two neurons in the output layer. This controller was designed with Electric layout editor using AMI C5N 0.6 µm CMOS fabrication technology. The success of the designed controller was compared with the PID controller with various computer simulations. The simulation results showed that the proposed controller was more successful than the PID controller in terms of response time, overshoot and measurement range.

Keywords: Analog integrated circuit, MEMS, Neural network

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Zehan KESİLMİŞ, zkesilmis@atu.edu.tr

1. GİRİŞ

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) ivme ölçerler otomotiv, tıp ve tüketici elektroniği başta olmak üzere geniş bir ticari pazara sahiptirler. Bu ticari başarının ana nedenleri: MEMS teknolojisinin piezo ve optik gibi algılama yöntemlerine göre az yer kaplaması, daha az güç tüketmesi ve CMOS yapılarla aynı yonga üzerinde üretilebilmesidir. Literatürdeki MEMS ivme ölçerler kontrolcü çeşidi, algılama yöntemi ve elektronik arayüz teknolojilerine göre sınıflandırılabilirler.

MEMS ivme ölçerler kontrol sistemine göre açık ve kapalı çevrim olarak iki ana başlıkta incelenebilir. Oldukça sade bir tasarıma sahip olan açık çevrim ivme ölçerler düşük hassasiyetli ve düşük maliyetli uygulamalarda tercih edilmektedirler. Bu sistemlerde harici ivmelenmeye maruz kalan sismik kütlelerin yer değiştirmesi ölçülerek çıkış işareti olarak kullanılmaktadır. Açık çevrim sistemler düşük maliyetleri ile öne çıksalara da düşük hassasiyet, kısa ölçüm aralığı ve dar bant genişliği gibi dezavantajları bulunmaktadır [1].

Kapalı çevrim ivme ölçerlerde harici ivmelenme altındaki sismik kütlelerin yer değiştirmesi, kontrolcü tarafından oluşturulan karşı bir elektrostatik kuvvetle kısıtlanır böylece yay ve sönümleme kaynaklı ikincil etkiler azaltılır. Bu yaklaşım MEMS ivme ölçerinin ölçüm aralığının ve bant genişliğinin artmasını sağlamaktadır [2].

Literatürde MEMS ivme ölçerler için sigma delta modülatör ($\Sigma\Delta$), kayan kipli kontrolcü (sliding mode controller), PID (Proportional Integral Derivative) gibi çeşitli kapalı çevrim kontrolcüler önerilmiştir [3]. Bu kontrolcülerde sismik kütleleri merkezde tutmak için geri besleme elektrotlarına uyarma işareti uygulanır. Bu sistemlerde uyarma işareti analog veya sayısal formda olabilir. Sayısal geri besleme işaretine sahip ivme ölçerler geri besleme hattında $\Sigma\Delta$ kullanılmaktadır. Bu yöntemin sayısal çıkış vermek gibi avantajı olmasına rağmen çözünürlüğün artmasıyla beraber

çevrim süresinin artması ve bant genişliğinin daralması gibi dezavantajları vardır. Yüksek doğruluk ve yüksek frekans cevabına ihtiyaç duyulan uygulamalarda analog kontrolcüler başarılı birer alternatif olmaktadır [4].

Kapalı çevrim ivme ölçerlerde tasarım ve uygulama kolaylığından ötürü PID kontrolcüler sıklıkla tercih edilmektedir. Bunun yanında PID kontrolcü sismik kütlelerin yer değiştirmesini sınırlamak yerine denge durumunda tutmaya çalışmaktadır. Bu durum da ivme ölçerinin ölçüm hassasiyetini ve bant genişliğini düşürmektedir [5].

Piyasada, ST Microelectronics (LIS3LV02DL) [6], Analog Devices (ADXL103) [7], NXP (MMA685X) [8] ve MEMSIC (MXD6235M) [9] gibi firmaların ürettiği çeşitli sayısal ivme ölçerler bulunmaktadır. Fakat bu ivme ölçerler açık çevrim modda çalışmaktadırlar.

Bu çalışma kapsamında yapılan inceleme sonucunda MEMS ivme ölçerler için basit ve hızlı bir analog kontrolcüye ihtiyaç olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın amacı kapasitif MEMS ivme ölçerler için etkili bir analog kapalı çevrim kontrolcü geliştirmektir. Bu çalışmanın araştırma sorusu ise şu şekildedir: “MEMS ivme ölçerlerin kapalı çevrim kontrolünde yapay sinir ağı kullanımı ivme ölçerinin başarısını ne ölçüde arttırmaktadır?”

Bu makale 5 bölümden oluşmaktadır. 2. bölümde MEMS ivme ölçerinin matematiksel modeli verilmiştir. 3. bölümde yapay sinir ağları ve kontrolcü tasarımına yer verilmiştir. 4. bölümde bilgisayar benzetim sonuçları verilmiştir. 5. bölümde ise sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. İVME ÖLÇERİN MATEMATİK MODELİ

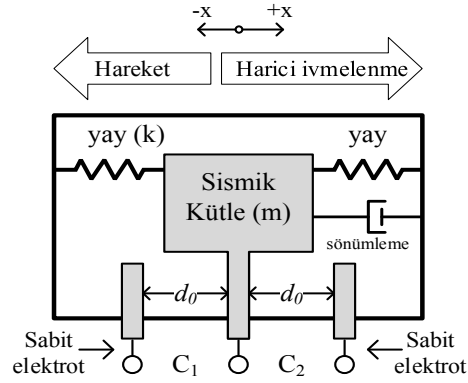
Kapasitif MEMS ivme ölçerler mekanik ve elektronik yapılardan oluşmaktadırlar. Mekanik yapıların amacı harici ivmelenmeyi kapasite değişimine çevirmektir. Elektronik yapıların

görevi ise bu kapasite değişimini ölçerek kontrol ve çıkış için gerekli olan işaretleri üretmektir.

Kapasitif MEMS ivme ölçerin mekanik bileşenleri şu şekilde sıralanabilir:

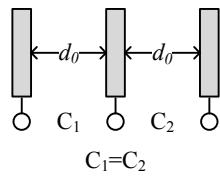
- Harici ivmelenme ile yer değiştirebilen bir sismik kütle,
- Yer değiştirmeye mekanik direnç gösteren polisilikon yaylar,
- Yer değişimini algulamak ve geri besleme kuvveti uygulamak için kapasitif yapılar.

Tek eksenli bir kapasitif MEMS ivme ölçerin mekanik bileşenlerini içeren blok şema Şekil 1'de verilmiştir. Harici ivmelenmeye (a_{ext}) maruz kalan sismik kütle (m) eylemsizlik kuvveti ($F=m.a$) ile ivmelenme eksenine zıt yönde hareket eder. Bu hareket ise yay sabiti bilinen polisilikon yaylar ile sınırlanır.

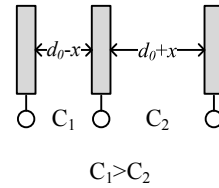


Şekil 1. MEMS ivme ölçerin blok şeması

İvme ölçerin $+x$ eksenindeki bir ivmelenmeye maruz kalması ve $-x$ ekseninde hareket etmesi durumunda kütle ile sabit elektrotlar arasındaki kapasitelerin (C_1 , C_2) açıklığı değişmektedir. Bu açıklık şekil 2a ve 2b'de gösterildiği gibi sıfır ivmelenme altında d_0 iken ivmelenme altında (d_0-x) ve (d_0+x) olarak değişmektedir.



a) Sismik kütle merkezdeyken elektrotların durumu



b) Sismik kütle ivmelenme yer değiştirmişken elektrotların durumu

Şekil 2. İvmelenme altında kapasitelerin durumu

Şekil 2'de görüldüğü üzere sismik kütle yer değiştirmesiyle C_1 sığası artarken C_2 sığası azalmıştır. C_1 ve C_2 sığalarını tanımlayan ifade Eşitlik 1'de verilmiştir.

$$C_1 = \frac{\epsilon A}{d_0 - x}; C_2 = \frac{\epsilon A}{d_0 + x} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de ϵ dielektrik sabiti, A kapasitenin yüzey alanını, d_0 sıfır ivmelenme durumunda elektrotlar arası mesafeyi, x ise sismik kütle yer değiştirmesini göstermektedir. Eşitlik 1'den de görüldüğü üzere C_1 ve C_2 sığalarının ölçülmesiyle yer değiştirme tespit edilebilmektedir. Yer değiştirme ile harici ivmelenme arasındaki ilişki ise tek serbestlik dereceli sistem (kütle, yay ve

sönümlenme) şeklinde tanımlanmış ve Eşitlik 2'de sunulmuştur.

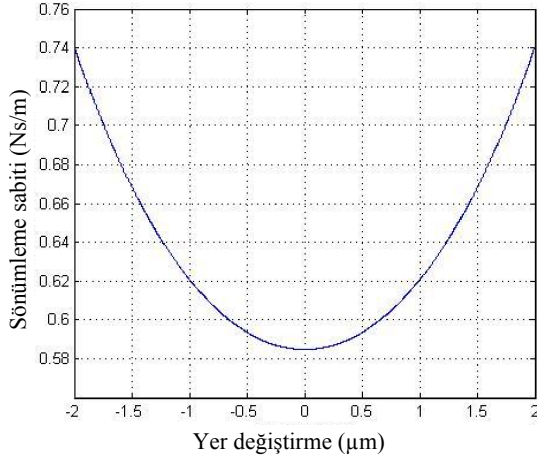
$$m a_{ext} = m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx \quad (2)$$

Eşitlik 2'de m sismik kütle, a_{ext} harici ivmelenmeyi, b sönümlenme etkisini, k yay sabitini x ise yer değiştirmeyi ifade etmektedir. Hareket halindeki sismik kütle hava molekülleri nedeniyle etkiyen sönümlenme kuvvetinin ifadesi Eşitlik 3'de sunulmuştur.

$$b(x) = \frac{1}{2} \mu A^2 \left(\frac{1}{(d_0 - x)^3} + \frac{1}{(d_0 + x)^3} \right) \quad (3)$$

Eşitlik 3'de μ havanın yoğunluğunu, A sismik kütlenin yüzey alanını, x yer değiştirmeyi, d_0 ise elektrotlar arası mesafeyi göstermektedir.

Sismik kütlenin yer değiştirmesi ile sönümleme etkisi arasındaki ilişki Şekil 3'de sunulmuştur.



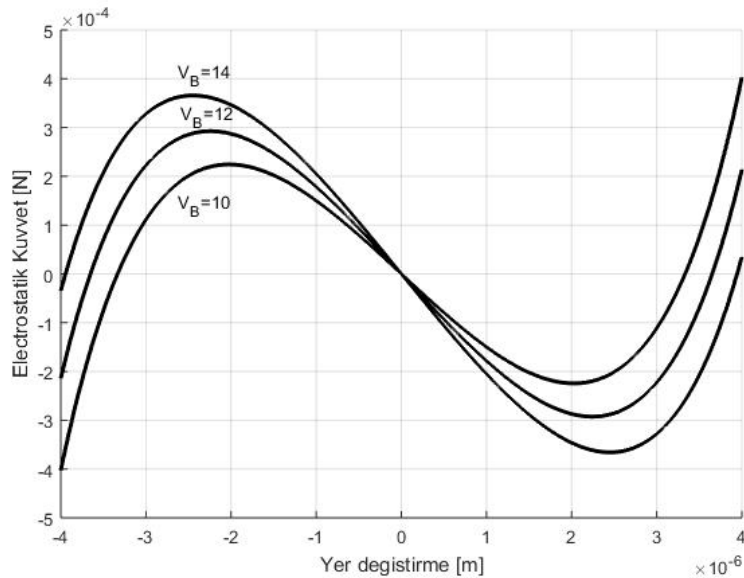
Şekil 3. Sönümleme/yer değiştirme grafiği

Şekilden de görüldüğü üzere doğrusal olmayan sönümleme etkisinin en aza indirilmesi için sismik kütlenin yer değiştirilmesinin sınırlandırılması bir

zorunluluktur. Bu amaçla açık çevrim ivme ölçerlerde mekanik durdurucular kullanılırken kapalı çevrim ivme ölçerlerde elektrostatik geribesleme kuvvetlerinden (F_e) faydalanılır. Bu kuvvet uygulanan geri besleme geriliminin (V_F) karesiyle doğru orantılı ve elektrotlar ile kütle arasındaki mesafenin karesiyle ters orantılıdır. Sismik kütleyle uygulanan toplam F_e eşitlik 4'de verilmiştir [10].

$$F_e = \frac{1}{2} N \epsilon l t \left[\frac{(V_B + V_F)^2}{(d_0 - x)^2} - \frac{(-V_B + V_F)^2}{(d_0 + x)^2} \right] \quad (4)$$

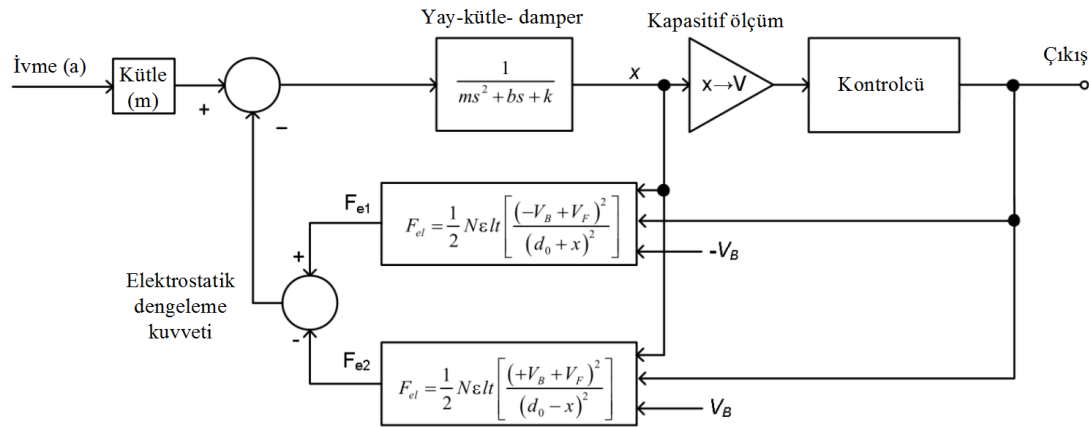
Eşitlik 4'de N uyarma işareti uygulan kapasite sayısını, ϵ yalıtkanlık sabitini, l çubuk boyunu, t ise polisilikon kalınlığını, x sismik kütlenin yer değiştirmesini göstermektedir. V_B ön kutuplama gerilimini V_F ise geri besleme gerilimini göstermektedir. Ön kutuplama gerilimi elektrostatik alanı doğrusal bölge içinde tutmak için kapasitif elektrotlara uygulanan bir gerilimdir. Eşitlik 4'de verilen elektrostatik kuvvetin ± 4 μm 'lik yer değiştirme için değişimi Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. F_e / yer değiştirme grafiği

Şekil 4’de görüldüğü üzere elektrostatik kuvvet sismik kütlelerin kısa mesafeli ($x < |1| \mu\text{m}$) hareketleri için doğrusal olarak kabul edilse de artan yer değiştirme ($x > |2| \mu\text{m}$) ile beraber hem yönü hem de şiddeti değişmektedir. Eğer sismik kütlelerin yer değiştirmesi sınırlanmaz ise bu kuvvet sismik kütleleri itmek yerine çekecek böylece

elektrotların birbirine çarpıp hasar görmesine neden olacaktır. Açık çevrim sistemlerde kütlelerin yer değiştirmesi mekanik sınırlayıcılarla kısıtlanmış olsa da bu eklenti ivme ölçerin bant genişliği ve ölçüm aralığını da sınırlamaktadır [11].



Şekil 5. Kapalı çevrim ivme ölçerin blok diagramı

Kapalı çevrim MEMS ivme ölçerin blok diagramı Şekil 5’de verilmiştir. Blok diagramının alt bileşenleri şu şekilde sıralanabilir: kapasitif ölçüm devresi, kontrolcü, elektrostatik geri besleme yapısı.

Kapasitif ölçüm yapıları OTA (Operational Transconductance Amplifier) veya OPAMP (Operational Amplifier) ile gerçekleştirilen şarj yükselteçleridir. Bu yapı sayesinde kapasite değişimi algılanıp gerilime çevrilir ve kontrolçüye girdi işareti olarak uygulanır. Kontrolcünün çıkışı ise ivme ile çıkış işareti arasındaki doğrusallığı sağlamak için kapasitif geri besleme elemanlarına uygulanır. Bu çalışma kapsamında tasarlanan yapay sinir ağı temelli kontrolcünün özellikleri ilerleyen bölümde sunulmuştur.

3. MATERYAL VE METOD

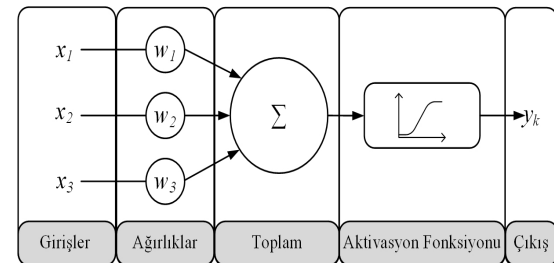
Bu çalışmada kapasitif MEMS ivme ölçer için analog yapay sinir ağı temelli bir kontrolcü tasarlanmış ve başarısı çeşitli bilgisayar benzetimleri ile incelenmiştir.

3.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), örüntü tanıma, fonksiyon yaklaşımı ve kontrol gibi çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Yapay sinir ağının blok diagramı Şekil 6’da, matematiksel ifadesi ise Eşitlik 5’de verilmiştir.

$$y = \theta \sum_{j=1}^n w_j x_j \quad (5)$$

Eşitlik 5’de θ aktivasyon fonksiyonunu (AF), w ağırlıkları, x girişleri ve y ise çıkışı göstermektedir.



Şekil 6. YSA blok diagramı

Şekil 6'dan görüldüğü üzere YSA'nın girişleri (x_i) ilgili ağırlıklarla (w_i) çarpılmakta ve sonuçlar toplanmaktadır. İşlem sonucu ise aktivasyon fonksiyonuna tabi tutulmaktadır. Aktivasyon fonksiyonunun görevi YSA'nın girişleri ile çıkışı arasında doğrusal olmayan bir ilişki tesis edebilmektir. Bu fonksiyonların kullanımı ile YSA'lar fonksiyon yaklaşımı ve kontrol gibi doğrusal olmayan işlevler görebilmektedir.

3.2. Yapay Sinir Ağı Kontrolcü

Önerilen kontrolcünün temel görevi harici ivmelenme altında sismik kütleli merkezde tutmaktır. Bu sayede yer değiştirme ile meydana gelen doğrusal olmayan ikincil etkilerden sakınmak mümkün olmaktadır. Bu operasyon sırasında sismik kütleli yer değiştirmesi gözlenir ve aksi yönde bir elektrostatik kuvvet oluşturmak için geri besleme elektrotlarına uyarma işareti (V_F) uygulanır. YSA kontrolcünün bu işlevi yerine getirmesi için eğitilmesi gerekir. Bu çalışmada sistemin sadeliğini korumak amacıyla yonga üzerinde öğrenme tercih edilmemiştir. Bunun yerine MATLAB ortamında yapılan eğitim sonucu elde edilen ağırlıklar kontrolcünün EPROM'una aktarılmaktadır. Eğitim veri seti yer değiştirme (x) ile elektrostatik kuvvet (F_e) arasındaki ilişkiden faydalanılarak türetilmiş ve $x \approx 0$ yapacak V_F işaretini sağlayacak şekilde üretilmiştir.

YSA'ların DSP (Digital Signal Processor) ve bilgisayar yazılımı ile gerçekleştirilen uygulamaları yüksek işlem gücü ihtiyaç duyarlar. Bunun yanında ortamdaki toplanan işaretlerin işlenmesi ve kontrol işaretlerinin uygulanabilmesi için sırasıyla ADC (Analog to Digital Converter) ve DAC (Digital to Analog Converter)'ye de ihtiyaç duyarlar.

Analog YSA kontrolcüler ADC ve DAC'ya ihtiyaç duymazlar. Aritmetik işlemlerin tamamı analog devre yapıları ile gerçekleştirilir. Analog YSA'larda nöron ağırlıkları kapasite veya yüzer geçitli MOSFET (FGMOS) EEPROM'larda saklanır. Çarpma işlemleri ise 4 bölgeli çarpma devreleri ile gerçekleştirilir. Aktivasyon fonksiyonları ise analog olarak OPAMP'lar ile gerçekleştirilir.

Önerilen kontrolcü AMI C5N 0,6 μ m teknoloji ve Electric serim editörü kullanılarak tasarlanmıştır. Electric yazılımı yardımıyla serim üzerinden SPICE benzetimleri yapılmıştır. Bu yaklaşım sayesinde devredeki parazitik direnç ve kapasiteler de benzetime dahil edilip daha gerçekçi benzetim sonuçları elde edilmiştir.

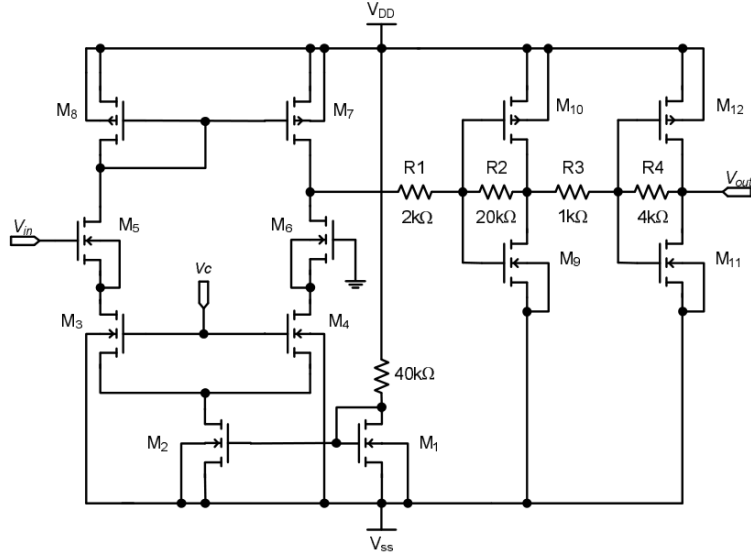
Önerilen YSA kontrolcünün bileşenleri şu şekilde sıralanabilir:

- girişlerin ağırlıklarla çarpılması için 4 bölgeli çarpıcı,
- ağırlıkların saklanması için FGMOS hafıza elemanı ve
- nöron çıkışında bulunan aktivasyon (\tanh) fonksiyonu.

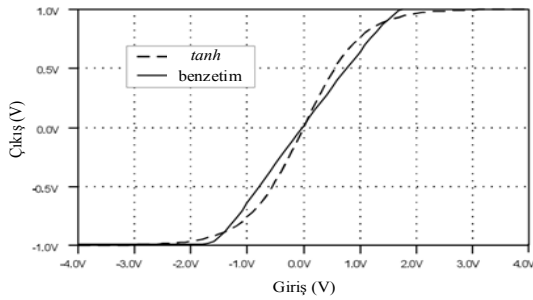
Önerilen kontrolcünün girişi sismik kütleli yer değiştirme işaretidir. Altı nöronlu bir gizli katmanı ve geri besleme oluşturma amacıyla iki adet çıkışı bulunmaktadır. Kontrolcünün giriş işareti kapasite ölçüm biriminden sağlandığı için gerilim şeklindedir. YSA'nın ağırlıkları ise gerilim olarak saklanmaktadır. Çarpıcının çıkışı ise akım şeklindedir. Nöron işlemleri sırasında ilgili nöronun girişi ilgili ağırlıklarla çarpılmakta ve tüm çarpımlar toplanmaktadır. Akım modlu analog çarpıcıların çıkışları tek bir düğümde birleştirilerek toplanmaktadır. Böylece toplama devresine gerek kalmamaktadır. Toplanan işaretler ise aktivasyon fonksiyonuna uygulanmakta ve buradan elde edilen işaret ise geri besleme elektrotlarına uygulanmaktadır. Analog işlem bloklarının özellikleri ilerleyen kısımda sunulmuştur.

3.2.1. Analog Çarpıcı

Analog çarpıcılar modülatör, değişken kesim frekanslı filtreler ve osilatörler başta olmak üzere çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Bu çalışma kapsamında dört bölgeli, gerilim girişli ve akım çıkışlı bir çarpıcı tasarımı kullanılmıştır. Nöron işlemleri sırasında giriş işaretleri ile ilgili ağırlıklar çarpılıp sonuç AF (Activation Function) birimine aktarılmaktadır. Hem ağırlıklar hem de yer değiştirme $[-1 \text{ V}, +1 \text{ V}]$ aralığına normalize edildiğinden çarpıcının 4 bölgeli olması bir zorunluluktur. İdeal bir çarpıcı eşitlik 6'daki gibi işlev görmektedir.

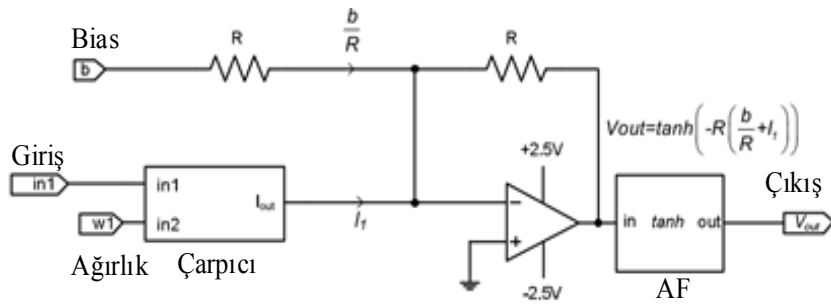


Şekil 10. *Tanh* aktivasyon fonksiyonu devresi



Şekil 11. Tasarlanan AF'nin *tanh* ile karşılaştırılması

Şekil 11'den görüldüğü üzere tasarlanan AF ile gerçek *tanh* fonksiyonu arasında farklılık bulunmaktadır. Bu durumun kontrolcünün başarısını etkilememesi için YSA eğitimi sırasında *tanh* yerine tasarlanan AF kullanılmıştır. Tasarlanan analog YSA'nın tek giriş ve tek çıkışlı nöron yapısı Şekil 12'de sunulmuştur.



Şekil 12. Tek giriş ve tek çıkışlı nöron yapısı

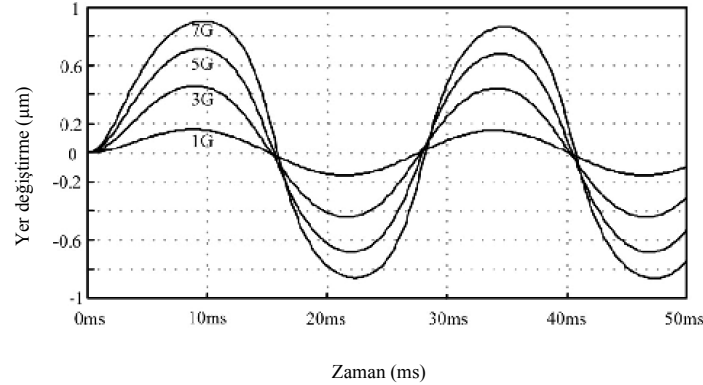
Şekilden görüldüğü üzere nöron yapısı çarpma toplama ve aktivasyon fonksiyonu yapılarından oluşmaktadır. Söz konusu nöron yapısının çıkışı Eşitlik 7'de verilmiştir.

$$V_{out} = \tanh\left(-R\left(\frac{b}{R} + in_1 \times w_1\right)\right) \quad (7)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

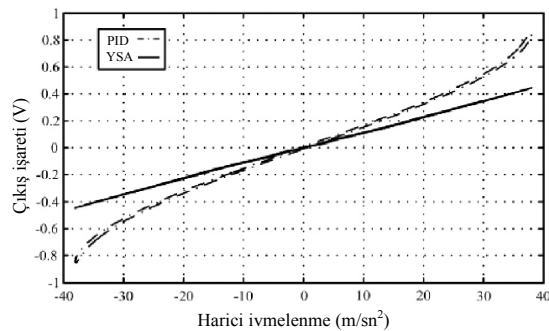
Bu bölümde, açık çevrim, kapalı çevrim (PID) ve önerilen kontrolcünün aynı MEMS ivme ölçer yapısı üzerindeki bilgisayar benzetimlerinin

sonuçları sunulmuştur. Açık çevrim ivme ölçerin ± 7 g genlik ve 40 Hz frekanslı sinüs formundaki ivmelenme altındaki yer değiştirme grafiği Şekil 13’de sunulmuştur.



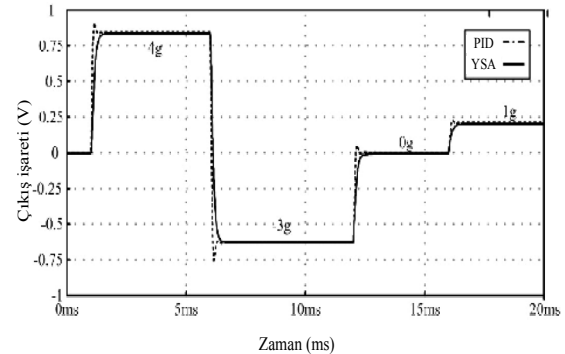
Şekil 13. Açık çevrim ivme ölçerin sinüs ivmelenme cevabı

Şekil 13’den de görüldüğü üzere açık çevrim ivme ölçerin doğrusal çalışma aralığı ± 3 g ile sınırlıdır. Bu durum ivme ölçerin çalışma aralığının artırılması için kapalı çevrim bir kontrolcü kullanılması gerektiğini göstermektedir. Bu amaçla bir analog PID kontrolcü tasarlanmış ve önerilen YSA kontrolcüyle ± 40 g ivmelenme altında benzetim çalışmaları yapılmıştır. Tamamen analog yapıda tasarlanan YSA kontrolcünün çıkışı da PID kontrolcüde olduğu gibi analogtur. PID kontrolcünün parametreleri şu şekildedir: $K_p=-6$, $K_I=-0,6$, $K_D=0,2$ ve $V_B=12$ V. Önerilen YSA ve PID kontrolcülerin statik karakteristikleri Şekil 14’de sunulmuştur.



Şekil 14. PID ve YSA kontrolcülerin ± 40 g ivmelenme altındaki transfer karakteristikleri

Görüldüğü üzere YSA ve PID ivme ölçerlerin doğrusal çalışma aralıkları sırasıyla ± 10 g ve ± 38 g olmuştur. PID ve YSA ivme ölçerlere $+4$ g, -3 g genlikte ve 5 kHz frekansta kara dalga ivmelenmeler uygulanmış ve benzetim sonuçları Şekil 15’de verilmiştir.



Şekil 15. PID ve YSA kontrolcülerin basamak şeklindeki ivmelenmelere olan tepkisi

Bu çalışma kapsamında yapılan bilgisayar benzetim çalışmalarında tepki süresi, doğrusallık ve ölçüm aralığı gibi parametreler incelenmiş ve sonuçlar çizelge 1’de sunulmuştur. Bu incelemeler sonucunda önerilen kontrolcünün osilasyonsuz ve aşısız bir karaktere sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Benzetim sonuçları

| Kontrolcü | Aşım | Yükselme süresi | Yatışma süresi |
|-----------|------|-----------------|----------------|
| PID | %6,8 | 0,10 ms | 0,50 ms |
| Önerilen | 0 | 0,20 ms | 0,25 ms |

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kapasitif MEMS ivme ölçerler için yapay sinir ağı temelli bir analog kontrolcü önerilmiştir. Önerilen yapay sinir ağı kontrolcü 1-6-2 yapıda ve AMI C5N 0,6 µm CMOS üretim teknolojisi kullanılarak tasarlanmıştır. Kontrolcünün girişi sismik kütlelerin yer değiştirme işareti çıkışları ise elektrostatik geri besleme işaretidir. Kontrolcünün amacı harici ivmelenme altında sismik kütleyi sabit tutarak sönümleme ve yay kaynaklı ikincil etkilerin bertaraf edilmesidir. Önerilen kontrolcünün başarı incelemesi amacıyla SPICE ortamında statik ve dinamik ivmelenme koşullarında çeşitli benzetim çalışmaları yapılmıştır. Bu benzetimlerde önerilen kontrolcü ile PID kontrolcü aynı şartlar altında sınanmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki önerilen yöntem tepki süresi, aşım ve ölçüm aralığı açısından PID kontrolcünden daha iyi performans göstermektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Grinberg, B., Feingold, A., Furman, L., Wolfson, R., 2016. High Precision Open-loop and Closed-loop MEMS Accelerometers with Wide Sensing range. IEEE/ION Position Location and Navigation Symposium. 6-11 Nisan 2016, Georgia, ABD.
2. Borovic, B., Liu, A.Q., Popa, D., Cai, H., Lewis, F.L., 2005. Open-loop Versus Closed-loop Control of MEMS Devices: Choices and Issues, Journal of Micromechanics and Microengineering, 15(10), 1917-1926.
3. Mohammed, Z., Elfadel, I.A.M., Rasras, M., 2018. Monolithic Multi Degree of Freedom (MDoF) Capacitive MEMS Accelerometers, Micromachines, 9(11), 602.
4. Yin, T., Ye, Z., Huang, G., Wu, H., Yang, H., 2018. A Closed-loop Interface for Capacitive Micro-accelerometers with Pulse-width-

- modulation Force Feedback, Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 94(2), 195-204.
5. Liu, S.H., 1994. CMOS Four-quadrant Multiplier Using Bias Feedback Techniques, IEEE Journal of Solid-State Circuits, 29(6), 750-752.
6. Mouser Electronics, <https://bit.ly/3cMIv5r>, Erişim Tarihi: 01.04.2022.
7. Analog Devices, <https://bit.ly/3rzPqDA>, Erişim Tarihi: 01.04.2022.
8. NXP Semiconductor, <https://bit.ly/381Yj1B>, Erişim Tarihi: 01.04.2022.
9. Micro Semiconductor, <https://bit.ly/3KTdFEed>, Erişim Tarihi: 01.04.2022.
10. Gaura, E. I., Rider, R. J., Steele, N., Naguib, R. N. 2001. Neural-network Compensation Methods for Capacitive Micromachined Accelerometers for Use in Telecare Medicine, IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 5(3), 248-252.
11. H. Hasan, M., Abbasalipour, A., Nikfarjam, H., Pourkamali, S., Emad-Un-Din, M., Jafari, R., Alsaleem, F., 2021. Exploiting Pull-in/pull-out Hysteresis in Electrostatic MEMS Sensor Networks to Realize a Novel Sensing Continuous-time Recurrent Neural Network, Micromachines, 12(3), 268.
12. Hollis, P., Paulos, J., 1990. Artificial Neural Networks Using MOS Analog Multipliers, IEEE Journal of Solid-state Circuits, 25(3), 849-855.

Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi ile Fonksiyonel Derecelenmiş Sandviç Dairesel Plakların Eğilme Analizi

Ahmad Reshad NOORI*¹ ORCID 0000-0001-6232-6303

¹Istanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 24.05.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: NOORI, A.R., (2022). Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi ile Fonksiyonel Derecelenmiş Sandviç Dairesel Plakların Eğilme Analizi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 673-683.

Öz

Bu çalışmada, Fonksiyonel Derecelenmiş (FD) malzemeli sandviç dairesel plakların eğilme davranışı teorik olarak araştırılmıştır. Malzeme özellikleri kalınlığı boyunca değişen sandviç dairesel plakların, öz tabakası veya çekirdeği izotropik homojen yüzey tabakaları ise FD malzemeli olarak kabul edilmiştir. Ele alınan plakların statik davranışını idare eden denklemler Kirchhoff–Love ve Mindlin–Reissner plak teorilerine göre minimum toplam enerji prensibi yardımıyla kanonik halde elde edilmiştir. Elde edilen bu denklemlerin sayısal çözümleri için Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi (TFY) uygulanmıştır. Bu çalışmada, malzeme değişim katsayılarının, yarıçap-kalınlık oranlarının, kayma deformasyon etkisinin ve farklı sınır koşullarının FD sandviç dairesel plakların eğilme davranışı üzerindeki etkileri parametrik olarak incelenmiştir. TFY'nin bu tür problemlere etkin bir şekilde uygulanabilirliği ve yöntemin doğruluğu, elde edilen sonuçların mevcut literatür ile karşılaştırılarak gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Sandviç dairesel plak, Tamamlayıcı fonksiyonlar yöntemi, İki noktalı sınır değer problemi, Fonksiyonel derecelenmiş malzemeler

Bending Analysis of Functionally Graded Sandwich Circular Plates via the Complementary Functions Method

Abstract

In this study, the flexural response of sandwich circular plates with Functionally Graded (FG) material is investigated theoretically. The core of the sandwich circular plates, whose material properties change throughout their thickness, is considered to be isotropic homogeneous and the face sheets are assumed to be FG. The governing equations of the static behavior of the considered plates are obtained in canonical form with the aid of the minimum total energy principle based on the Kirchhoff–Love and Mindlin–Reissner plate theories. For the numerical solutions of these equations, the Complementary Functions Method (CFM) is implemented. In this research, the effects of material gradient index, radius-thickness ratios, shear deformation effects and different boundary conditions on the bending behavior of FG

*Sorumlu (Corresponding author) yazar: Ahmad Reshad NOORI, arnoori@gelisim.edu.tr

sandwich circular plates are parametrically investigated. The efficient applicability of the CFM to this type of problem and the accuracy of the suggested method are demonstrated by comparing the results obtained with the existing literature.

Keywords: Sandwich circular plate, Complementary functions method, Two-Point boundary value problem, Functionally graded materials

1. GİRİŞ

Dairesel plaklar, mühendislik tasarımının en önemli ve vazgeçilmez yapı elemanlarından biridir. FD malzemeler ise, sahip olduğu çeşitli üstün mekanik özelliklerinden dolayı havacılık, inşaat ve denizcilik gibi birçok mühendislik dallarında geniş bir uygulama alanına sahiptir. İstenen mekanik özelliklerinin elde edilebilmesi için bazen FD malzemeler katmanlı olarak da kullanılmaktadır. Bu nedenle FD sandviç malzemeden yapılan dairesel plakların statik ve dinamik davranışı çeşitli metotlar kullanılarak yaygın bir şekilde araştırılmıştır.

Ma ve Wang [1], Karman plak teorisini kullanarak FD malzemeli dairesel plakların doğrusal olmayan eğilme davranışını araştırmışlardır. Jalali ve arkadaşları [2], değişken kalınlıklı FD sandviç dairesel plakların termal stabilite davranışını Shooting yöntemi ile incelemişlerdir. Jalali ve arkadaşları [3], çekirdeği homojen ve yüzey tabakaları FDM olan sandviç dairesel plakların burkulma analizini teorik olarak ele almışlardır. Alipour ve Shariyat [4], düşey yükler etkisinde olan FD malzemeli sandviç dairesel plakların eğilme ve gerilme analizlerini zigzag teorisi ile araştırmışlardır.

Sburlati [5], yüzey tabakaları izotropik homojen ve çekirdeği FDM olan sandviç dairesel plakların eğilme davranışını idare eden denklemlerin çözümünü kapalı formda elde etmiştir. Nguyen ve arkadaşları [6], FDM sandviç plakların burkulma ve serbest titreşim davranışları için Navier tipi çözüm elde etmişlerdir. Sburlati ve arkadaşları [7], yüzey tabakaları FD olan sandviç dairesel plakların deplasman ve gerilme değerlerini kapalı formda hesaplamışlardır. Shariyat ve Alipour [8], FDM sandviç dairesel plakların dinamik davranışı için zigzag-elastisite yaklaşımını önermişlerdir.

Houari ve arkadaşları [9], FDM sandviç plakların termoelastik eğilme davranışını analiz etmek için yüksek mertebe kayma deformasyon teorisi geliştirmişlerdir. Zenkour [10], FD sandviç plakların eğilme davranışını incelemek için yüksek mertebe kayma deformasyon teorisi kullanmıştır. Thai ve arkadaşları [11], FD sandviç plakların statik, dinamik ve burkulma davranışlarını araştırmışlardır. Thai ve arkadaşları [12], FDM sandviç plakların analizi için yeni kayma deformasyon teorisi geliştirmişlerdir.

Alibeigloo [13], termomekanik yükler etkisinde olan FD sandviç dairesel plakların eğilme davranışını incelemek için diferansiyel kareleme yönteminden (DKY) yararlanmışlardır. Alipour [14], elastik sınır koşullarında olan FD sandviç dairesel plakların eğilme davranışı için analitik çözüm yöntemi sunmuştur. Mantari ve Monge [15], basit mesnetli FD sandviç plakların doğrusal titreşim, eğilme ve burkulma davranışları için kapalı formda çözüm elde etmişlerdir. Li ve arkadaşları [16], sandviç plaklar için yeni bir FDM modeli geliştirerek bu plakların eğilme davranışını incelemişlerdir.

Beni ve Dehkordi [17], FD sandviç dairesel plakların davranışını araştırmak için Carrera birleşik formülasyonunu kullanmışlardır. Farhatnia ve arkadaşları [18], elastik zemine oturan değişken kalınlıklı FD sandviç dairesel plakların klasik plak teorisine dayalı eğilme davranışını DKY ile incelemişlerdir. Chung ve Ou [19], basit mesnetli FD sandviç dairesel plakların eğilme davranışını analitik olarak incelemişlerdir. Duc ve Vuong [20], FDM sandviç kabukların doğrusal olmayan dinamik analizini araştırmışlardır. Shinde ve Sayyad [21], FD sandviç kabukların statik ve dinamik davranışlarını incelemek için yüksek mertebe kayma deformasyon teorisi geliştirmişlerdir. Sah ve Ghosh [22], çok yönlü FD sandviç plakların burkulma ve dinamik

davranışlarını analiz etmişlerdir. Dogan [23], FD plakların dinamik davranışını Laplace uzayında araştırmıştır.

TFY, daha önce birçok mekanik problemlerin etkin çözümünde yaygın olarak uygulanmıştır. Örneğin;

Noori ve arkadaşları [24], FD sandviç kirişlerin statik davranışını, Temel ve arkadaşları [25], dikdörtgen kesitli sikloid çubukların sönümlü zorlanmış titreşimini, Noori ve Temel [26], değişken kesitli tabaklı kompozit parabolik kemerlerin dinamik davranışını, Sivri ve Temel [27], değişken kesitli kolonların burkulmasını, Eker ve arkadaşları [28], basınçlı FDM kapların mekanik davranışını, Çalım [29], elastik zemine oturan FD kirişlerin dinamik davranışını, Yıldırım ve Tütüncü [30], anizotrop disklerin serbest titreşim davranışını, Yıldırım [31], kompozit sandviç kirişlerin serbest titreşim davranışını TFY ile incelemişlerdir.

Yazarın bilgisine göre, FD sandviç dairesel plakların statik davranışını TFY ile analiz eden herhangi bir çalışma ile mevcut literatürde karşılaşmamıştır. FD sandviç dairesel plakların eğilme davranışı ilk kez bu makalede TFY ile incelenmiştir. Ele alınan plakların eğilme davranışını idare eden kanonik denklemler minimum toplam potansiyel enerji ilkesi ile elde edilmiştir.

Bu araştırmada, malzeme değişim katsayılarının, yarıçap-kalınlık (r/h) oranlarının ve farklı sınır koşullarının bu tür plakların statik davranışı üzerindeki etkileri parametrik olarak ele alınmıştır. Ayrıca, FD malzemeli sandviç dairesel plakların statik yükler altında beklenen eğilme davranışını belirlemenin yanı sıra, bu yöntemin kolayca ve etkin bir şekilde uygulanabilirliğini göstermeyi de amaçlamaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Şekil 1'de sandviç dairesel plak için FD malzemenin değişim fonksiyonu Eşitlik 1 ile verilmektedir.

$$E(z) = \begin{cases} E_m + (E_c - E_m) \left(\frac{h+2z}{0,5h} \right)^p, & -0,5h \leq z \leq -0,25h \\ E_c, & -0,25h \leq z \leq 0,25h \\ E_m + (E_c - E_m) \left(\frac{h-2z}{0,5h} \right)^p, & 0,25h \leq z \leq 0,5h \end{cases} \quad (1)$$

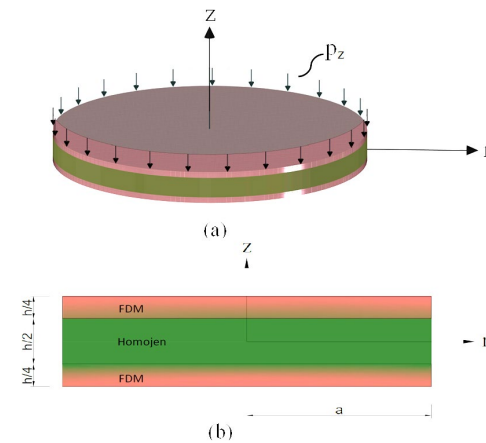
Burada, E_c ve E_m sırasıyla seramik ve metal malzemelerine ait elastisite modülleri olup p ise malzeme değişim katsayısıdır. Ele alınan sandviç dairesel plakların üç katmana sahip olduğu dikkate alınmıştır.

FD sandviç dairesel plakların eğilme davranışını idare eden denklemler, kalın plak teorisine dayalı yaklaşıma göre elde edilmiştir. Dairesel plaklar için yer değiştirmeler aşağıdaki gibi ifade edilir (Eşitlik 2 ve 3) [32].

$$U_r = u(r) + z \chi(r) \quad (2)$$

$$U_z = w(r) \quad (3)$$

Burada, $w(r)$ düşey yer değiştirme, $u(r)$ radyal yer değiştirme ve $\chi(r)$ ise dönme olup, şekil değiştirmeler Eşitlik 4-8'de verilmektedir [32].



Şekil 1. FD sandviç dairesel plağın (a) geometrik parametreleri (b) malzeme değişimi

$$\varepsilon_{rr} = \frac{du}{dr} = u' \tag{4}$$

$$\varepsilon_{\theta\theta} = \frac{u}{r} \tag{5}$$

$$\chi_{rr} = \frac{d\chi}{dr} = \chi' \tag{6}$$

$$\chi_{\theta\theta} = \frac{\chi}{r} \tag{7}$$

$$\gamma_{rz} = \frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r} = \chi + \frac{dw}{dr} = \chi + w' \tag{8}$$

Sandviç dairesel plaklara ait şekil değiştirme ve gerilme arasındaki ilişkiler Eşitlik 9-11'de verilmektedir [32].

$$\sigma_{rr} = \frac{E^{(i)}(z)}{1-\nu^2} (\varepsilon_{rr} + \nu\varepsilon_{\theta\theta} + z\chi_{rr} + z\nu\chi_{\theta\theta}) \tag{9}$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{E^{(i)}(z)}{1-\nu^2} (\varepsilon_{\theta\theta} + \nu\varepsilon_{rr} + z\chi_{\theta\theta} + z\nu\chi_{rr}) \tag{10}$$

$$\tau_{rz} = \frac{E^{(i)}(z)}{2(1+\nu)} \gamma_{rz} \tag{11}$$

Eşitlik (5)'te verilen $E^{(i)}(z)$ elastisite modülü dairesel plağın kalınlığı boyunca malzeme değişim katsayısına bağlı olarak değişmektedir. Minimum toplam potansiyel enerji ifadesi kalın plak (Mindlin plak) teorisine dayalı olarak Eşitlik 12'de verilmiştir.

$$\Pi_1 = 2\pi \int_0^r \frac{1}{2} \left[\begin{array}{l} \left(\begin{array}{l} A_{11}u' + A_{12} \frac{u}{r} \\ + B_{11}\chi' + B_{12} \frac{\chi}{r} \end{array} \right) \varepsilon_{rr} \\ + \left(\begin{array}{l} A_{11} \frac{u}{r} + A_{12}u' \\ + B_{11} \frac{\chi}{r} + B_{12}\chi' \end{array} \right) \varepsilon_{\theta\theta} \\ + \left(\begin{array}{l} B_{11}u' + B_{12} \frac{u}{r} \\ + D_{11}\chi' + D_{12} \frac{\chi}{r} \end{array} \right) \chi_{rr} \\ + \left(\begin{array}{l} B_{11} \frac{u}{r} + B_{12}u' \\ + D_{11} \frac{\chi}{r} + D_{12}\chi' \end{array} \right) \chi_{\theta\theta} \\ + (A_{55}(\chi + w')) \gamma_{rz} \end{array} \right] - (p_r u + p_z w) y dr \tag{12}$$

Bu denklemde görülen $A_{11}, A_{12}, B_{11}, B_{12}, D_{11}, D_{12}$ ve A_{55} kesit rijitlik sabitleri olup, Eşitlik (13)'te verilen integraller yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} & \{A_{11}, B_{11}, D_{11}\} \\ & = \sum_{i=1}^3 \left(\int_{h_{i-1}}^{h_i} \frac{E^{(i)}(z)}{1-\nu^2} \{1, z, z^2\} dz \right) \\ & \{A_{12}, B_{12}, D_{12}\} \\ & = \sum_{i=1}^3 \left(\int_{h_{i-1}}^{h_i} \nu \frac{E^{(i)}(z)}{1-\nu^2} \{1, z, z^2\} dz \right) \end{aligned} \tag{13}$$

$$A_{55} = k_s \sum_{i=1}^3 \left(\int_{h_{i-1}}^{h_i} G^{(i)}(z) dz \right)$$

Burada k_s , kayma düzeltme faktörüdür. Gerekli büyüklüklerin türevleri ve impulsif bileşenleri elde edilerek, FD dairesel plakların eğilme davranışını idare eden 6 adet adi diferansiyel denklemler teşkil edilip Eşitlik 14-19'da verilmiştir.

$$u' = \frac{D_{11}N_{rr} - B_{11}M_{rr}}{A_{11}D_{11} - B_{11}^2} - \nu \frac{u}{r} \tag{14}$$

$$w' = \frac{Q_{rz}}{A_{55}} - \chi \tag{15}$$

$$\chi' = \frac{A_{11}M_{rr} - B_{11}N_{rr}}{A_{11}D_{11} - B_{11}^2} - \nu \frac{\chi}{r} \tag{16}$$

$$N_{rr}' = \frac{1-\nu^2}{r^2} (A_{11}u + B_{11}\chi) + \frac{\nu-1}{r} N_{rr} - p_r \tag{17}$$

$$Q_{rz}' = -\frac{1}{r} Q_{rz} - p_z \tag{18}$$

$$M_{rr}' = Q_{rz} + \frac{1-\nu^2}{r^2} (B_{11}u + D_{11}\chi) + \frac{\nu-1}{r} M_{rr} \tag{19}$$

Bu çalışmada, ele alınan plak teorilerinden Kirchhoff plak teorisine göre çözüm yapılırken Eşitlik 15'teki $\frac{Q_{rz}}{A_{55}}$ terimi ihmal edilmektedir. Elde edilen Eşitlik 14-19 aşağıdaki gibi matris formunda verilebilir.

$$\frac{d\{Y(r)\}}{dr} = [A(r)]\{Y(r)\} + \{F(r)\} \quad (20)$$

İki noktalı sınır değer problemi olan Eşitlik (20), TFY ile çözülmektedir. Burada r , bağımsız değişkendir. Bu yöntemin yardımıyla iki noktalı sınır değer problemi başlangıç değer problemine indirgenebilir. Eşitlik 20 için genel çözüm ise,

$$\{Y(r)\} = \sum_{m=1}^6 C_m [U^{(m)}(r)] + \{V(r)\} \quad (21)$$

Şeklinde. Burada $\{V(r)\}$ özel çözüm olup, $[U^{(m)}(r)]$ ise homojen çözümdür. Homojen çözümü elde etmek için m 'inci bileşenine 1, diğerlerine sıfır değeri verilir. Özel çözüm ise başlangıç şartları sıfır alınarak elde edilir. İntegrasyon sabitlerini (C_m) bulmak için problemin sınır şartlarını bilmek gerekir. Bu sınır şartları plakların mesnet koşullarına bağlıdır [32].

3. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu çalışmada, FD sandviç dairesel plakların eğilme davranışını idare eden denklemler kanonik formda elde edilmiştir. Elde edilen kanonik denklemler sayısal olarak TFY ile çözülmüş ve FD sandviç kalın ve ince dairesel plakların eğilme davranışı üzerine, farklı yarıçap-kalınlık oranlarının, çeşitli sınır koşullarının ve malzeme değişim katsayısının etkileri teorik olarak araştırılmıştır. TFY'ye dayalı problemlerin çözümü için RK5 algoritması kullanılarak FORTRAN programa dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmıştır.

İlk olarak, kalınlığı (h) 0,01 m, yarıçapı (r) 0,6 m, E_c değeri 360 GPa, kenarlarından sabit ve ankastre sınır şartlarına sahip olan sandviç dairesel plak için en büyük boyutsuz düşey yer değiştirmeler hesaplanmıştır. Burada, çeşitli malzeme değişim katsayıları için FD sandviç dairesel plakların Kirchhoff plak teorisine göre elde edilen boyutsuz düşey deplasmanları ($w^* = w/r$) literatürde ([18]) verilen değerler ile Çizelge 1'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1. FD Sandviç dairesel plaklara ait boyutsuz düşey deplasman değerleri

| n_z | Metot | Ankastre mesnetli | Sabit Mesnetli |
|-------|------------------|-------------------|----------------|
| 1 | Bu çalışma (TFY) | 0,01790 | 0,07300 |
| | Ref. [18] (DKY) | 0,01790 | 0,07300 |
| 5 | Bu çalışma (TFY) | 0,02832 | 0,11547 |
| | Ref. [18] (DKY) | 0,02830 | 0,11540 |
| Metal | Bu çalışma (TFY) | 0,05268 | 0,21483 |
| | Ref. [18] (DKY) | 0,05270 | 0,21460 |

Çizelge 1 incelendiğinde, FDM sandviç dairesel plakların eğilme analizi için bu çalışmada önerilen yöntem ile elde edilen boyutsuz maksimum düşey yer değiştirme değerlerinin mevcut literatür ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada çözülen sayısal uygulamalarda kullanılan FD malzemelerin mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Malzeme özellikleri

| Malzeme | E (GPa) | ν |
|---------|-----------|-------|
| Metal | 70 | 0,3 |
| Seramik | 380 | 0,3 |

Ele alınan tüm FD sandviç dairesel plaklar ($p_z = 10^5$ kPa) basınç etkisinde olup, geometrik özellikleri şöyledir: Plakın yarıçapı ($r=0,5$) ve kalın plak teorisi için kayma düzeltme faktörü 5/6 olarak alınmıştır.

Çizelge 3. Sabit mesnetli FD sandviç Kirchhoff dairesel plak için elde edilen boyutsuz düşey deplasmanlar ($w^* \times 10^3$)

| n_z | r/h | | |
|---------|--------|--------|--------|
| | 1/5 | 1/10 | 1/20 |
| Seramik | 0,0229 | 0,1832 | 1,4652 |
| 1 | 0,0404 | 0,3232 | 2,5860 |
| 2 | 0,0510 | 0,4076 | 3,2600 |
| 3 | 0,0575 | 0,4598 | 3,6780 |
| 4 | 0,0618 | 0,4942 | 3,9520 |
| 5 | 0,0648 | 0,5180 | 4,1440 |
| 10 | 0,0718 | 0,5742 | 4,5940 |
| Metal | 0,1243 | 0,9942 | 7,9540 |

Çizelge 4. Sabit mesnetli FD sandviç Mindlin dairesel plak için elde edilen boyutsuz düşey deplasmanlar ($w^* \times 10^3$)

| n_z | r/h | | |
|---------|---------|---------|---------|
| | 1/5 | 1/10 | 1/20 |
| Seramik | 0,02392 | 0,18520 | 1,46940 |
| 1 | 0,04170 | 0,32580 | 2,59200 |
| 2 | 0,05236 | 0,41040 | 3,26600 |
| 3 | 0,05896 | 0,46280 | 3,68400 |
| 4 | 0,06328 | 0,49720 | 3,95800 |
| 5 | 0,06630 | 0,52120 | 4,15000 |
| 10 | 0,07340 | 0,57740 | 4,60000 |
| Metal | 0,12986 | 1,00540 | 7,97600 |

Çalışmanın devamında Kirchhoff–Love ve Mindlin–Reissner plak teorilerine göre sabit mesnetli FD sandviç dairesel plakların farklı yarıçap-kalınlık oranları ($r/h=5, 10$ ve 20) ve farklı malzeme değişim katsayıları ($n_z = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ ve 10) için boyutsuz deplasman değerleri hesaplanmış ve Çizelge 3 - 4’te verilmiştir.

Benzer şekilde yukarıda verilen yarıçap-kalınlık oranları ve malzeme değişim katsayıları için ankastre mesnetli FD sandviç dairesel plaklara ait boyutsuz düşey deplasmanlar hem ince hem de kalın plak teorilerine göre elde edilmiş olup Çizelge (5 – 6)’da sunulmuştur.

Çizelge 5. Ankastre mesnetli FD sandviç Kirchhoff dairesel plak için elde edilen boyutsuz düşey deplasmanlar ($w^* \times 10^3$)

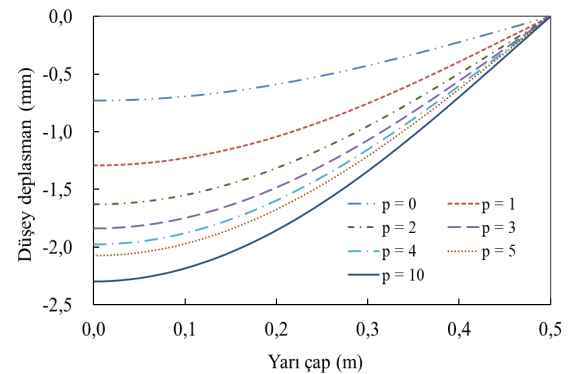
| n_z | r/h | | |
|---------|----------|----------|----------|
| | 1/5 | 1/10 | 1/20 |
| Seramik | 0,005616 | 0,044940 | 0,359400 |
| 1 | 0,009912 | 0,079300 | 0,634400 |
| 2 | 0,012498 | 0,100000 | 0,800000 |
| 3 | 0,014098 | 0,112780 | 0,902000 |
| 4 | 0,015152 | 0,121220 | 0,969800 |
| 5 | 0,015886 | 0,127080 | 1,016600 |
| 10 | 0,017606 | 0,140860 | 1,126800 |
| Metal | 0,030480 | 0,244000 | 1,951200 |

Çizelge 6. Ankastre mesnetli FD sandviç Mindlin dairesel plak için elde edilen boyutsuz düşey deplasmanlar ($w^* \times 10^3$)

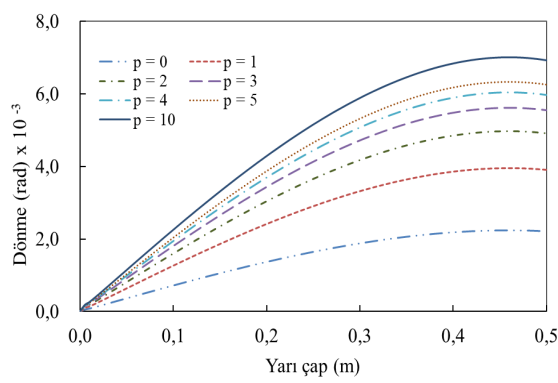
| n_z | r/h | | |
|---------|----------|----------|----------|
| | 1/5 | 1/10 | 1/20 |
| Seramik | 0,006642 | 0,046980 | 0,363600 |
| 1 | 0,011202 | 0,081880 | 0,639600 |
| 2 | 0,013908 | 0,102820 | 0,805200 |
| 3 | 0,015572 | 0,115740 | 0,908200 |
| 4 | 0,016668 | 0,124260 | 0,975800 |
| 5 | 0,017440 | 0,130200 | 1,022800 |
| 10 | 0,019238 | 0,144120 | 1,133400 |
| Metal | 0,036060 | 0,255000 | 1,973600 |

Çizelgeler incelendiğinde, her iki sınır şartında da FD sandviç dairesel plaklarda meydana gelen en büyük düşey deplasman değerlerinin, Mindlin–Reissner plak teorisi kullanıldığında daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra r/h oranı arttıkça boyutsuz deplasman değeri de artmaktadır. Ayrıca, ince ve kalın plak teorilerinde r/h oranına bağlı olmaksızın malzeme değişim katsayısı arttıkça boyutsuz düşey yer değiştirme değerleri de artmaktadır.

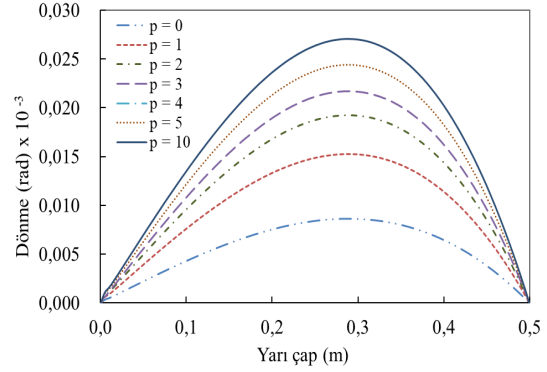
Çalışmanın devamında ince ve kalın plak teorilerine göre, sabit ve ankastre mesnetli sandviç dairesel plaklar ($r/h=20$ ve 5), çeşitli malzeme değişim katsayıları için statik yükler etkisinde analiz edilmiş olup, yarıçapı boyunca düşey deplasman ve dönme değerleri bulunarak grafik halinde sunulmuştur (Şekil 2-9).



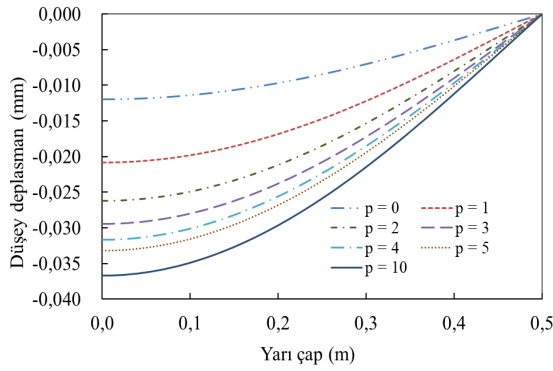
Şekil 2. Sabit mesnetli FD sandviç Kirchhoff dairesel plak için elde edilen düşey deplasman değerleri ($r/h=20$)



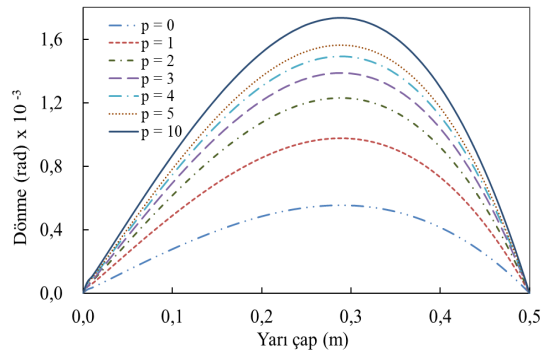
Şekil 3. Sabit mesnetli FD sandviç Kirchhoff dairesel plak için elde edilen dönme değerleri ($r/h=20$)



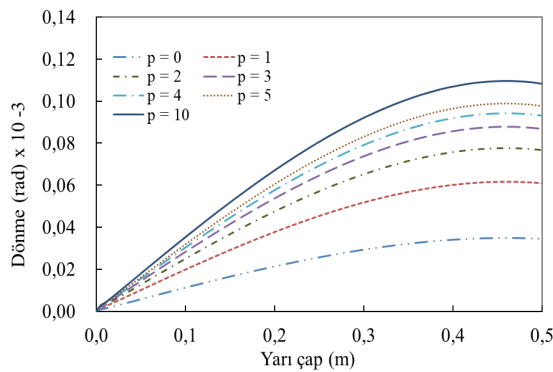
Şekil 6. Ankastr mesnetli FD sandviç Kirchhoff dairesel plak için elde edilen düşey deplasman değerleri ($r/h=20$)



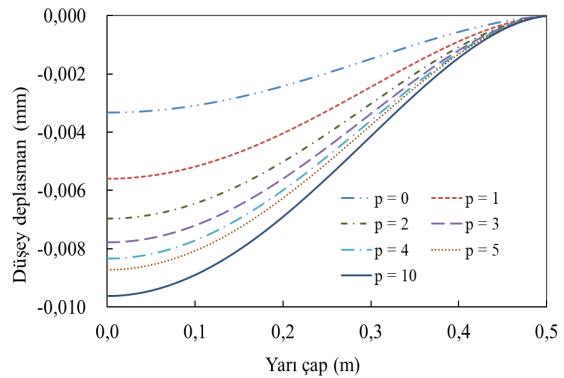
Şekil 4. Sabit mesnetli FD sandviç Mindlin dairesel plak için elde edilen düşey deplasman değerleri ($r/h=5$)



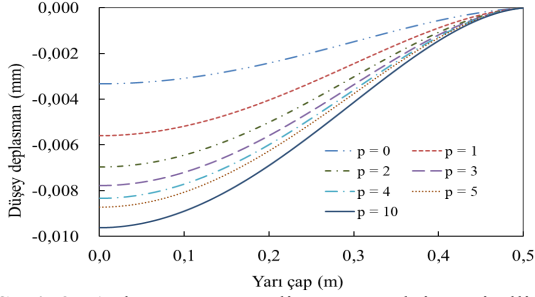
Şekil 7. Ankastr mesnetli FD sandviç Kirchhoff dairesel plak için elde edilen dönme değerleri ($r/h=20$)



Şekil 5. Sabit mesnetli FD sandviç Mindlin dairesel plak için elde edilen dönme değerleri ($r/h=5$)



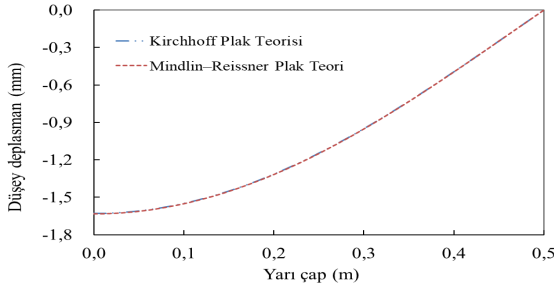
Şekil 8. Ankastr mesnetli FD sandviç Kirchhoff dairesel plak için elde edilen düşey deplasman değerleri ($r/h=5$)



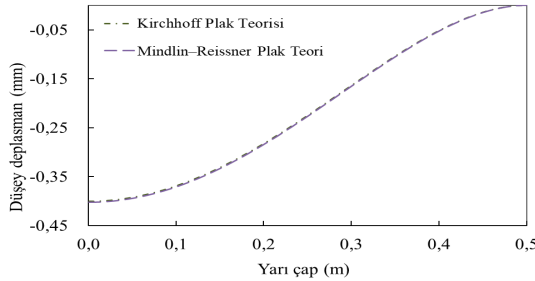
Şekil 9. Ankastré mesnetli FD sandviç Mindlin dairesel plak için elde edilen dönme değerleri ($r/h=5$)

Şekil 2-9 incelendiğinde malzeme değişim katsayısı artıka düşey yer değıştirme ve dönme değerlerinin de artıttığı görülmektedir.

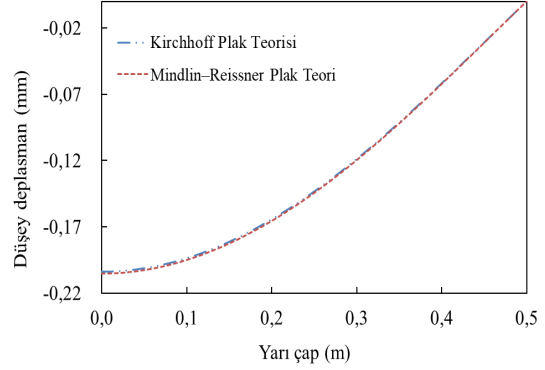
Son olarak, sabit ve ankastré mesnetli dairesel sandviç plakların $n_z = 2$ ve ($r/h=20, 10$ ve 5) durumları için düşey yer değıştirme grafikleri Şekil 10-15’de verilerek ince ve kalın plak teorileri için karşılaştırılmıştır.



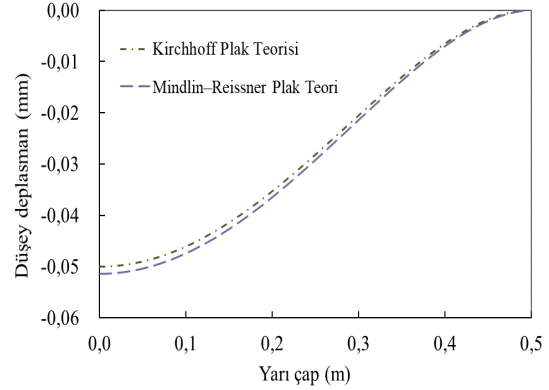
Şekil 10. Sabit mesnetli dairesel plak için düşey deplasman değerlerinin karşılaştırılması ($r/h=20$)



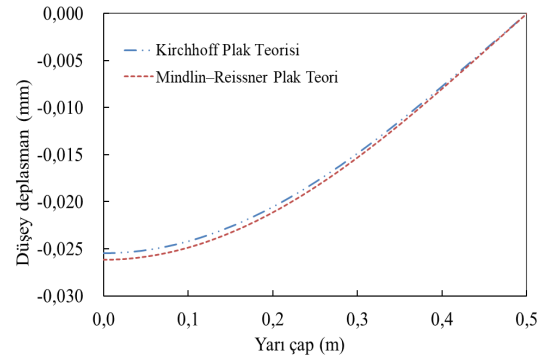
Şekil 11. Ankastré mesnetli dairesel plak için düşey deplasman değerlerinin karşılaştırılması ($r/h=20$)



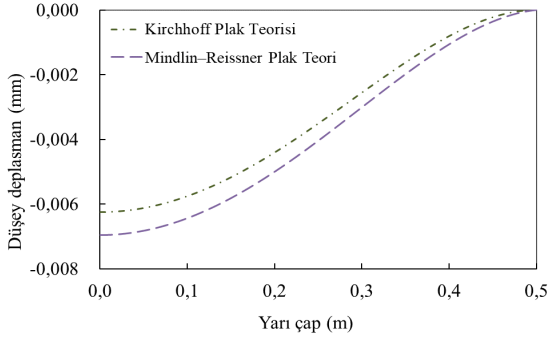
Şekil 12. Sabit mesnetli dairesel plak için düşey deplasman değerlerinin karşılaştırılması ($r/h=10$)



Şekil 13. Ankastré mesnetli dairesel plak için düşey deplasman değerlerinin karşılaştırılması ($r/h=10$)



Şekil 14. Sabit mesnetli dairesel plak için düşey deplasman değerlerinin karşılaştırılması ($r/h=5$)



Şekil 15. Ankastre mesnetli dairesel plak için düşey deplasman değerlerinin karşılaştırılması ($r/h=5$)

Grafikler incelendiğinde, r/h oranı arttıkça kayma şekil değiştirme etkisi tamamen azaldığı için her iki plak teorisine göre elde edilen düşey deplasmanlar üst üste çakışmaktadır. Düşük r/h oranlara sahip olan FD sandviç dairesel plakların eğilme analizi için kalın plak teorisin uygulanması önerilmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, FD malzemeli sandviç dairesel plakların eğilme davranışı incelenmiştir. Ele alınan plakların statik davranışını idare eden adi diferansiyel denklemler kanonik formda, kalın ve ince plak teorilerine göre minimum toplam potansiyel enerji ilkesi ile bulunmuştur. Elde edilen denklemlerin nümerik olarak çözülmesi için TFY kullanılmıştır.

Çeşitli sınır koşullarının, malzeme değişim katsayılarının ve r/h oranlarının FD sandviç dairesel plakların eğilme davranışı üzerindeki etkileri ayrıntılı bir şekilde araştırılmıştır. Araştırmada kullanılan malzeme modelleri için malzeme değişim katsayısı arttıkça deplasmanların da arttığı görülmüştür. Yarıçapı-kalınlık (r/h) oranı azaldıkça kayma şekil değiştirme etkisinin arttığı gözlemlenmiştir. Kenarlarından ankastre mesnetli durumda deplasmanlar küçük iken sabit mesnetli durumda deplasmanların daha büyük olduğu görülmüştür.

Son olarak daha önce çeşitli mekanik problemlerin çözümünde etkin bir şekilde kullanılan TFY'nin, FD sandviç dairesel plakların eğilme davranışını araştırmak için oldukça etkin ve kolayca uygulanabilir olduğu görülmüştür.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma İstanbul Gelişim Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Uygulama ve Araştırma Merkezi tarafından desteklenmiştir (BP-180220-ARN).

6. KAYNAKLAR

1. Ma, L.S., Wang, T.J., 2003. Nonlinear Bending and Post-buckling of a Functionally Graded Circular Plate Under Mechanical and Thermal Loadings. *International Journal of Solids and Structures*, 40(13-14), 3311-3330.
2. Jalali, S.K., Naei, M.H., Poorsolhjouy, A., 2010. Thermal Stability Analysis of Circular Functionally Graded Sandwich Plates of Variable Thickness Using Pseudo-spectral Method. *Materials & Design*, 31(10), 4755-4763.
3. Jalali, S.K., Naei, M.H., Poorsolhjouy, A., 2011. Buckling of Circular Sandwich Plates of Variable Core Thickness and FGM Face Sheets. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 11(02), 273-295.
4. Alipour, M.M., Shariyat, M., 2012. An Elasticity-equilibrium-based Zigzag Theory for Axisymmetric Bending and Stress Analysis of the Functionally Graded Circular Sandwich Plates, Using a Maclaurin-type Series Solution. *European Journal of Mechanics-A/Solids*, 34, 78-101.
5. Sburlati, R., 2012. An Axisymmetric Elastic Analysis for Circular Sandwich Panels with Functionally Graded Cores. *Composites Part B: Engineering*, 43(3), 1039-1044.
6. Nguyen, T.K., Vo, T.P., Thai, H.T., 2014. Vibration and Buckling Analysis of Functionally Graded Sandwich Plates with Improved Transverse Shear Stiffness Based on the First-order Shear Deformation Theory. *Proceedings of the Institution of Mechanical*

- Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 228(12), 2110-2131.
7. Sburlati, R., Atashipour, S.R., Hosseini-Hashemi, S., 2013. Study on the Effect of Functionally Graded Coating Layers on Elastic Deformation of Thick Circular Plates: A Closed-Form Elasticity Solution. *Composite Structures*, 99, 131-140.
 8. Shariyat, M., Alipour, M.M., 2013. Semi-analytical Consistent Zigzag-elasticity Formulations with Implicit Layerwise Shear Correction Factors for Dynamic Stress Analysis of Sandwich Circular Plates with FGM Layers. *Composites Part B: Engineering*, 49, 43-64.
 9. Houari, M.S.A., Tounsi, A., Bég, O.A., 2013. Thermoelastic Bending Analysis of Functionally Graded Sandwich Plates Using a New Higher Order Shear and Normal Deformation Theory. *International Journal of Mechanical Sciences*, 76, 102-111.
 10. Zenkour, A.M., 2013. Bending Analysis of Functionally Graded Sandwich Plates Using a Simple Four-unknown Shear and Normal Deformations Theory. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 15(6), 629-656.
 11. Thai, C.H., Kulasegaram, S., Tran, L.V., Nguyen-Xuan, H., 2014. Generalized Shear Deformation Theory for Functionally Graded Isotropic and Sandwich Plates Based on Isogeometric Approach. *Computers & Structures*, 141, 94-112.
 12. Thai, H.T., Nguyen, T.K., Vo, T.P., Lee, J., 2014. Analysis of Functionally Graded Sandwich Plates Using a New First-order Shear Deformation Theory. *European Journal of Mechanics-A/Solids*, 45, 211-225.
 13. Alibeigloo, A., 2016. Thermo Elasticity Solution of Sandwich Circular Plate with Functionally Graded Core Using Generalized Differential Quadrature Method. *Composite Structures*, 136, 229-240.
 14. Alipour, M.M., 2016. A Novel Economical Analytical Method for Bending and Stress Analysis of Functionally Graded Sandwich Circular Plates with General Elastic Edge Conditions, Subjected to Various Loads. *Composites Part B: Engineering*, 95, 48-63.
 15. Mantari, J.L., Monge, J.C., 2016. Buckling, Free Vibration and Bending Analysis of Functionally Graded Sandwich Plates Based on an Optimized Hyperbolic Unified Formulation. *International Journal of Mechanical Sciences*, 119, 170-186.
 16. Li, D., Deng, Z., Xiao, H., Jin, P., 2018. Bending Analysis of Sandwich Plates with Different Face Sheet Materials and Functionally Graded Soft Core. *Thin-Walled Structures*, 122, 8-16.
 17. Beni, N.N., Dehkordi, M.B., 2018. An Extension of Carrera Unified Formulation in Polar Coordinate for Analysis of Circular Sandwich Plate with FGM Core Using GDQ Method. *Composite Structures*, 185, 421-434.
 18. Farhatnia, F., Saadat, R., Oveissi, S., 2019. Functionally Graded Sandwich Circular Plate of Non-Uniform Varying Thickness with Homogenous Core Resting on Elastic Foundation: Investigation on Bending via Differential Quadrature Method. *American Journal of Mechanical Engineering*, 7(2), 68-78.
 19. Chung, Y.L., Ou, Z.X., 2021. Exact Bending Solutions of Circular Sandwich Plates with Functionally Graded Material-undercoated Layer Subjected to Axisymmetric Distributed Loads. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 23(7), 2856-2881.
 20. Duc, N. D., Vuong, P. M., 2022. Nonlinear Vibration Response of Shear Deformable FGM Sandwich Toroidal Shell Segments. *Meccanica*, 57, 1083-1103.
 21. Shinde, B.M., Sayyad, A.S., 2022. A New Higher Order Shear and Normal Deformation Theory for FGM Sandwich Shells. *Composite Structures*, 280, 114865.
 22. Sah, S.K., Ghosh, A., 2022. Influence of Porosity Distribution on Free Vibration and Buckling Analysis of Multi-directional Functionally Graded Sandwich Plates. *Composite Structures*, 279, 114795.
 23. Dogan, A., 2022. Quasi-static and Dynamic Response of Functionally Graded Viscoelastic Plates. *Composite Structures*, 280, 114883.
 24. Noori, A.R., Rasooli, H., Aslan, T.A., Temel, B., 2020. Fonksiyonel Derecelenmiş Sandviç Kirişlerin Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi

- ile Statik Analizi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35(4), 1091-1102.
25. Temel, B., Aslan, T. A., Noori, A. R., 2018. Dikdörtgen Kesitli Viskoelastik Sikloid Çubukların Zorlanmış Titreşimi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(1), 151-162.
 26. Noori, A. R., Temel, B., 2020. On the Vibration Analysis of Laminated Composite Parabolic Arches with Variable Cross-Section of Various Ply Stacking Sequences. Mechanics of Advanced Materials and Structures, 27(19), 1658-1672.
 27. Sivri, B., Temel, B., 2022. Değişken Kesitli Timoshenko Kolonlarının Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemiyle Burkulma Analizi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11 (1) , 122-128.
 28. Eker, M., Yarımabaç, D., Çelebi, K. 2018. Mechanical Behavior of Functionally Graded Pressure Vessels Under the Effect of Poisson's Ratio . European Mechanical Science, 2(2), 52-59 .
 29. Çalım, F.F., 2020. Vibration Analysis of Functionally Graded Timoshenko Beams on Winkler-pasternak Elastic Foundation. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 44(3), 901-920.
 30. Yildirim, S., Tutuncu, N., 2018. Axisymmetric Plane Vibration Analysis of Polar-anisotropic Disks. Composite Structures, 194, 509-515.
 31. Yıldırım, S., 2020. Effect of Boundary Conditions on Natural Frequencies of Orthotropic-cored Composite Sandwich Beams. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35(1), 221-226.
 32. Noori, A.R., Temel, B., 2021. A Powerful Numerical Approach for the Axisymmetric Bending Response of Shear Deformable Two-directional Functionally Graded (2D-FG) Plates with Variable Thickness. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 235(22), 6370-6387.

Energy Analysis in a Solar House with Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) System

Atakan TANTEKİN^{*1} ORCID 0000-0002-8200-5686
N. Filiz (TÜMEN) ÖZDİL¹ ORCID 0000-0003-0083-7524

¹Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering,
Mechanical Engineering Department, Adana

Geliş tarihi: 23.05.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: TANTEKİN, A., TÜMEN ÖZDİL, N.F., (2022). Energy Analysis in a Solar House with Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) System. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 685-697.

Abstract

Increased energy demand and fossil fuel usage of the world has led to the search for new and clean energy production methods. Renewable energy sources are developing and emerging options for energy production methods. Sun is the most accessible and stable renewable energy source. There are several methods to produce energy from the sun. The building-integrated photovoltaic (BIPV) system is a well-known method for generating electricity by using solar cells to transform the energy from the sun into electricity. BIPVs are a new technique to reduce energy consumption from fossil fuels. Passive solar houses mean that the energy demand of the living space is met with the usage of solar energy for the heating and cooling demand of the living space. In this study, an existing house, located in Istanbul, is modeled and covered with photovoltaics with the help of a computer program and the amount of energy produced with the aid of these photovoltaics is presented. The analysis demonstrates that the yearly average amount of daily electricity production is varied between 1.05 kWh as the minimum value and 19.7 kWh as the maximum value for all facades. The yearly average amount of monthly electricity production is varied between 31.8 kWh as the minimum value and 599 kWh as the maximum value for all facades.

Keywords: Passive solar house, Building integrated photovoltaic system, Energy analysis, SketchUp

Binaya Entegre Fotovoltaik Sistemli Bir Güneş Evinde Enerji Analizi

Öz

Dünyanın artan enerji talebi ve fosil yakıt kullanımı, yeni ve temiz enerji üretim yöntemlerinin aranmasına neden olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji üretim yöntemleri için gelişen ve ortaya çıkan seçeneklerdir. Güneş, en erişilebilir ve istikrarlı yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneşten enerji elde etmek için çeşitli enerji üretim yöntemleri vardır. Binaya entegre fotovoltaik sistemi, güneşten

*Corresponding author (Sorumlu yazar): Atakan TANTEKİN, atantekin@atu.edu.tr

gelen enerjiyi elektriğe dönüştürmek için güneş pillerini kullanarak elektrik üretmek için iyi bilinen bir yöntemdir. Binaya entegre fotovoltaik sistemler, fosil yakıtlardan enerji tüketimini azaltmak için yeni bir tekniktir. Pasif güneş evleri, yaşam alanının enerji ihtiyacının karşılanması, yaşam alanının ısıtma ve soğutma ihtiyacı için güneş enerjisi kullanımı anlamına gelmektedir. Bu çalışmada, İstanbul'da bulunan mevcut bir ev, bir bilgisayar programı yardımıyla modellenerek fotovoltaiklerle kaplanmış ve bu fotovoltaikler yardımıyla üretilen enerji miktarı sunulmuştur. Analiz, tüm cepheler için yıllık ortalama günlük elektrik üretim miktarının minimum değer olarak 1,05 kWh ve maksimum değer olarak 19,7 kWh arasında değiştiğini göstermektedir. Tüm cepheler için aylık ortalama elektrik üretim miktarı minimum değer olarak 31,8 kWh, maksimum değer olarak 599 kWh bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Pasif güneş evi, Binaya entegre fotovoltaik sistem, Enerji analizi, SketchUp

1. INTRODUCTION

Energy is a substantial term to maintain the living standards of humanity. In the last decades, energy consumption with the usage of fossil fuel increases at a fast pace. The usage of fossil fuels causes a significant amount of environmental pollution, global warming and harmful effect of human health. Based on the statistical data of the International Energy Agency (IEA), fossil fuels have the highest percentage between world total primary energy supplies from 1971 to 2013 [1].

In order to decrease the fossil fuel depletion, some new ideas and methods show up with the help of emerging technology. Energy production from renewable energy sources becomes more popular and preferable instead of energy production from fossil fuels [1].

There are several renewable energy sources which are used for energy production in recent years. The well-known renewable energy types are hydroelectric, geothermal, solar, wind, biomass and ocean energy. Recently, a lot of investigations have been reported about these renewable energy sources such as hydroelectric [2], geothermal [3], solar [4], wind [5-8] and biomass [9]. Although the investment cost of solar energy is high, the sun is the most accessible and preferable option for energy production between all the other renewable energy sources. Photovoltaic panels have a major advantage between all other solar energy systems in terms of direct conversion from solar energy to electricity. Moreover, photovoltaic panels are simple, easy to construct and they can be integrated into the buildings without any extra

effort. A photovoltaic panel solar system contains three main parts, i) photovoltaic modules or solar arrays, ii) balance of system, iii) electrical load. The solar cells are the primary unit of a photovoltaic system.

Although there is a lot of information about photovoltaics in literature, the information about the application of photovoltaics and its energy production analysis is not sufficient. Based on the study of Aronova et al. [10], a passive house was transformed as an energy plus house. The amount of electricity production based on solar energy was predicted. They concluded that the amount of insolation and solar radiation receipt from the sun were affected the electricity generation efficiency using photovoltaic modules in Macedonia weather conditions.

Tian et al. [11] implemented a feasibility study of a building achieving zero energy. Software TRNbuild was used to set up a 12-story residential building as a reference building. Therefore, the passive building design was applied in order to decrease heating and cooling load with the help of high-performance envelope, airtightness and fresh air heat recovery efficiency. The annual energy consumption of reference buildings was found as 30.33 kWh/m²a. It was observed that photovoltaic array production on the roof could have met its energy demand. It was proved that it was feasible for residential buildings in Beijing to reach nearly zero energy.

According to the studies of Kwan and Guan [12], the evaluation of the energy performance, financial feasibility and potential energy savings of zero-

energy houses were presented. A 5 stars energy rated home was modeled with the help of a computer simulation technique and confirmed by comparing the energy performance of a basic standard house in Brisbane. It was found that almost 66% of energy savings can have achieved with the annual energy usage of households by increasing the thermal performance of building envelope and decreasing the energy requirements with the help of solar energy technologies.

Berry and Whaley [13] demonstrated a case study about the performance of the photovoltaics for zero-energy houses, in their study. The average size for all photovoltaic systems was 2.47 kW_p with the smallest capacity of 1.5 kW_p and the largest 4.2 kW_p. The results showed that there were some problems to obtain optimal performance of the photovoltaics because of installation faults such as orientation, tilt angles and overshadowing from trees and buildings.

Adam and Apaydin [14] analyzed the effect of the photovoltaics on the greenhouse gas emission reduction and CO₂ emission reduction using RETScreen software in Gaziantep city of Turkey. They concluded that the emission reduction capacity of the photovoltaic system was reasonable but increasing the share of the solar photovoltaic system can be achieved if only adequate financial incentives are provided by the government.

Kapsalis and Karamanis [15] investigated the effect of a building added photovoltaic array on the energy demand of buildings during different seasons. Two roofs with a 9.6 kW polycrystalline photovoltaic array system were explored as part of a detailed building energy system considering the microclimate external flow patterns, the geometry of the canopy architecture and the electricity production. The results showed that the decreased incoming solar fraction on the surface reduced the heat gain and increased the heating loads.

Peng et al. [16] discussed building-integrated photovoltaics in architectural design in China. They considered building-integrated photovoltaics in terms of cost, technology, functionality and aesthetics. They concluded that there are limits in

the use of the current form of building-integrated photovoltaics owing to economical and technical constraints. Moreover, it was understood that tighter integrations of building-integrated photovoltaics were not preferable in terms of energy efficiency. Furthermore, easy maintenance and replacement were found as an important parameter in terms of increasing energy efficiency with developing technology for building-integrated photovoltaics.

Norton et al. [17] implemented a review about enhancing the performance of building integrated photovoltaics. They concluded that the cost of a building integrated photovoltaic system can be diminished with the help of decreasing manufacturing, installation, operation and maintenance costs and enhancing the efficiencies of photovoltaic modules. They suggested that government subsidies and tax reductions on building integrated photovoltaic systems should be necessary for the improvement of market development.

Shukla et al. [18] prepared an extensive review about the design of building integrated photovoltaic systems. They revealed the classification of solar photovoltaic cells and building integrated photovoltaic systems in terms of design purposes. They explained that building integrated photovoltaics are an exchange of conventional construction material by photovoltaic materials like two-function material. They proposed that the conventional building roof, façade and window shading systems can be exchanged with building integrated photovoltaic products.

Yang and Zou [19] investigated the costs, benefits and risks of building integrated photovoltaics and proposed suggestions for better and efficient applications. They concluded that, although building integrated photovoltaics have high initial investment costs, there are important long-term benefits for clients, end-users and the entire society. Moreover, they said that, in order to support building integrated photovoltaics, costs should be decreased and also government policy support and incentives are required.

Cucchiella et al. [20] purposed to identify the number of photovoltaic systems required to reach the target of renewable energy production. They observed that the economic results were strongly affected by the annual average insolation value however, the consumption of consumers was not found critically important. Furthermore, they found that the design principle of photovoltaic systems had an important effect on energy efficiency.

Biyik et al. [21] reviewed the building integrated photovoltaic systems according to energy generation amount, efficiency, nominal power, type and performance assessments in detail. They observed that the shadowing effect, the direction of the building, ambient temperature, the slope of the photovoltaic panel can be listed as significant parameters to obtain high energy efficiency in experimental applications.

Perez et al. [22] presented the life cycle and performance assessment of a building integrated photovoltaic system in New York City. They found that the major drawback of the façade building integrated photovoltaic system was its vertical orientation and receiving lower radiation than roof and ground installations. Moreover, they also mentioned two major advantages as no requirement any virgin land for its operation and interchangeability of structural units.

Photovoltaic panel technology has developed a lot in recent years and its use has become widespread. Especially, as the damage caused by the use of fossil fuels to the world increased, solar energy, which is a clean energy source, started to be preferred more. There are few studies concern with the BIPV applications on the residential areas and there are some details that need to be discussed and discovered to improve the efficiency of the BIPVs. In this study, a BIPV house which is located in Istanbul - Turkey was modeled and the energy analysis was applied with the help of the computer program. The annual energy consumption and the number of average energy requirements were observed.

2. MATERIALS AND METHODS

Istanbul city of Turkey is chosen as the case study due to the high energy requirements and high environmental pollution of this city. The house, which is located in the Uskudar district of Istanbul, is modeled with the help of a computer program. The total building area of this house is approximately 150 m². The model is drawn based on the original architectural project. The SketchUp program is used for modeling the house in the 3D version. The Skelion plugin program is performed to add photovoltaic panels to the 3D house model. Moreover, this program is used to calculate the amount of annual energy production. The period of this analysis is considered as one year. In order to obtain the exact results of the energy production, the angles of the solar rays are investigated according to months. The optimum solar ray angle is chosen to obtain the optimum value of energy production. The appliance and equipment audits are also implemented to compare the amount of energy consumption and energy production. The most energy-efficient appliances are identified to decrease energy consumption. According to these appliances and other equipment, the average annual energy consumption of a typical house is calculated as approximately 6480 kW. Moreover, all insulation materials in the market are evaluated according to their superior properties. The properties of the most superior insulation material are chosen to be used for this study. Two types of photovoltaic panels have been chosen according to the dimensions of the surface to be applied, the dimension of the small panel is 0.84 x 0.95 m and the dimension of the large panel is 1.53 x 0.73 m. In this study, 107 small panels and 30 large panels are used to generate electricity for this house. According to the given dimensions and number of panels used in the house, the total photovoltaic panel area is calculated as 188.88 m². The schematic representation of the modeled house can be seen in Figure 1-5. The general electricity generation formula of a photovoltaic panel can be seen below.

$$E = A \times r \times H \times PR \quad (1)$$

where E is energy amount, A is total solar panel area, r is solar panel efficiency, H is annual average solar radiation on photovoltaic panels and PR is performance ratio. For this study, A , r and PR values of the photovoltaic panels are defined in

the program according to selected panel types. Furthermore, the H value of the given region can be found in the Turkish State Meteorological Service [23].



Figure 1. Front view of the house

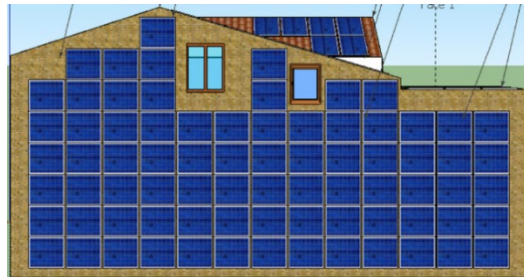


Figure 2. Side view of the house



Figure 3. Rear view of the house

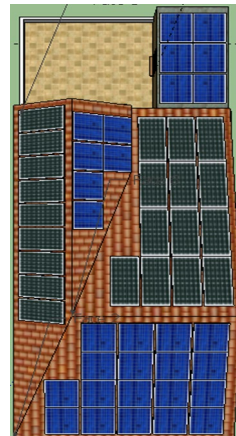


Figure 4. Top view of the house

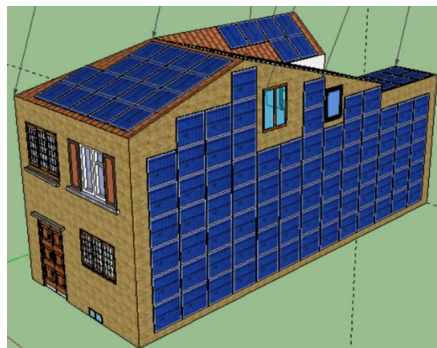


Figure 5. Isometric view of the house

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

This study reveals the real-life application of energy assessments. The energy performance of a BIPV house is introduced in order to observe whether the photovoltaic panels satisfy the energy requirements or not. Firstly, a real house is selected in order to model in a 3D program. Then, with the help of a plug-in program, photovoltaic panels are added to the house. The location of the house on the globe is used as an input value in order to determine the amount of incident solar radiation depending on the position of the house. Besides, energy-consuming appliances are selected to calculate how much energy consumed in a day.

The average daily electricity generation, the average monthly electricity generation, the average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules and the average sum of global irradiation per square meter received by the modules are observed with the help of Skelion plug-in program. Before the calculations, the inclination angle of the panels is chosen as 16° in order to obtain optimum electricity production from the panels. For each face, the results can be seen from the Tables 1-11 based on the months of a year.

As can be seen from Tables 1 to 8, daily and monthly electricity production rates are altered based on the angle of the sun for all facades of the house. This means that the amount of electricity produced during the summer season increase due to the angle of incidence of the sun. Turkey receives sun rays at a steeper angle in June and July compared to other months. The yearly average amount of daily electricity production (E_d) is varied between 1.05 kWh as the minimum value and 19.7 kWh as the maximum value for all facades. The yearly average amount of monthly electricity production (E_m) is varied between 31.8 kWh as the minimum value and 599 kWh as the maximum value for all facades. When considering the amount of global irradiation per square meter received by the modules, it is observed that the average value of the daily sum of global irradiation per square meter is close to another for all faces. The value of the daily sum of global irradiation per square meter (H_d) is varied from 3.66 to 4.66

kWh/m². The value of the sum of global irradiation per square meter (H_m) is varied from 111 to 142 kWh/m². The difference in the amount of electricity production between all faces, while the amount of global radiation per square meter close to each other, is revealed that the direction of the panel surface affects the efficient electricity production process.

The site to source conversion factors of the system can be seen in Table 10. For photovoltaic panels as an electricity generation system, the aim of the site to source conversion factors is taken into account of conversion, transmission, and distribution losses on the electricity generation [24]. For this study, there is not an analogous conversion loss because electricity is derived from the sun, which is not considered as fossil fuels. Therefore, the site to source conversion factors for the photovoltaic panel system are almost 1 except for electricity. The fact that the site to source conversion factor of electricity is greater than 1 indicates that there are distribution and transmission losses in the system. With the reduction of the distribution and transmission losses in the system, the site to source conversion factor for the electricity will decrease and approach to almost 1.

The amount of total site energy, net site energy, total source energy and net source energy can be seen from Table 11. Source energy means the total amount of raw fuel that is required to exploit the house. Site energy means the amount of heat and electricity consumed by a house. As can be seen in Table 11, the total site energy of the house is calculated as 89.04 GJ while the net site energy is 88.27 GJ and the total source energy and the net source energy is calculated as 281.14 GJ. Source energy is the fairer unit of assessment of the energy analysis. For this reason, in order to obtain source energy value from the site energy value, the site to source conversion factors can be used at the international level of the energy assessments. The total end usage of the electricity for different applications of the house can be seen in Table 11. The total end usage of the electricity for heating application is calculated 30.92 GJ as the maximum value and it is followed by interior equipment as 201.3 GJ. The total end usage of electricity in the

whole house is calculated as 89.04 GJ and also it can be seen from Tables 9 and 11.

Table 1. The results for the face 1

| Month | E_d (kWh) | E_m (kWh) | H_d (kWh/m ²) | H_m (kWh/m ²) |
|----------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Jan | 0.27 | 8.48 | 1.05 | 32.6 |
| Feb | 0.49 | 13.7 | 1.66 | 46.5 |
| Mar | 0.85 | 26.5 | 2.80 | 86.8 |
| Apr | 1.29 | 38.8 | 4.30 | 129 |
| May | 1.77 | 54.8 | 6.06 | 188 |
| Jun | 1.95 | 58.6 | 6.88 | 206 |
| Jul | 1.95 | 60.4 | 6.91 | 214 |
| Aug | 1.60 | 49.6 | 5.68 | 176 |
| Sep | 1.09 | 32.7 | 3.82 | 114 |
| Oct | 0.62 | 19.1 | 2.18 | 67.4 |
| Nov | 0.34 | 10.1 | 1.28 | 38.3 |
| Dec | 0.30 | 9.36 | 1.16 | 36.1 |
| Yearly average | 1.05 | 31.8 | 3.66 | 111 |

Table 2. The results for the face 2

| Month | E_d (kWh) | E_m (kWh) | H_d (kWh/m ²) | H_m (kWh/m ²) |
|----------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Jan | 1.25 | 38.8 | 1.53 | 47.5 |
| Feb | 1.82 | 51 | 2.19 | 61.2 |
| Mar | 2.81 | 87.2 | 3.40 | 106 |
| Apr | 3.83 | 115 | 4.80 | 144 |
| May | 4.97 | 154 | 6.44 | 200 |
| Jun | 5.34 | 160 | 7.11 | 213 |
| Jul | 5.43 | 168 | 7.27 | 225 |
| Aug | 4.70 | 146 | 6.30 | 195 |
| Sep | 3.52 | 106 | 4.60 | 138 |
| Oct | 2.30 | 71.4 | 2.91 | 90.1 |
| Nov | 1.56 | 46.7 | 1.93 | 57.9 |
| Dec | 1.30 | 40.3 | 1.60 | 49.6 |
| Yearly average | 3.24 | 98.7 | 4.18 | 127 |

Table 3. The results for the face 3

| Month | E_d (kWh) | E_m (kWh) | H_d (kWh/m ²) | H_m (kWh/m ²) |
|----------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Jan | 2.35 | 72.9 | 1.98 | 61.3 |
| Feb | 3.16 | 88.6 | 2.67 | 74.8 |
| Mar | 4.60 | 143 | 3.96 | 123 |
| Apr | 5.88 | 176 | 5.26 | 158 |
| May | 7.34 | 227 | 6.76 | 210 |
| Jun | 7.69 | 231 | 7.29 | 219 |
| Jul | 7.96 | 247 | 7.57 | 235 |
| Aug | 7.15 | 222 | 6.83 | 212 |
| Sep | 5.68 | 170 | 5.29 | 159 |
| Oct | 4.01 | 124 | 3.58 | 111 |
| Nov | 2.95 | 88.6 | 2.54 | 76.2 |
| Dec | 2.39 | 74.2 | 2.01 | 62.5 |
| Yearly average | 5.11 | 155 | 4.66 | 142 |

Table 4. The results for the face 4

| Month | E_d (kWh) | E_m (kWh) | H_d (kWh/m ²) | H_m (kWh/m ²) |
|----------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Jan | 0.78 | 24.3 | 1.98 | 61.3 |
| Feb | 1.05 | 29.5 | 2.67 | 74.8 |
| Mar | 1.53 | 47.6 | 3.96 | 123 |
| Apr | 1.96 | 58.8 | 5.26 | 158 |
| May | 2.45 | 75.8 | 6.76 | 210 |
| Jun | 2.56 | 76.9 | 7.29 | 219 |
| Jul | 2.65 | 82.3 | 7.57 | 235 |
| Aug | 2.38 | 73.8 | 6.83 | 212 |
| Sep | 1.89 | 56.8 | 5.29 | 159 |
| Oct | 1.34 | 41.4 | 3.58 | 111 |
| Nov | 0.98 | 29.5 | 2.54 | 76.2 |
| Dec | 0.80 | 24.7 | 2.01 | 62.5 |
| Yearly average | 1.70 | 51.8 | 4.66 | 142 |

Table 5. The results for the face 5

| Month | E_d (kWh) | E_m (kWh) | H_d (kWh/m ²) | H_m (kWh/m ²) |
|----------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Jan | 7.52 | 233 | 1.52 | 47.1 |
| Feb | 11 | 308 | 2.18 | 61 |
| Mar | 17.10 | 530 | 3.40 | 106 |
| Apr | 23.30 | 698 | 4.80 | 144 |
| May | 30.20 | 937 | 6.44 | 200 |
| Jun | 32.40 | 973 | 7.11 | 213 |
| Jul | 33 | 1020 | 7.27 | 225 |
| Aug | 28.60 | 886 | 6.30 | 195 |
| Sep | 21.40 | 642 | 4.60 | 138 |
| Oct | 14 | 433 | 2.90 | 90 |
| Nov | 9.35 | 281 | 1.92 | 57.5 |
| Dec | 7.81 | 242 | 1.59 | 49.3 |
| Yearly average | 19.7 | 599 | 4.18 | 127 |

Table 6. The results for the face 6

| Month | E_d (kWh) | E_m (kWh) | H_d (kWh/m ²) | H_m (kWh/m ²) |
|----------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Jan | 0.33 | 10.2 | 1.05 | 32.6 |
| Feb | 0.59 | 16.4 | 1.66 | 46.5 |
| Mar | 1.02 | 31.8 | 2.80 | 86.8 |
| Apr | 1.55 | 46.5 | 4.30 | 129 |
| May | 2.12 | 65.8 | 6.06 | 188 |
| Jun | 2.34 | 70.3 | 6.88 | 206 |
| Jul | 2.34 | 72.5 | 6.91 | 214 |
| Aug | 1.92 | 59.5 | 5.68 | 176 |
| Sep | 1.31 | 39.3 | 3.82 | 114 |
| Oct | 0.74 | 22.9 | 2.18 | 67.4 |
| Nov | 0.41 | 12.2 | 1.28 | 38.3 |
| Dec | 0.36 | 11.2 | 1.16 | 36.1 |
| Yearly average | 1.26 | 38.2 | 3.66 | 111 |

Table 7. The results for the face 7

| Month | E_d (kWh) | E_m (kWh) | H_d (kWh/m ²) | H_m (kWh/m ²) |
|----------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Jan | 0.59 | 18.2 | 1.52 | 47.1 |
| Feb | 0.86 | 24 | 2.18 | 61 |
| Mar | 1.33 | 41.3 | 3.40 | 106 |
| Apr | 1.82 | 54.5 | 4.80 | 144 |
| May | 2.36 | 73 | 6.44 | 200 |
| Jun | 2.53 | 75.9 | 7.11 | 213 |
| Jul | 2.57 | 79.8 | 7.27 | 225 |
| Aug | 2.23 | 69.1 | 6.30 | 195 |
| Sep | 1.67 | 50.1 | 4.60 | 138 |
| Oct | 1.09 | 33.7 | 2.90 | 90 |
| Nov | 0.73 | 21.9 | 1.92 | 57.5 |
| Dec | 0.61 | 18.9 | 1.59 | 49.3 |
| Yearly average | 1.54 | 46.7 | 4.18 | 127 |

Table 8. The results for the face 8

| Month | E_d (kWh) | E_m (kWh) | H_d (kWh/m ²) | H_m (kWh/m ²) |
|----------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Jan | 1.07 | 33.1 | 1.05 | 32.6 |
| Feb | 1.90 | 53.3 | 1.66 | 46.5 |
| Mar | 3.33 | 103 | 2.80 | 86.8 |
| Apr | 5.04 | 151 | 4.30 | 129 |
| May | 6.90 | 214 | 6.06 | 188 |
| Jun | 7.62 | 228 | 6.88 | 206 |
| Jul | 7.60 | 235 | 6.91 | 214 |
| Aug | 6.24 | 193 | 5.68 | 176 |
| Sep | 4.26 | 128 | 3.82 | 114 |
| Oct | 2.40 | 74.5 | 2.18 | 67.4 |
| Nov | 1.32 | 39.5 | 1.28 | 38.3 |
| Dec | 1.18 | 36.5 | 1.16 | 36.1 |
| Yearly average | 4.08 | 124 | 3.66 | 111 |

Table 9. Site and source energy

| | Total energy (GJ) | Energy per total building area (MJ/m ²) | Energy per conditioned building area (MJ/m ²) |
|---------------------|-------------------|---|---|
| Total site energy | 89.04 | 593.07 | 593.07 |
| Net site energy | 88.27 | 587.96 | 587.96 |
| Total source energy | 281.14 | 1872.64 | 1872.64 |
| Net source energy | 281.14 | 1872.64 | 1872.64 |

Table 10. Site to source conversion factors

| | CF |
|------------------|-------|
| Electricity | 3.185 |
| Natural gas | 1.092 |
| District cooling | 0.762 |
| District heating | 1.647 |
| Steam | 0.585 |
| Gasoline | 1.050 |
| Diesel | 1.050 |
| Coal | 1.050 |
| Fuel oil | 1.158 |
| Propane | 1.151 |

Table 11. Total end usage of the electricity

| | Electricity (GJ) | Water (m ³) |
|-----------------------|------------------|-------------------------|
| Heating | 30.92 | --- |
| Cooling | 13.67 | --- |
| Interior lighting | 12.32 | --- |
| Interior equipment | 20.13 | --- |
| Fans | 2.01 | --- |
| Water systems | 9.99 | 50.73 |
| Total end uses | 89.04 | 50.73 |

The total annual electricity production and the total annual global irradiation per square meter received by panels for each face can be seen from Figure 6 and 7. As can be seen from Figure 6, the maximum amount of total annual electricity production has occurred in face number 5. Whereas, as can be seen from Figure 7, the amount of total annual global irradiation per square meter received by panels are close to each other for all faces. The total amount of electricity production in a year varies from 382 to 7190 kWh among all surfaces. The amount of total global irradiation per square meter varies from 1340 to 1700 kWh/m² among all surfaces. As understood from Figure 6 and 7, although face 3 and 4 receiving more global

irradiation, face 5 produces more electricity because of the higher number of panels that used in face 5 and also the surface area of the panels is higher than face 3-4. Furthermore, the lowest electricity production occurs in faces 1 and 6 due to the lowest global irradiation amount received by panels. This result reveals that the direction of the photovoltaic panels is also an important parameter on electricity production in a house with photovoltaic panels. The photovoltaic panels placed through south-facing produces more electricity than which of placed through north-facing because of the angle of the sun.

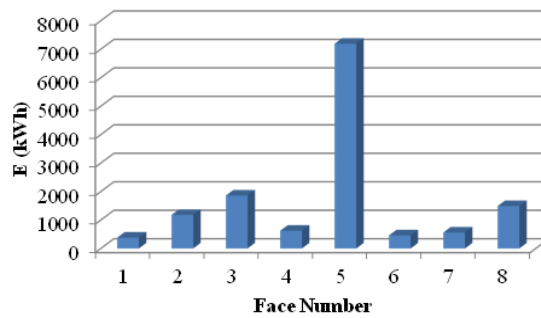


Figure 6. The total annual electricity production for each face

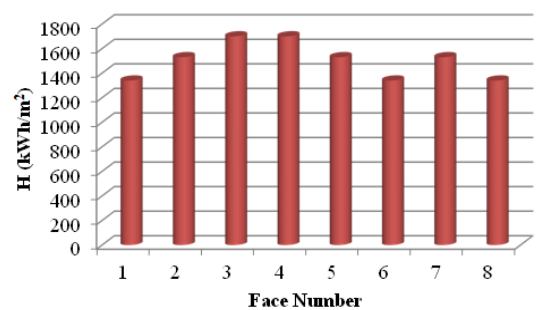


Figure 7. The total annual global irradiation per square meter received by panels for each face

4. CONCLUSIONS

The main purpose of this study is to demonstrate an application of photovoltaic panels on a real house in Turkey. First of all, an existing house is chosen to create a computer model and then to be performed an energy analysis in this study. The house is chosen in Istanbul where the highest energy consumption occurred in Turkey. Furthermore, Sketchup software program is used for modeling and also Skelion plugin program is used for the implementation of the energy analysis in photovoltaic panels. With the help of this plugin program, placing photovoltaic panels on the house, the amount of energy produced with photovoltaic panels is calculated. For the exact electricity production calculation, the coordinates of the house are entered into the program in order to determine the amount of sunlight received by the house.

As can be seen from the results, the yearly average amount of daily electricity production is varied between 1.05 kWh as the minimum value and 19.7 kWh as the maximum value for all facades. The yearly average amount of monthly electricity production is varied between 31.8 kWh as the minimum value and 599 kWh as the maximum value for all facades. The value of the daily sum of global irradiation per square meter is varied from 3.66 to 4.66 kWh/m². Moreover, the total site energy of the house is calculated as 89.04 GJ while the net site energy is 88.27 GJ and the total source energy and the net source energy is calculated as 281.14 GJ. The total end usage of the electricity for heating application is calculated 30.92 GJ as the maximum value and it is followed by interior equipment as 201.3 GJ. Some suggestions, which can be made according to the obtained results, are listed below.

- It has been observed that the amount of energy produced through the photovoltaic panels is affected by the solar angle received by the panel, and panels that receive sunlight at a steeper angle will generate more energy.
- The direction of the surface on which the panels are placed has been observed as another

parameter affecting the amount of energy generation. The reason for this situation can be stated as the amount and duration of solar rays received by the panels. Accordingly, it can be said that it is more accurate to place the panels on the south-facing surfaces than on the north-facing surfaces.

- Another way to improve the energy generation is to reduce the losses associated with photovoltaic panels. In this study, heat losses and shading losses are the most important factors in energy production, especially due to the application region. These losses are dependent on the region and it is not possible to reduce them by any change. However, in order to reduce the effect of these losses on energy production, it is recommended to minimize the other losses such as cable losses and inverter losses.
- Apart from all external factors, with the development of technology, in terms of electricity production, more efficient panels are produced with different materials day by day. As long-term electricity generation will increase and the need for electricity will decrease with the selection of panels for more efficient electricity generation, more economical results can be obtained in the future.

As future work, it can be suggested that the implementation of the building-integrated photovoltaic system in a house for different inclination angles can be investigated in order to obtain the most efficient inclination angle.

5. REFERENCES

1. 2015 Key World Energy Statistics. International Energy Agency. 2015, Doi: <https://doi.org/10.1787/22202811>. Access Date: 10.08.2022.
2. Catolico, A.C.C., Maestrini, M., Strauch, J.C.M., Giusti, F., Hunt, J., 2021. Socioeconomic Impacts of Large Hydroelectric Power Plants in Brazil: A Synthetic Control Assessment of Estreito Hydropower Plant.

- Renewable and Sustainable Energy Reviews, 151, 111508.
3. Davraz, A., Nalbantçılar, M.T., Önden, İ., 2022. Hydrogeochemical Characteristics and Trace Element of Geothermal Systems in Central Anatolia, Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 104666.
 4. Poobalan, R.K., Barshilia, H.C., Basu, B., 2022. Recent Trends and Challenges in Developing Boride and Carbide-Based Solar Absorbers for Concentrated Solar Power. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 245, 111876.
 5. Bilgili, M., Tumse, S., Tontu, M., Sahin, B., 2021. Effect of Growth in Turbine Size on Rotor Aerodynamic Performance of Modern Commercial Large-Scale Wind Turbines. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(8), 7185–7195.
 6. İlhan, A., Zontul, H., Tümse, S., Bilgili, M., Şahin, B., 2021. Flow Analyses of Diffuser Augmented Wind Turbines. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1–25.
 7. İlhan, A., Tumse S., Tasci M. O., Bilgili M., Sahin B., 2022. Particle Image Velocimetry Investigation of the Flow for the Curved Type Wind Turbine Shroud. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 15 (2):373–85.
 8. Tumse, S., İlhan, A., Bilgili, M., Sahin, B., 2022. Estimation of Wind Turbine Output Power using Soft Computing Models. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 44(2), 3757–3786.
 9. Yasmeen, R., Zhaohui, C., Hassan Shah, W. U., Kamal, M. A., Khan, A., 2022. Exploring the Role of Biomass Energy Consumption, Ecological Footprint through FDI and Technological Innovation in B&R Economies: A Simultaneous Equation Approach, *Energy*, 244, 122703.
 10. Aronova, E., Vatin, N., Murgul, V., 2015. Design Energy-Plus-House for the Climatic Conditions of Macedonia. *Procedia Engineering*, 117:766-774.
 11. Tian, Z., Zhang, S., Li, H., Jiang, Y., Dong, J., Zhang, B., Yi, R., 2015. Investigations of Nearly (net) Zero Energy Residential Buildings in Beijing. *Procedia Engineering*, 121, 1051-1057.
 12. Kwan, Y., Guan, L., 2015. Design a Zero Energy House in Brisbane, Australia. *Procedia Engineering*, 121:604-611.
 13. Berry, S., Whaley, D., 2015. The Implications of Mandating Photovoltaics on All New Homes. *Energy Procedia*, 83, 91-100.
 14. Adam, A.D., Apaydin, G., 2016. Grid Connected Solar Photovoltaic System as a Tool for Greenhouse Gas Emission Reduction in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1086-1091.
 15. Kapsalis, V., Karamanis, D., 2015. On the Effect of Roof Added Photovoltaics on Building's Energy Demand. *Energy and Buildings*, 108, 195-204.
 16. Peng, C., Huang, Y., Wu, Z., 2011. Building-integrated Photovoltaics (BIPV) in Architectural Design in China. *Energy and Buildings*, 43, 3592-3598.
 17. Norton, B., Eames, P.C., Mallick, T.K., Huang, M.J., McCormack, S.J., Mondol, J.D., Yohanis, Y.G., 2011. Enhancing the Performance of Building Integrated Photovoltaics. *Solar Energy*, 85, 1629-1664.
 18. Shukla, A.K., Sudhakar, K., Baredar, P., 2016. A Comprehensive Review on Design of Building Integrated Photovoltaic System. *Energy and Buildings*, 128, 99-110.
 19. Yang, R.J., Zou, P.X.W., 2016. Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Costs, Benefits, Risks, Barriers and Improvement Strategy. *International Journal of Construction Management*, 16-1, 39-53.
 20. Cucchiella, F., D'Adamo, I., Koh, S.C.L., 2015. Environmental and Economic Analysis of Building Integrated Photovoltaic Systems in Italian Regions. *Journal of Cleaner Production*, 98, 241-252.
 21. Biyik, E., Araz, M., Hepbasli, A., Shahrestani, M., Yao, R., Shao, L., Essah, E., Oliveira, A.C., Cano, T., Rico, E., Lechon, J.L., Andrade, L., Mendes, A., Atlı, Y.B., 2017. A Key Review of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20, 833-858.
 22. Perez, M.J.R., Fthenakis, V., Kim, H.C., Pereira, A.O., 2012. Façade-Integrated Photovoltaics: A Life Cycle and Performance

- Assessment Case Study, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 20, 975-99.
23. Turkish State Meteorological Service Web Site. <https://www.mgm.gov.tr/>. Access Date: 10.08.2022.
24. Troup, L.N., Fannon, D.J., Eckelman, M.J., 2020. Spatio-temporal Changes among Site-to-Source Conversion Factors for Building Energy modeling, Energy and Buildings, 109832.

A Design of Fully Automated Irrigation System IoT-Based Approach for Greenhouses

Halit ERİŞ^{*1} ORCID 0000-0002-2384-5052
Eser ÇELİKTOPUZ² ORCID 0000-0002-5355-1717
Ulus ÇEVİK¹ ORCID 0000-0002-0956-9725
Burçak KAPUR² ORCID 0000-0001-6131-4458

¹Çukurova University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Adana

²Çukurova University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Adana

Geliş tarihi: 08.03.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: ERİŞ, H., ÇELİKTOPUZ, E., ÇEVİK, U., KAPUR, B., (2022). A Design of Fully Automated Irrigation System IoT-Based Approach for Greenhouses. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 699-706.

Abstract

Turkey is a country with a high potential for agriculture purposes. Irrigation is a need to receive agricultural output. Crop yield increases with optimal irrigation. Therefore, this work has designed a fully automated irrigation system with an IoT-based approach for greenhouses. Using 10HS soil moisture and pt1000 temperature sensors, the system has successfully generated irrigation-based decisions and saved 25 tons/da water compared to Et (Evapotranspiration) controller-based irrigation while plants received optimal irrigation. The system works online and has two operation modes: fully automated and manual. Fully automated system decreased water-wastages and labouring costs. Switching between modes can be operated using a mobile application and parameters of the system communicates via cloud services.

Keywords: Internet of things, Smart irrigation, Soil moisture sensors

Seralar için Tam Otomatik IoT Tabanlı Sulama Sistemi Tasarımı

Öz

Türkiye, topraklarında tarım yapma potansiyeli yüksek bir ülkedir. Tarımsal çıktı almak için sulama bir ihtiyaçtır. Optimal sulama ile ürün verimi artırılır. Bu çalışmada, seralar için Nesnelerin İnterneti tabanlı bir yaklaşımla tam otomatik bir sulama sistemi tasarlandı. 10HS toprak nemi ve pt1000 sıcaklık sensörlerini kullanan sistem yardımıyla, sulamaya dayalı karar sistemi oluşturularak, bitkilerin optimum

*Corresponding author (Sorumlu yazar): Halit ERİŞ, heris@cu.edu.tr

sulama alması sağlandı. Evapotranspirasyon denetleyici tabanlı sulamaya kıyasla 25 ton/dönüm su tasarrufu elde edildi. Sistem çevrimiçi çalışır ve iki çalışma moduna sahip olarak tasarlandı: tam otomatik ve manuel. Tam otomatik sistem, su israfını ve işçilik maliyetlerini azaltarak tasarruf elde edildi. Modlar arasında geçiş, bir mobil uygulama tasarlanarak gerçekleştirildi ve sistemin parametreleri bulut hizmetleri aracılığıyla iletişim kurdu.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin interneti, Akıllı sulama, Toprak nem sensörleri

1. INTRODUCTION

The use of the Internet of Things (IoT) based smart systems is increasing day by day. The ability to communicate between devices brings new solutions to the problems that exist in a wide range of application areas in both industry and society. These solutions are used in the field of logistics, assisted driving, mobile ticketing, environment monitoring, augmented maps, tracking, authentication, sensing, smart environments, social networking, theft detection, robot taxi, city information modelling, and agricultural automation [1-2]. In such systems sensors enable the devices to observe, detect, identify i.e., understand the environment. Communication between devices allows users to monitor and control the process. Since devices can react faster than human beings to the parameters, this reduces wastage and saves time.

One of the major consumptions on earth is freshwater consumption. About %70 of the freshwater is used for irrigation, %22 is used in industrial applications and cooling, and %8 is used for domestic purposes [3]. The high demand for irrigation indicates how important water management is. IoT-based embedded systems allow users to measure the soil moisture and temperature at real-time speed and complete the irrigation with the least freshwater possible. Also, the communication between different platforms (Web, UART, Mobile applications) makes it possible to monitor and remote control the system when needed. Such systems are also called Wireless Sensor Networks (WSN).

Wireless Sensor Networks (WSN) consist of a group of spatially dispersed sensors that are used for monitoring and recording parameters for the conditions of an environment [4]. For the irrigation

systems, these conditions are commonly humidity, temperature, sound, and pollution. WSN takes advantage of wireless connectivity and spontaneous formation of networks and can transport the data wirelessly. In such network systems, each sensor has a radio transceiver that is connected by an internal antenna, or the system is supported with an external antenna in order to enable the control of the sensor activity. SensorScope is an example of a WSN-based system [5]. This system is a low-cost data transmit and receive system using up to seven sensors in each of its stations with flexible commissioning options. SensorScope viability tests were performed both indoors and outdoors in Génèpi, Switzerland, to collect rain, wind, and temperature data in order to classify the region's microclimate and forecast the frozen soil evolution. Other contributions to smart monitoring systems are Smart Water Pollution Monitoring systems (SWPMs) and Smart Air Quality Monitoring systems (SAQMs) [6-8]. SWPMs check the harmful contaminants in water, reservoir water quality and monitor the environment for a natural water body. SAQMs have a purpose to contribute to smart urban solutions for air quality. One of the contributions to SAQMs is ERA-PLANET Project which used both sensors and satellite products in Kyiv Smart City Project [9]. In 2020 and 2021, research on reliable LoRa Networks, WSN, and autonomous irrigation in Indonesia and Thailand gained momentum with global water shortages with a focus of application based optimization [10-12].

This paper presents the design of a fully automated irrigation system, using embedded systems and mobile application and aims to reduce water wastage for the greenhouses. The general diagram in Figure 1 shows the hardware system for the implementation of the process.

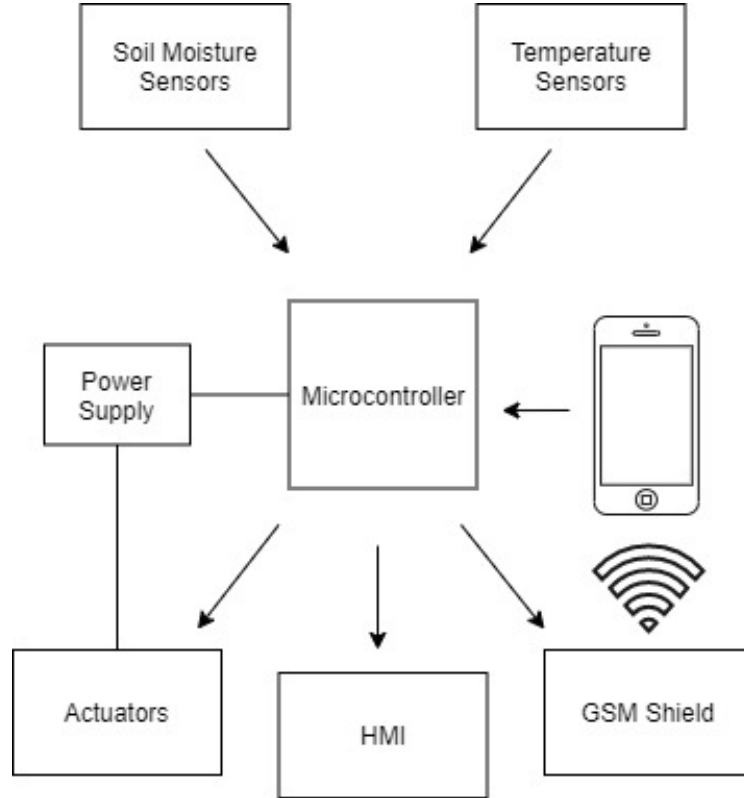


Figure 1. A general diagram for the proposed system

2. EMBEDDED SYSTEMS

The proposed architecture consists of a microcontroller, soil moisture sensor, temperature sensor, GSM (Global System for Mobile Communication) shield module, Liquid Crystal Display (LCD) screen, power supply, and actuators. In such applications, small volume soil moisture sensors may not provide a good measurement since the soil itself is a naturally heterogeneous system. Therefore, 10-cm long Decagon 10HS soil moisture sensors were used to determine the volumetric water content (VWC) via measuring the dielectric constant of the growing media. To observe the soil temperature, pt1000 digital temperature sensors with a measuring range of $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ were used. The sensor measurement data were sent to an ATMEL microcontroller to implement the algorithm.

3. IRRIGATION MANAGEMENT

Although irrigation is perhaps the most important factor in ensuring greenhouse farmers can meet their agricultural production demands, most farmers base their irrigation practices on their expertise and experience, or the weather conditions. However, since the demands of the plants cannot be completely met when irrigation is performed in this manner, diseases, yield losses, lack of quality, and nutrient washing in plants result [13]. In many agricultural regions, insufficient irrigation scheduling and inefficient use of water resources are common factors that limit output [14]. Furthermore, it is unknown how plants will respond to issues like climate change. As a result, the need to determine the best amounts of variables in crop production with the least error pushes the trend toward technology-based systems. Crop monitoring, optimization, and precise control

are all possible with technology-based systems, enabling farmers to achieve maximum crop output of the highest quality [15-16]. It is vital for producers to keep track of stress fluctuations in order to prevent plant stress levels from reaching dangerously high levels as a result of unproper irrigation programs. Furthermore, developing methods to mitigate the harm caused by water stress, in particular, is critical for the future of agriculture. In this context, the research aimed to automatically track the moisture level in the soil of the greenhouse located in the Agricultural Structures and Irrigation Department of Çukurova University to provide the plants with the optimum amount of irrigation water at the appropriate time. The drip irrigation system was used in the experiment, and irrigation was applied automatically through soil moisture sensors as shown in Figure 2. Lateral pipes were black, flexible polyethene pipes with a 20.00 mm diameter. Up to the beginning of the parcel, irrigation water was delivered through a Ø 50 PVC main pipeline. Drippers with a flow rate of 2 lt/h were spaced 30cm apart to provide a dripper for each plant. Moreover, to determine the effectiveness of the designed system, a manual irrigation control issue was also included. The images taken from the irrigation test site is shown in Figure 3 and Figure 4.



Figure 3. Irrigation test site before the implementation of the irrigation system



Figure 4. Fully functional irrigation system implemented in the test site

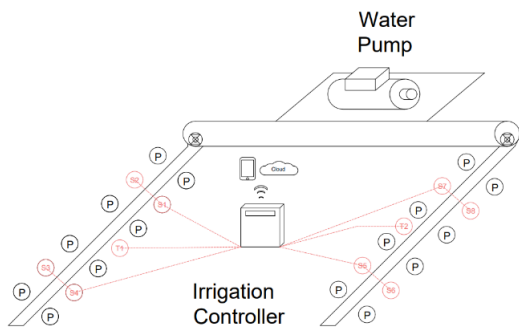


Figure 2. Placement of the Sensors (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, T1, T2), Plants (P), and irrigation system greenhouse located in the Agricultural Structures and Irrigation Department of Çukurova University

3.1. Soil Moisture Based Systems

These systems are designed to automatically monitor irrigation by receiving feedback from soil moisture values through sensors placed in the crop's effective root region. The majority of these systems are enabled by a single fixed level of volumetric soil water content (lower limit or upper limit). However, This study was designed to obtain a cycle between two different levels by determining the field capacity and the allowable amount of usable water. In this study, the usable water capacity (UWC) of the greenhouse soil was determined by a series of processes, the automatic irrigation water process was designed to start when

35% of the UWC was consumed and continue until it reaches the field capacity. 10HS soil moisture sensor is used to measure the UWC consumed. The main reason to use 10HS sensor is, its ability to measure soil moisture with a higher accuracy in meaning of volumetric capacitive magnetic field. A water meter was used to calculate the volume of irrigation water used in this process at the end of the experiment.

3.2. Et Controller-Based Systems

Weather data is used to calculate reference evapotranspiration (ET_o) to estimate plant water needs. The amount of irrigation water for manually irrigated subjects was calculated ($I = ET_o \times K_c$) by multiplying the reference plant water consumption (ET_o) values obtained from an automatic climate station that set up in the greenhouse by the plant coefficient (K_c) values which chosen according to the development time. Besides, the calculated amount of irrigation was applied to the plants manually weekly.

3.3. Comparison of Soil Moisture-based System with Et Controller-based System

In comparison to conventional approaches, both systems are beneficial. Several studies have been carried out to assess both soil moisture sensor-based and Et controller-based systems. For instance, according to [17], irrigation reductions were 7–30% for rain sensor-based treatments and 0–74% for soil moisture-based systems as compared to a no-sensor treatment. Furthermore, when compared to historical Et results, [18-20] recorded water savings of 59 to 82%, 11 to 28%, and 51% with using soil moisture-based system, respectively. However, it is unclear at what levels the soil moisture sensors began or stopped irrigation in any of these experiments, or which approach was used to incorporate this device into the irrigation program. In the current study, the field capacity of the trial soils was determined as 35% and the wilting point as 23%. Besides, it is planned to irrigate up to the soil field capacity when 35% of the UWC is consumed. For this reason, irrigation was initiated whenever the soil

moisture level fell to 27.2% and ended with the soil moisture levels reaching 35%.

4. DESIGN OF THE IRRIGATION SYSTEM

The irrigation system was designed to make irrigation fully automated using high-resolution sensors to reduce the amount of irrigation water and manpower. Also, users were able to change the operation mode between automatic and manual irrigation using a mobile app and monitor all the parameters of the irrigation. The interaction between mobile application and microcontroller was supported by Google Firebase online cloud services.

Soil moisture sensors $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8$ and temperature sensors t_1, t_2 were place in four different locations in the greenhouse. The Volumetric Water Content (VWC) value was calculated using Raw measurement m and the Equation 1 to determine the soil moisture below as shown below:

$$\text{VWC Value} = (1,17 \times 10^{-9})(m^3) - (3,95 \times 10^{-6})(m^2) + (4,90 \times 10^{-3})(m) - 1,92 \quad (1)$$

Algorithm 1 provides an overview of our fully automated irrigation system which completes irrigation cycles within weekdays between 07:00 – 17:00 using optimal soil moisture thresholds 27.00 – 35.00 ppm to reduce the water wastage. The time and date values TD were obtained using a Real-Time Clock module (RTC). The mode switching was operated using irrigation bit X from the cloud. The mobile app also allowed the user to determine manual irrigation thresholds M_1, M_2 . As output, our system triggered solenoid valves V and alert A the user if the greenhouse temperature falls below 12° C. If the system is in manual mode, the parameters were selected from the mobile application according to the user choice. The results of the irrigation system test are shown below in Figure 5. Over 50.000 sample with sampling time of 1000 ms, our system successfully irrigated the system precisely according to the given parameters.

It was determined that 255.7 tons/da of irrigation water applied with the system proposed, while 281 tons/da of irrigation applied with the Et-based

system (Table 1). In other words, as compared to the Et-based system, the system based on the soil moisture sensor has been found to save 9% water.

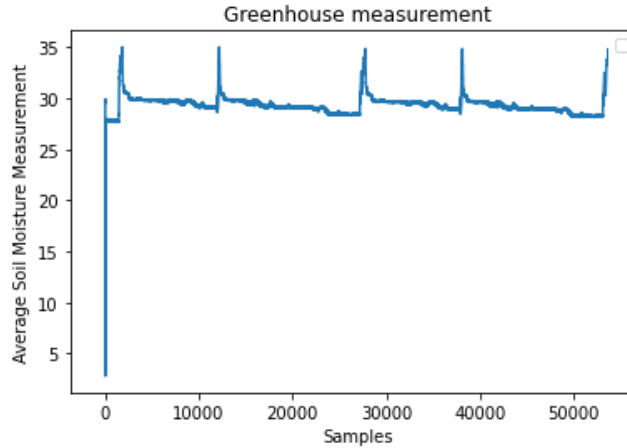


Figure 5. The results of the irrigation system test over 50.000 samples

Table 1. The cumulative amount of irrigation water applied at the end of the trial (ton/da)

| Water-cost | Proposed system | Et controller-based system |
|------------------|-----------------|----------------------------|
| Irrigation water | 255.7 | 281 |

Algorithm 1: Irrigation Algorithm

Input: Soil moisture measurements : S
 Temperature measurements : t
 Date and time stored using RTC : TD
 Irrigation hours (07:00-17:00) : T_+
 Allowed Irrigation Dates : D
 Mobile app Irrigation Mode Bit : X
 Mobile App Manual Thresholds : M_1, M_2
 AWC Down-threshold : $AWCD$
 AWC Upper-threshold : $AWCU$

Output: Solenoid Valve Trigger Signals : V
 Alert Signal : A

1: Initialize S, T_1, T_2, TD and update cloud database for mobile application
 2: **for all** $TD \in : T_+$ **and** D **do**
 3: Start online sampling to cloud database, pull online variable X
 4: **if** $X = 1$ **do**
 5: **if** $Average(S) < AWCD$ **do**
 6: Activate $V:1$
 7: **Until** $Average(S) = AWCU$
 8: **else**

9: Deactivate $V:0$
 10: **end if**
 11: **if** $Average(S) < AWCD$ ppm **do**
 12: Activate $V:1$
 13: **else**
 14: Deactivate $V:0$
 15: **end if**
 16: update cloud variables
 17: **if** $X:0$ **do**
 18: **if** $Average(S) < M_1$ **do**
 19: Activate $V:1$
 20: **Until** $Average(S) = M_2$
 21: **else**
 22: Deactivate $V:0$
 23: **end if**
 24: **end for**
 25: **for all** $TD \in : T_+$ **or** $\notin D$ **do**
 26: **if** $Average(t) < 12^\circ$ **do**
 27: Activate $A:1$
 28: **else** Deactivate $A:0$
 29: update cloud variables
 30: **end for**
 31: **repeat**

5. CONCLUSION

Turkey is a country with a high potential for agriculture on its land. Irrigation is a need to receive agricultural output. Crop yield increases with optimal irrigation. Therefore, this work has designed a fully automated irrigation system with an IoT-based approach for greenhouses. Using soil moisture and temperature sensors, the system has successfully generated irrigation-based decisions and saved 25 tons/da water while plants received optimal irrigation. The system works online and has two operation modes: fully automated and manual. Switching between modes can be operated using a mobile application and parameters of the system communicates via cloud services.

6. ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the research fund of the Çukurova University Project, Number: 13239.

7. REFERENCES

1. Miorandi, D., Sicari, S., Pellegrini, F., Chlamtac, I., 2017. Internet of Things: Vision, Application Areas and Research Challenges. 978-1-5090-3243-3/17.
2. Eriş, H., Çevik, U., 2019. Implementation of Target Tracking Methods on Images Taken from Unmanned Aerial Vehicles. IEEE 17th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), 311-316, doi: 10.1109/SAMI.2019.8782768.
3. Anisha, A., Menon, R.A., Prabhakar, A., 2017. Electronically Controlled Water Flow Restrictor to Limit the Domestic Wastage of Water, 978-1-5386-1716-8/17.
4. Ullo, S.L., Sinha, G.R., 2020. Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors (Basel, Switzerland) 20, 11 3113. 31 May 2020, doi:10.3390/s20113113.
5. Ingelrest, F., Barrenetxea, G., Schaefer, G., Vetterli, M., Couach, O., Parlange, M., 2010. SensorScope: Application-Specific Sensor Network for Environmental Monitoring. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 6(2).
6. Manoharan, A.M., Rathinasabapathy, V., 2018. Smart Water Quality Monitoring and Metering Using Lora for Smart Villages. 2nd International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC), 57-61, doi:10.1109/ICSGSC.018.8541336.
7. Shelestov, A., 2018. Air Quality Monitoring in Urban Areas Using in-situ and Satellite Data Within Era-planet Project. IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Valencia, Spain, 1668-1671, doi: 10.1109/IGARSS.2018.8518368.
8. Sharma, J., John, S., 2017. Real Time Ambient Air Quality Monitoring System Using Sensor Technology. Int. J. Adv. Mech. Civ. Eng. 4, 72-73.
9. The European Network of Observing Our Changing Planet, url: <http://www.era-planet.eu>, Last Accessed: 11.08.2022, 2015, Italy.
10. Croce, D., Gucciardo, M., Mangione, S., Santaromita, G., Tinnirello, I., 2020. Lora Technology Demystified: from Link Behavior to Cell-Level Performance. IEEE Transactions on Wireless Communications, 19(2).
11. Darmono, H., Perdana, R., Puspitasari, W., 2020. Observation of Greenhouse Condition Based on Wireless Sensor Networks. The 1st Annual Technology, Applied Science and Engineering Conference, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 732, 012107, doi:10.1088/1757-899X/732/1/012107.
12. Sa-Ingthong, J., Phonphoem, A., Jansang, A., Jaikao, C., 2021. Probabilistic Analysis and Optimization of Packet Losses in Dense LoRa Networks, SN Computer Science (2022) 3, 25, <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00883-3>.
13. Celiktopuz, E., Kapur, B., Sarıdas, M.A., Paydas Kargı, S., 2020. Response of Strawberry Fruit and Leaf Nutrient Concentrations to the Application of Irrigation Levels and A Biostimulant. Journal of Plant Nutrition, doi:10.1080/01904167.2020.1806310.
14. Angelopoulos, C.M., Filios, G., Nikolettseas, S., Raptis, T.P., 2020. Keeping Data at the Edge of Smart Irrigation Networks: A Case Study in Strawberry Greenhouses. Computer Networks, 167, 107039.

15. Ko, A., Mascaro, G., Vivoni, E.R., 2016. Irrigation Impacts on Scaling Properties of Soil Moisture and the Calibration of a Multifractal Downscaling Model. *IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing*, 54(6), 3128-3142.
16. Roopaei, M., Rad, P., Choo, K.K.R., 2017. Cloud of Things in Smart Agriculture: Intelligent Irrigation Monitoring by Thermal Imaging. *IEEE Computer Society*, 2325-6095/17.
17. McCready, M.S., Dukes, M.D., Miller, G.L., 2009. Water Conservation Potential of Smart Irrigation Controllers on St. Augustinegrass. *Agric. Water Management*, 96(11), 1623–1632.
18. Cardenas-Lailhacar, B., Dukes, M.D., Miller, G.L., 2005. Sensor Based Control of Irrigation in Bermudagrass. *ASAE Paper No: 052180*, St. Joseph, MI.
19. Haley, M.D., Dukes, M.D., Miller, G.L., 2007. Residential Water Use in Central Florida. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 133(5), 427–434.
20. Grabow, G.L., Vasanth, A., Huffman, R.L., Miller, G.L., 2008. Evaluation of Evapotranspiration and Soil Moisture-Based Irrigation Control on Turfgrass. *Proc. ASCE EWRI World Environmental and Water Resources Congress*, ASCE, Reston, VA.

Determining Antibacterial Effect of Yellow Onion (*Allium Cepa*) Peel Extract on Some Pathogen Inoculated in Raw, UHT and Pasteurized Milks

Sabire YERLİKAYA^{*1} ORCID 0000-0001-9842-5848

Merve ÇİFTÇİ² ORCID 0000-0002-4555-7174

Aysun İŞLER³ ORCID 0000-0002-8932-9245

Hülya ŞEN ARSLAN⁴ ORCID 0000-0002-1662-2942

^{1,2,4}Karamanoğlu Mehmetbey University, Engineering Faculty, Food Engineering Department, Karaman

³Selçuk University, Agriculture Faculty, Food Engineering Department, Konya

Geliş tarihi: 04.03.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: YERLİKAYA, S., ÇİFTÇİ, M., İŞLER, A., ŞEN ARSLAN, H., (2022). Determining Antibacterial Effect of Yellow Onion (*Allium Cepa*) Peel Extract on Some Pathogen Inoculated in Raw, UHT and Pasteurized Milks. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 707-716.

Abstract

In this research, yellow onion peel extract (YOPE) was tested against some pathogens inoculated into pasteurized, UHT and raw milks. Milk samples were added with YOPE at 10% (v/v) and were left at 4 °C for 5 days. The pH and colour of milk samples were determined at 1, 3 and 5th day of storage. Moreover, the milk samples were inoculated by 0.0, 5.0 and 7.0 log cfu/mL of *Escherichia coli* ATCC 25922 and by 0.0, 5.0 and 7.0 log cfu/mL of *S. aureus* ATCC 25923. All the above samples were then added with YOPE at a rate of 0.0 or 5.0% (v/v). YOPE had the greatest inhibitory effect on *E. coli* inoculated pasteurized milk at a concentration of 7.00±0.24 log cfu/mL, whereas the lowest inhibitory effect was shown on the raw milk inoculated with 7.00±0.87 log cfu/mL *S. aureus* and 5.00±0.21 log cfu/mL *E. coli*.

Key Words: Antibacterial activity, Milk, *E. coli*, *S. aureus*

Sarı Soğan (*Allium Cepa*) Kabuğu Ekstraktının Çiğ, UHT ve Pastörize Sütlerle İnoküle Edilen Bazı Patojenler Üzerindeki Antimikrobiyal Etkisinin Belirlenmesi

Öz

Bu araştırmada sarı soğan kabuğu ekstraktının (YOPE), pastörize, UHT ve çiğ sütlerle inoküle edilen bazı patojenler üzerindeki inhibitör etkisi incelenmiştir. Süt örneklerine %10 (v/v) YOPE ile ilave edilerek

*Corresponding Author (Sorumlu Yazar): Sabire YERLİKAYA, sabirebattal@kmu.edu.tr

4 °C'de 5 gün inkübasyona bırakılmıştır. Süt örneklerinin pH ve rengi depolamanın 1, 3 ve 5. günlerinde belirlenmiştir. Ayrıca, süt numunelerine ayrı ayrı 0,0, 5,0 ve 7,0 log kob/mL konsantrasyonlarında *E. coli* ATCC 25922 ve *S. aureus* ATCC 25923 inoküle edilmiştir. Bahsedilen numunelerin tümüne ayrı ayrı %0,0 ve 5,0 (v/v) konsantrasyonunda YOPE ilave edilmiştir. YOPE en yüksek inhibitör etkiyi $7,00 \pm 0,24$ log kob/mL konsantrasyonunda *E. coli* ile kontamine edilmiş pastörize sütte gösterirken; en düşük inhibitör etkileri $7,00 \pm 0,87$ log kob/mL konsantrasyonunda *S. aureus* ile $5,00 \pm 0,21$ log kob/mL konsantrasyonunda *E.coli* ile kontamine edilmiş çiğ sütte göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Antimikrobiale aktivite, Süt, *E. coli*, *S. aureus*

1. INTRODUCTION

Milk and dairy products are among the most important dietary foodstuffs, providing appreciable amount of protein and peptide structures such as immunoglobulins, enzymes, antibacterial agents, fatty acids, vitamins and minerals [1,2]. The milk has nutritional composition of 11.9-12.7% dry matter, 8.60-9.60% dry matter (ether-extract free); 3.10-3.30% fat; 4.50-5.10% lactose; 3.20-3.40% protein and 0.70% ash [3,4]. The milk is well characterised by its own color, taste and odor [5,6]. The milk is daily subjected to a routine safety monitoring to ensure the legal limits for the levels of bacteria, pathogens and other undesirable substances. However, it is nutritionally an ideal medium for growing microorganisms [7]. The pathogens found in raw milk were primarily *C. jejuni*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *L. monocytogenes*, pathogenic *E. coli* and *Yersinia enterocolitica* [8].

E. coli and *S. aureus* are among the most well-known and studied foodborne pathogens [9]. The detection of these pathogens in food products indicates insufficient heat treatment during production, poor hygiene conditions or contamination after heat treatment [10].

Onion contains 1.4% protein, 0.2% fat, 88.1% water, 8.9% carbohydrate, 0.8 g cellulose and 46 kalori [11]. Onion is one of the most grown vegetables in Turkey. The variety of onions with yellow / white skin is juicy and sweet. Yellow onion is mostly used for salads and some types of food [12]. It is one of the vegetables that is a source of vitamin C. Its chemical structure, the amount of phenolic substances and antioxidant activity is high [13]. Water extracts of onion peel

has been previously studied as antioxidative and antibacterial agents in many studies [14-18]. However, to our best knowledge there is a lack of research testing the antibacterial effect of water extract of onion peel on the pathogen inoculated milk.

In this research, we aimed to test the effect of enrichment of pasteurized, UHT and raw milks milk on some physical and chemical characteristics (pH and colour) of the milk, and on the inhibition of some pathogens, namely *E. coli* ATCC 25922 and *S. aureus* ATCC 25923, inoculated into the milk.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

Raw, pasteurized, UHT milks and yellow onion peel were obtained from the local markets in Karaman, Turkey. *E. coli* ATCC 25922 and *S. aureus* ATCC 25923 were kindly provided under aseptic conditions by Selcuk University, Food Engineering Department. UHT milk was used to make a homogeneous comparison with raw and pasteurized milks.

2.2. Methods

2.2.1. Preparation of Yellow Onion Peel Extract (YOPE) and Milks for Analysis

Dry peels separated from yellow onions were cleaned up by washing with tap water. A 5 g of peel was boiled in 100 mL water (5%, v/v) for 10 minutes. The mixture was cooled down to a 25 °C of temperature and then subjected to a filtration through a Whatman no: 1 paper. A 10

mL of raw, pasteurized and UHT milks was added with 0.0 and 1 mL of YOPE (1 mL). Milk samples were stored at 4 °C for 5 days. The pH analyzes and color analyzes were performed on 1, 3 and 5th days of storage.

2.2.2. Inoculation of Milks with *E. coli* and *S. aureus*

E. coli and *S. aureus* were inoculated at the level of 0.0, 5.0 and 7.0 log cfu/mL into raw, pasteurized, UHT milks. Milks inoculated pathogens were kept at 25 °C for 15 minutes. At the end of this period, the milks were added with 5% YOPE (v/v). Milks were again kept at 25 °C for 15 minutes. Eosin Methylene-blue Lactose Sucrose Agar was used for the enumeration of *E. coli* and Baird Parker Agar used for the enumeration of *S. aureus*. All the milk samples prior to pathogen inoculation were enumerated for total mesophilic aerobic bacteria using a Plate Count Agar. The petri dishes were left to incubate at 35-37 °C for 24-48 hours. Enumeration was done by counting colonies developed at the end of incubation period, and the results was expressed as log cfu/ml.

2.2.3. Colour and pH Measurements

The exterior surface colour of all samples was measured using a chromameter (Hunterlab Colorimeter Colorflex) according to CIELab system. CIE L^* , a^* , and b^* were determined by the method described by Hunt et al. [19]. The pH values were determined with a pH meter (pH 3110/SET WTW, Germany) [20].

2.2.4. Statistical Analysis

Each treatment was tested in duplicate samples with two replications. All the analyses were performed in two repetitions and two parallels, providing a total of four independent measurements. The results were expressed as means \pm standard deviation. A two-way analysis of variance was used to test the effects of treatments at a 5% significance level by using SPSS 22 statistical package for Windows (IBM Corp., Armonk, New York, USA).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Hunter Colour Determination and pH

Table 1 and Table 2 indicates the effects of milk types and storage time on L^* , a^* , b^* and pH values were statistically significant ($p < 0.05$). The brightest sample (L^*) was obtained from the UHT milk (89.77 ± 0.1) and lowest bright sample was the raw milk with YOPE (70.03 ± 0.78). YOPE has a brightness value of 7.21 ± 0.36 . The addition of YOPE resulted in a decrease of L^* value in all milk species. The decrease from 88.90 ± 0.21 to 74.29 ± 0.32 was found to be more profound in pasteurized milk (Table 1).

It is determined that raw milk with YOPE has the highest a^* value (16.10 ± 0.12), as an indication of intense red colour occurrence with addition of YOPE. Sample with at lowest a^* value was obtained from the raw milk (-2.60 ± 0.14) since YOPE has a color of orange. It is inevitable that the milks enriched with YOPE would have a high a^* value. Thus, the addition of YOPE resulted in an increase in the a^* value in all milk samples. The increase from -2.60 ± 0.14 to 16.10 ± 0.12 was found to be more profound in raw milk (Table 1).

Pasteurized milk with YOPE has the highest b^* value as 25.97 ± 0.23 as indication of intensified yellow colour. Sample with at lowest b^* value was the raw milk (4.01 ± 0.58). YOPE per se has a value of 9.79 ± 0.45 . The addition of YOPE resulted in an increase in b^* value in all milk samples. The increase from 4.02 ± 0.19 to 25.97 ± 0.23 was more profound in pasteurized milk (Table 1).

UHT milk has the highest pH value of 6.66 ± 0.02 . Sample with at lowest pH of 6.49 ± 0.02 was pasteurized milk with YOPE. The pH value of YOPE was determined to be 4.16 ± 0.03 . The addition of YOPE resulted in a decrease in the pH value in all milks. The decrease from 6.66 ± 0.02 to 6.55 ± 0.03 was fmore profound in UHT milk (Table 1).

Table 1. Anova comparison test results of the effect on color parameters and pH

| Factor | L^* | a^* | b^* | pH |
|--------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| P | 88.90±0.21 ^b | -2.36±0.12 ^{ef} | 4.02±0.19 ^e | 6.55±0.03 ^b |
| P-O | 74.29±0.32 ^e | 14.64±0.36 ^b | 25.97±0.23 ^a | 6.49±0.02 ^c |
| UHT | 89.77±0.41 ^a | -2.15±0.41 ^e | 5.04±0.29 ^d | 6.66±0.02 ^a |
| UHT-O | 76.41±0.54 ^d | 13.58±0.25 ^c | 24.63±0.89 ^b | 6.55±0.03 ^b |
| R | 84.52±0.58 ^c | -2.60±0.14 ^f | 4.01±0.58 ^e | 6.63±0.04 ^a |
| R-O | 70.03±0.78 ^f | 16.10±0.12 ^a | 25.54±0.62 ^a | 6.58±0.02 ^b |
| O | 7.21±0.36 ^g | 12.57±0.14 ^d | 9.79±0.45 ^c | 4.16±0.03 ^d |

(Comparison of the means of 4 replicates with the Tukey's test shows that there is a significant difference between the a-f means on the averages ($p < 0.05$). P: pasteurized milk; P-O: pasteurized milk with YOPE; UHT: UHT milk; UHT-O: UHT milk with YOPE; R: raw milk; R-O: raw milk with YOPE)

There is waving in L^* and b^* values in all storage days. It was observed that the highest L^* value (70.49±0.06) was reached on 3rd day; the highest values of a^* (7.59±0.06) and b^* (14.79±0.15) was

reached on the 5th day; the highest pH value (6.43±0.01) was reached on the 1st day during the storage (Table 2).

Table 2. Anova comparison test results of the effect of storage days on color parameters and pH

| Storage (day) | L^* | a^* | b^* | pH |
|---------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | 69.93±0.03 ^b | 6.71±0.05 ^c | 13.98±0.03 ^b | 6.43±0.01 ^a |
| 3 | 70.49±0.06 ^a | 7.04±0.02 ^b | 13.65±0.07 ^b | 6.24±0.02 ^b |
| 5 | 70.07±0.09 ^b | 7.59±0.06 ^a | 14.79±0.15 ^a | 6.02±0.02 ^c |

(Comparison of the means of 4 replicates with the Tukey's test shows that there is a significant difference between the a-c means on the averages ($p < 0.05$)).

Figure 1 and Figure 2 indicated the effect of interactions of milk species (with/without YOPE) and storage time on L^* , a^* , b^* and pH values, respectively. As can be seen in Figure 1; the highest L^* and a^* values were detected on the 5th day of storage in UHT (90.28±0.11) and raw milk with YOPE (17.57±0.21), respectively. The

highest b^* and pH values were detected in raw milk with YOPE (26.92±0.08) and UHT milk (6.86±0.02) on the 5th and 1st day of storage, respectively (Figure 1 and Figure 2). The addition of YOPE reduced the L^* value of all milk samples; increased a^* and b^* values in all storage days.

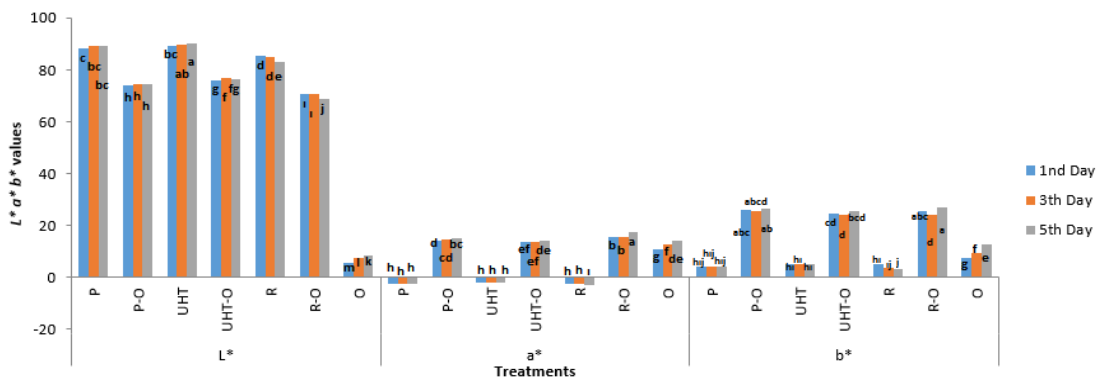


Figure 1. L^* , a^* , b^* values depend on storage time

(P: Pasteurized milk; P-O: Pasteurized milk with YOPE; UHT: UHT milk; UHT-O: UHT milk with YOPE; R: raw milk; R-O: raw milk with YOPE; O: YOPE).

Lakade et al., [21] found 77 ± 7.5 as L^* , -5.27 ± 1.8 as a^* , 3.47 ± 3.5 as b^* for control milk; 65 ± 7 as L^* , 37 ± 0.85 as a^* , 5.32 ± 1.7 as b^* for orange milk. Codina-Torrella et al. [22] reported 80.76 ± 0.45 as

L^* , -0.48 ± 0.04 as a^* , 14.92 ± 0.17 as b^* for raw milk; 81.85 ± 0.27 as L^* , -0.18 ± 0.018 as a^* , 13.80 ± 0.14 as b^* for homogenized pasteurized tiger nuts' milk product.

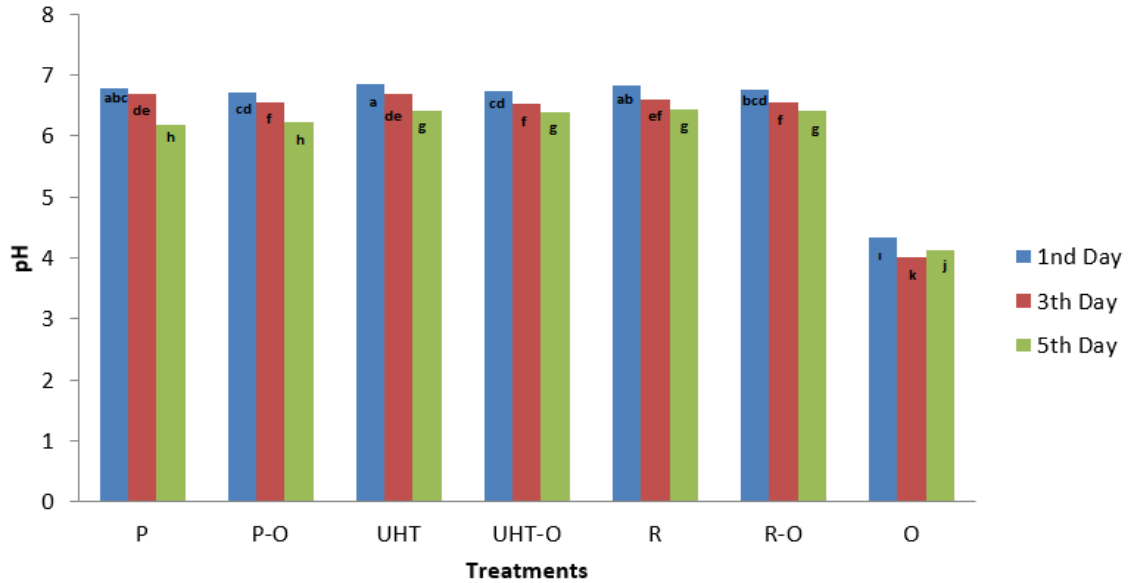


Figure 2. pH values depend on storage time

(P: Pasteurized milk; P-O: Pasteurized milk with YOPE; UHT: UHT milk; UHT-O: UHT milk with YOPE; R: raw milk; R-O: raw milk with YOPE; O: YOPE).

It was determined that the pH value decreased in all samples during the storage period. This reduction could occur as a result of the activity of microorganisms fermenting milk sugar. A fluctuation in the pH value was observed in only YOPE. But the increase on the 5th day could not reach the pH value on the 1st day. The addition of YOPE reduced the pH value of all milk samples during the all storage days (Figure 2).

Metin and Öztürk [23] compared pH values and the quality characteristics of the milk in their study. They indicated milk at 6.8-6.6 pH values was accepted as fresh and stated the beginning of acidification in milk started at pH 6.3. According to our study, the pH value of pasteurized milk samples fell below 6.3 on the 5 day of storage and samples started to go rancid on the 5 day of storage. Akarca et al., [24] determined pH value of pasteurized milk start to fell below 6,3 on 7 day

of storage. Samples started to go rancid on the 7 day of storage. In the analysis performed with 49 raw milk samples sold in Erzurum, the pH was found as (5.93 ± 0.11) [25]. The pH values of the analyzed milk in two different studies were determined as 5.80-6.05 and 6.41-6.63 [25-26]. Tuncer [27] stated milks pH as 6.45 ± 0.009 . Ateş [28] determined the pH value of milk obtained from 24 provinces as 6.66-6.69.

3.2. Microbiological Analysis

The mean values of YOPE on pathogens are shown in Figure 3 (*E. coli*) and Figure 4 (*S. aureus*). As can be seen, YOPE had significant effect ($p < 0.05$) on inhibition of *E. coli* and *S. aureus* (log cfu/ml).

Pasteurized milk samples were inoculated with *E. coli* as 5.00 ± 0.28 log cfu/mL and 7.00 ± 0.24 log

cfu/mL; the results determined as 3.06 ± 0.19 log cfu/mL and 4.69 ± 0.19 log cfu/mL, respectively, with addition of YOPE.

UHT milk samples were inoculated with *E. coli* as 5.00 ± 0.39 log cfu/mL and 7.00 ± 0.35 log cfu/mL; the results determined as 3.30 ± 0.50 log cfu/mL and 4.69 ± 0.19 log cfu/mL, respectively, with addition of YOPE.

Raw milk samples were inoculated with *E. coli* as 5.00 ± 0.21 log cfu/mL and 7.00 ± 0.14 log cfu/mL; the results determined as 4.29 ± 0.06 log cfu/mL and 4.42 ± 0.19 log cfu/mL, respectively, with

addition of YOPE.

Before adding pathogens to all milk samples, the total number of mesophilic aerobic microorganisms (TMAB) of milks were examined. As a result, while no microorganisms were found in pasteurized and UHT milk, microorganisms count was made in raw milk at a concentration of 4.33 ± 0.19 log cfu/mL and 7.1 ± 1.5 log cfu/mL. The addition of YOPE reduced the number of microorganisms detected in raw milk to 3.92 ± 0.08 log cfu/mL and 6.34 ± 0.57 log cfu/mL respectively (Figure 3 and Figure 4).

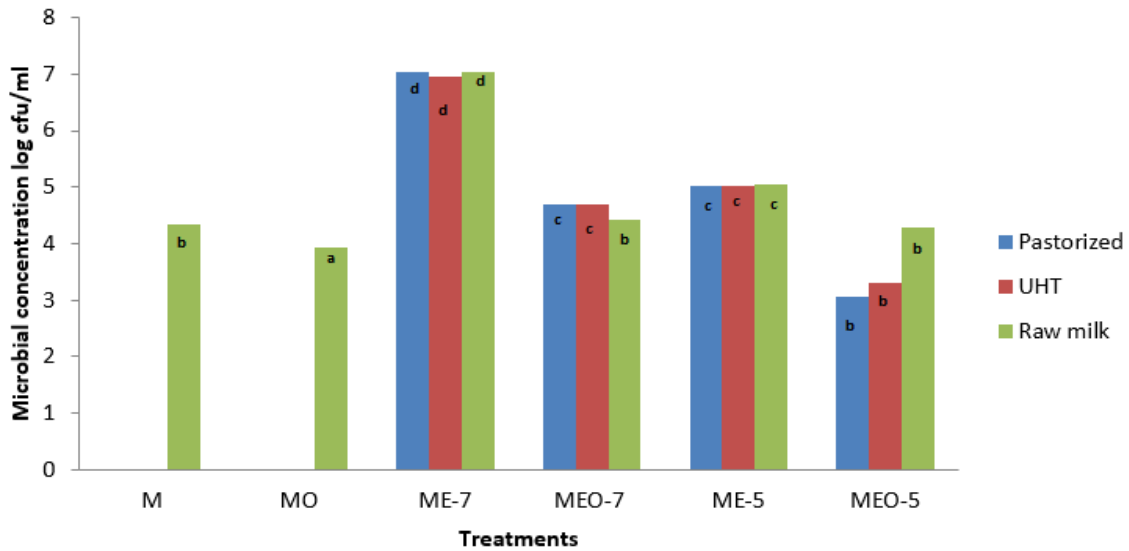


Figure 3. Inhibitory effect on *E. coli* ATCC 25922

(M: milk; MO: milk + YOPE; ME-7: milk+ 7 cfu/mL *E. coli*; MEO-7: milk+ 7 cfu/mL *E. coli* + YOPE; ME-5: milk+ 5 cfu/mL *E. coli*; MEO-5: milk+ 5 cfu/mL *E. coli* + YOPE).

The Communiqué of Turkish Food Codex Raw and Heat Treated Drinking Milk stated that milks with TMAB count above 5 log cfu/mL are not suitable for human consumption [29]. Accordingly, it was determined that one of the raw milk used in our study was not suitable according to food safety criteria. Yapık [30] reported that that only 5 of the 24 milk samples met the values of the Codex. Diler and Baran [25] determined the TMAB count as 5.29 log cfu/mL in the analysis performed with 49 raw milk samples. Çalışkan

[31] reported The TMAB count as 5.74-6.29 log cfu/mL in 40 milk samples. Akarca et al. [24] found the TMAB count as 3.86 log cfu/mL in raw milk and 2.98 log cfu/mL in milk added with 0.2% cinnamon on the 5 day of storage.

Pasteurized milk samples were inoculated with *S. aureus* as 5.00 ± 0.68 log cfu/mL and 7.00 ± 0.44 log cfu/mL; the results determined as 4.04 ± 0.09 log cfu/mL and 5.6 ± 0.8 log cfu/mL, respectively, with addition of YOPE.

UHT milk samples were inoculated with *S. aureus* as 5.00 ± 0.08 log cfu/mL and 7.00 ± 0.46 log cfu/mL; the results determined as 3.76 ± 0.38 log cfu/mL and 5.54 ± 0.41 log cfu/mL, respectively, with addition of YOPE.

Raw milk samples were inoculated with *S. aureus* as 5.00 ± 1.36 log cfu/mL and 7.00 ± 0.87 log cfu/mL; the results determined as 4.12 ± 1.19 log cfu/mL and 5.24 ± 0.59 log cfu/mL, respectively, with addition of YOPE (Figure 4).

YOPE has quercetin and derivatives, flavanols

such as flavanols in it's structure. Because of these molecules, it has an antibacterial effect. So it is expected YOPE to inhibit pathogens. It was determined that the inhibitory effect of YOPE on pathogens was higher in pasteurized and UHT milk. Since raw milk samples contain a high rate of microorganisms (TMAB) except *E. coli* and *S. aureus* at the beginning of the analysis, YOPE spent its antibacterial effect primarily by reducing the number of TMAB. For this reason, it is thought that YOPE has less inhibitory effect on pathogens in raw milk than pasteurized and UHT.

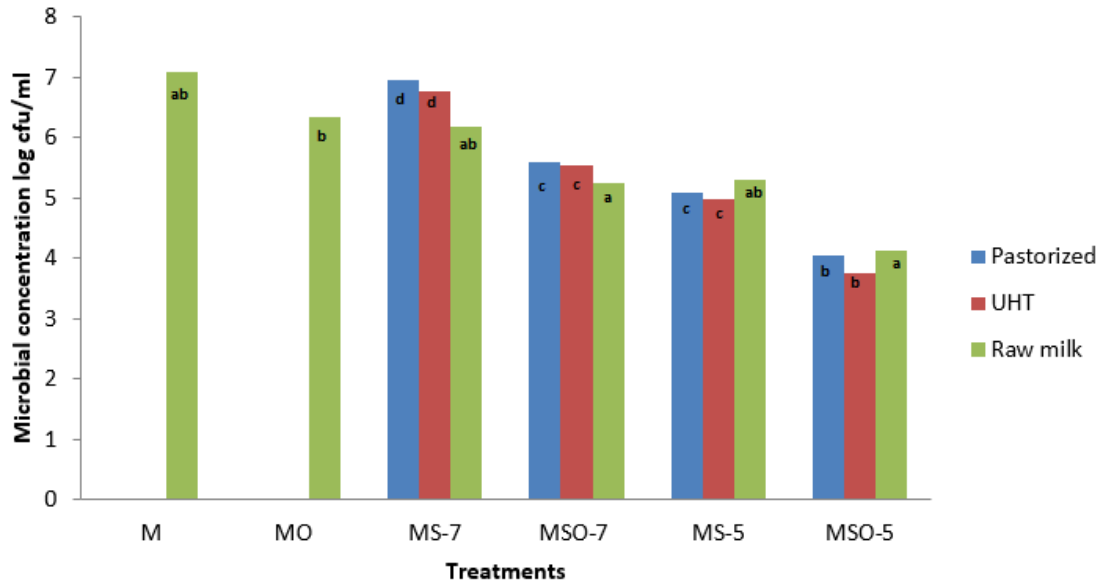


Figure 4. Inhibitory effect on *S. aureus* ATCC 25923

(M: milk; MO: milk + YOPE; MS-7: milk+ 7 cfu/mL *S. aureus*; MSO-7: milk+ 7 cfu/mL *S. aureus* + YOPE; MS-5: milk+ 5 cfu/mL *S. aureus*; MSO-5: milk+ 5 cfu/mL *S. aureus* + YOPE)

Increasing concentration of pomegranate and onion peel extracts increased the antibacterial effect of extracts on *E. coli* [32]. The antibacterial effect was detected as 98.06% when pomegranate and onion peel extracts were used in a combination 50:50%. İlkimen and Gülbandılar [33] found that extracts of lavender and sage has antibacterial activity on *S. aureus* and *E. coli*. Serpi et al. [34] reported extract of lavender has inhibitory effect on some pathogen bacteria. Haşimi et al. [35] stated different plant extracts have antibacterial

activity on *S. aureus* and *E. coli*. Harlita et al., [36] reported Dayak onion extracts have antibacterial effect on *S. aureus*, *B. cereus*, *Shigella* spp. and *P. aeruginosa*. The highest effect was seen on *B. cereus* (139.58 %). Abdel-Rahim et al. [37] stated the yellow onion extract caused a reduction of *A. niger* as 60.46%, 31.09%, 23.04% and 5.95% at different concentration. Al-Delamy [38] determined *S. aureus* growth at 6 log cfu/mL has been completely inhibited by onion extracts. These studies shows different plant extracts including

onion peel extract have antibacterial effect on *E. coli* and *S. aureus*.

4. CONCLUSIONS

The addition of YOPE resulted in a decrease in the L^* value and pH, an increase in the a^* and b^* value in all milk species. Due to the dark color of the YOPE, it was expected that the brightness value of the milk can be lowered by the addition of YOPE. The increase in b^* value was more profound in pasteurized milk. The highest L^* and a^* values were detected on the 5th day of storage in UHT and raw milk with YOPE. The highest b^* and pH values were detected in raw milk with YOPE and UHT milk on the 5th and 1st days of storage, respectively. Yellow onion contained appreciable amount of quercetin and derivatives, flavanols which may have an antibacterial effect on pathogens of *E. coli* and *S. aureus*. The addition of YOPE in the milk can lower pathogens concentration in milks. The most inhibitory effect on *E. coli* was obtained from the pasteurized milk at a concentration of 7.00 ± 0.24 log cfu / ml. The results show that yellow onion peel extract can be used as a natural antibacterial for *E. coli* ATCC 25922 and *S. aureus* ATCC 25923 in pasteurized, UHT and raw milks.

5. ACKNOWLEDGMENTS

Financial support for this study (scientific research project) was provided by TUBİTAK (2209-A). Authors thank to Professor Sulhattin YASAR of Food Engineering Department at KMU for his help improving the language of manuscript.

6. REFERENCES

1. Beykaya, M., Özbey, A., Yıldırım, Z., 2017. Determination of Physical, Chemical and Microbiological Properties of Milk From Some Dairy Plants in Sivas Province. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology 5(4), 388-396.
2. Şenel, E., 2017. Ayın Konusu: Süt. Türk Tarım Dergisi, 237, 16-17.
3. Muehlhoff, E., Bennett, A., McMahon, D., 2013. Milk and Dairy Products in Human Nutrition. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
4. Özdemir, D., 2019. Determination of Some Microbiological, Physical and Chemical Quality of Milk Provided from Milk Collection Centers in Kastamonu. Master's Thesis, Kastamonu University, Institute of Science, the Degree of Master of Philosophy in Food Engineering, Kastamonu, 93.
5. Dehinenet, G., Mekonnen, H., Ashenafi, M., Emmanuelle, G., 2013. Determinants of Raw Milk Quality Under a Smallholder Production System in Selected Areas of Amhara and Oromia National Regional States, Ethiopia. Agric. Biol. J. N. Am. 4(1), 84-90.
6. Metin, M., 2017. Süt Teknolojisi: Sütün Bileşimi ve İşlenmesi. 15. Baskı, E.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 793.
7. Sudhasaravanan, R., Binukumari, S., 2015. Microbial Quality of Raw and Pasteurized Milk Samples Collected from Different Regions of Madurai District, (T.N.) India. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, 9(1), 71-73.
8. Yerlikaya, O., Kınık, Ö., 2019. Consumption of Raw Cow Milk and Heat Treated Drinking Milk in Terms of Food Safety and Human Health, Journal of Food and Feed Science-Technology 22, 1-10.
9. Kara, R., Acaröz, U., Gürler, Z., Soylu, A., Küçük Kurt, O., 2019. Determination of the Presence of *Escherichia coli* O157 and *Listeria monocytogenes* in Fresh Lettuce Samples. European Journal of Science and Technology 16, 871-873.
10. Çubukçı, S., Aydemir Atasever, M., 2018. Microbial Quality of Ice Cream Sold By Retail Outlets in Erzurum. Atatürk University Journal of Veterinary Sciences, 13(1), 54-62.
11. Özçelik, H., 2019. Soğan (*Allium cepa*) ve Sarımsak (*Allium sativum* L.) Atıklarının Gökkuşluğu Alabalıklarında (*Oncorhynchus mykiss*) Mantar Hastalığının Önlenmesinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Master's Thesis, Gaziosmanpaşa University, Institute of Science, Tokat, 76.

12. Ergüven, İ., 2019. Detection of Phytoplasmas in Onion (*Allium cepa* L.) Production Areas of Adana Province. Master's thesis, Harran University, Institute of Science, Şanlıurfa, 40.
13. Albayrak, B., Elmacı, Ö.L., 2017. Effect of Nitrogen and Sulphur Applications on the Amount of Vitamin C, Antioxidant Activity and Total Phenolic Matter of Dry Onion (*Allium cepa* L.). Journal of Adnan Menderes University Agricultural Faculty, 14(2),1-5.
14. Kim, W., Lee, K., Kim, K., Chung, M., Cho, S., Paik, H., 2011. Antimicrobial Effects of Onion (*Allium cepa* L.) Peel Extracts Produced Via Subcritical Water Extraction Against *Bacillus cereus* Strains as Compared with Ethanolic and Hot Water Extraction, Food Science and Biotechnology, 20.
15. Lee, K., Kim, K., Nah, S., Chung, M., Cho, S., Paik, H., 2011. Antimicrobial and Antioxidative Effects of Onion Peel Extracted by the Subcritical Water, Food Science and Biotechnology, 20, 543–548.
16. Kim, K., Yim, J., 2015. Antioxidative Activity of Onion Peel Extract in Obese Women: a Randomized, Double-blind, Placebo Controlled Study, J Cancer Prev. 20(3), 202–207.
17. Karaki, H., Maswadeh, I., Abu Khalaf, E., Awawdeh, I., Wadaah, S., Hamdan, M., 2020. Antioxidant and Antimicrobial Activities of Onion Peels Extract and Fortification of White Wheat Flour to Prevent Health Hazard, Biomedical Sciences and Public Health, 1, 1.
18. Naqvi, S., Irfan, A., Zahoor, A., Zafar, M., Maria, A., Chand, A., Ashfaq, S., 2020. Determination of Antimicrobial and Antioxidant Potential of Agro-waste Peels, An. Acad. Bras. Ciênc. 92.
19. Hunt, M.C., Acton, J.C., Benedict, R.C., Calkins, C.R., Cornforth, D.P., Jeremiah, L.E., Olson, D.G., Salm, C.P., Savell, J.W., Shivas, S.D., 1991. Guidelines for Meat Color Evaluation, 44th Annual Reciprocal Meat Conference, Chicago, 9-12.
20. Lambooij, E., Potgieter, C.M., Britz, C.M., Nortje, G.L., Pieterse, C., 1999. Effect of Electrical and Mechanical Stunning Methods on Meat Quality in Ostriches. Meat Sci. 52, 331-337.
21. Lakade, A.J., Sundar, K., Shetty, P.H., 2017. Nanomaterial-based Sensor for the Detection of Milk Spoilage. LWT-Food Science and Technology, 75, 702-709.
22. Codina-Torrella, I., Guamis, B., Zamora, A., Quevedo, J.M., Trujillo, A.J., 2018. Microbiological Stabilization of Tiger Nuts' milk Beverage Using ultra-high Pressure Homogenization. A Preliminary Study on Microbial shelf-life Extension. Food Microbiology, 69, 143-150.
23. Metin, M., Öztürk, G., 2012. Süt ve Mamulleri Analiz Yöntemleri. Ege Üniversitesi Basımevi, Ege Üniversitesi Yayınları, Rektörlük Yayın No: 9. İzmir.
24. Akarca, G., Kahraman, A., Tomar, O., 2015. Change of the Shelf Life of Pasteurized Milk Which Added in Various Amounts of Cinnamon. Afyon Kocatepe University, Journal of Science and Engineering, 15, 1-9.
25. Diler, A., Baran, A., 2014. Determination of Some Quality Characteristics of Raw Cow Milk on Smallholder Dairy Farms in Hınıs District of Erzurum. Alinteri Ziraat Bilimler Dergisi, 26, 18-24.
26. Akın, M.S., Yapık, Ö., Akın, M.B., 2016. Some Properties of Raw Milk Obtained from Dairy Production Farm and Collectors in Adıyaman. Harran Journal of Agricultural and Food Sciences, 20, 253- 265.
27. Tuncer, K., Kul, E., Şahin, A., 2017. Determination of Some Quality Characteristics of Raw Milk Samples Collected from Dairy Farms in TR71 Region. Mediterranean Agricultural Sciences, 30(1), 65-69
28. Ateş, R., 2015. A Research: Determination of Changes in the Composition of Raw Milk Provided from Private Farms and Association of Manufacturers in Different Region of Turkey All the Year Round. Master's Thesis, Namık Kemal University, Institute of Science, Tekirdağ, 41.
29. Anonim, 2009. Türk Gıda Kodeksi Çiğ Süt ve Isıl İşlem Görmüş İçme Sütleri Tebliği. Tebliğ No: 2009/14.
30. Yapık, Ö., 2014. A Comparative Study on the Determination of Some Chemical and Microbiological Properties of Street Milk and Raw Milk Produced in Milk Farm in

- Adiyaman. Master's Thesis, Harran University, Institute of Science, Şanlıurfa, 59.
31. Çalışkan, Ş., 2019. The Impact of Hygiene Training on Raw Milk Quality: Sındırgı District Sample. Master's Thesis, Celal Bayar University, Institute of Science, Manisa, 132.
 32. Singh, N., Singh, V., Punia, P., 2019. Antibacterial Finish on Silk Fabric with Pomegranate and Onion Peel Extracts, Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 5, 129-131.
 33. İlkimen, H., Gülbandılar, A., 2018. Investigation of Antimicrobial Effects of Lavender, Sage Tea, Thyme and Chamomile. Turkish Microbiological Society, 48(4), 241-246
 34. Serpi, M., Özdemir, Z.Ö., Salman, Y., 2012. Investigation of the Antibacterial Effects of Some Plant Extracts On Propionibacterium Acnes. KSÜ Journal of Agriculture and Nature, 15(1), 7-12.
 35. Haşimi, N., Kızıl, S., Tolan, V., 2015. An Investigation on Antimicrobial Activities of Fennel and Sage Essential Oils. Batman University Journal of Life Sciences, 5(2), 227-35.
 36. Harlita, T.D., Oedjijono, Asnani, A., 2018. The Antibacterial Activity of Dayak Onion (*Eleutherine palmifolia (L.) Merr*) Towards Pathogenic Bacteria. Tropical Life Sciences Research, 29(2), 39-52.
 37. Abdel-Rahim, A.M., Abdel-Malik, O.A., Idris, Sulieman, A.E. 2012. Antimicrobial Activity of the Extract of Garlic and Onions. Gezira Journal of Engineering and Applied Sciences, 7(1).
 38. Al-Delamy, K.S., Ali, S.H., 2006. Effect of Onions Extracts on *Staphylococcus aureus*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 21(2), 110-112.

Doğaltaş Fabrikasında Fayans Üretim Hattındaki Kalite Kontrol Uygulaması

Merve KARAABAT VAROL^{*1} ORCID 0000-0002-3736-5180
M. Saim SARAÇ¹ ORCID 0000-0003-0290-4014

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

Geliş tarihi: 28.03.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: KARAABAT VAROL, M., SARAÇ, M.S., (2022). Doğaltaş Fabrikasında Fayans Üretim Hattındaki Kalite Kontrol Uygulaması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 717-730.

Öz

İşletmeler, rekabet ortamında ürettikleri ürünün devamlı talep edilmesini isterler. Üretilen ürünün devamlı talep görmesindeki en önemli unsurlardan biri de kaliteli ürün olmasıdır. İstenilen kalitede ürün olması için de üretim süreci boyunca kalite kontrol olmasıdır. Kalite kontrol'ün temel amacı, üretim kusurlarının belirlenip önlenmesi ve standart mal üretilmesidir. Endüstride kalite kontrol önemli olduğu gibi doğaltaş üretimlerinde de kalite kontrol önemli olmaktadır. Özellikle doğaltaş fabrikalarında üretilen fayansların ölçülebilir karakteristikleri olan kalınlıkları, eni, boyu, gönyesi ve yüzey özelliği müşterinin ilk etap da dikkat ettiği kısımdır. Ölçülemeyen fakat kalite açısından önemli olan fayans özellikleri ise, köşe kırığı, yüzey dolgu boşlukları ve kenar işleme özelliklerinden kaynaklanan kusurlardır. Mermer işleme tesisinde, her operasyonda üretilen yarı mamulden sonra ölçü kontrolünün, damar-çatlak-kırık ve renk homojenliği kontrolünün, bir sonraki işlemde önce yapılması gerekmektedir. Mermer sektöründe müşteriye sunulan nihai ürünlerin kalite standartlarının oluşturulması ve kalitedeki sürekliliğin sağlanması önemlidir. Mermer fabrikalarında levha ve fayanslara belirli aşamalarda kalite kontrol çalışmaları yapılmalıdır. Bu çalışmada Isparta'da bulunan bir mermer fabrikasının fayans üretim hattından örnek olarak alınan 30,5x30,5x1,25 cm boyutlarındaki bej mermer fayanslar, genel olarak taşın kalite karakteristiğini ortaya koyan, aynı üretim hattından çıkan mermerlerdir. Alınan örneklerin en, boy, kalınlık, gönye ve yüzey parlaklığı gibi ölçülebilir karakteristikleri ölçüldükten sonra, elde edilen verilere Shewhart kontrol grafikleri uygulanmıştır. X-S kontrol grafikleri sonucunda üretimde bazı sapmaların olduğu gözlemlenmiştir. Müşteri memnuniyeti açısından önemli olan mermer sektöründe, kalite kontrolde yaşanan bu sapmalar göz önünde bulundurularak nedenleri araştırılmalı, müşteri memnuniyeti maksimum düzeye getirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Kalite kontrol, Mermer fayans üretimi, Shewhart kontrol grafikleri

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Merve KARAABAT VAROL, mervevarol@sdu.edu.tr

Quality Control Application on Tile Production Line in Natural Stone Factory

Abstract

Enterprises request the product they produce in a competitive environment to be constantly demanded. One of the most important factors in the continuous demand for the produced product is that it is a quality product. It is the quality control throughout the production process in order to have the desired quality product. The main purpose of Quality Control is to identify and prevent production defects and to produce standard goods. Quality control is important in the industry, as well as in natural stone production. Especially the measurable characteristics of the tiles produced in natural stone factories, such as thickness, width, length, square and surface properties, are the first thing that the customer pays attention to. The tile features that cannot be measured but important in terms of quality are corner cracks, surface filling gaps and defects caused by edge processing features. In the marble processing factory, after the semi-finished product produced in each operation, measurement control, vein-crack-fracture and color homogeneity control should be performed before the next operation. It is important in terms of establishing the quality standards of the final products offered to the customer in the marble sector and ensuring the continuity in quality. Quality control studies should be carried out at certain stages in slabs and tiles in marble factories. In this study, beige marble tiles of 30,5x30,5x1,25 cm sizes taken as an example from the tile production line of a marble factory in Isparta are marbles coming out of the same production line, which shows the quality characteristic of stone in general. After measuring the measurable characteristics of the samples taken such as width, height, thickness, miter and surface brightness, Shewhart control graphs were applied to these obtained data. As a result of X-S control graphs, some deviations in production have been observed. In the marble sector, which is important in terms of customer satisfaction, the reasons should be investigated taking into account these deviations in quality control, customer satisfaction should be brought to the maximum level.

Keywords: Quality control, Marble tile production, Shewhart control graphic

1. GİRİŞ

İşletmeler, ürettikleri ürünün devamlı talep edilerek rekabet halinde oldukları diğer işletmelerden daha üstün olmalarını isterler. Günümüzde, işletmelerin çalışma koşulları önceki dönemlere göre çok daha komplikedir. Personel yönünden, nitelikli eleman çalıştırma zorunluluğu doğmuştur. Üretimde kullandığı hammadde ya da yarı mamullerde daha titiz bir seçim yapmak durumundadır. Bu yüzden işletmelerin kalite ve kalite kontrol üzerine sürekli iyileştirmeler yapmaları gerekmektedir [1].

Kalite göreceli bir kavram olduğu için çeşitli şekillerde tanımlamalar mevcuttur. Kalite, bir ürünün istenilen özellikte olmasını sağlayan bir araçtır. Kalite, müşteri isteğini sağlama, maliyeti

düşürme ve üretim performansını iyileştirmeyi sağlayan stratejik bir araçtır [2].

Kalite kontrol, istenilen kalitede ürün elde edilmesinin yanında üretimin işlem boyunca kontrol altında tutulması amacıyla tüm işletmelerde uygulanmaktadır. Süreç kontrolü sırasında, üretim boyunca kalite standartlarından çıkmaya neden olan faktörler önceden belirlenerek düzeltmeler yapılır. Böylece, üretim süreci boyunca kusurlu üretim yapılmasının önüne geçilmiş olunur [3].

Kalite kavramı ürünün ölçülebilir veya ölçülemez özelliklerine göre değişir. Doğal taş sektöründe üretilen fayansların ölçülebilir özellikleri; kalınlığı, eni, boyu, gönyesi ve yüzey özelliğidir. Ölçülemeyen özellikleri ise, ebatlı malzemenin, köşe kırığı, yüzey dolgu boşlukları ve kenar işleme özelliklerinden kaynaklanan kusurlarıdır. Bir

üretim hattından çıkan nihai ürünler, aynı karakteristiği göstermeyebilir.

Kalite karakteristiği, süreç içinde bazı nedenlerden dolayı değişkenlik gösterebilir. Bu değişiklikler sistematik veya rassal olabilir. Rassal değişkenlikler kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı sürece bir sorun yaratmaz. Ancak sistematik nedenlerden dolayı oluşan değişiklikler kaliteyi kontrol etmekte kullanılmaktadır. Satışa sunulan mermerlerin boyutları, cilasındaki kalite, gönye ve pahlamanın düzgünlüğü, renk/desen homojenliği, fiziksel kusur içermeyecek şekilde sınıflandırılması önemlidir [4,5].

Kontrol grafikleri endüstride sıklıkla uygulanan bir yöntemdir. Başta doğaltaş sektöründe olmak üzere madencilikte de karşılaşılan İstatistiksel Proses Kontrolü ile son 20 yılda yapılan çalışmalardan bazıları belirtilmiştir.

Büyüksağış ve Bozkurt (2001), doğaltaş endüstrisinde kalite kontrolün ve standardizasyonun önemini vurgulamış, işletmelerde dikkat edilmesi gereken konuları ele alarak açıklamışlardır [6]. Saraç ve Özdemir (2003), yaptıkları çalışmada mermer fayans boyutlarının kontrol altında olup olmadığını sağlanması ve müşteri memnuniyetinin değerlendirilmesi amacıyla çalışma yapmışlardır [5]. Polat, 2008 yılında yaptığı çalışmada bir mermer fabrikasında üretilen levha ve plakaların kalınlık, en-boy, ve gönye değerlerini inceleyerek TSE-EN standartlarına uygunluğunu tespit etmiştir [4]. Ankara ve Yerel (2008), bloklardan dairesel testereli makinalarla kesilen levhaların kalınlık ölçümlerini benzerlikleri ve farklılıkları R kontrol grafikleri ile belirlemişlerdir [7]. Sarıışık ve arkadaşları (2010), mermer makinalarından üretilen doğaltaş ürünlerinin kalınlık, ebat ve gönye karakteristiklerini istatistiksel olarak kalite kontrollerini yaparak standartlara uygunluğunu araştırmışlardır [8]. Çetintaş ve Nazlı (2018), Afyonkarahisar'daki doğaltaş fabrikasında iki farklı mermer örneklerinin hedeflenen kalınlık ve parlaklık değişimlerini Shewhart kontrol grafikleri ile incelemiş ve analiz etmişlerdir [9]. Dağlı, 2019 yılında hazırladığı yüksek lisans çalışmasında

mermer işleme tesislerinin seleksiyon bölümünde kalınlık ve parlaklık değişimlerini inceleyerek Shewhart CUSUM (Cumulative Sum -Birikimli Toplam Kontrol Grafikleri) ve EWMA (Exponentially Weighted Moving Average-Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama Kontrol Grafikleri) yöntemleri ile kontrol grafikleri hazırlayarak analiz etmiştir [3].

Doğaltaş sektörü dışında madencilikte son 15 yılda yapılan diğer çalışmalardan bazıları ise şu şekildedir: Aykul ve arkadaşları (2005), Garp Linyit İşletmeleri Tunçbilek Kömür Santralinin süreç yeterliliğini incelemişlerdir [10]. Eevli (2006) tarafından yapılan bir araştırmada Tunçbilek Termik Santrali'ndeki kömür karakteristiklerini tespit etmek için kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Burada amaç, kömürde meydana gelen değişiklikleri belirleyerek minimize etmektir [11]. Eevli ve Behdioğlu (2006), Seyitömer Termik Santrali'nde üretilen kömürlerin kalitesinin değişkenliğini incelemişlerdir. Burada, kömür kalitesi için ölçülen kalorifik değerlerin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı X ve R kontrol grafikleri ile belirlenmiştir [12]. Eevli ve arkadaşları (2009), kolemanit konsantrelerindeki süreç kararlılığını belirleyebilmek için iki farklı kontrol grafikleri kullanmışlardır [13]. Arslan ve Bayat, 2012 yılında Çukurova' daki briketleme fabrikasında yaptıkları çalışmada briket örneklerini alarak X-R kontrol grafiklerini çizmişlerdir [14]. Arslan (2017) bakır konsantre tesislerinde kontrol grafikleri oluşturarak üretim sürecinin yeterliliğini araştırmak amacıyla proses yeterlik analizi yapmış ve elde edilen değerlere göre prosesin ihtiyaçları karşıladığını tespit etmiştir [15]. Arslan (2019), Eti Alüminyum A.Ş. tesisinde alüminyum üretimini toplam renk farkı parametresi verilerini kullanarak bulanık mantık istatistiksel kalite kontrol uygulaması yaparak kontrol etmiştir [16].

2. YÖNTEM

Mermer ve Doğaltaş sektöründe nihai ürünün kalitesi satış fiyatını etkilemektedir. Üretilen fayans ve plakaların fiziksel özelliklerinin yansısı

(boy, renk ve desen), yapısal kusurları ve yüzey parlaklıkları mermer işleme tesislerinde dikkatli bir biçimde kalite kontrolden geçerek müşteriye sunulmaktadır.

Doğaltaş fabrikalarında kalite, üretilen ürünler ve üretim süreci olarak iki gruba ayrılabilir. Üretilen ürünler ile ilgili kısım, taşın jeolojik, mineralojik ve petrografik özellikleri, fiziksel ve mekanik özellikleri renk ve dokusu olarak gruplandırılabilir. Üretim süreci ile ilgili faktörler ise en, boy, kalınlık ve yüzey özellikleri olarak gruplandırılabilir. Mermerin kalitesine etki eden unsurlardan, yapısal özelliklerinden kaynaklanan sorunlar üretim aşaması içerisinde dolgu ve sağlamlaştırma gibi mücadeleler ile giderilebilir. Ancak renk, doku, petrografik özellikler gibi unsurlar değiştirilemez. Boyutları uygun olmayan ürünler doğrudan başka kullanım alanı için ayrılır. Yüzey parlaklığı için istenen hedefe ulaşmayan ürünlere iyileştirme işlemleri yapılmaktadır, fakat yapılan ekstra bir işlem ek maliyete neden olduğu için istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden kontrollerin belirli zaman aralıkları ile yapılması ve üretim sırasında oluşan sapmaları anında belirleyerek nedenlerinin ortadan kaldırılması gerekir [7].

Bu çalışmada Isparta'da bulunan bir mermer fabrikasının fayans üretim hattından örnek olarak alınan 30,5x30,5x1,25 cm boyutlarındaki bej mermerlerin ölçülebilir özellikleri incelenmiştir. Alınan örnekler genel olarak taşın kalite karakteristiğini ortaya koyan, aynı üretim hattından çıkan mermerlerdir. Burada örneklerin en, boy, kalınlık, gönye ve yüzey parlaklığı geleneksel Shewhart kontrol grafikleri ile incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada anakütle varyansı ve ortalaması bilinmediği varsayılarak örnekler rastgele seçilmiştir.

3. SHEWHART X-R VE X-S KONTROL GRAFİKLERİ

İstatistiksel Proses Kontrolü (İPK), üretim hattından alınan ürünlerin istenen özelliklere uyup uymadığını belirlemek ve kontrol etmek için

istatistiksel teknikleri kullanan bir sistemdir. Bu sistem, sadece ürünlerin kontrol edilmesini değil, aynı zamanda prosesin sürekli olarak kontrol edilmesini ve gerektiği takdirde geliştirilerek iyileşmesini sağlamaktadır. Üretilen ürünlerin kalite düzeylerinin araştırılması ve varsa kalite değişiminin belirlenmesi için istatistiksel kalite kontrol tekniklerinden yararlanılmaktadır. Bu amaçla, üretim prosesinden gelen ürünlerin tamamını muayene etmek yerine, belirli zaman aralıklarında prosesi yeterince temsil edebilecek nitelikte örnekler çekilmekte ve bunlardan gelen sonuçlar değerlendirilerek, proses hakkında tahminde bulunmaktadır. İPK, ürün kalitesini kontrol etmede, Shewhart'ın üretim prosesinde istatistiksel kavramları uygulayarak kontrol şemalarını tanıttığından dolayı büyük rol oynamaktadır [17].

Üretim sırasında belirli zaman aralıkları ile alınan örneklerden elde edilen ölçümlerin ölçülebilen özelliklerinin değişimlerini gösteren grafiğe kontrol grafiği denir. Kontrol grafiklerinde alt kontrol sınırı (AKS), üst kontrol sınırı (ÜKS) ve orta değer (OÇ) çizgisi bulunmaktadır [16].

Shewhart'ın kontrol grafikleri, üretim sürecinde karşılaşılan problemlere ne zaman müdahale edilmesi gerektiğini belirleyen, işlem sürecini kontrol altına alabilen bir yöntemdir. Shewhart'a göre ürünlerin üretimi sırasında belirli sınırlar vardır ve bu sınırlar aşıldığı takdirde süreç müdahale edilmesi gerekmektedir. Shewhart kalite kontrol grafikleri istatistikte kalite kontrolün önemli araçlarından biridir. Bu grafikler süreçlerin hassasiyetini ölçmek için fayda sağlamaktadır [3].

Shewhart kontrol grafiği ile örnek ortalamasının dağılımı, standart sapma ve değişim aralığına ait dağılımlar takip edilir. Ortalama (\bar{x}) kontrol grafikleri; örnek ortalamalarının istenilen ortalamaya/genel ortalamaya göre nasıl karşılaştırılacağını gösterir. Değişim aralığı (R) kontrol grafikleri; örnek içindeki bireysel gözlemlerin farklılığını belirler. Standart sapma (S) kontrol grafikleri; örnek standart sapmalarının ortalamaları ile ilişkili olduğu ortalama ve standart

sapma alt grup dağılımlarının değişimini belirler. Shewhart kontrol grafikleri içerisinde $(\bar{x})-(R)$ ve $(\bar{x})-(S)$ kontrol grafikleri daha sık kullanılmaktadır [3].

3.1. Ölçülebilir Karakteristikler için Kalite Kontrolü

Ürünlerin ölçülebilir karakteristikleri temel alınarak yapılan kalite kontrolünde üç çeşit kontrol grafiği kullanılabilir.

- Değişim aralığı (R)
- Standart sapma (S)
- Ortalama (\bar{X})

3.1.1. Değişim Aralığı Kontrol Grafikleri

Kalite özelliklerinde kullanılan, ölçülebilir olarak ifade edilebilir değişkenlerde kullanılan kontrol grafiği X-R kontrol grafikleridir. X kontrol grafiğinin kontrol sınırları, R kontrol grafiğinin merkez çizgisi kullanılarak oluşturulmaktadır.

Örneklem değerlerinin en büyük ve en küçük değerleri arasındaki farka “Değişim Aralığı” denir. Bu parametreyi kullanan kontrol grafikleri ne “Değişim Aralığı kontrol grafiği” veya “ R kontrol grafiği” denir (Eşitlik 1-3).

$$\bar{ÜKS}_R = D_4 \bar{x} \bar{R} \quad (1)$$

$$OÇ_R = \bar{R} \quad (2)$$

$$AKS_R = D_3 \bar{x} \bar{R} \quad (3)$$

3.1.2. Standart Sapma Kontrol Grafikleri

Üretim sürecinin ortalamasını ve süreç değişkenliğini kontrol altında olup olmadığını belirleyen kontrol grafikleri X-S kontrol grafikleridir. X kontrol grafiği ortalamadan, S kontrol grafiği ise işletmedeki niceliksel verilerin, işletme ölçüm ortalamasına göre sapmalarını gösterir. Örneklem hacminin 10'dan fazla olması durumunda X-S kontrol grafikleri, örneklem hacminin bu değerden az olması halinde ise X-R kontrol grafikleri tercih edilmektedir.

Bu tip kontrol grafiklerinde standart sapması (σ) bilinmeyen bir ana kütleden, her biri n birimden oluşan k adet örnek alınarak standart sapmaları hesaplandıktan sonra, bu standart sapmaların ortalaması (\bar{S}) belirlenir (Eşitlik 4-6).

$$\bar{ÜKS}_S = B_4 \bar{x} \bar{S} \quad (4)$$

$$OÇ = \bar{S} \quad (5)$$

$$AKS_S = B_3 \bar{x} \bar{S} \quad (6)$$

3.1.3. Ortalama Kontrol Grafikleri

Ortalama kalite düzeyinin kontrolü için geliştirilen grafiklerdir. Ana kütleden her biri n birimden oluşan k adet örnek alınır ve her birinin ortalaması (\bar{X}_i) hesaplanır. Bu ortalama değerlerin de kendi arasındaki genel ortalaması belirlenir (Eşitlik 7).

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{X}_i}{k} \quad (7)$$

Bu genel ortalama aynı zamanda ana kütle ortalamasının bir tahminidir. Ortalamalar dağılımının standart sapması ise (Eşitlik 8);

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada σ ana kütle standart sapması olup, değerinin bilinmediği ve $n \geq 30$ olduğu durumlarda örnek kütleinin standart sapması, ana kütleinkine eşit kabul edilebilir. Bu tip kontrol grafiklerinin kullanımında, her bir örneklemede bulunacak örnek birim sayısının $n \geq 4$ olması tercih edilir. Örnek birim sayısının $n > 10$ olması halinde ise standart sapma kontrol grafikleri kullanılır.

Burada \bar{R} değişim aralıklarının ortalamasını ve \bar{S} standart sapmaların ortalamasını vermektedir. D_3 ve D_4 ile B_3 ve B_4 ise alt grup örnek büyüklüğüne bağlı katsayılarıdır. Ek 1’de \bar{X} , R ve S grafikleri için kontrol sınırları belirleme katsayıları verilmektedir. Buradan n birim sayısına göre ÜKS ve AKS değerlerini belirlemek için gerekli olan katsayılar farklı örnek büyüklükleri için literatürde tablolar halinde belirtilmektedir.

X, R ve S grafiklerinin en önemli farkı yayılım grafiklerinden kaynaklanır. Alt grupların büyüklüklerine göre hangi değişkenlik istatistiğinin daha etkili olacağı temel alınarak grafik seçilir. Alt grupların büyüklüğü, n, 10'dan büyükse veya alt grupların büyüklükleri değişken ise X ve R kontrol grafikleri yerine X ve S kontrol grafiklerinin kullanılması tercih edilir [19]. Çizelge 1'de Kontrol Grafikleri Sınırlarının özeti görülmektedir.

Çizelge 1. Kontrol grafikleri sınırları [12]

| Grafik türü | Merkez hattı | Alt kontrol sınırı (AKS) | Üst kontrol sınırı (ÜKS) |
|-----------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
| Ortalama | \bar{X} | $\bar{X} - A_2\bar{R}$ | $\bar{X} + A_2\bar{R}$ |
| Değişim aralığı | \bar{R} | $D_3\bar{R}$ | $D_4\bar{R}$ |
| Standart sapma | \bar{S} | $B_3\bar{S}$ | $B_4\bar{S}$ |

4. MERMER FABRİKASINDAKİ KALİTE KONTROL SONUCU ELDE EDİLEN BULGULAR

Mermer işleme tesisinde, her operasyonda üretilen yarı mamulden sonra ölçü kontrolünün, damarçatlak-kırık ve renk homojenliği kontrolünün, bir sonraki işlemde önce yapılması gerekmektedir [1].

Mermer üretiminde tüketicinin kalite beklentileri;

1. Malzeme seçimi
2. Malzemenin rengi ve dokusu
3. Malzeme kalitesi ve ebatlama hassasiyetleri
4. Zaman faktörü
5. Ambalaj kalitesi

Bu amaçla üretim hattından rasgele alınan 16 adet fayans örneklerinin kalite kontrollerinin sağlanması için en, boy, kalınlık, gönye ve parlaklık ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerde EN 12057 standardı göz önünde bulundurulmuştur. 1,25x30,5x30,5 cm ebatlarındaki örneklerden kalınlık için 10 farklı yerden, en ve boy için 5 farklı yerden, parlaklık için ise 25 farklı yerden ölçüm alınarak toplamda 752 ölçüm üzerinden kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Bu aşamada

anakütle varyansı ve ortalamasının bilinmediği kabul edilmiştir. Yapılan her bir ölçüm çizelgelerde birim sayısı olarak belirtilmiş ve X-R-S kontrol çizelgeleri oluşturulmuştur. Bu çizelgelerin özet olarak sunumu Çizelge 2'de verilmiştir.

Yapılan ölçümler Eşitlik 1, 2 ve 3'de yerine konularak değişim aralığı limitleri, Eşitlik 4, 5, 6 kullanılarak standart sapma limitleri ve Eşitlik 7 kullanılarak ölçümlerin ortalamaları belirlenmiştir.

Çizelge 2. X-R-S kontrol çizelgeleri

| | k | n | \bar{X} | R | S |
|-----------|----|----|-----------|-------|------|
| Kalınlık | 16 | 10 | 12,90 | 0,45 | 0,14 |
| En | 16 | 5 | 304,35 | 0,34 | 0,14 |
| Boy | 16 | 5 | 304,17 | 0,18 | 0,08 |
| Parlaklık | 16 | 25 | 21,60 | 18,94 | 5,04 |
| Gönye | 16 | 2 | 427,54 | 0,79 | 0,40 |

Bu çalışmada X-S kontrol çizelgelerine uygun olarak ÜKS ve AKS limitleri belirlenmiş ve grafikler çizilmiştir (Şekil 1-10). ÜKS ve AKS kontrol sınırları belirlenirken gerekli olan A_2 , B_3 ve B_4 gibi sabit katsayılar Ek 1'den alınmıştır.

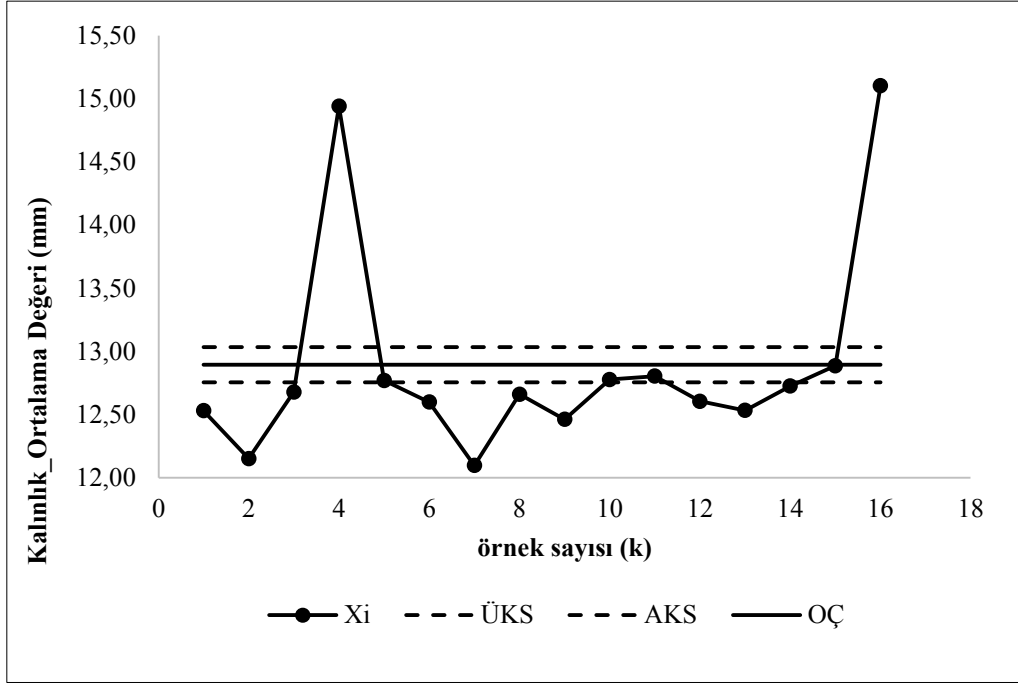
Kalınlık birim değerleri için;
Ortalama kontrol grafiği için (Çizelge 2);

$$\begin{aligned} AKS_{\bar{X}} &= 13,03 \\ O\check{C}_{\bar{X}} &= 12,90 \\ \check{U}KS_{\bar{X}} &= 12,76 \end{aligned}$$

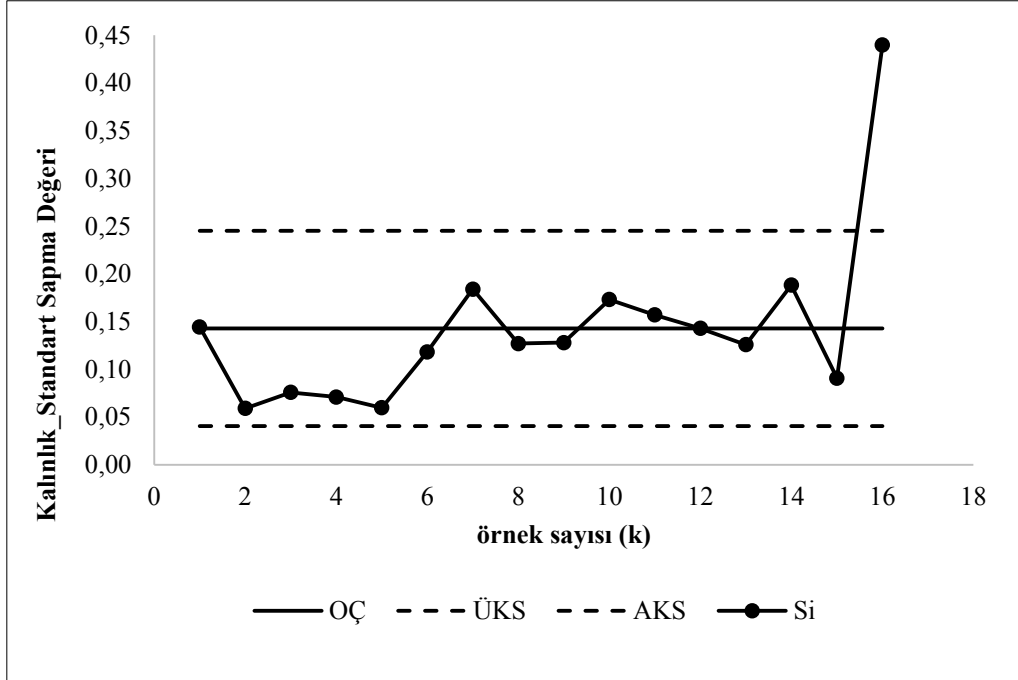
Standart Sapma kontrol grafiği için;

$$\begin{aligned} AKS_S &= 0,04 \\ O\check{C}_S &= 0,14 \\ \check{U}KS_S &= 0,25 \end{aligned}$$

Şekil 1 ve Şekil 2 de belirtildiği gibi kalınlığı 12,5 mm olarak alınan 16 adet örneğin ortalaması 12,9 mm olarak ölçülmüş ve sadece 4 tanesinin ortalama kontrol grafiğine göre sınırlar içerisinde olduğunu söylemek mümkündür. Standart sapma kontrol grafiğine bakıldığında son örneğin sınıırn büyük bir farkla dışına çıktığı görülmekte, diğer örneklerin standart sapmalarının uyum içinde olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Mermer fayanslarının kalınlığı için oluşturulan ortalama kontrol grafiği



Şekil 2. Mermer fayanslarının kalınlığı için oluşturulan standart sapma kontrol grafiği

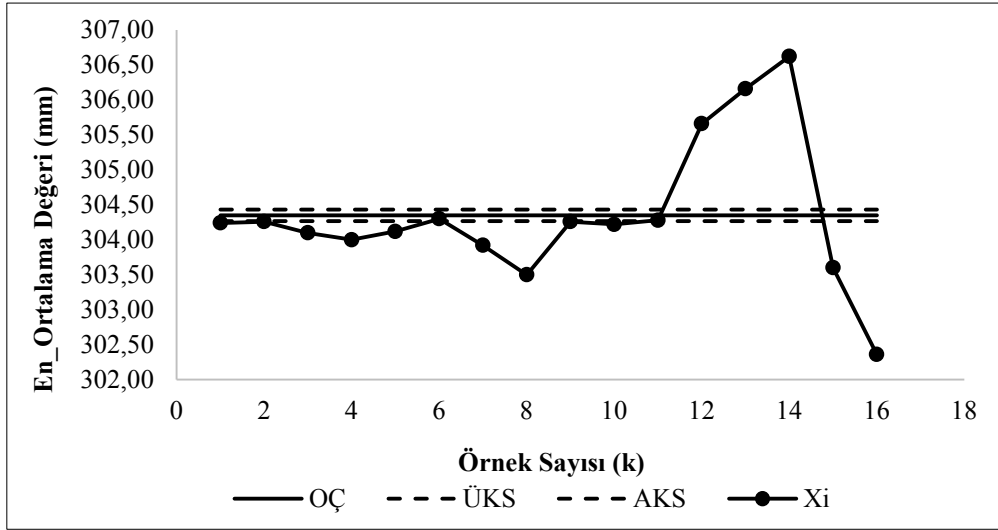
En birim değerleri için;
Ortalama kontrol grafiği için (Çizelge 2);

$AKS_{\bar{x}}=304,27$
 $OÇ_{\bar{x}}=304,35$
 $ÜKS_{\bar{x}}=304,43$

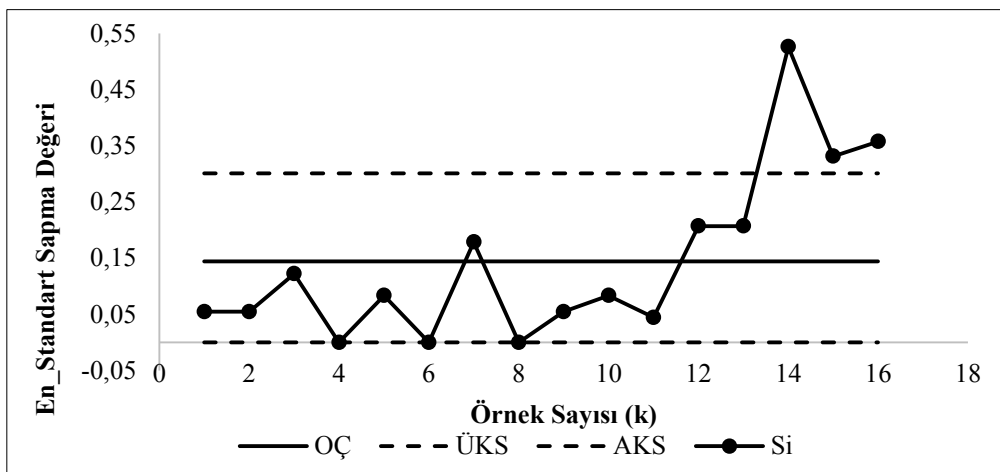
Standart Sapma kontrol grafiği için;

$AKS_s=0$
 $OÇ_s=0,14$
 $ÜKS_s=0,30$

Şekil 3 ve Şekil 4’de belirtildiği gibi eni 305,00 mm olarak alınan 16 adet örneğin ortalaması 304,35 mm olarak ölçülmüş ve sadece 1 tanesinin ortalama kontrol grafiğine göre sınırlar içerisinde olduğunu söylemek mümkündür. Standart sapma kontrol grafiğine bakıldığında son 3 örneğin sınırın baya dışına çıktığı görülmekte, diğer örneklerin standart sapmalarının uyum içinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Mermer fayanslarının eni için oluşturulan ortalama kontrol grafiği



Şekil 4. Mermer fayanslarının eni için oluşturulan standart sapma kontrol grafiği

Boy birim değerleri için;
Ortalama kontrol grafiği için (Çizelge 2);

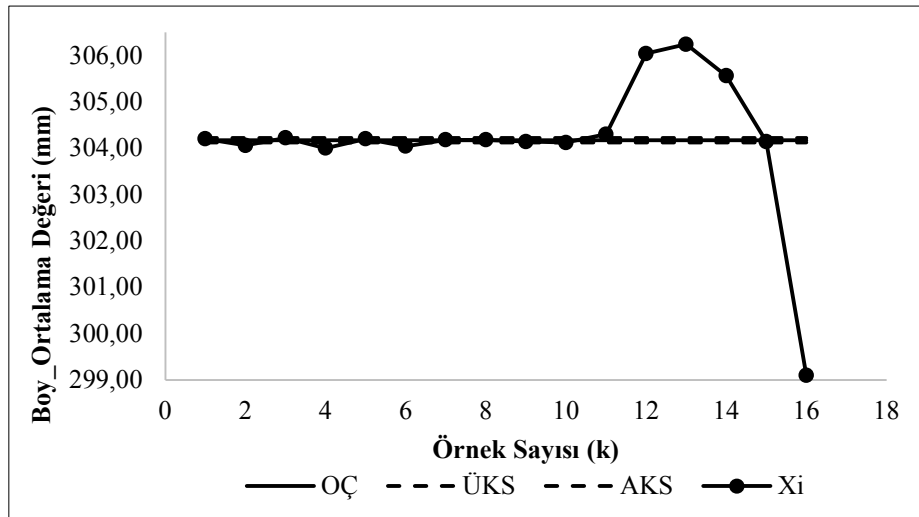
$$\begin{aligned} AKS_{\bar{x}} &= 304,12 \\ O\check{C}_{\bar{x}} &= 304,17 \\ \check{U}KS_{\bar{x}} &= 304,22 \end{aligned}$$

Standart Sapma kontrol grafiği için;

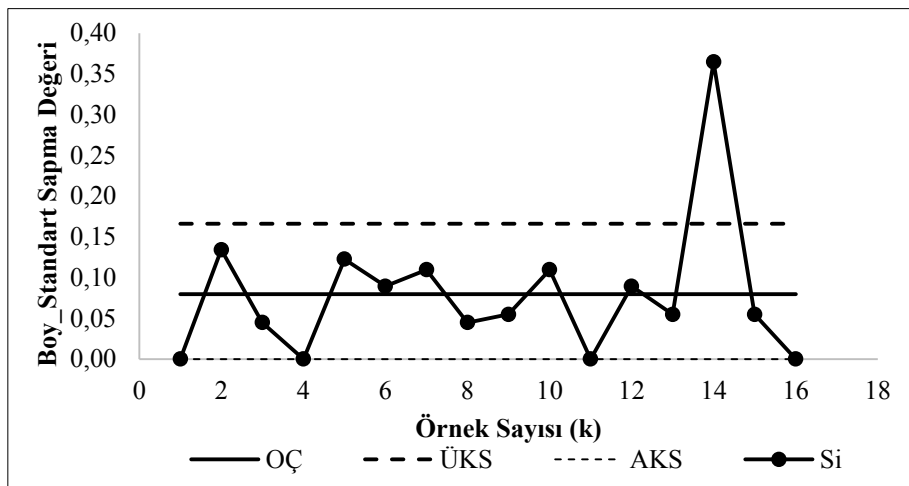
$$\begin{aligned} AKS_s &= 0 \\ O\check{C}_s &= 0,08 \\ \check{U}KS_s &= 0,17 \end{aligned}$$

Şekil 5 ve Şekil 6'da belirtildiği gibi boyu 305,00 mm olarak alınan 16 adet örneğin ortalaması 304,17 mm olarak ölçölmüş ve sekiz örneğin sınırlar içinde olduğunu söylemek mümkündür.

Standart sapma kontrol grafiğine bakıldığında 14 numaralı örneğin sınırın dışına çıktığı görölmekte, diğer örneklerin standart sapmalarının uyum içinde olduğu görölmektedir.



Şekil 5. Mermer fayansların boyu için oluşturulan ortalama kontrol grafiği



Şekil 6. Mermer fayansların boyu için oluşturulan standart sapma kontrol grafiği

Parlaklık birim değerleri için;

Ortalama kontrol grafiği için (Çizelge 2);

$$AKS_{\bar{x}}=20,87$$

$$OÇ_{\bar{x}}=21,65$$

$$ÜKS_{\bar{x}}=22,47$$

Standart Sapma kontrol grafiği için;

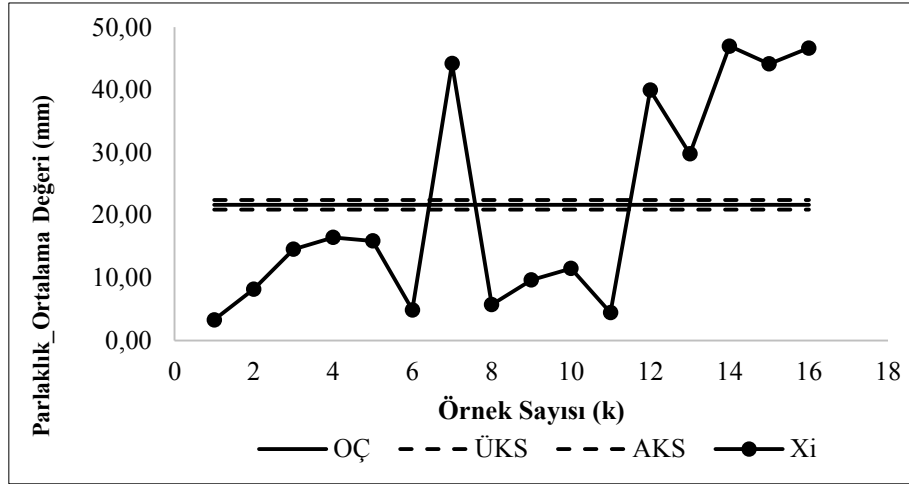
$$AKS_s=2,88$$

$$OÇ_s=5,09$$

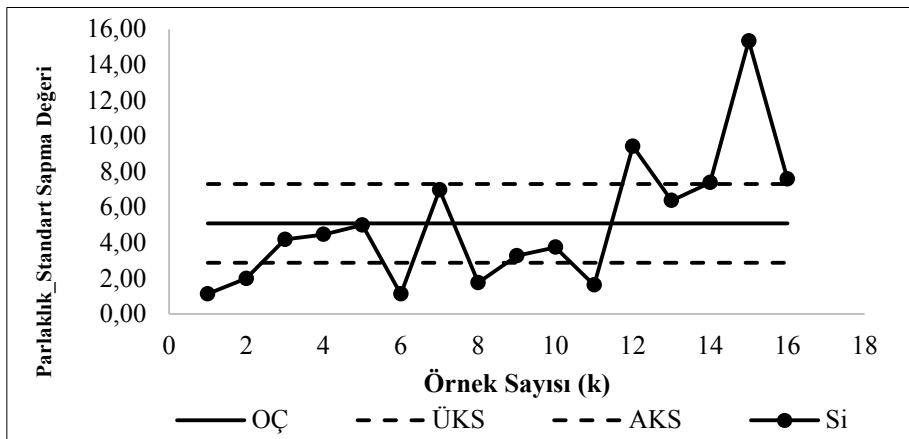
$$ÜKS_s=7,31$$

16 adet örneğe glossmetre ile yapılan ölçümlerde taşın parlaklığının çok da iyi olmadığını, müşterinin fayansları honlu/ham olarak nitelendirilen yüzey işlemine göre kabul göreceğini aksi halde örneklerin tekrar silim hattına verilerek cilalanması gerektiği söylenebilir. Böyle bir durum, işletme açısından zaman kaybı ve ekstra maliyet anlamına gelmektedir.

Şekil 7 örneklerin parlaklık ortalama değerlerinin tamamının sınır dışında olduğunu göstermektedir. Fakat standart sapma kontrol grafiğine (Şekil 8) bakıldığında 9 örneğin kontrol dışı olduğunu söylemek mümkündür. Neredeyse yarı yarıya bir durum söz konusudur.



Şekil 7. Mermer fayansların parlaklığı için oluşturulan ortalama kontrol grafiği



Şekil 8. Mermer fayansların parlaklığı için oluşturulan standart sapma kontrol grafiği

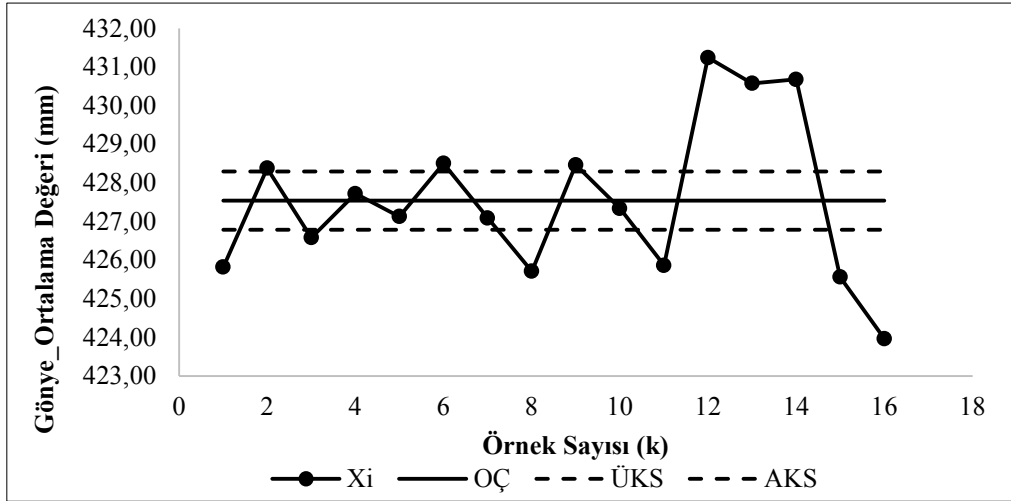
Gönye birim değerleri için;
Ortalama kontrol grafiği için (Çizelge 2);

$AKS_{\bar{x}}=426,79$
 $OÇ_{\bar{x}}=427,54$
 $ÜKS_{\bar{x}}=428,29$

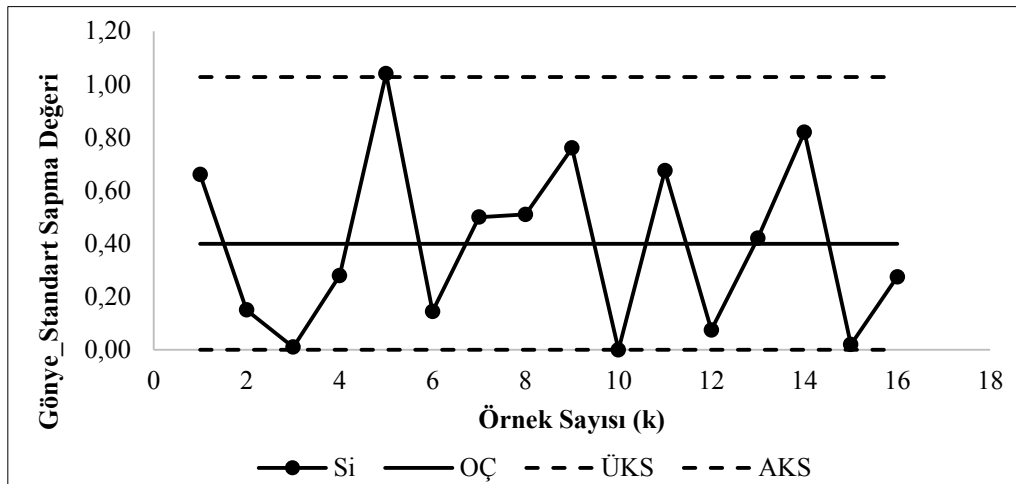
Standart Sapma kontrol grafiği için;

$AKS_s=0,40$
 $OÇ_s=0,40$
 $ÜKS_s=1,03$

Şekil 9, alınan örneklerden yarısının gönye ölçümlerinin sınır dışı olduğunu göstermektedir. Standart sapmalarına bakıldığı takdirde tüm örnekler uyum içinde olduğundan kabul edilebilir sınırlar içerisindedirler. Şekil 10 ise tüm örneklerden alınan gönye ölçümlerinin standart sapma ile uyum içinde olduğunu göstermekte ve kabul edilebilir ölçülerde olduğunu söylemektedir. Alınan örnekler üzerinden X-S kontrol grafiklerinde ÜKS ve AKS dışında kalan örneklerin olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 9. Mermer fayanslarının gönyesi için oluşturulan ortalama kontrol grafiği



Şekil 10. Mermer fayanslarının gönyesi için oluşturulan standart sapma grafiği

5. SONUÇ

Mermer sektöründe müşteriye sunulan nihai ürünlerin kalite standartlarının oluşturulması ve kalitedeki sürekliliğin sağlanması önemlidir. Mermer fabrikalarında levha ve fayanslara belirli aşamalarda, belirli sürelerle kalite kontrol çalışmaları yapılmalıdır. Satışa sunulan mermerlerin cilalama esnasındaki kalitesi, ebatlarında ve gönyelerindeki kusursuzluk, pahlamanın düzgünlüğü, renk ve desenindeki homojenlik özellikle ihracat açısından dikkat edilmesi gereken özelliklerdir.

Bu çalışmada mermer fabrikasından alınan 1,25x30,5x30,5 cm ebatlarındaki cilalı fayansların ortalama ölçüleri 1,29x30,44x30,42 cm olarak ölçülmüştür. Fayans ölçülerinde kalınlık değeri $\pm 0,5$ mm, en-boy değeri ± 1 mm tolerans göz önünde bulundurulduğunda üretimin kaliteli olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca, parlaklık ve gönye referans aralığına bakıldığında örneklerin cilasının iyi olmadığı ve gönyede sapmalar olduğu gözlenmektedir.

İstatiksel Proses Kontrolüne göre yapılan kalınlık, en, boy, parlaklık ve gönye ölçümleri sonucunda bazı örneklerin AKS ve ÜKS sınırları dışında olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle son örneklerdeki sapmalar kabul edilebilir ortalama değerler içerisinde değildir. Standart sapma grafikleri göz önünde bulundurularak örnekler kabul edilebilir. Bu sapmaların birçok nedeni olabilir.

Genel olarak mermer fayans ölçüleri tolere edilebilir olsa bile bu sapmaların nedenleri araştırılmalı ve müşteri memnuniyetinin maksimum düzeye çıkarılması hedeflenmektedir. Bu hedefe ulaşmak için öncelikli olarak kesim hattı ve Kontrol grafiği silim hattı gözden geçirilerek gerekli ayarlamalar yapılarak bakım çalışmalarına öncelik verilmelidir. Ayrıca makinadan sorumlu personelin istenilen ürün kalitesini belirleyebilmesi için seleksiyon ayırımı, ürün yüzey pürüzlülüğü, kenar-pah kontrolü gibi kaliteyi etkileyen faktörleri titizlikle yapması gerekmektedir. Sorumlu personel bu ayırmaları yapmadığı takdirde belirli bir süre kalifiye

personel tarafından fayans üretim hattında kaliteyi etkileyen faktörler yerinde gösterilerek öğretilmelidir.

Kalite ve kaliteli üretim her zaman olması gereken ve her sektörde önemli olan bir kavramlardır. Özellikle mermer sektöründe müşteri memnuniyeti ve kaliteli ürün satışı önemlidir. Bu yüzden, mermer fabrikalarında üretilen ürünler üzerinde kalite kontrol çalışmalarının bilimsel yöntemlerle yapılmasının önemi büyüktür.

6. KAYNAKLAR

1. Ersoy, A.H., 2002. Mermer İşletmelerinde Kalite Maliyetleri. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 98.
2. Akkoyun, Ö., 2006. Mermer İşleme Tesislerinde Kalite Maliyetlerine Bağlı Üretim Optimizasyonu. Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir, 160.
3. Dağlı, K., 2019. Doğaltaş Fabrikalarında Üretim Sürecinin Kalite Kontrol Grafikleri ile Değerlendirilmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, 117.
4. Polat, E., 2008. Doğaltaş Sektöründe Ebatlı Ürünlerin EN-TSE Standartlarına Uygunluğunun Araştırılması ve TEM-MER A.Ş. Ürünleri Üzerinde Değerlendirilmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, 96.
5. Saraç, S., Özdemir, G., 2003. Mermer Fayanslarının Boyutlandırılmasında İstatistiksel Kalite Kontrolü. MERSEM'2003 Türkiye IV. Mermer ve Doğal Taş Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyon, 15-26.
6. Büyüksağis, İ. S., Bozkurt, R., 2001. Doğal Taş Endüstrisinde Standardizasyon ve Kalite Kontrolünün Önemi ve Genel Uygulama Alanları. Y. Kibici ve İ. S. Büyüksağis, (Ed.), TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, MERSEM'2001 Türkiye III. Mermer ve Doğal Taş Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyon, 351-360.
7. Ankara, H., Yerel, S., 2008. Use of Range Control Charts in Determination of Variability

- in Surface Parallelisms of Plates. Journal of Scientific & Industrial Research, 67, 1078-1082.
8. Sarıışık, A., Sarıışık, G., Polat, E., 2010. Mermer Makinelerinde Üretilen Doğaltaş Nihai Ürünlerin Kalite Kontrolü ve Standartlara Uygunluğu. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, II. Uluslararası Mermer ve Doğal Taşlar Kongresi, İzmir, 99-113.
 9. Çetintaş, S., Nazlı, İ., 2018. Doğaltaş Parlatma Sürecinde Kalınlık ve Parlaklık Değişiminin Shewhart Kontrol Grafikleri ile İncelenmesi. Madencilik, 57(3), 177-187.
 10. Aykul, H., Akcakoca, H., Ediz, G., Taksuk, M., 2005. Garp Linyitleri İşletmesi Termik Santral Kömürleri için İstatistiksel Süreç Kontrol Analizi. 19 Uluslararası Madencilik Kongresi, Türkiye, 313-321.
 11. Eevli, S., 2006., Coal Quality Control With Control Charts. International Journal of Coal Preparation and Utilization, 26(4), 181-199.
 12. Eevli, S., Behdioğlu, S., 2006. İstatistiksel Proses Kontrolü Teknikleri ile Kömür Kalitesindeki Değişkenliğin Belirlenmesi. Madencilik, 45, 19-26.
 13. Eevli, S., Uzgören, N., Savas, M., 2009. Control Charts for Autocorrelated Colemanite Data. Journal of Scientific & Industrial Research. 68, 11-17.
 14. Arslan, V., Bayat, O., 2012. Çukurova Bölgesindeki Kömür Briketleme Fabrikalarına İstatistiksel Kalite Kontrol Uygulaması. 18. Kömür Kongresi, Türkiye, 111-122.
 15. Arslan, V., 2017. Bakır Konsantre Tesislerinde Kontrol Kartlarının ve Çok Boyutlu Ölçekleme Analizinin Uygulanması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(1), 99-108.
 16. Arslan, V., 2019. Toplam Renk Farklılığı Parametresi Kullanılarak Bulanık Mantık Yöntemiyle İstatistiksel Kalite Kontrolü: Alüminyum Üretim Tesisinde Bir Uygulama. Madencilik, 58(3), 219-228.
 17. Aytaç, E., 2006. Kalite Kontrolde Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Bir Uygulama. Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 249.
 18. Özçil, A., 2014. Shewhart, CUSUM ve EWMA Kontrol Grafiklerinin Bir Üretim İşletmesinde Uygulanması, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 128.
 19. Alakoç, N., 2012. Bulanık Kalite Kontrol Grafiklerinde Yeni Bir Yaklaşım (Oran Yaklaşımı). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 131.

Ek 1. \bar{X} , R ve S çizelgeleri için kontrol limitleri belirleme katsayıları [18]

| n | A | A ₂ | A ₃ | B ₃ | B ₄ | B ₅ | B ₆ | D ₁ | D ₂ | D ₃ | D ₄ | C ₄ | d ₂ |
|----|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2 | 2.121 | 1.880 | 2.659 | 0.000 | 3.267 | 0.000 | 2.606 | 0.000 | 3.686 | 0.000 | 3.267 | 0.7979 | 1.128 |
| 3 | 1.732 | 1.023 | 1.194 | 0.000 | 2.568 | 0.000 | 2.276 | 0.000 | 4.358 | 0.000 | 2.575 | 0.8862 | 1.693 |
| 4 | 1.500 | 0.729 | 1.628 | 0.000 | 2.266 | 0.000 | 2.088 | 0.000 | 4.698 | 0.000 | 2.282 | 0.9213 | 2.059 |
| 5 | 1.342 | 0.577 | 1.427 | 0.000 | 2.089 | 0.000 | 1.964 | 0.000 | 4.918 | 0.000 | 2.115 | 0.9400 | 2.326 |
| 6 | 1.225 | 0.483 | 1.287 | 0.030 | 1.970 | 0.029 | 1.874 | 0.000 | 5.078 | 0.000 | 2.004 | 0.9515 | 2.534 |
| 7 | 1.134 | 0.419 | 1.187 | 0.118 | 1.882 | 0.113 | 1.806 | 0.204 | 5.204 | 0.076 | 1.924 | 0.9594 | 2.704 |
| 8 | 1.061 | 0.373 | 1.099 | 0.185 | 1.815 | 0.179 | 1.751 | 0.388 | 5.306 | 0.136 | 1.864 | 0.9650 | 2.847 |
| 9 | 1.000 | 0.337 | 1.032 | 0.239 | 1.761 | 0.232 | 1.707 | 0.547 | 5.393 | 0.184 | 1.816 | 0.9693 | 2.970 |
| 10 | 0.949 | 0.308 | 0.975 | 0.284 | 1.716 | 0.276 | 1.669 | 0.687 | 5.469 | 0.223 | 1.777 | 0.9727 | 3.078 |
| 11 | 0.905 | 0.285 | 0.927 | 0.321 | 1.679 | 0.313 | 1.637 | 0.811 | 5.535 | 0.256 | 1.744 | 0.9754 | 3.173 |
| 12 | 0.866 | 0.266 | 0.886 | 0.354 | 1.646 | 0.346 | 1.610 | 0.922 | 5.594 | 0.283 | 1.717 | 0.9776 | 3.258 |
| 13 | 0.832 | 0.249 | 0.850 | 0.382 | 1.618 | 0.374 | 1.585 | 1.025 | 5.647 | 0.307 | 1.693 | 0.9794 | 3.336 |
| 14 | 0.802 | 0.235 | 0.817 | 0.406 | 1.594 | 0.399 | 1.563 | 1.118 | 5.696 | 0.328 | 1.672 | 0.9810 | 3.407 |
| 15 | 0.775 | 0.223 | 0.789 | 0.428 | 1.572 | 0.421 | 1.544 | 1.203 | 5.741 | 0.347 | 1.653 | 0.9823 | 3.472 |
| 16 | 0.750 | 0.212 | 0.763 | 0.448 | 1.552 | 0.440 | 1.526 | 1.282 | 5.782 | 0.363 | 1.637 | 0.9835 | 3.532 |
| 17 | 0.728 | 0.203 | 0.739 | 0.466 | 1.534 | 0.458 | 1.511 | 1.356 | 5.820 | 0.378 | 1.622 | 0.9845 | 3.588 |
| 18 | 0.707 | 0.194 | 0.718 | 0.482 | 1.518 | 0.475 | 1.496 | 1.424 | 5.856 | 0.391 | 1.608 | 0.9854 | 3.640 |
| 19 | 0.688 | 0.187 | 0.698 | 0.497 | 1.503 | 0.490 | 1.483 | 1.487 | 5.891 | 0.403 | 1.597 | 0.9862 | 3.689 |
| 20 | 0.671 | 0.180 | 0.680 | 0.510 | 1.490 | 0.504 | 1.470 | 1.549 | 5.921 | 0.415 | 1.585 | 0.9869 | 3.735 |
| 21 | 0.655 | 0.173 | 0.663 | 0.523 | 1.477 | 0.516 | 1.459 | 1.605 | 5.951 | 0.425 | 1.575 | 0.9876 | 3.778 |
| 22 | 0.640 | 0.167 | 0.647 | 0.534 | 1.466 | 0.528 | 1.448 | 1.659 | 5.979 | 0.434 | 1.566 | 0.9882 | 3.819 |
| 23 | 0.626 | 0.162 | 0.633 | 0.545 | 1.455 | 0.539 | 1.438 | 1.710 | 6.006 | 0.443 | 1.557 | 0.9887 | 3.858 |
| 24 | 0.612 | 0.157 | 0.619 | 0.555 | 1.445 | 0.549 | 1.429 | 1.759 | 6.031 | 0.451 | 1.548 | 0.9892 | 3.895 |
| 25 | 0.600 | 0.153 | 0.606 | 0.565 | 1.435 | 0.559 | 1.420 | 1.806 | 6.056 | 0.459 | 1.541 | 0.9896 | 3.931 |

Arabik Gam Katkılı Doğal Kil Zeminin Konsolidasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ufuk TUNÇ^{*1} ORCID 0000-0002-9986-9456
Baki BAĞRIÇIK² ORCID 0000-0002-1860-2881
Hayri ASLAN² ORCID 0000-0003-2932-3287
Gökhan ALTAY³ ORCID 0000-0002-1174-545X
Ahmet ŞENOL⁴ ORCID 0000-0002-9104-0424

¹Kayseri Üniversitesi, Tomarza Mustafa Akıncıoğlu Meslek Yüksekokulu, Yapı Denetimi Programı, Kayseri

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

³Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

⁴Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sivas

Geliş tarihi: 28.03.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: TUNÇ, U., BAĞRIÇIK, B., ALTAY, G., ŞENOL, A., ASLAN, H., (2022). Arabik Gam Katkılı Doğal Kil Zeminin Konsolidasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 731-739.

Öz

Zeminleri iyileştirmek için yaygın olarak kullanılan katkıların yerine, doğaya zarar vermeyen alternatif malzemelerin kullanılabilirliği araştırma konusu olmuştur. Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan bu katkılara bir alternatif olan Arabik Gam (AG) biyopolimerinin doğal kil zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Doğal kil zemin ve AG biyopolimerinin ilave edildiği doğal kil zeminin zamana bağlı oturma davranışı incelenmiştir. Bu bağlamda, doğal kil zemin numunesine ağırlıkça %1, %2, ve %3 olarak ıslak karışım yapılarak 1, 7, 14 ve 21 günlük kür süreleri için konsolidasyon deneyi gerçekleştirilmiştir. Konsolidasyon deneyi sonucunda, doğal kil zeminin ve doğal kil zemine AG biyopolimeri ilave edilerek hazırlanan numunelerin konsolidasyon deney verileri karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile AG biyopolimerinin doğal kil zeminin oturma davranışını olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca AG'nin doğal bir malzeme olmasından dolayı bu tür zeminlerin mühendislik özelliklerinin çevreye zarar vermeden iyileştirilebileceği de belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin iyileştirme, Arabik gam, Konsolidasyon, Biyopolimer

Evaluation of Consolidation Results of Arabic Gum Added Natural Clay Soil

Abstract

The availability of alternative materials that do not harm the nature, instead of the additives that are widely used to improve soils, has been the subject of research. In this study, the usability of the biopolymer (Arabic Gum-AG), which is an alternative to the commonly used additives of natural clay soil, in soil improvement was investigated. Time dependent settlement behavior of natural clay soil with

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Ufuk TUNÇ, ufuktunc@kayseri.edu.tr

and without AG biopolymer was investigated. In this context, the consolidation test was carried out for 1, 7, 14 and 21 days curing periods by making wet mixture of 1%, 2%, and 3% by weight of the natural clay soil sample. As a result of the consolidation test, the consolidation test data of the natural clay soil and the samples prepared by adding AG biopolymer to the natural clay soil were compared. With this study, it was concluded that AG biopolymer positively affects the settlement behavior of natural clay soil. In addition, since AG is a natural material, it has been determined that the engineering properties of such soils can be improved without causing any damage to the environment.

Keywords: Soil improvement, Arabic gum, Consolidation, Biopolymer

1. GİRİŞ

Gelişen dünyada artan nüfus ile beraber canlıların ihtiyaçları için oluşturulan yapılar artmaktadır. Mühendislik bakımından yapıların inşa edileceği zeminlerde, yumuşak ve gevşek durum olarak ifade edilen zeminlerin taşıma gücü ve deformasyon problemleri ile karşılaşılması bilinmektedir. Genellikle gevşek durumda olan kumların taşıma gücünü arttırmak ve sıvılaşma potansiyelini azaltmak; yumuşak zeminlerin taşıma gücünü arttırmak ve oturmasını belirli bir yerde sınırlandırmak için zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulmaktadır [1].

Günümüzde zemin iyileştirme geleneksel yöntemlerle yapılmaktadır fakat son zamanlarda artan çevre duyarlılığı ve sürdürülebilir malzemelerin kullanılması zemin iyileştirmede alternatif malzemelerin kullanımını mümkün hale getirmiştir. Yapıların oturacağı zeminler her zaman istenilen mühendislik parametrelerini sağlayamayabilir. Mühendislik özellikleri bakımından yeterli olmayan zeminler için iyileştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Genellikle zemin iyileştirme için yaygın kullanılan materyaller kireç, uçucu kül, çimento şeklindedir. Bu ilave materyaller kullanıldığında bazı olumsuz yanları da vardır. Bu ilave materyallerin üretim aşamasında ve kullanımı sırasında atmosfere verilen karbondioksit (CO₂) çevresel kirliliğe yol açmaktadır. Bu sebepten dolayı yaygın olarak kullanılan katkıları yerine alternatif olabilecek çevreci malzemelere yönelinmektedir [2].

Literatürde, zemin iyileştirmede biyopolimerinin kullanılması hakkında bazı çalışmalara yer verilmiştir.

Lee ve arkadaşları (2019), Sri Lanka'da yol inşaatında kullanılan yol stabilizasyon malzemesi için bağlayıcı olarak Xanthan Gum biyopolimeri kullanılarak diğer zemin iyileştirmede kullanılan malzemeler ile karşılaştırılmasını yapmışlardır. 1%, 1,5% ve 2% olarak karıştırılan biyopolimerin 3 ve 28 günlük dayanımlarına bakılmıştır. 28 günlük karışım için serbest basınç dayanımı 0,21 Mpa' dan 4,9 Mpa' a artış gösterdiği sonucunu elde etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar çevresel etkisi açısından çeşitli zemin iyileştirme yöntemlerine göre biyopolimerin daha düşük karbondioksit yaydığından sürdürülebilir çevre dostu malzeme olduğu için, biyopolimerlerin kullanılmasının uygun olabileceğini ifade etmişlerdir [3].

Çabalar ve arkadaşları (2018), biyopolimerli düşük plastisiteli killerin geoteknik özellikleri hakkında yaptıkları çalışmada yüksek gerilme mukavemetine sahip zararsız mikrobiyal olarak indüklenmiş Xanthan Gum biyopolimeri kullanmışlardır. Kil zemine ağırlıkça %0, %0,5, %1,0, %1,5, %2,0 ve %3,0 karıştırılarak farklı kür sürelerinde (0, 7, 28 ve 56 gün) biyopolimerin kil zemin üzerinde etkisini belirlemek için serbest basınç deneyi, laboratuvar veyn deneyi, düşen koni, ödometre, permeabilite, şişme ve büzülme testleri gerçekleştirmişlerdir. Test sonuçlarına göre kil numunelerin mukavemeti biyopolimer oranı ve kürlenme süresi arttıkça sürekli arttığı sonucuna varmışlardır. Biyopolimer ile iyileştirilmiş numunelerin kil numuneye göre permeabilitesinin daha düşük olduğu, sıkışma indeksinin ve şişme yüzdesinin daha yüksek olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Biyopolimerlerin zemin iyileştirmede alt temel, dolgu ve derin karıştırma için uygun olabileceğini ifade etmişlerdir [4].

Ayeldeen ve arkadaşları (2017), iki biyopolimer kullanarak göçebilen zeminin mekanik davranışının iyileştirilmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Araştırmada numunelerin üç ana özelliği (kompaksiyon karakterleri, oturma potansiyelleri ve kayma gerilmeleri) farklı biopolimer oranlarında ve iki farklı kür süresinde (karıştırdıktan hemen sonra ve bir hafta sonra) incelenmiştir. %2 oranında biyopolimer, ıslak karışım yöntemi ile zemine karıştırıldığında zeminlerde kayma yenilmesi potansiyelinin %9 dan %1'e düştüğünü gözlemişlerdir. Biyopolimerlerin, ıslak karışım yöntemi ile hazırlanan numunelerin kuru karışım ile hazırlanan numunelere oranla numunenin oturma kapasitesini 2 ila 3 kat daha fazla azalttığı görülmüştür. Her iki durumda da oturma miktarının gözle görülür oranda azaldığını ifade etmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda Guar gam biyopolimeri zemin kohezyonunu arttırmada ve oturma potansiyelini azaltmada, Xanthan gam biyopolimerinden %20 daha etkili olduğunu ifade etmişlerdir [5].

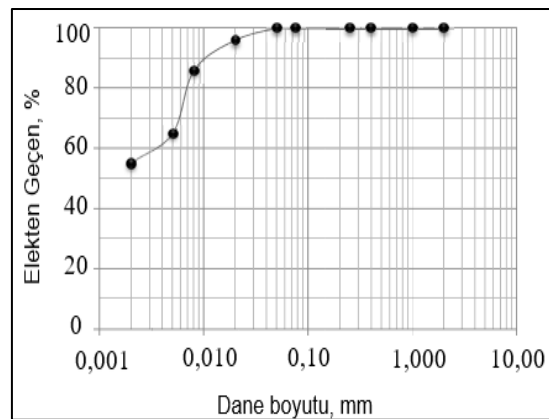
Kahiyah (2020), çalışmasında farklı karışım oranlarına sahip dört çeşit biyopolimeri (Agar Gam, Arabik gam, Guar Gam ve Xanthan Gam), Adana ilinden belirli özelliklere sahip killi zemin numunesine (%1, %2 ve %3) her biyopolimer için ayrı ayrı karıştırarak, biyopolimer katkılı ve katkısız killi zeminin geoteknik özelliklerini araştırmıştır. Serbest basınç mukavemeti için hazırlanan numuneleri, kür süresinin biyopolimer katkı maddeleri üzerindeki etkisini belirlemek için (1, 7, 14 ve 21) gün süreyle kür uygulamıştır. Biyopolimerlerin, maksimum basınç dayanımı elde edilen karışım oranları; Agar Gam için %2, Arabik gam için %3, Guar Gam için %1 ve Xanthan Gam için %2 belirlemiştir. Bu araştırmada kullanılan biyopolimerlerin, killi zeminin mühendislik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini ve çevre dostu malzeme olduğunu ifade etmiştir [6].

Bu çalışma kapsamında, Arabik Gam biyopolimerinin alternatif bir malzeme olarak geleneksel katkıların yerine kullanılabilirliğinin araştırılması planlanmıştır. Doğal kil zeminine farklı oranlarda ilave edilen Arabik Gam biyopolimerinin, kilin zamana bağlı oturma davranışını nasıl etkilediği araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan kil zemin numunesi Adana sınırları içerisinde elde edilmiştir. Dane dağılım eğrisine Şekil 1'de yer verilmiştir. Doğal kil zemin olarak kaolin kil zemin numunesi kullanılmıştır. Endeks özellikleri TS 1900-1 standartına uygun olarak birim hacim ağırlığı 27 kN/m^3 , maksimum kuru birim hacim ağırlık $17,40 \text{ kN/m}^3$ ve optimum su içeriği %18,10 olarak belirlenmiştir. Doğal kil zemin numunesine ait likit limit %42, plastik limit %24 olarak belirlenmiştir. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre düşük plastisiteli kil (CL) olarak belirlenmiştir. Doğal kil zemin numunesine ait kimyasal içeriği ise Çizelge 1'de yer verilmiştir. Akasya zamkı olarak bilinen ayrıca arap zamkı olarak da adlandırılan Arabik gam toz hali bu çalışmada bağlayıcı biyopolimer olarak kullanılmıştır. Polimer, çok büyük moleküllerden oluşan ve monomer adı verilen daha basit kimyasal birimlerin birleşmesi ile olan makromoleküller olarak adlandırılan doğal veya sentetik maddeler olarak ifade edilmektedir. Polimerler, örneğin proteinler, selüloz ve nükleik asitler dahil olmak üzere canlı organizmalardaki birçok materyali oluşturmaktadır. Ayrıca elmas, kuvars ve feldspat gibi minerallerin ve beton, cam, kâğıt, plastik ve kauçuk gibi insan yapımı malzemelerin temelini oluştururlar.



Şekil 1. Dane çapı dağılım eğrisi [6]

Çizelge 1. Doğal kil zemin kimyasal içeriği [6]

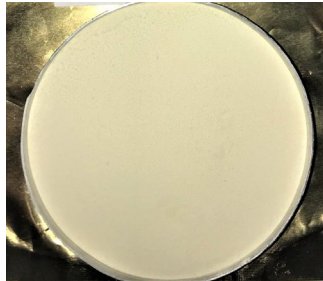
| İçerik | (%) | İçerik | (%) |
|--------------------------------|------|--------------------------------|------|
| MgO | 6,1 | MnO | 3,1 |
| Al ₂ O ₃ | 18,4 | Fe ₂ O ₃ | 8,7 |
| SiO ₂ | 50,6 | Na ₂ O | 2,5 |
| P ₂ O ₅ | 0,65 | TiO ₂ | 1,65 |
| K ₂ O | 3,1 | SO ₂ | - |
| CaO | 3,2 | LL | 3,15 |

Polimerlerin çoğu karbon bileşiklerinden meydana geldiğinden organik madde olarak kabul edilirler.

Polimerler, sağlıktan savunma sanayiye, uzay teknolojilerinden tekstil endüstrisine her alanda geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Bir diğer polimer sınıfı ise canlılar (bitki ve hayvanlar) tarafından oluşturulan biyopolimerlerdir [7].

Afrika'dan başlayıp Hint yarımadasına kadar değişen bölgede yetişen akasya türünden elde edilen Arabik gam parçaları suda çözünme özelliğine sahiptir. Akasya zambakı bitkilerden küçük kütleler halinde hasatı yapılmaktadır. İçerisinde yer alan yabancı maddeler ayrıştırılır ve kurutulurak öğütülür hazır hale getirilir. Arabik gam adımı, bu doğal malzemeyi Avrupa'ya ticaretini yapan Arap tüccarlardan almıştır. Stabilize sağlayıcı, koyulaştırıcı ve bağlayıcı özellikleri nedeniyle, gıda sektöründe tercih edilmektedir. Muhteva olarak içeriğinde yer alan mineraller Ca, Na, K, P ve Pb, Co, Cu, Zn, Ni, Cd, Cr ve Mn'dir [8].

Bu çalışmada tercih edilen biyopolimer malzemenin, toz hali Şekil 2'de granül hali Şekil 3'te ve kimyasal ve fiziksel özellikleri ise Çizelge 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Akasya zambakı (Arabik Gam) toz biyopolimer



Şekil 3. Akasya zambakı (Arabik Gam) biyopolimer granül hali [Anonim]

Çizelge 2. Akasya zambakı (Arabik gam) kimyasal ve fiziksel özellikler [9]

| Özellikler | Veriler |
|-------------------|-------------------|
| pH | 4,7 |
| Renk | Sarımsı beyaz toz |
| Nem | %9,4 |
| Toplam kül | %3,3 |
| Toplam ağır metal | <5 ppm |
| Kurşun | <1 ppm |
| Arsenik | <3 ppm |
| Cıva | <1 ppm |
| Katminyum | <1 ppm |

2.2. Metot

Doğal kil zemin ile gerçekleştirilen çalışmada zamana bağlı oturma davranışını incelemek için optimum su içeriğinde hazırlanan karışımların konsolidasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca doğal kil zemin numunesine %1, %2 ve %3 AG biyopolimeri ilave edilerek 1, 7, 14 ve 21 günlük kür sürelerinde zamana bağlı oturma davranışlarını incelemek için konsolidasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kil zemin standart proktor deneyi sonucunda elde edilen optimum su içerikleri ve %1, %2 ve %3 AG biyopolimeri ilave edilerek optimum su muhtevaları, Kahiyah (2020) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır. Deneysel çalışmalar Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Zemin Mekaniği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir [10].

2.2.1. Islak Karışım Yöntemi ile Biyopolimerin Aktifleştirilmesi

AG biyopolimeri doğal kil zemin numunesine ağırlıkça %1, %2 ve %3 karıştırılmadan önce, ağırlıkça belirlenen biyopolimerler ıslak karışım yöntemi ile sabit devirli karıştırıcı yardımı ile karıştırılmıştır.

2.2.2. Konsolidasyon (Ödometre) Deney Numunelerinin Hazırlanması

Belirli yük altında, zamana bağlı oturma davranışını incelemek için doğal kil zemin numunesinde konsolidasyon ring hücresi içerisinde yapay örselenmemiş numuneler TS 1900-2 standartına uygun olarak hazırlanmıştır.

Çalışmada kullanılacak olan malzemeler Şekil 4'te yer verilmiştir. Konsolidasyon testine tabii tutulacak doğal kil zemin numunesi ve doğal kil zemin numunesine ağırlıkça ıslak karışım yöntemi ile optimum su içeriğinde %1, %2 ve %3 AG eklenerek oluşturulan karışımlar kullanılmıştır. Konsolidasyon hücresine yerleştirilecek ring numune boyutları; numune yüksekliği 19 mm ve genişliği 50 mm şeklindedir.



Şekil 4. Konsolidasyon deney numunelerini hazırlamak için kullanılan malzemeler

Konsolidasyon deneyinde testi gerçekleştirilecek numuneler, standart proktor kabında optimum su muhtevasında sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Sıkıştırılmış doğal kil zemin numunesi ve AG ile

iyileştirilen doğal kil zemin numuneleri içerisinde ring çapı ile aynı boyutta tüp, hidrolik bir kriko yardımı ile oluşturulan zemin içerisinde geçirilerek numune alınmıştır (Şekil 5).

2.2.3. Kürleme İşlemi

Tüp içerisine alınan sıkıştırılmış karışımdan ring boyutlarında uygun yerlerden kesimler yapılarak ring içerisine alınmıştır. Ring içerisine yerleştirilen AG karışımı numuneler 1, 7, 14 ve 21 günün sonundaki konsolidasyon testine tabii tutulmak için uygun kür koşullarında bir film ile kaplanarak sabit nem ve sıcaklıkta bekletilmiştir.

2.2.4. Konsolidasyon (Ödometre) Deneyi

Konsolidasyon deneyi yanal şekil değiştirmesi kısıtlanmış olan, suya doygun, örselenmemiş veya sıkıştırılan zemin numunesinin alt ve üst yüzeyinden drenaj sağlanarak, düşey ve eksenel bir basınç altında sıkışma miktarı ve hızının ölçümü ile ilgilidir. Konsolidasyon deney sistemi Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu deney TS 1900-2 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen konsolidasyon deneyinde yükleme 100, 200, 400 ve 800 kPa olacak şekilde; yükün boşaltılması ise etkiyen son yükleme basıncının dörtte biri 200 kPa olacak şekilde uygulanmıştır. Konsolidasyon deneyinin verileri ile oturma-zaman eğrileri ve boşluk oranı- logaritmik eksenle yük eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 5. Konsolidasyon deney sistemleri

Hesaplamalarda kullanılacak olan deney sonu muhtevası için, konsolidasyon deneyinden çıkarılan ring içerisinde yer alan numune tartıldıktan sonra 24 saat etüvde bekletilerek deney sonu su muhtevası belirlenmiştir. Terzaghi (1923) bir boyutlu konsolidasyon teorisinde yapılan kabuller ile (eşitlik 1, 2 ve 3) bazı hesaplamalar yapılmıştır. Deney sonu su muhtevası kullanılarak deney sonu boşluk oranı hesaplanmıştır (Eşitlik 1).

$$e_{son} = w_{son} G_s \quad (1)$$

Herhangi iki durum arasında; boşluk oranı ve boşluk oranı farkı ile yükseklik ve yükseklik farkı arasında ilişki Eşitlik 2’de yer verilmiştir.

$$\frac{\Delta e}{1+e} = \frac{\Delta H}{H} \quad (2)$$

Yukarıda yer alan bağıntı ile deney sonu boşluk oranına bağlı herhangi bir adımın sonundaki boşluk oranı bulunabilir (Eşitlik 3).

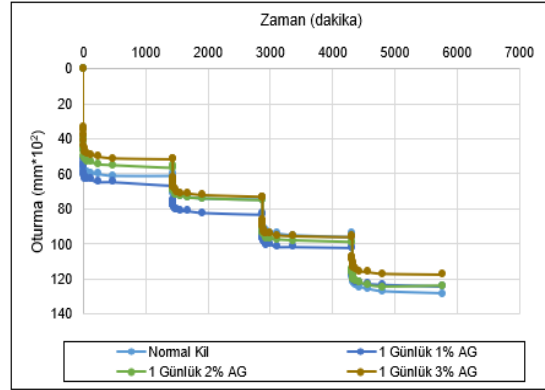
$$\Delta e = \frac{1+e_{son}}{H_{son}} \Delta H \quad (2)$$

Hesaplamalar sondan başa doğru yapılarak, her bir adım için boşluk oranı farkı kullanılarak boşluk oranları belirlenmiştir [11-15].

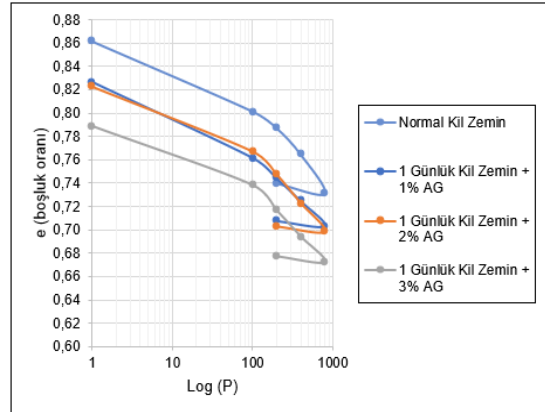
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. AG ile İyileştirilen Zeminlerin Konsolidasyon Deney Sonuçları

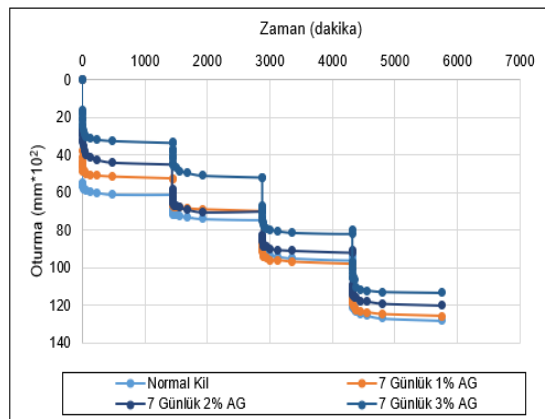
Bu bölümde doğal kil zemin ve doğal kil zemine AG ilave edilerek iyileştirilen zemin numunelerinden elde edilen örneklerle yapılan konsolidasyon deney sonuçlarına yer verilmiştir. Kür süresine göre boşluk oranı değişimleri ve zamana bağlı oturma davranışları farklı grafiklerde gösterilmiştir. Doğal kil zemine ağırlıkça %1, %2 ve %3 AG eklenerek hazırlanan numuneler 1, 7, 14 ve 21 günlük sürelerle kür edilmiş ve konsolidasyon deneylerinin sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 6-13’te gösterilmiştir.



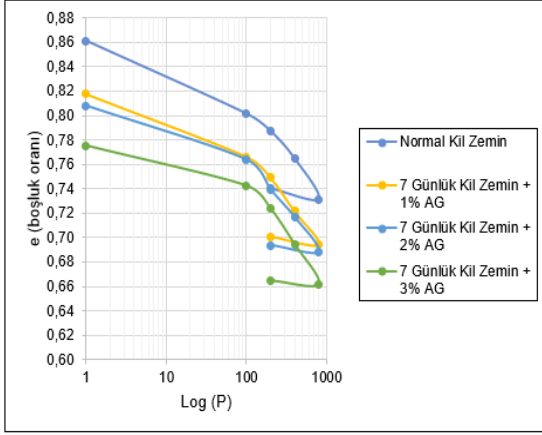
Şekil 6. 1 günlük süresi sonunda konsolidasyon oturma değerlerinin karşılaştırılması



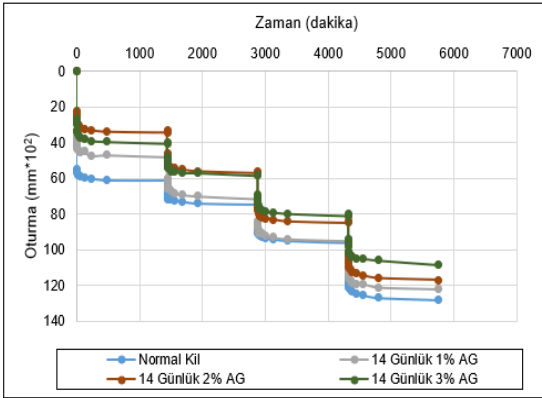
Şekil 7. 1 günlük süresi sonunda e-logP eğrilerinin karşılaştırılması



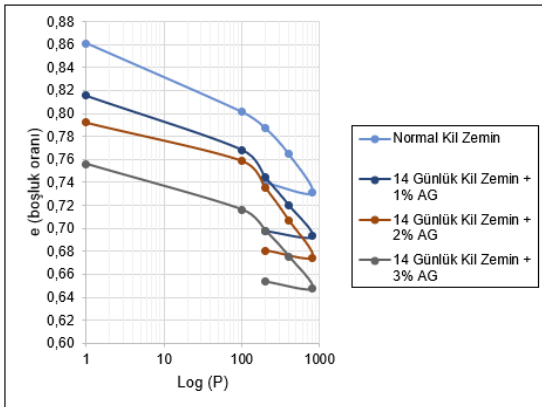
Şekil 8. 7 günlük süresi sonunda konsolidasyon oturma değerlerinin karşılaştırılması



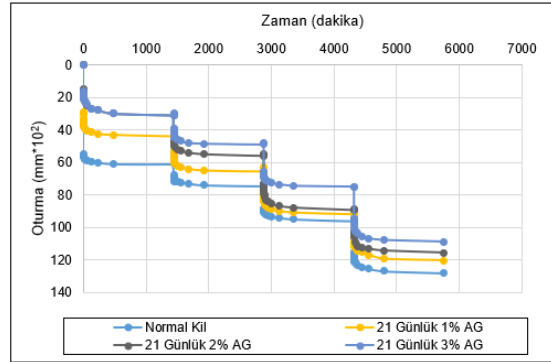
Şekil 9. 7 günlük süresi sonunda e-logP eğrilerinin karşılaştırılması



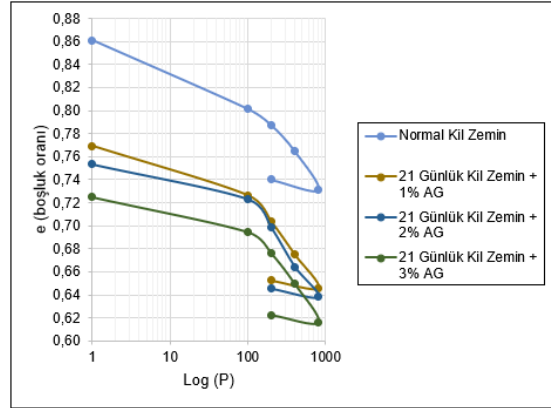
Şekil 10. 14 günlük süresi sonunda konsolidasyon oturma değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 11. 14 günlük süresi sonunda e-logP eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 12. 21 günlük süresi sonunda konsolidasyon oturma değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 13. 21 günlük süresi sonunda e-logP eğrilerinin karşılaştırılması

Doğal kil zemin numunesine AG ilave edilerek iyileştirilen numunelerin 1 günlük kür sürelerindeki zamana bağlı oturma davranışı incelendiğinde %1 ve %2 AG karışımında 1,22 mm aynı boy değişimi davranışı gösterirken %3 AG karışımında, 1,14 mm numune boy değişimi göstererek 1 günlük deney sonuçları arasında en iyi sonucu vermiştir. Doğal kil zemin numunesine AG ilave edilerek iyileştirilen numunelerin 7 günlük kür sürelerindeki zamana bağlı oturma davranışı incelendiğinde %1 AG, karışımında 1,21 mm numune boy değişimi göstermiştir. %2 AG karışımında, 1,16 mm numune boy değişimi davranışı gösterirken %3 AG karışımında, 1,13 mm numune boy değişimi göstererek 7 günlük deney sonuçları arasında en iyi sonucu vermiştir. Doğal kil zemin numunesine AG ilave edilerek

iyileştirilen numunelerin 14 günlük kür sürelerindeki zamana bağlı oturma davranışı incelendiğinde %1 AG karışımında, 1,20 mm numune boy değişimi göstermiştir. %2 AG karışımında, 1,14 mm numune boy değişimi davranışı gösterirken %3 AG karışımında, 1,04 mm numune boy değişimi göstererek 14 günlük deney sonuçları arasında en iyi sonucu vermiştir. Doğal kil zemin numunesine AG ilave edilerek iyileştirilen numunelerin 21 günlük kür sürelerindeki zamana bağlı oturma davranışı incelendiğinde %1 AG karışımında, 1,19 mm numune boy değişimi göstermiştir. %2 AG karışımında, 1,10 mm numune boy değişimi davranışı gösterirken %3 AG karışımında, 1,04 mm numune boy değişimi göstererek 21 günlük deney sonuçları arasında en iyi sonucu vermiştir. Zamana bağlı oturma davranışları incelendiğinde 1 günlük kür süresinde, AG ilave edilmeyen numuneye göre; %1 ve %2 AG ilave edilen numuneden %4,5, %3 AG ilave edilen numunede %10,5 daha az oturma göstermiştir. 7 günlük kür süresinde, AG ilave edilmeyen numuneye göre; %1 ilave edilen numuneden %5,2, %2 AG ilave edilen numuneden %8,3, %3 AG ilave edilen numunede %12,8 daha az oturma göstermiştir. 14 günlük kür süresinde, AG ilave edilmeyen numuneye göre; %1 ilave edilen numuneden %6, %2 AG ilave edilen numuneden %9,8, %3 AG ilave edilen numunede %16,5 daha az oturma göstermiştir. 21 günlük kür süresinde, AG ilave edilmeyen numuneye göre; %1 ilave edilen numuneden %5,3, %2 AG ilave edilen numuneden %11,3, %3 AG ilave edilen numunede %16,5 daha az oturma göstermiştir. En fazla numune boy değişimi AG ilave edilmeyen numuneden elde edilirken; en az boy değişimi ise %3 AG karışımında numuneden elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, doğal kil zeminlerle Arabik Gam (AG) biyopolimerinin belirli oranlarda karışımı ile oluşturulan numunelerin, zamana bağlı oturma davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak üzere bir seri deney yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Doğal kil zemin için konsolidasyon deney sonucu ile, akasya zamkı ile iyileştirilen

numunelerin sonuçları karşılaştırıldığında; AG biyopolimerinin doğal kil zemin numunesinin oturma davranışını etkilediğini, AG içeriği ve kür süresi arttıkça konsolidasyon oturmalarında azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Doğal kil zemin biyopolimer karışımlarında gerçekleştirilen konsolidasyon deneyi sonucunda en az oturma %3 AG karışımında, 14 ve 21 günlük kür sürelerindeki numunelerden elde edilmiştir. Konsolidasyon deneyi sonucunda AG iyileştirilen doğal kil zeminin, normal doğal kil zeminin zamana bağlı oturma değerine göre %16,5 daha az oturma gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Killi zeminleri stabilize etmek için kullanılan diğer katkı malzemelerine göre AG ilave edilen zeminler daha çevresel yönü ile ekolojik dengeye zarar vermeyeceği düşünülmektedir. Dolgulardaki özellikle yol dolgularındaki oturmaya yönelik performans artışı için çok daha maliyetli ve petrol türevi olan katkıların günümüzde zemin iyileştirme uygulamalarında kullanılmaktadır ancak seçilen yöntem ve ürün doğaya dönüşümü uzun vadede olan bu ürünlere bir alternatiftir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince, FYL-2021-13696 nolu proje numarası kapsamında desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Öztoprak, S., 2016. Zemin İyileştirilmesi: Yöntemlere Genel Bir Bakış. İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32.
2. Jang, J., 2020. A Review of the Application of Biopolymers on Geotechnical Engineering and the Strengthening Mechanisms Between Typical Biopolymers and Soils. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020, 16.
3. Lee, S., Chung, M., Asce, M., Park, H.M., Song, K., Chang, I., Asce, A.M., 2019. Xanthan Gum Biopolymer as Soil-Stabilization Binder for Road Construction Using Local Soil in Sri Lanka. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(11), 06019012.

4. Çabalar, A.F., Awraheem, M.H., Khalaf, M.M., 2018. Geotechnical Properties of a Low-Plasticity Clay with Biopolymer. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(8), 04018170.
5. Ayeldeen, M., Negm, A., El-Sawwaf, M., Kitazume, M., 2017. Enhancing Mechanical Behaviors of Collapsible Soil Using Two Biopolymers. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9, 329-339.
6. Kahiyah, M.T.M.A., 2020. Investigation of Engineering Properties of Clayey Soils Improved with Biopolymers. MSc Thesis, Cukurova University, Adana.
7. Keçecioglu, M., 2016. Kum Zeminlerin Biyopolimer ile İyileştirilmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 51.
8. Patel, S., Goyal, A., 2015. Applications of Natural Polymer Gum Arabic: A Review. *International Journal of Food Properties*, 18(5), 986-998.
9. Kimbiotek, 2021. Arabic Gam Ürün Spesifikasyonu, İstanbul.
10. Tunç, U., 2021. Akasya Zamkı (Arabik Gam) ile İyileştirilen Zeminlerin Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana, 83.
11. Özaydın, K., 2011. Zemin Mekaniği. Birsan Yayınevi, İstanbul, 350.
12. Uzuner, B. A., 2016. Temel Zemin Mekaniği. Derya Kitabevi, Trabzon, 740.
13. TS 1500, 2000: İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
14. TS 1900-1, 2006: İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
15. TS 1900-2, 2006: İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Free Vibration Analysis of Tapered Composite Aircraft Wing via the Finite Element Method

Büşra SARI¹ ORCID 0000-0002-5792-4381

Mahsa KAZEMI LICHAEI¹ ORCID 0000-0002-3121-3522

Sefa YILDIRIM^{*1} ORCID 0000-0002-9204-5868

¹Alanya Alaaddin Keykubat University, Mechanical Engineering Department, Antalya

Geliş tarihi: 23.03.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: SARI, B., KAZEMI LICHAEI, M., YILDIRIM, S., (2022). Free Vibration Analysis of Tapered Composite Aircraft Wing via the Finite Element Method. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 741-752.

Abstract

The responses of the structures used in engineering applications under the effects of static and dynamic forces are significant in the design phase. Determination of the response of dynamic forces for a structure is initially performed by the evaluation of free vibration characteristics that are mode shape of the structure and vibration frequencies. This paper presents modal analyses of tapered aircraft wing structures that consist of NACA4415 design and different common materials used in the aviation industry. Furthermore, the effect of winglets on natural frequencies is examined. The main wing structures as ribs and shells are drawn using CATIA and imported to ANSYS Workbench. Analyses have been carried out considering the aircraft wing as a three-dimensional cantilever beam by fixing one end (root chord) of the aircraft wing while the other end (tip chord) is free. The first ten modes of free vibration with their respective natural frequencies and mode shapes of the wing structures of the aircrafts are obtained. The results show that the winglets decrease the natural frequency noticeably and the shell material as Carbon Epoxy UD has been observed to have higher natural frequency compared with Kevlar Epoxy.

Keywords: Free vibration, Natural frequency, Modal analysis, Aircraft wing, Mode shapes

Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Kompozit Konik Uçak Kanadının Serbest Titreşim Analizi

Öz

Mühendislik uygulamalarında kullanılan yapıların statik ve dinamik kuvvetlerin etkisi altındaki tepkileri, yapıların tasarım aşamasında önemlidir. Bir yapı için dinamik kuvvetlerin tepkisinin belirlenmesi, öncelikle yapının mod şekli ve titreşim frekansları olan serbest titreşim özelliklerinin değerlendirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu makale, havacılık endüstrisinde kullanılan NACA4415 tasarımı ve farklı yaygın malzemelerden oluşan konik uçak kanat yapılarının modal analizlerini sunmaktadır. Ayrıca kıvrık

* Corresponding author (Sorumlu yazar) : Sefa YILDIRIM, sefa.yildirim@alanya.edu.tr

kanatçık eklemlerinin (winglets) doğal frekanslar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ana kanat yapıları olan nervür (rib) ve kabuk (shell) yapıları CATIA kullanılarak oluşturulmuştur ve ANSYS Workbench'e aktarılmıştır. Analizler, uçak kanadının bir ucu (kök kiriş) serbestken diğer ucu (uç kirişi) sabitlenerek üç boyutlu bir konsol kiriş olarak düşünülerek yapılmıştır. Uçak kanat yapılarının ilk on doğal frekansları ve ilgili mod şekilleri elde edilmiştir. Sonuçlar; kanat uçlarına kıvrık kanatçık eklenmesinin doğal frekansları oldukça düşürdüğünü ve kabuk malzemesi olarak Karbon Epoksi EY kullanmanın, Kevlar Epoksi kullanımına göre daha yüksek doğal frekanslar oluşturduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Serbest titreşim, Doğal frekans, Modal analiz, Uçak kanadı, Mod şekilleri

1. INTRODUCTION

The wing of an aircraft has a great influence on the aerodynamic performance of a structure of airplane. Stabilization of an aircraft consists of many aspects such as vibration controls in an airplane wing since dangerous vibrations in different modes such as torsion or stretching may occur. Therefore, it is supreme that the structure of an aircraft wing is designed to avoid the failure.

Modal analysis assists in the determination of the vibration characteristics of mechanical structures. The mechanical analysis of vibration plays a significant role in potential mathematical tools for modeling and problems which may be eliminated in preliminary engineering designs before manufacturing of the systems [1]. Besides vibrational characteristics of a mechanical system consists natural frequencies and mode shapes, the behavior of different parts of the mechanical structure under the conditions of dynamic load may be observed [2]. Furthermore, a description of a mechanical structure is carried out by modal analysis in terms of vibration characteristics which are natural frequency and mode shapes [3].

Modal analysis ensures to determine the reasons for vibrations that may cause damage to the aircraft system and is used in the reduction of the issues. Hence, free vibration analysis of an aircraft wing becomes a compelling problem to be handled during design process. In examination of gust responses, the fundamental aspect is considered to investigate the natural frequencies and modes. The wings of an airplane structure generally consist of non-uniform structures that has swept and tapered design. Non-uniform structure properties of an aircraft wing require advanced modeling due to the

effects of complex properties. Thus, free vibration analysis on airplane wing has attracted many scientific research areas to be investigated by.

In the last years, applications of aerospace have increased due to developments in the industry. A new design and developing the existing structural design of an aircraft requires knowledge and technical background. Therefore, much research may be found in the literature that focuses on the wing structure due to being complex assemblies of an aircraft. Erdener and Yaman performed research that aims to have development of an aircraft wing's structural model [4]. A finite element model of a wing was created, and dynamic analyses were performed on the finite element model that concluded the comparison of natural frequencies and mode shapes of the wing with effects on the structure. The aviation industry has taken great development in recent years by attempts to decrease the costs and increasing the efficiency by different research and comparison of proper material selection and lightweight materials were the key such as composites. Composites has many advantages compared to metals and other materials. The main composite materials used in the aircraft industry are reinforced fibers or particles provided by resin matrix [5]. The current presentation of the general wing structure was designed and analyzed by Yang et al. [6]. The study initiates with the sketch of the wing structure and analyses were carried out by using a numerical tool. Later, the aircraft wing optimization was carried out by altered types of material properties and boundary states. Furthermore, the modal analysis was performed for natural frequencies to investigate the vibration characteristics of the wing. The identification of the work was performed by vibration characteristics to

investigate an airplane wing. Complex design parameters and hard fabrication restricts experimental projects on aircraft wings. In addition to this, lack of resources for manufacturing results analysis of aircraft wings that are considered as cantilever beams for experimental projects of modal analysis. The investigation of the modal analysis of an aircraft wing was carried out by Khadse and Zaveri [7]. Modeling of the wing structure was handled in ANSYS software and modal analysis was performed by adding a fixed end while the other end was free. Then, the investigation of natural frequency and modes of vibration-assisted comparison for numerical results and analytical frequency of cantilever beam. According to Sureka and Meher [8], the effect of different types of materials for the structure of wings such as ribs, winglets, and shells was investigated. Modeling of a NACA airfoil with ribs was used by using different types of materials and the preference was concluded by aluminum. Banerjee [9] discussed in his research about dynamic behaviors of aircraft wings. Modal analysis of a transport aircraft was investigated and the significance of a deep approach for high aspect ratio wings was indicated by performing modal analysis. The cantilever beam theory was applied on the wing structure by boundary conditions and different mathematical approaches for the wing structure were initially obtained due to the necessity for natural frequencies of the wing. Then, Banerjee concluded the research by discussion and results of the project. Kuntoji and Kuppast [10] presented a study to emphasize the significance of vibration characteristic analysis of an aircraft wing due to being the major focus of a design of an aircraft. A design of an aircraft using NACA standards was discussed, and the modal analysis of the wing was observed in terms of natural frequency for the characteristics of vibration. Due to the principle of aerodynamics, stresses and deformations of a wing affect the structure based on behaviors of vibration characteristics. Hence, understanding the effects of stress on natural frequency had been performed by modal analysis. Saran et al. [11] presented a study for the development of wing structures. Modal analyses were performed for an aircraft wing and natural frequencies were used to avoid resonance

on the material for preventing failure. The analysis of natural frequency was obtained by using ANSYS software for calculation resonance which is accurate if it is equal to or more than natural frequency. Therefore, the importance of wing structure was emphasized and simulation boundary conditions with cantilever beam consideration of the wing used in analyses in the research. As stated by Günay and Özbay [12], a wing of an aircraft is the responsible component for lift generation. A wing overcomes the weight lift due to the gravity with the lift force that it produces and keeps the aircraft in the air. Therefore, lifting force is created by the aerodynamic profile of the wing. In their research, static analysis performance was handled to determine stress components by applications of load and modal analysis of the wing was performed for the determination of natural frequencies on the wings and oriented deformations owing to the frequencies. Furthermore, a study on an airplane wing based on the concept of a consideration as a cantilever beam was performed by Demirtaş and Bayraktar [13].

The finite element method has been used to find approximate results of boundary value problems and is one of the most common computational techniques for the wide variety of problems in different engineering areas such as mechanical and aerospace [14,15], structural [16,17], geological [18], civil engineering [19,20] and so on.

As the seen from the literature, the previous studies the related to free vibration of airplane wings have simplified the wing model due to some restrictions as the computational burden of the analysis, complexity of the real-life wing geometry and the complex analytical and/or numerical mathematical manipulations. In this work, a life-size wing of an airplane is properly modeled with inside and outside structures. The wing as well as the inside ribs are tapered through the thickness and NACA 4415 profile is used to construct the airfoil. Also, the different winglet designs are considered. The natural frequencies and mode shapes related to the wing structure have been obtained using finite element software package and the effects of different materials and winglet designs on the free vibration of wing are discussed.

The results may be used to benchmark the other studies and future works in this field is the main aim.

2. DESIGN OF WING

Determination of wing profile which depends on the type and parameters has an incontrovertible effect on the execution of aircraft production. Therefore, the most crucial part of an aircraft is the wing structure. The aircraft wing has modeled using CATIA and ANSYS Design Modeler where the airfoil coordinates are imported from NACA profile. The model of the wing is a tapered model wing and has inner structures as ribs.

In this work, NACA 4415 profile is selected. Here, maximum camber is expressed as the chord's percentage in the first digit. Second digit denotes the position of maximum camber according to the chord and the last two digits represent the thickness of the selection of airfoil. Therefore, the selected airfoil type which has a maximum thickness of 15% at 30.9% chord and maximum camber 4% at 40.2% chord depicted in Figure 1.

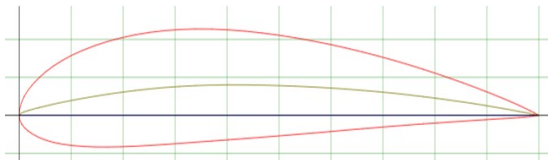


Figure 1. The plot of a NACA 4415 foil

The wing-type used for the research purposes has been inspired by the wing of a one of commercial aircrafts. On the other hand, some parameters are altered for research purposes. The altered dimensions of the aircraft wing used are given in Table 1.

Table 1. Wing design parameters

| Parameters | Dimension (m) |
|-------------|---------------|
| Wingspan | 7.0 |
| Root length | 0.713 |
| Tip length | 0.432 |

The research focuses on modal analyses and comparison of the results for 3 different types of wing design that are divided into four sections. The material selection and dimensions of the wings for each case have remained the same while cases differ in three different types of wings (without winglet, single winglet, and double winglet). The thicknesses of wing structures are taken as 3, 4 and 5 mm for winglet, rib, and shell, respectively.

Importation of data into ANSYS Workbench [21] is followed by the data and dimensions of the coordinates of the airfoil curvature and generation. The isometric view of the wing is shown in Figure 2.

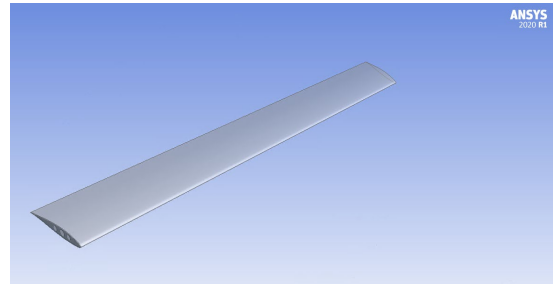


Figure 2. Aircraft wing CAD model in ANSYS Workbench

Aircraft wing material selection for the research has been carried out by extensive investigation of common materials in aviation sector. For research purposes, Kevlar-Epoxy and Carbon-Epoxy composite (Epoxy Carbon UD 395 GPa) from the software library of ANSYS Workbench are used for shell structures. Besides, aluminum (Al) and Titanium alloy are selected as winglet and rib materials.

Accordingly, four different cases have been assigned by altering the material type of the wing structures. The material selection for the wings and the properties of the materials are represented in Table 2.

Table 2. Material properties of the materials

| Material properties | Materials | | | |
|-----------------------------|---------------------------|--------------|---------------|----------------|
| | Epoxy carbon UD (395 GPa) | Kevlar epoxy | Aluminum (Al) | Titanium alloy |
| E_1 (GPa) | 209 | 75.8 | 70 | 96 |
| E_2 (GPa) | 9.45 | 5.51 | 70 | 96 |
| ν_{12} | 0.27 | 0.30 | 0.33 | 0.36 |
| ρ (kg/m ³) | 1600 | 1330 | 2707 | 4620 |

The modal analyses have been performed for four different categorized cases for three different wing designs that are without winglet, single winglet, and double winglet. Therefore, each case consists of three different aircraft wings with altered material properties and cases are numbered as 1,2,3, and 4. Each case and detailed representation are shown in Table 3 where each case number consists of the different wing designs of without winglet, single winglet, and double winglet.

Table 3. The materials of the wing structures for each case

| Wing structures | Case Numbers | | | |
|-----------------|---------------------------|--------------|---------------------------|--------------|
| | Case 1 | Case 2 | Case 3 | Case 4 |
| Shell | Epoxy carbon UD (395 GPa) | Epoxy kevlar | Epoxy carbon UD (395 GPa) | Epoxy kevlar |
| Rib | Ti | Ti | Al | Al |
| Winglet | Al | Al | Al | Al |

3. ANALYSIS OF THE WING

One of the basic concepts of finite-element (FE) is a body structure of a system that may be divided elements of finite dimension. The main idea of FE method is defined by continuous quantities namely temperature, pressure, or displacement. Hence, any continuous quantity approximation may be approached as a discrete model that is composed of continuous set functions. In addition to this, the functions in series approach the precise solution [14].

The design of the aircraft wing consists of ribs, upper-lower skins (shells), and winglets. The internal and external structures of the wing had been modeled by different element type selections. In the modeling of the upper-lower skins and

winglets, the Shell281 element was used. Shell281 is a highly recommended element type in the designs of aircraft wings since it is suitable for modeling of thin and axisymmetric structures [22]. This element type has translation and rotational movements in the x, y, and z directions. Therefore, the element has eight nodes with six degrees of freedom (DOFs) at each node [23]. Furthermore, rib structures are modeled by solid element selection. The 3D element type was applied since solid bodies and structures are provided by their minimum simplifications depending on the geometry. Selected Solid185 element type has eight nodes having three degrees of freedom at each node: translations in the nodal x, y, and z directions with high strain and large deflection capabilities [23].

The aircraft design includes in 2D (shell) and 3D (solid) structures. Therefore, the interface between structures which has different degrees of freedom requires an additional step during analysis. The translational DOFs were transferred (shared) within 2 element types on the contact points and rotations were not transferred across there though since solid elements do not consist rotational DOF. Hence, the shared nodes between solid and shell structures were combined by the node merge. The mesh parameters are shown in Table 4 while the mesh models of the wings are shown in Figure 3 and Figure 4. As the example of number of node and element generated in the study, the maximum values of node and element number obtained in Case 1 double winglet analysis are given here as 128206 and 47240, respectively.

Table 4. A sample of mesh details of the wing model for Case 1 double winglet

| Mesh Parameters and Mesh Methods | |
|----------------------------------|----------------------|
| Span angle center | Fine |
| Shell mesh | Face + Tetra meshing |
| Rib mesh | Hexa meshing |
| Winglet mesh | Tetra meshing |
| Mesh size | 25 mm |
| Smoothing | Fine |
| Number of nodes – 128296 | |
| Number of elements – 47240 | |

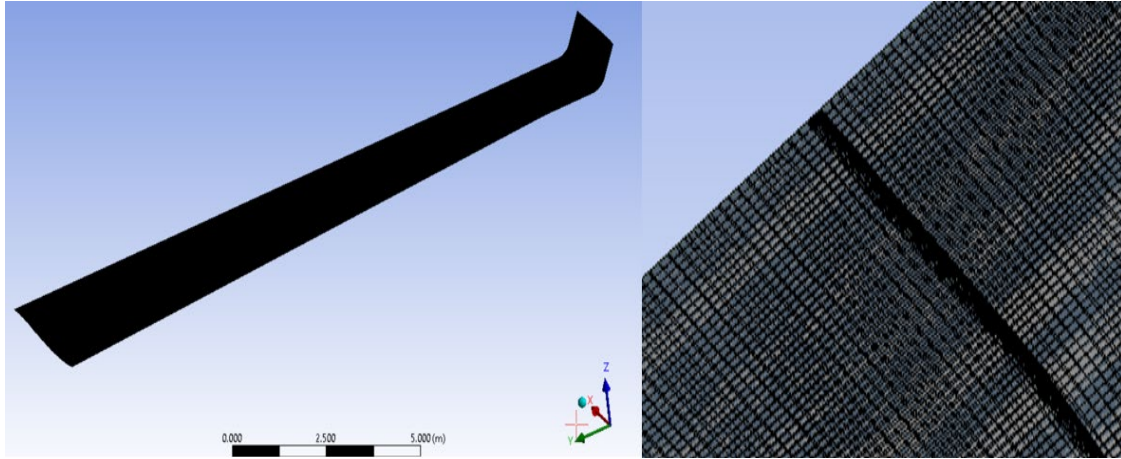


Figure 3. Generated mesh of single-winglet wing design

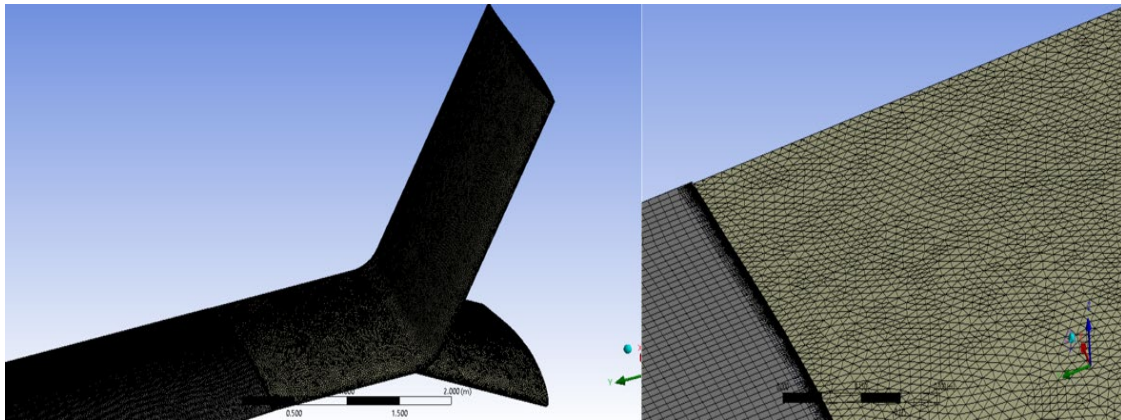


Figure 4. Generated mesh of double-winglet wing design

Due to the lack of manufacturing resources and cost of high fabrication of an aircraft wing, validation of modal analysis for a wing is compelling. Therefore, consideration of an aircraft wing has been common in literature since the chord at the root is fixed into the fuselage within the assistance of spars while the tip chord is free. In this study, the wing models are set up at the conditions of the cantilever beam and the condition has been based on an objective that the wing root is attached to the fuselage body and therefore results as fixed. The fixed support is applied to the wing root face.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Modal analyses are performed and the number of modes to be obtained has been set to 10 to observe the ten-mode shapes of the given wing structures under the cantilever beam condition. The total deformation obtained in all modes of the aircraft wing enabled us to reach the vibration behavior of the wing structure. Based on the results and mode shapes, bending modes and torsional modes are observed and interpreted. The analyses have been performed for structures without winglet, single winglet, and double winglet. The first 10 natural frequencies given in Table 5-8 and their respective mode shapes are obtained for each case, however, in order to prevent the redundancy, first three

fundamental mode shapes for Case 1 are illustrated only. These mode shapes are depicted in Figure 5-7. The first three bending mode shapes are clearly seen from Figure 5 for the without winglet design. In the case of the winglet addition, the modes are again bending modes, however, the intensity of vibration occurs at the winglets for both single and double cases. This behavior becomes obvious especially at the third mode shapes in Figure 6 and 7 and explains the big differences between the natural frequency values of third mode of with and without winglet cases given in Table 5. Note that the same mode numbers for different wing-tips in Tables 5-8 may not indicate the same vibration mode such as bending or torsion. In order to discuss the variation of natural frequency values of same vibration mode of same cases with the different wing-tip design which is not the main focus of this study, the bending modes, torsional modes and coupled modes should be defined and tabulated separately by using mode shapes first.

It can be seen from the observation and comparison of Table 5 with 6 and Table 7 with 8, the shell material Carbon Epoxy UD has been obtained to have higher natural frequency compared to Kevlar Epoxy. Also, the decrease on the natural frequency is observed by using single winglet and the decrease becomes more considerably with the double winglet design. Additionally, as the mode number increases error in the computation of natural frequency increases. This may have been caused by the meshing quality that affects greatly a FEA results.

Table 5. Natural frequencies of the wing models for Case 1

| Mode | Natural frequency (Hz) | | |
|------|------------------------|----------------|----------------|
| | Without winglet | Single winglet | Double winglet |
| 1 | 5.5034 | 4.5318 | 2.422 |
| 2 | 25.198 | 17.327 | 13.548 |
| 3 | 82.211 | 31.214 | 29.338 |
| 4 | 119.75 | 70.404 | 55.915 |
| 5 | 144.52 | 108.94 | 82.846 |
| 6 | 200.8 | 142.07 | 128.78 |
| 7 | 232.84 | 204.56 | 188.13 |
| 8 | 270.08 | 261.53 | 210.73 |
| 9 | 291.33 | 274.02 | 293.32 |
| 10 | 374.3 | 298.65 | 304.25 |

Table 6. Natural frequencies of the wing models for Case 2

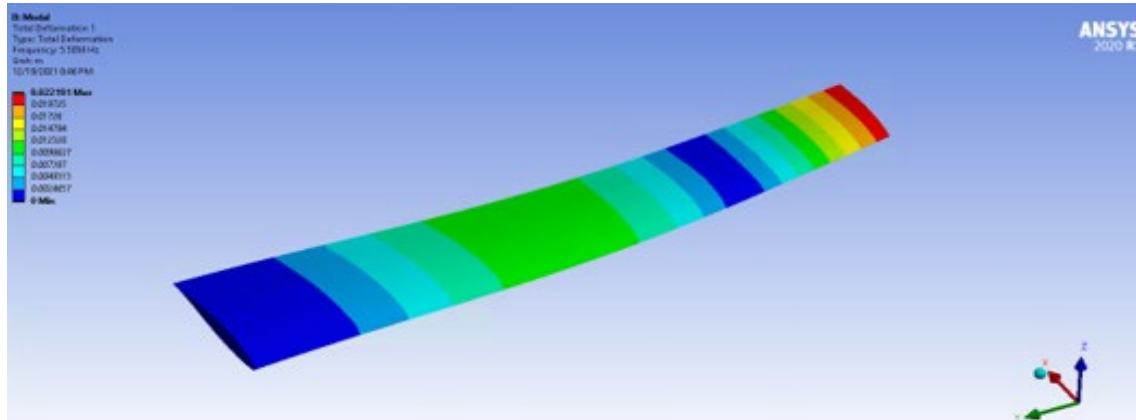
| Mode | Natural frequency (Hz) | | |
|------|------------------------|----------------|----------------|
| | Without winglet | Single winglet | Double winglet |
| 1 | 3.3903 | 7.1669 | 4.137 |
| 2 | 20.966 | 22.44 | 16.821 |
| 3 | 35.397 | 32.06 | 42.537 |
| 4 | 84.963 | 62.16 | 70.492 |
| 5 | 106.29 | 112.57 | 131.01 |
| 6 | 155.43 | 144.54 | 163.04 |
| 7 | 194.17 | 199.42 | 195.45 |
| 8 | 211.06 | 207.69 | 212.91 |
| 9 | 240.07 | 228.52 | 247.14 |
| 10 | 272.89 | 251.5 | 295.22 |

Table 7. Natural frequencies of the wing models for Case 3

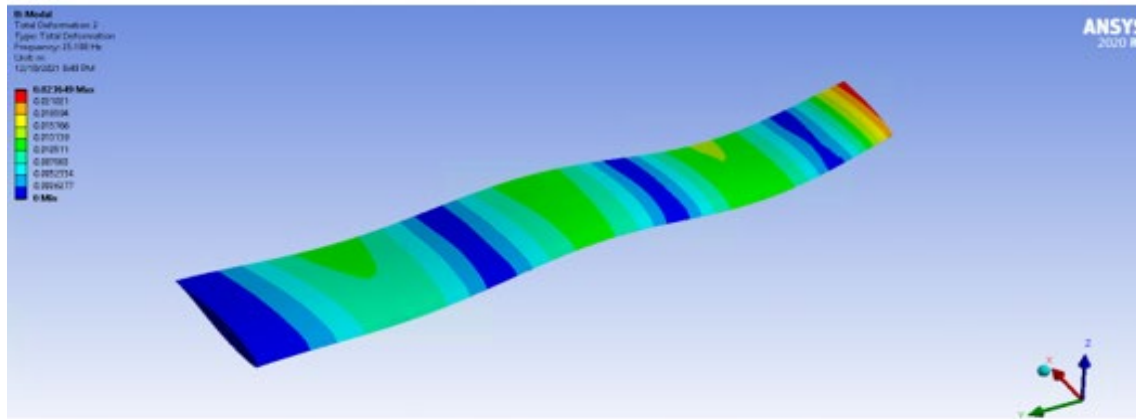
| Mode | Natural frequency (Hz) | | |
|------|------------------------|----------------|----------------|
| | Without winglet | Single winglet | Double winglet |
| 1 | 7.8717 | 5.4326 | 3.4212 |
| 2 | 34.46 | 19.717 | 8.4885 |
| 3 | 60.06 | 46.449 | 29.337 |
| 4 | 108.02 | 74.894 | 55.93 |
| 5 | 166.86 | 122.15 | 104.71 |
| 6 | 199.27 | 162.99 | 151.74 |
| 7 | 201.1 | 200.96 | 198.27 |
| 8 | 233.09 | 220.42 | 220.47 |
| 9 | 288.72 | 260.46 | 273.68 |
| 10 | 342.19 | 314.81 | 297.91 |

Table 8. Natural frequencies of the wing models for Case 4

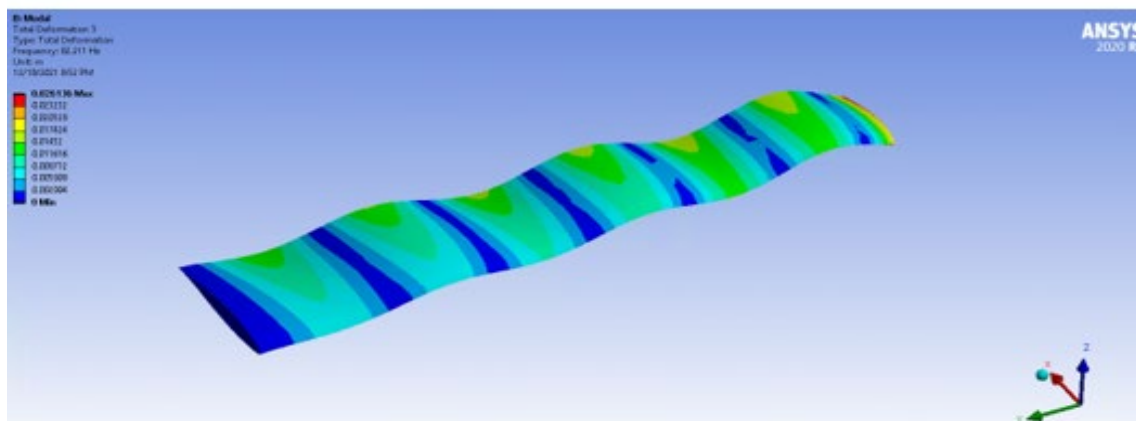
| Mode | Natural frequency (Hz) | | |
|------|------------------------|----------------|----------------|
| | Without winglet | Single winglet | Double winglet |
| 1 | 3.3935 | 3.5479 | 2.302 |
| 2 | 14.429 | 10.254 | 11.821 |
| 3 | 35.455 | 29.969 | 29.148 |
| 4 | 66.319 | 62.236 | 64.604 |
| 5 | 91.203 | 82.573 | 103.57 |
| 6 | 155.63 | 125.6 | 134.98 |
| 7 | 185.77 | 153.5 | 184.51 |
| 8 | 211.4 | 208.72 | 200.2 |
| 9 | 240.55 | 225.91 | 230.62 |
| 10 | 292.95 | 305.08 | 273.92 |



(a)

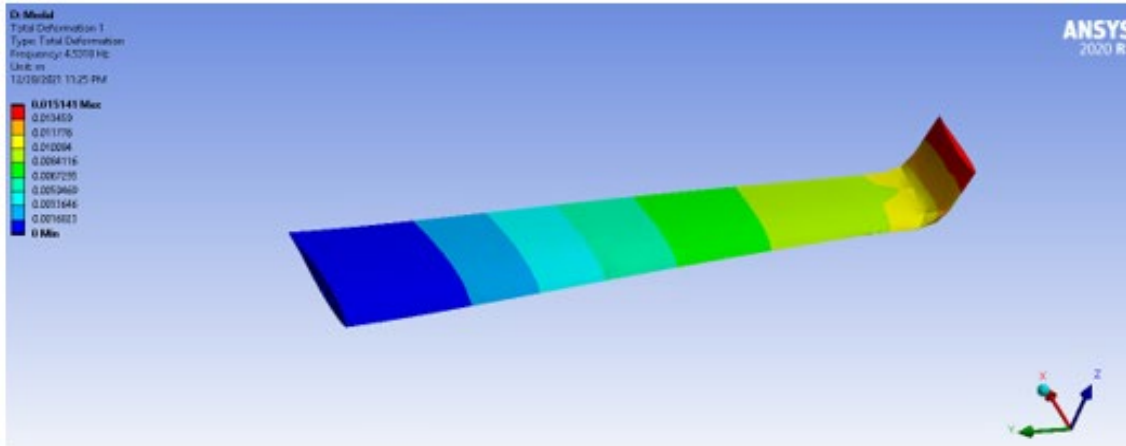


(b)

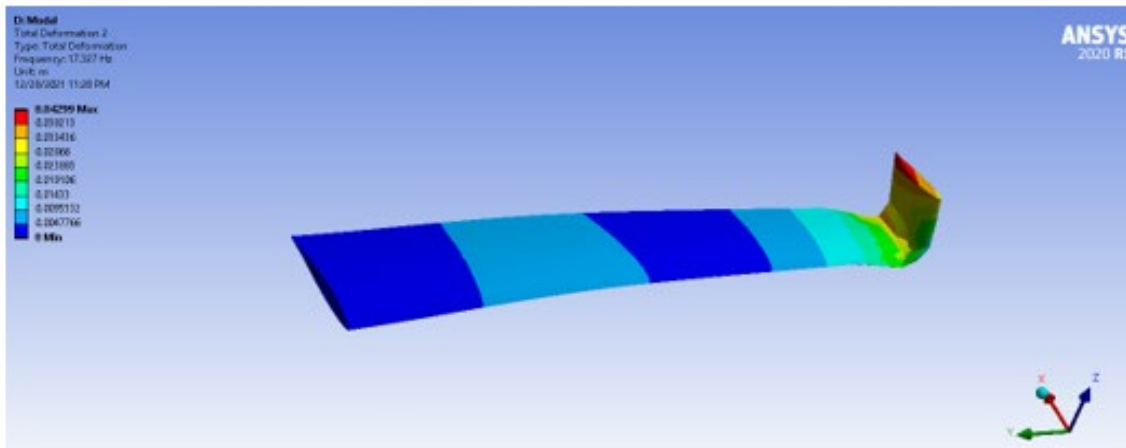


(c)

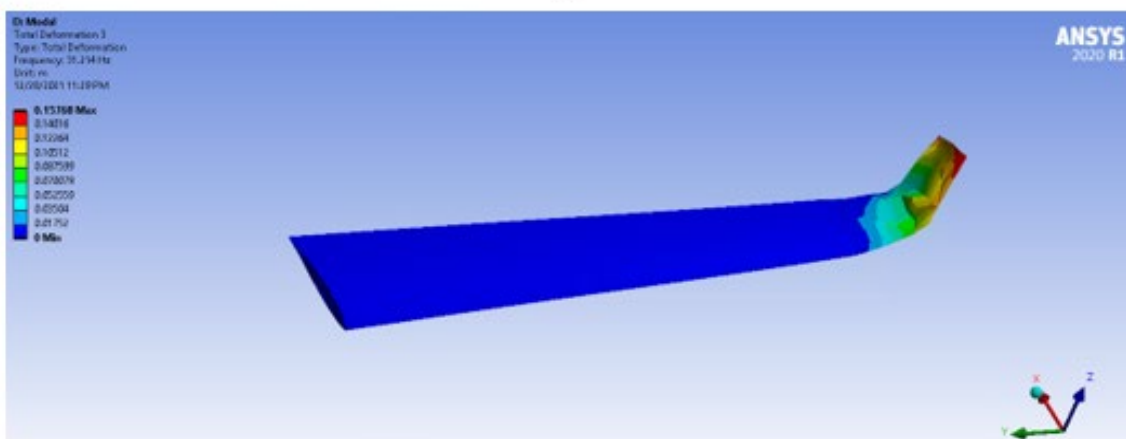
Figure 5. The first three mode shapes of Case 1 without winglet. (a) Mode 1. (b) Mode 2. (c) Mode 3



(a)



(b)



(c)

Figure 6. The first three mode shapes of Case 1 with single winglet. (a) Mode 1. (b) Mode 2. (c) Mode 3

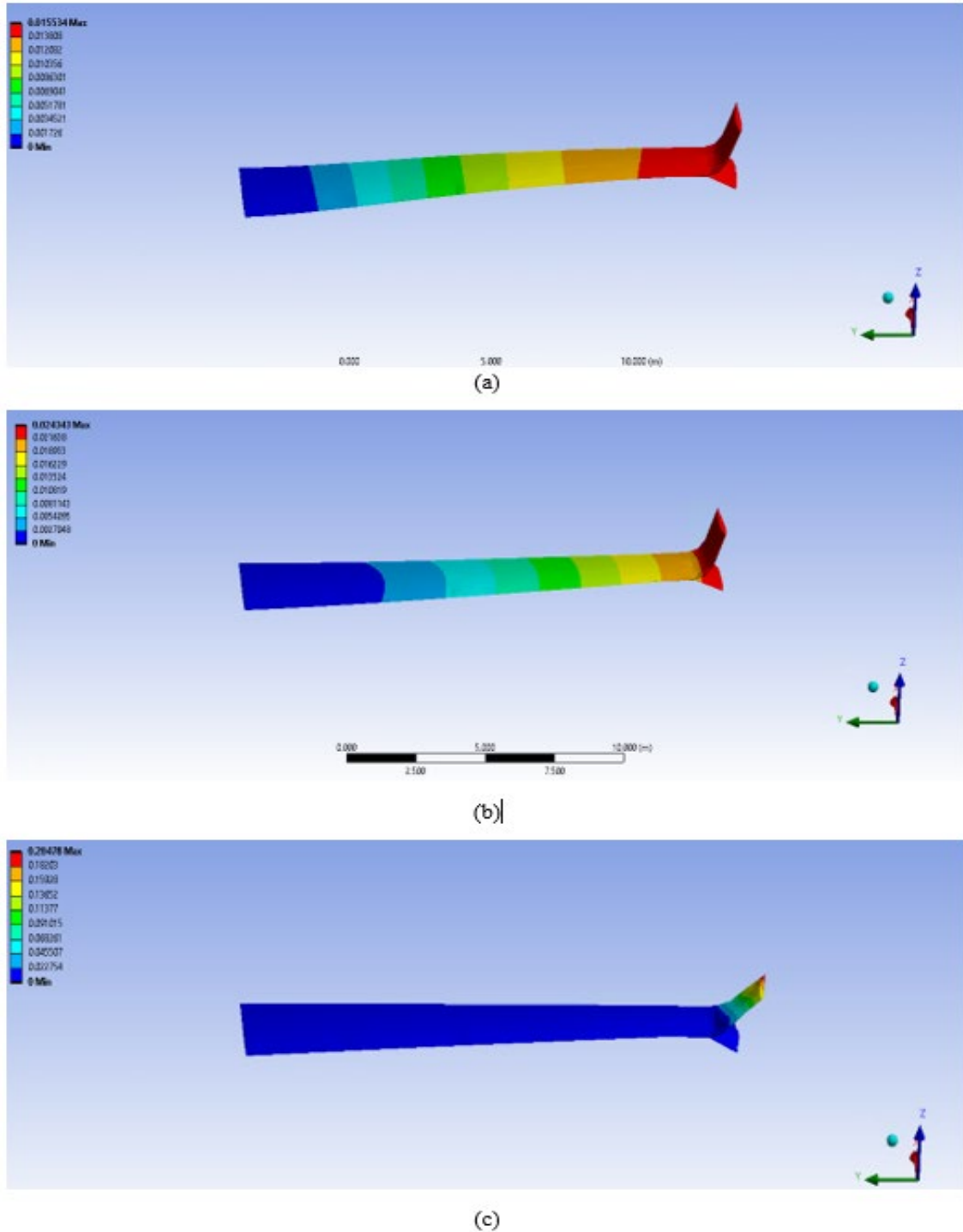


Figure 7. The first three mode shapes of Case 1 with double winglet. (a) Mode 1. (b) Mode 2. (c) Mode 3

5. CONCLUSION

In this study, the aircraft wing has been modeled using CATIA and ANSYS Design Modeler and is imported into ANSYS Workbench. A real-life wing design with its inside ribs, outside shell and tapered geometry is considered. The natural frequency of free vibration has been studied using the modal analysis tool. The effect of wingtips on a wing structure of an airplane is also investigated by different cases and material selections.

The aircraft wing simulation has been performed on a non-winglet aircraft wing, single winglet, and double winglet designed wings. For each case, various common materials in aviation sector are defined on inside and outside parts of the wings. Then, simulation is performed and results of the three wing types concerning their specific materials have been compared. According to the obtained results, the natural frequencies of the wings with winglets are obtained to be less than without winglet wing structure results. The results presented in this paper may be used to benchmark future studies in this field.

6. REFERENCES

1. Ozbek, M., Meng, F., Rixen, D., 2013. Challenges in Testing and Monitoring the In-Operation Vibration Characteristics of Wind Turbines. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 41(2), 649-666. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2013.07.023>
2. Hearn, G., Rene, T. 1991. Modal Analysis for Damage Detection in Structures. *Journal of Structural Engineering*, 3042-3063.
3. Sivaraj, S., Nagendharan, S., Mohanavel, E., 2020. Experimental Investigation on Wheel Natural Frequency Performance Using Modal Analysis in Free and Loaded Condition. *Materialstoday: Proceedings*, 33(2), 3234-3242.
4. Erdener, Ö., Yavuz, Y., 2003. Development of a Structural Model of an Airplane Wing. 11th National Machine Theory Symposium. Ankara.
5. Dutton, S., Kelly D., Baker, A., 2004. *Composite Materials for Aircraft Structures*. American Institute of Aeronautics Inc., Virginia, 599.
6. Yang, Y., Wu, Z., Yang, C., 2012. Equivalent Plate Modeling for Complex Wing Configurations. *International Conference on Advances in Computational Modeling and Simulation*, 409-415.
7. Khadse, N., Zaweri, S., 2015. Modal Analysis of Aircraft Wing using Ansys Workbench Software Package. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4(7), 225-230.
8. Sureka, K., Meher, S., 2015. Modeling and Structural Analysis on A300 Flight Wing by Using ANSYS. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 4(2), 123-130.
9. Banerjee, J., 2016. Modal Analysis of Sailplane and Transport Aircraft Wings Using the Dynamic Stiffness Method. 5th Symposium on the Mechanics of Slender Structures, London.
10. Kuntoji, N., Kuppast, V., 2017. Study of Aircraft Wing with Emphasis on Vibration Characteristics. *International Journal of Engineering Research and Application*, 7(4), 1-8.
11. Saran, V., Jayakumar, V., Bharathiraja, G., Jaseem, K. S., Ragul, G., 2017. Analysis of Natural Frequency for an Aircraft Wing Structure under Pre-stress Condition. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(8), 1118-1123.
12. Günay, Ö., Özbay, M., 2019. Uçak Kanatlarının Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapısal Analizi. 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, Ankara.
13. Demirtaş, A., Bayraktar, M., 2019. Free Vibration Analysis of an Aircraft Wing. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 12-21.
14. Tang, J., Xi, P., Zhang, B., Hu, B., 2013. A Finite Element Parametric Modeling Technique of Aircraft Wing Structures. *Chinese Journal of Aeronautics*, 26(5), 1202-1210.
15. Liming, Z., Jiye, W., Mingrui, L., Ming, L., Yingbin C., 2022. Evaluation of the Transient Performance of Magneto-Electro-Elastic Based

- Structures with the Enriched Finite Element Method. *Composite Structures*, 280, 114888.
16. Doori, S., Noori, A. R., 2021. Finite Element Approach for the Bending Analysis of Castellated Steel Beams with Various Web Openings. *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 38-49.
 17. Francesco, P.P., Marzia, S.V., Raffaele B., Francesco, M., 2022. Finite Element Method for Stress-Driven Nonlocal Beams. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 134, 22-34.
 18. Na, W., Zhengzhao, L., Zhenghu, Z., Shaohong, L., Yingxian, L., 2022. Development and Verification of Three-Dimensional Equivalent Discrete Fracture Network Modelling Based on The Finite Element Method. *Engineering Geology*, 306, 106759.
 19. Noori, A.R., Aslan, A.T., Temel, B., 2019. Dairesel Plakların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Laplace Uzayında Dinamik Analizi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 193-205.
 20. Junwei, C., Yundong, S., Xiaoping, Z., 2022. Implementation of the Novel Perfectly Matched Layer Element for Elastodynamic Problems in Time-domain Finite Element Method. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 152, 107054.
 21. ANSYS Inc., 2014. ANSYS version R15 Canonsburg Pennsylvania, PA, USA.
 22. Sathyanarayanan, S., Adluri, S. M. R., 2013. Incorporation of Friction Coefficient in the Design Equations for Elevated Temperature Tanks. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 135(2), 021205.
 23. ANSYS Inc., 2013. Mechanical APDL Element Reference. Canonsburg Pennsylvania, PA, USA, 952.

Kamu Sağlık Kurumlarında Farklı Risk Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi: Örnek Bir Uygulama

Gülstan KARAN BUTURAK¹ ORCID 0000-0001-6120-3053
Nil YAPICI^{*2} ORCID 0000-0001-9761-9122

¹Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği ABD, Adana

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 02.02.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: KARAN BUTURAK, G., YAPICI, N., (2022). Kamu Sağlık Kurumlarında Farklı Risk Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi: Örnek Bir Uygulama. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 753-764.

Öz

Günümüzde risk yönetimi ve değerlendirmesi iş sağlığı ve güvenliği felsefesinin en önemli unsurlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Sağlık sektörü çalışma ortamında karşılaşılabilecek riskler, tehlikeli durum ve davranışlar ile meydana geldiğinde ortaya çıkabilecek sonuçları göz önüne alındığında en riskli çalışma alanlarından biridir. Ülkemizde sağlık çalışanları sağlık hizmet sunumlarının birçok alanında hizmet vermektedir. Özellikle hastanelerde; biyolojik, kimyasal, fiziksel, ergonomik, psikososyal risklerle karşı karşıya çalışmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, kalitatif risk değerlendirme metotlarından L Matris ve Fine-Kinney risk değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılarak sağlık sektöründeki etkinliklerinin değerlendirilmesidir.

Çalışma sonucunda L tipi Matris yönteminde tespit edilen tehlike kaynaklarının risk önem dereceleri orta seviye risk önem derecesinde iken; Fine-Kinney yönteminde aynı tehlike kaynaklarının risk önem derecesi Yüksek/Çok yüksek seviyesinde karşımıza çıkmaktadır.

Anahtar kelimeler: Sağlık sektörü, L matris, Fine-Kinney yöntemi

An Investigation on Different Risk Analysis Methods in Public Hospitals : an Example Application

Abstract

Today, risk management and evaluation constitute the most important element of a new approach to occupational health and safety. Health sector is one of the most risky working are as considering the risks that may be encountered in the working environment and the consequences that may occur when it occurs Health workers are faced with biological, chemical, physical, ergonomic and psychosocial risks in many areas of health care, especially in hospitals.

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Nil YAPICI, nyapici@cu.edu.tr

The aim of this study is to compare the effectiveness of the L matrix and Fine-Kinney methods in the most intensive and stressful hospitals in the health sector.

As a result of the study, the risk severity levels of the hazards detected in the L-type Matrix method were found to be at a moderate risk level, while it was found to be at the high/very high level in the Fine-Kinney Method.

Key Words: Health sector, L matrix, Fine-Kinney method

1. GİRİŞ

İş sağlığı ve güvenliği açısından sağlık sektörü, delici-kesici aletlerin kullanımı, enfeksiyon riskleri, radyoaktif madde kullanımı, psikososyal riskleri, elektrikli aletlerin sürekli kullanımı, ağır malzemelerin nakliyesi, kimyasal madde kullanımı, taşınması ve depolanması ile karmaşık ve tehlikeli iş koludur. Ayrıca bu iş kolu uzun çalışma saatleri temposu, konfor, ergonomi açısından uygun olmayan çalışma ortamları, vardiyalı sistemin bulunması ve işin beraberinde getirdiği stres ve dolayısı ile daha fazla risk ile karşı karşıya kalması nedeni ile sağlık açısından olumsuz etkilenmelerine neden olmaktadır [1].

Sağlık hizmet sunucularından hastaneler İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği'nde çok tehlikeli sınıfta olan işyerleri arasındadır.

Multidisipliner bir çalışma olarak sağlık sektöründe iş sağlığı ve güvenliği, hastanın sağlık ve güvenliğini, çalışanın sağlık ve güvenliğini ve çevredeki varlıkların sağlık ve güvenliğini ele almaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 2002 yılında risk tanımlarken; sonucun olumsuz olma ihtimali ya da olasılığı ortaya çıkaran faktör olarak tanımlamıştır [2]. Risk yönetimi; riskleri tanımlamayı, değerlendirmeyi, sorumlulukları ve belirlemeyi, tüm sonuçlarını gözden geçirmeyi kapsayan süreçler bütünüdür. Hastane hizmetlerinde risk yönetimi ise hasta bakım kalitesini iyileştirmeye çalışan ve hasta ve çalışan güvenliğini olabildiğince üst düzeyde tutmayı amaçlayan, bu amaca engel olabilecek olumsuz unsurları birer

risk olarak belirleyip analiz eden ve gerekli önlemleri alan süreçlerdir [3].

Risk Yönetim modeli oluşturulurken a) Dökümantasyon sisteminin kurulması b) Risk temel eğitimlerinin verilmesi c) Risk raporlama sisteminin kurulması d) Risk yönetimini sağlayacak örgütsel yapıda yönetim oluşturulması e) Kurum risk analiz planı Oluşturulması temel esasları oluşturmaktadır [3]. Riskler yönetilmediği takdirde tehlikelidir.

Bu çalışmanın amacı, Adana iline bağlı hastanelerden İlçe hastanesinin L Matris ve Fine-Kinney risk değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılarak risk değerlendirme metotlarının etkinlik değerlerinin ortaya çıkarılması ve risk yönetimi çalışmalarının doğru ve yol gösterici olmasıdır. Çalışma, Sağlık bakanlığı "Yataklı Sağlık Tesisleri Rollerinin Yeniden Belirlenmesi ve Gruplandırılmasına İlişkin Kriterlerine" göre "D" grubu bir ilçe hastanesi olup Adana il sınırları içerisinde yer almaktadır. Sağlık tesisi 5978 metrekare alana sahip 4 katlı ve bir bodrum katı ile birlikte ve tek bloktan oluşmaktadır.

2. METOD VE MATERYAL

2.1. Metod

Literatürde bir çok Risk değerlendirme metotları bulunmaktadır (Çizelge 1).

Sağlık kurumları sadece mevzuata uymak için kolay uygulanabilir bilinen analiz yöntemlerinden 5*5 L matrisi metodunu kullanarak Risk değerlendirme ve analizlerini yapmaktadır. Bu metotta bir olayın gerçekleşme ihtimali, tehlikeli olayın gerçekleşmesi halinde sonucunun

derecelendirilmesi, ölçümü ve düzeltici önleyici faaliyetlerin neler/nasıl olacağı belirtilmektedir. Ancak tespit edilen tehlikelerin ortadan kaldırılması ya da kabul edilebilir seviyeye indirgenmesi için verilen son tarih (termin) süreleri göz önüne alındığında Fine-Kinney yönteminde

'acil önlem' alınması, L tipi matris yönteminde ise işlem devam ederken 'hemen önlem alınması' gerekmektedir. Bu durum göz önüne alınarak Sağlık kompleksinde L matris ve Fine-Kinney yöntemi ile karşılaştırma yapılmıştır.

Çizelge 1. Risk değerlendirme metodları [4].

| Nitel (Kalitatif) yöntemler | Nicel (Kantitatif) yöntemler | Nicel ve nitel (Karma) yöntemler |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Ön Tehlike Analizi (PHA) (Pre-hazard Analysis) • Ne Olursa Ne Olur? (What If ?) • Birincil Risk Analizi -(Preliminary Risk Analysis (PRA) Using Checklists • Risk Puanlama Metodu (Risk Scoring Method) • Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi Yöntemi (HAZOP) (Hazard and Operability Analysis Method) • SWOT Analizi • İş emniyet Analizi (JSA) (Work Safety Analysis) | <ul style="list-style-type: none"> • L Matris Metodu (L Matrix Method) • X Matris Metodu (X Matrix Method) • Fine Kinney Metodu (Fine Kinney Method) | <ul style="list-style-type: none"> • Hazop ile mesleki güvenlik analizinin birleştirilmesi (Combining professional safety analysis with Hazop) • Kaza Sonuç Analizi (ETA) (Acci-dent Result Analysis) |

L Tipi (5*5) Matris Yönteminde; Risk= Olasılık x Şiddet formülü ile değerlendirilirken, Fine-Kinney Yönteminde; Risk= Olasılık x Frekans x Şiddet skalaları ile belirlenir.

Risk değerlendirme yapılırken sadece İş Sağlığı ve Güvenliği uzmanı değil en üst birimden en alt birime kadar tüm kadronun beraber koordinasyonlu çalışılması ile sonuca ulaşılmaktadır [5].

Risk değerlendirmesi yapılan çalışma alanları; 112 acil ambulans hizmeti, acil servis, Laboratuvar hizmetleri (Biyokimya), Görüntüleme hizmetleri (röntgen), diş polikliniği, kadın hastalıkları ve doğum polikliniği, KBB polikliniği dahiliye polikliniği, haftanın belirli günlerinde dermatoloji polikliniği, palyatif bakım servisi, genel karma (birden fazla branşın yer aldığı) yataklı servis gibi sağlık hizmeti alanları olarak sıralanabilir. Tüm bu alanlar poliklinikler, ameliyathane ve acil servis olarak 3 gruba ayrılarak değerlendirilmiştir. Her iki yöntemde tüm riskler Yangın ve Acil Durum, Enfeksiyon, Genel, Elektrik, Ergonomi, Psikososyal, Kimyasallar ve Alerji olarak sekiz ana başlıkta toplanmıştır.

2.2. Materyal

Hastane Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün yayımlanmış olduğu Yataklı Sağlık Tesisleri Rollerinin Yeniden Belirlenmesi ve Gruplandırılmasına İlişkin Kriterlerine göre "D" grubu hastane olarak sınıflandırılmıştır. Adana iline bağlı İlçe hastanesi olarak geniş bir bölgeye hizmet vermektedir. Hastane bünyesinde; 1 adet 630 kw gücünde 2000 litrelik kapasiteli jeneratör, 80 kw ve 2 kw gücünde 2 adet UPS, 50 litre kapasiteli yaklaşık 10-12 adet oksijen tüpleri ile birimlere oksijen gazı dağılım merkezi ile tıbbi-tehlikeli-geri dönüşüm atık depoları bulunmaktadır. Bir hasta, bir personel ve bir de yemek asansörü olmak üzere toplam 3 adet asansör bulunmaktadır. Isıtma ve soğutma merkezi sistem olup, kömür kazanı kullanılmaktadır. Tespit edilen tehlike kaynakları ve risklerin bir kısmı Şekil 1'de verilmiştir [6].

3. BULGULAR

Sağlık kurumlarında çevresel, kimyasal, ergonomik, fiziksel, biyolojik riskler ele alındığında (National Institute for Occupational

Safety and Health – NIOSH) Amerikan Ulusal Mesleki Sağlık ve Güvenlik Enstitüsüne göre 10 nevi psiko-sosyal, 29 nevi fiziksel, 6 nevi ergonomik, 25 nevi kimyasal, 24 nevi biyolojik

tehlike ve risk bulunmaktadır [7]. Risk analizi yapılırken tüm bu riskler göz önüne alınarak yapılmalıdır.



Şekil 1. Tespit edilen tehlike kaynakları ve riskler [6]

Çalışma yapılan alanlardan Acil Servis, Ameliyathane ve Polikliniklerdeki verilerin gerek çokluğu gerekse karmaşıklığı sebebiyle ilgili alanlarda tespit edilen en yüksek risk seviyesine sahip tehlike ve risk kaynakları ele alınmış ve 5*5 L Tipi Matris metodu ve Fine-Kinney Metodu karşılaştırılması yapılmıştır.

Yapılan çalışma ve risk analizi sonucunda tespit edilen tehlike kaynaklarının sayısı şu şekildedir: Ameliyathane de 29, Acil serviste 37, polikliniklerde 32 adettir. Tespit edilen tehlike kaynaklarına göre yapılan risk analizi çalışmalarında ameliyathanede L Tipi Matris yönteminde “durdur/çok büyük risk” önem

derecesine sahip hiç tehlike görülmez iken, Fine-Kinney yönteminde 3 adet tehlike, L Tipi Matris yönteminde acil serviste “durdur/çok büyük risk” önem derecesine sahip hiç tehlike görülmez iken, Fine-Kinney yönteminde 9 adet tehlike, L Tipi Matris yönteminde polikliniklerde “durdur/çok büyük risk” önem derecesine sahip hiç tehlike görülmez iken, Fine-Kinney yönteminde 2 adet tehlike olduğu görülmüştür (Çizelge 2).

Ameliyathaneler risk analizinde 5*5 L Matris yönteminde orta seviye olarak tespit edilen tehlike ve risklerin Fine-Kinney yönteminde yüksek ve çok yüksek seviyesinde olduğu görülmektedir (Çizelge 3).

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İş sağlığı ve güvenliği işleyişi, sağlık hizmetlerinde bulunan tüm hizmet birimlerinin (sağlık meslek profesyonelleri, teknik hizmet ve destek hizmet personelleri) doğrudan risk değerlendirmelerine katılması ile yapılmalıdır. Optimum fayda sağlamak için risk değerlendirme

ekibini olası tüm riskleri tanımlayabilecek yetkinlikte kişilerden seçmek, riskleri çalışanların kendi dolduracakları bir iletişim formu aracılığı ile imzalı olarak almak ve benzer risklerin olasılıkları hesaplanırken karşılaştırmalı olarak puanlamak faydalı olacaktır (Kantarcioglu ve arkadaşları, 2020). Uygulanacak risk analiz yöntemlerinin sağlık birimlerine göre seçilmesi gerekmektedir.

Çizelge 2. Risk değerlendirme tabloları [8]

| | | L Matris | | | | | Acil Servis Risk Analizi | | | | |
|----------|--|---|---|--------|------|---|--|--|------|------|---|
| No | Tehlikenin tanımı | Riskin tanımı | Risk Puanı | | | Etkilenen | Alınması gereken Önlem/faaliyetler | Risk Puanı | | | |
| | | | Olasılık | Şiddet | Risk | | | Olasılık | Şid. | Risk | |
| 1 | Tehlikeli davranışlar (acilde şakalaşma, görev talimatlarına uymama) | Yaralanma, iş kazası | 3 | 4 | 12 | Kurum, çalışanlar, hastalar ve ziyaretçiler | Çalışanlara tehlikeli davranışlarda bulunmaması yönünde gerekli eğitimler verilmeli, kayıt altına alınmalı | 4 | 1 | 4 | |
| GENEL | 2 | Tuvalet kapılarının içe açılması | Yaralanma ve acil durumlarda içeri ulaşımı geciktirme | 3 | 3 | 9 | Kurum, çalışanlar, hastalar ve ziyaretçiler | Tuvalet kapıları dışa açılmamalıdır. | 3 | 3 | 9 |
| | 3 | Sivri ve sert köşelerin bulunması | Çarpma ve yaralanma | 3 | 3 | 9 | Kurum çalışanları | Çalışma alanında çalışanların çarparak yaralanabileceği sivri ve sert köşeler yuvarlanmalı. | 2 | 2 | 4 |
| | 4 | Kullanım dışı malzeme bulunması | Çarpma ve yaralanma | 2 | 3 | 6 | Acil servis çalışanları, kurum | Kullanım dışı malzemeler sahadan toplanmalı kullanım dışı malzeme bırakılmamalı | 1 | 3 | 3 |
| | 5 | Çalışanların periyodik işe giriş sağlık takiplerinin olmaması | Meslek Hastalığı, tehlikeli durum, | 3 | 5 | 15 | Kurum, kurum çalışanları | İşe girilende ve periyodik olarak çalışanların sağlık taramaları yapılacaktır. | 2 | 4 | 8 |
| | 6 | Defibrilatör kullanılması | Elektrik çarpması, | 4 | 3 | 12 | Kurum Çalışanları, Ziyaretçiler ve Kurum | Defibrilatörün uygun kullanılması sağlanmalı, kullanma talimatının görünür bir yerde olması sağlanmalı, denetim, eğitim | 1 | 3 | 3 |
| | | | Yangın | 2 | 4 | 8 | | | 1 | 4 | 4 |
| | | Yanık | 2 | 2 | 4 | | | 3 | 1 | 3 | |
| ELEKTRİK | 7 | Açıkta Elektrik Kabloları | Elektrik Çarpması | 4 | 4 | 16 | Kurum Çalışanları ve Ziyaretçiler | Elektrik Kabloları yer seviyesinden sürülmemeli uygun kanallar içinde duvara monteli şekilde uzatılmalı, Kablolar kanal içine alınmalı | 2 | 4 | 8 |
| | | | Düşme | 4 | 2 | 8 | | | 1 | 2 | 2 |
| | | | Yangın | 2 | 4 | 8 | | | 1 | 4 | 4 |
| | 8 | Aynı Elektrik Hattı üzerine Seri Bağlama ile aşırı yük bindirilmesi | Elektrik Çarpması | 3 | 3 | 9 | Kurum Çalışanları, Ziyaretçiler ve Kurum | Cihazların elektrik yüküne uygun buattan paralel hat çekilmeli, çoklu prizler ile çoğaltma yapılmamalı | 1 | 3 | 3 |
| | | | Yangın | 3 | 5 | 15 | | | 1 | 5 | 5 |

Çizelge 2. Devamı

| | No | Tehlikenin tanımı | Fine-Kinney Yöntemi | | | | Acil Servis Risk Analizi | | | | | | | |
|----------|----|---|--|------------|---------|--------|--------------------------|---|---|------------|-------|--------|------|--|
| | | | Riskin Tanımı | Risk puanı | | | | Etkilenen | Alınması gereken önlem/faaliyetler | Risk puanı | | | | |
| | | | | Olasılık | Frekans | Şiddet | Risk | | | Olasılık | Frek. | Şiddet | Risk | |
| GENEL | 1 | Tehlikeli davranışlar (acilde şakalaşma, talimatlara uymama) | Yaralanma, iş kazası | 6 | 6 | 7 | 252 | Kurum, çalışanlar, hastalar ve ziyaretçiler | Çalışanlara tehlikeli davranışlarda bulunmaması yönünde gerekli eğitimler verilmeli, kayıt altına alınmalı, denetimler yapılarak takip edilmeli | 3 | 0,5 | 7 | 11 | |
| | 2 | Tuvalet kapılarının içe açılması | Yaralanma ve acil durumlarda çeri ulaşımı geciktirme | 6 | 7 | 7 | 294 | Kurum, çalışanlar, hastalar ve ziyaretçiler | Tuvalet kapıları dışa açılmalıdır. | 6 | 1 | 3 | 18 | |
| | 3 | Sivri ve sert köşelerin bulunması | Çarpma ve yaralanma | 6 | 6 | 1 | 36 | Kurum çalışanları | Çalışma alanında çalışanların çarparak yaralanabileceği sivri ve sert köşeler yuvarlanmalı. | 3 | 1 | 1 | 3 | |
| | 4 | Kullanım dışı malzeme bulunması | Çarpma ve yaralanma | 3 | 6 | 3 | 54 | Acil servis çalışanları, kurum | Kullanım dışı malzemeler sahadan toplanmalı kullanım dışı malzeme bırakılmamalı | 1 | 0,5 | 7 | 3,5 | |
| | 5 | Çalışanların periyodik işe giriş sağlık takiplerinin olmaması | Meslek hastalığı, tehlikeli durum | 6 | 10 | 15 | 900 | Kurum, kurum çalışanları | İşe girişlerde ve periyodik olarak çalışanların sağlık taramaları yapılacaktır. | 1 | 0,5 | 15 | 7,5 | |
| ELEKTRİK | 6 | Defibrilatör kullanılması | Elektrik çarpması, | 1 | 3 | 15 | 45 | Kurum Çalışanları ve Ziyaretçiler ve Kurum | Defibrilatörün uygun kullanılması, kullanma talimatının görünür bir yerde olması sağlanmalı, Eğitim verilmeli, Çalışanların kullanım hakkında bilgileri denetlenmeli. | 0,5 | 3 | 15 | 23 | |
| | | | Yangın | 1 | 3 | 40 | 120 | | | 0,5 | 2 | 40 | 40 | |
| | | | Yanık | 0,5 | 3 | 3 | 4,5 | | | 0,5 | 3 | 3 | 4,5 | |
| | 7 | Açıkta elektrik kabloları | Elektrik çarpması | 3 | 10 | 7 | 210 | Kurum Çalışanları, Ziyaretçiler | Elektrik kabloları yer seviyesinden sürülmemeli uygun kanallarda duvara monteli şekilde uzatılmalı, kabloların kanal içine alınıp yalıtımı sağlanmalı | 1 | 1 | 15 | 15 | |
| | | | Düşme | 1 | 10 | 3 | 30 | | | 1 | 1 | 15 | 15 | |
| | | | Yangın | 1 | 10 | 15 | 150 | | | 1 | 1 | 15 | 15 | |
| | 8 | Aynı Elektrik Hattı üzerine Seri Bağlama ile aşırı yük bindirilmesi | Elektrik çarpması | 3 | 6 | 7 | 126 | Kurum çalışanları, ziyaretçiler ve kurum | Cihazların elektrik yüküne uygun buattan paralel hat çekilmeli, çoklu prizler ile çoğaltma yapılmamalı | 1 | 0,5 | 15 | 7,5 | |
| Yangın | | | 3 | 6 | 15 | 270 | 1 | | | 0,5 | 15 | 7,5 | | |

Çizelge 2. Devamı

| L Matris | | | Poliklinik Risk Analizi | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------|---|--|--------|------|---|--|---|--------|------|----|
| No | Tehlikenin tanımı | Riskin tanımı | Risk puanı | | | Etkilenen | Alınması gereken Önlem/faaliyetler | Risk puanı | | | |
| | | | Olasılık | Şiddet | Risk | | | Olasılık | Şiddet | Risk | |
| Genel | 1 | Temel ISG eğitimlerinin olmaması | 5 | 4 | 20 | Kurum, çalışanlar, hastalar ve ziyaretçiler | Çalışanlara tehlikeli davranışlarda bulunmaması yönünde gerekli eğitimler verilmeli, kayıt altına alınmalı | 4 | 1 | 4 | |
| | 2 | Sivri ve sert köşelerin bulunması | 3 | 3 | 9 | Kurum çalışanları | Çalışma alanında çalışanların çarparak yaralanabileceği sivri ve sert köşeler yuvarlanmalı. | 2 | 2 | 4 | |
| | 3 | Lavaboların yeterli sayıda olmaması | Enfeksiyon, stres, işgücü kaybı | 5 | 3 | 15 | Kurum, kurum çalışanları | İlgili yönetmelik gereği çalışan sayısına göre yeterli lavabo olmalı (25 kişiye bir kabin hesap edilir) bay ve bayan tuvaletler ayrı ayrı olmalı | 4 | 1 | 4 |
| Yangın ve Acil Durum | 4 | Yangın söndürücü cihazlarının yerinin bilinmemesi | Olası yangında geç müdahale sonucu çoklu iş kazası ve yaralanmalar, kayıplar | 3 | 4 | 12 | Kurum, çalışanları, ziyaretçiler, hastalar | Yangın söndürme cihazları için istasyon yerleri belirlenecektir. Yangın söndürme cihazlarının üzerinde etiketleri bulunacak, yanına ne olduğu ve hangi yangınlarda kullanılacağı yazılacaktır. | 2 | 3 | 6 |
| | 5 | Yangın algılama sisteminin olmaması | Ölüm ve yaralanma | 2 | 5 | 10 | Kurum çalışanları, ziyaretçiler, hastalar ve kurum | Otomatik yangın algılama sistem kurulmalı | 5 | 2 | 10 |
| | 6 | Acil çıkışın amaç dışı kullanımı | Olası yangın ve tehlikeli durumda çıkışı engellemesi, yaralanma | 3 | 4 | 12 | Kurum çalışanları | Acil çıkışın önünde hiçbir engel bulunmamalı, amacı dışında kullanılmamalı | 5 | 1 | 5 |
| Enfeksiyon | 7 | Biyolojik etken kaynakları (Hasta kişi, materyal, veya ortam) | Enfeksiyon | 5 | 2 | 10 | Tüm kurum çalışanları | Biyolojik etkenlere maruziyet risklerinin önlenmesi hakkındaki yönetmelik gereğince önlemler alınmalı, eğitimler verilmeli, KKD tamamlanmalı, Periyodik muayeneler aksatılmamalı kayıtları muhafaza edilmeli. | 3 | 1 | 3 |
| | 8 | Kişisel Koruyucu donanım olmaması | Meslek hastalığı, iş kazası | 2 | 3 | 6 | Kurum çalışanları ve kurum | Kişisel koruyucu donanımlar temin edilmeli, eğitimler tam verilmeli, kayıtları muhafaza edilmeli | 1 | 3 | 3 |
| | 9 | Kesici ve delici alet yaralanmaları | Enfeksiyon, meslek hastalığı | 5 | 2 | 10 | Kurum çalışanları ve kurum | Uygun kişisel koruyucu donanım kullanılmalı, Eğitim | 4 | 1 | 4 |
| | 10 | Kesici ve delici alet kutularının uygun kullanılmaması | Enfeksiyon, meslek hastalığı | 5 | 2 | 10 | Kurum çalışanları ve kurum | Kesici delici alet kutularının usulüne uygun kullanılması sağlanmalı ve denetlenmeli, eğitim | 4 | 1 | 4 |
| | 11 | Fiziksel ortam kaynaklı enfeksiyon | Enfeksiyon, meslek hastalığı | 4 | 2 | 8 | Kurum, çalışanıve kurum | İş hijyeninin sağlanması ve çalışanların rutin sağlık kontrolleri yapılmalıdır. | 5 | 1 | 5 |
| | 12 | Kişisel Koruyucu donanım yetersizliği | Meslek hastalığı, iş kazası | 5 | 2 | 10 | Kurum çalışanları ve kurum | Kişisel koruyucu donanımlardan eksik olanlar tamamlanmalı | 3 | 1 | 3 |

Çizelge 2. Devamı

| | Fine- Kinney Yöntemi | | | | | | | Poliklinik Risk Analizi | | | | | | |
|----------------------|----------------------|---|---|------------|-------|--------|------|---|---|------------|-------|--------|------|--|
| | No | Tehlikenin Tanımı | Riskin Tanımı | Risk Puanı | | | | Etkilenen | Alınması gereken önlem/faaliyetler | Risk Puanı | | | | |
| | | | | Olasılık | Frek. | Şiddet | Risk | | | Olasılık | Frek. | Şiddet | Risk | |
| GENEL | 1 | Temel İSG eğitimlerinin olmaması | Tehlikeli davranış, iş kazası, yaralanma | 6 | 6 | 7 | 252 | Kurum, çalışanlar, hastalar, ziyaretçiler | Çalışanlara tehlikeli davranışlarda bulunmaması yönünde gerekli eğitimler verilmeli, kayıt altına alınmalı | 6 | 0,5 | 7 | 21 | |
| | 2 | Sivri ve sert köşelerin bulunması | Çarpma ve yaralanma | 3 | 10 | 3 | 90 | Kurum çalışanları | Çalışma alanında çalışanların çarparak yaralanabileceği sivri ve sert köşeler yuvarlanmalı. | 0,1 | 10 | 3 | 3 | |
| | 3 | Lavaboların yeterli sayıda olmaması | Enfeksiyon, stres, işgücü kaybı | 6 | 6 | 7 | 252 | Kurum ve çalışanları | İlgili yönetmelik gereği çalışan sayısına göre yeterli lavabo ayrı ayrı olmalı (25 kişiye bir kabin hesap edilir) | 3 | 2 | 3 | 18 | |
| YANGIN VE ACIL DURUM | 4 | Yangın söndürücü cihazlarının yerinin bilinmemesi | Olası yangında geç müdahale sonucu çoklu iş kazası ve yaralanmalar kayıplar | 6 | 10 | 7 | 420 | Kurum, kurum çalışanları, ziyaretçiler hastalar | Yangın söndürme cihazları için istasyon yerleri belirlenecektir. Yangın söndürme cihazlarının üzerinde etiketleri bulunacak, yanına ne olduğu ve hangi yangınlarda kullanılacağı yazılacaktır | 0,2 | 10 | 7 | 14 | |
| | 5 | Yangın algılama sisteminin olmaması | Ölüm ve yaralanma | 3 | 1 | 40 | 120 | Kurum çalışanlar ziyaretçiler hastalar | Yangın algılama sisteminin üretici firma tarafından belirtilen sürelerde bakım onarımları ve muayeneleri yapılmalı, ilgili kayıtlar muhafaza edilmeli. | 0,5 | 0,5 | 40 | 10 | |
| | 6 | Acil çıkışın amaç dışı kullanımı | Olası yangın ve tehlikeli durumda çıkışı engellemesi yaralanma | 6 | 3 | 15 | 270 | Kurum çalışanları | Acil çıkışın önünde hiçbir engel bulunmamalı, amacı dışında kullanılmamalı, belirli aralıklarla denetlenmeli ve kontrol edilmeli | 3 | 0,5 | 7 | 11 | |
| ENFEKSİYON | 7 | Biyolojik etken kaynakları (Hasta kişi, materyal, veya ortam) | Enfeksiyon | 3 | 10 | 7 | 210 | Tüm kurum çalışanları | Biyolojik etkenlere maruziyet risklerinin önlenmesi hakkındaki yönetmelik gereğince önlemler alınmalı, eğitimler verilmeli, KKD tamamlanmalı, periyodik muayeneler aksatılmamalı kayıtları muhafaza edilmeli. | 6 | 0,5 | 3 | 9 | |
| | 8 | Kişisel Koruyucu donanım olmaması | Meslek Hastalığı, iş Kazası | 6 | 6 | 7 | 252 | Kurum çalışanları ve kurum | Kişisel koruyucu donanımlar temin edilmeli, eğitimler tam verilmeli, kayıtları muhafaza edilmeli | 1 | 0,5 | 3 | 1,5 | |
| | 9 | Kesici ve delici alet yaralanmaları | Enfeksiyon, meslek hastalığı | 6 | 10 | 7 | 420 | Kurum çalışanları ve kurum | Uygun kişisel koruyucu donanım kullanılmalı, Eğitimler belirli periyotlarda tekrar edilmeli, denetim | 0,2 | 10 | 7 | 14 | |
| | 10 | Kesici ve delici alet kutularının uygun kullanılmaması | Enfeksiyon, meslek hastalığı, iş kazası | 3 | 6 | 7 | 126 | Kurum çalışanları ve kurum | Kesici delici alet kutularının usulüne uygun kullanılması sağlanmalı ve denetlenmeli, Eğitim | 1 | 6 | 3 | 18 | |
| | 11 | Fiziksel ortam kaynaklı enfeksiyon | Enfeksiyon, meslek hastalığı | 6 | 6 | 7 | 252 | Kurum, kurum çalışanları | İş hijyeni sağlanmalı ve çalışanların rutin sağlık kontrolleri yapılmalıdır. | 6 | 0,5 | 3 | 9 | |
| | 12 | Kişisel Koruyucu donanım yetersizliği | Meslek Hastalığı, iş Kazası | 3 | 6 | 7 | 126 | Kurum çalışanları ve kurum | Eksilen Kişisel koruyucu donanımlar tamamlanmalı.. Eğitimleri verilmeli. | 3 | 0,5 | 7 | 11 | |

Çizelge 2. Devamı

| L Matris | | | Ameliyathaneler Risk Analizi | | | | | | | | |
|------------|----|--|--|------------|--------|------|--|--|------------|--------|------|
| | No | Tehlikenin tanımı | Riskin tanımı | Risk Puanı | | | Etkilenen | Alınması gereken Önlem/faaliyetler | Risk Puanı | | |
| | | | | Olasılık | Şiddet | Risk | | | Olasılık | Şiddet | Risk |
| ENFEKSİYON | 1 | Biyolojik etken kaynakları (Hasta kişi, Materyal, veya ortam) | Enfeksiyon | 3 | 3 | 9 | Tüm Kurum Çalışanları | Biyolojik etkenlere maruziyet risklerinin önlenmesi hakkındaki yönetmelik gereğince önlemler alınmalı, eğitim. Kişisel koruyucu donanım kullanılmalı | 1 | 3 | 3 |
| | 2 | Kesici ve delici alet yaralanmaları | Enfeksiyon, meslek hastalığı | 3 | 4 | 12 | Kurum çalışanları ve Kurum | Uygun kişisel koruyucu donanım kullanılmalı, Eğitim | 3 | 1 | 3 |
| | 3 | Kesici ve delici alet kutularının uygun kullanılmaması | Enfeksiyon, meslek hastalığı | 5 | 3 | 15 | Kurum çalışanları ve Kurum | Kesici delici alet kutularının usulüne uygun kullanılması sağlanmalı ve denetlenen, Eğitim, Denetim | 4 | 1 | 4 |
| | 4 | Kişisel Koruyucu donanım yetersizliği | Meslek Hastalığı, iş Kazası | 4 | 3 | 12 | Kurum çalışanları ve Kurum | Kişisel koruyucu donanımlardan eksik olanlar tamamlanmalı | 4 | 1 | 4 |
| | 5 | İş hijyen şartlarının yerine getirilmemesi | İş kazası, meslek hastalığı, yaralanma | 3 | 4 | 12 | Çalışanlar | İş hijyeni ilgili yönetmelik gereklerinin karşılamalı | 3 | 2 | 6 |
| | 6 | Vücut sıvıları sıçramalarına maruz kalma | Enfeksiyon | 3 | 3 | 9 | kurum çalışanları | Mevcut durum korunmalı, Çalışma alanı çok sıkışık olmayacak ve güvenli olarak çalışmalarını sağlayabilecek yeterli boş alan bulundurulmalıdır. Ergonomi eğitimi verilmeli çalışanlara | 2 | 2 | 4 |
| EKONOMİ | 7 | Ergonomik olmayan çalışma şekli | Kas, iskelet ve bel ağrıları, meslek hastalığı | 3 | 3 | 9 | kurum çalışanları | Çalışma alanı çok sıkışık olmayacak ve güvenli olarak çalışmalarını sağlayabilecek yeterli boş alan bulundurulmalıdır. Ergonomi eğitimi verilmeli çalışanlara | 2 | 2 | 4 |
| | 8 | Islak/kaygan zemin | Çarpma, kayma, tökezleme, düşmeye bağlı; burkulma ve yaralanma riski | 3 | 3 | 9 | Kurum, kurum çalışanları, ziyaretçiler | Yerler ıslak bırakılmamalı, Kaygan zemin uyarı levhası bulundurulmalıdır. | 2 | 2 | 4 |
| | 9 | Sabitlenmemiş Dolaplar | Dolapların Düşmesine bağlı iş kazası, yaralanma, ölüm | 4 | 3 | 12 | Tüm Kurum Çalışanları ve Kurum | Bina içindeki tüm dolapların uygun malzemeler ile duvara sabitlenmesi sağlanmalı, Denetim | 2 | 3 | 6 |
| | 10 | Hasta taşıma ve pozisyon verme sırasında meydana gelen yaralanmaları | Kas iskelet sistemi rahatsızlıkları | 3 | 3 | 9 | Tüm Kurum Çalışanları ve Kurum | İş Sağlığı ve Güvenliği, çalışan sağlığı (ergonomik tehlike ve riskler) konusunda çalışanların verilen eğitimlere katılımı sağlanmalı, Çalışma koşullarına göre bölüm çalışanları arasında dönüşümlü ve eşit iş paylaşımı sağlanması, Hasta taşıma amacı ile uygun ekipmanlar (hasta taşıma lifti bv.) temin edilmeli. | 3 | 1 | 3 |

Çizelge 2. Devamı

| | Fine- Kinney Yöntemi | | | | | | | Ameliyathaneler Risk Analizi | | | | | | |
|------------|----------------------|--|--|------------|-------|--------|------|--|--|------------|-------|--------|------|--|
| | No | Tehlikenin Tanımı | Riskin tanımı | Risk puanı | | | | Etkilenen | Alınması gereken önlem/faaliyetler | Risk puanı | | | | |
| | | | | Olasılık | Frek. | Şiddet | Risk | | | Olasılık | Frek. | Şiddet | Risk | |
| ENFEKSİYON | 1 | Biyolojik etken kaynakları (Hasta kişi, Materyal, veya ortam) | Enfeksiyon | 3 | 10 | 7 | 210 | Tüm kurum çalışanları | Biyolojik etkenlere maruziyet risklerinin önlenmesi hakkındaki yönetmelik gereğince önlemler alınmalı, eğitim. Kişisel koruyucu donanım kullanılmalı | 6 | 0,5 | 3 | 9 | |
| | 2 | Kesici ve delici alet yaralanmaları | Enfeksiyon, meslek hastalığı | 6 | 6 | 7 | 252 | Kurum çalışanları ve kurum | Uygun kişisel koruyucu donanım kullanılmalı, eğitim | 0,5 | 6 | 3 | 9 | |
| | 3 | Kesici ve delici alet kutularının uygun kullanılmaması | Enfeksiyon, meslek hastalığı | 6 | 6 | 3 | 108 | Kurum çalışanları ve kurum | Kesici delici alet kutularının usulüne uygun kullanılması sağlanmalı ve denetlenen, eğitim, denetim | 3 | 6 | 1 | 18 | |
| | 4 | Kişisel Koruyucu donanım yetersizliği | Meslek Hastalığı, İş kazası | 6 | 6 | 7 | 252 | Kurum çalışanları ve kurum | Kişisel koruyucu donanımlardan eksik olanlar tamamlanmalı | 1 | 6 | 3 | 18 | |
| | 5 | iş hijyen şartlarının yerine getirilmemesi | iş kazası, meslek hastalığı, yaralanma | 6 | 6 | 3 | 108 | Çalışanlar | iş hijyeni ilgili yönetmelik gereklerinin karşılamalı | 1 | 6 | 3 | 18 | |
| | 6 | Vücut sıvıları sıçramalarına maruz kalma | Enfeksiyon | 3 | 3 | 15 | 135 | İlgili personel | Uygun KKD kullanımı sağlanmalı, Denetim, Eğitim | 1 | 1 | 15 | 15 | |
| ERGONOMİ | 7 | Ergonomik olmayan çalışma şekli | Kas, iskelet ve bel ağrıları, meslek hastalığı | 6 | 6 | 7 | 252 | Kurum çalışanları | Çalışma alanı çok sıkışık olmayacak ve güvenli olarak çalışmalarını sağlayabilecek yeterli boş alan bulundurulmalıdır. | 1 | 6 | 7 | 42 | |
| | 8 | Islak/kaygan zemin | Çarpma, kayma, tökezleme, düşmeye bağlı; burkulma ve yaralanma riski | 3 | 6 | 3 | 54 | Kurum, kurum çalışanları, ziyaretçiler | Çalışanlara ergonomi eğitimi verilmeli, yerler ıslak bırakılmamalı, Kaygan zemin uyarı levhası bulundurulmalıdır. | 1 | 6 | 3 | 18 | |
| | 9 | Sabitlenmemiş Dolaplar | Dolapların Düşmesine bağlı iş kazası, yaralanma, ölüm | 6 | 3 | 15 | 270 | Tüm Kurum çalışanları ve kurum | Bina içindeki tüm dolapların uygun malzemeler ile duvara sabitlenmesi sağlanmalı, denetim | 1 | 6 | 3 | 18 | |
| | 10 | Hasta taşıma ve pozisyon verme sırasında meydana gelen yaralanmaları | Kas iskelet sistemi rahatsızlıkları | 6 | 3 | 7 | 126 | Tüm kurum çalışanları ve kurum | İş Sağlığı ve Güvenliği, çalışan sağlığı (ergonomik tehlike ve riskler) konusunda çalışanların verilen eğitimlere katılımı sağlanmalı, Çalışma koşullarına göre bölüm çalışanları arasında dönüşümlü ve eşit iş paylaşımı sağlanması, Hasta taşıma amacı ile uygun ekipmanlar (hasta taşıma lifti bv.) temin edilmeli. | 3 | 3 | 1 | 9 | |

Çizelge 3. 5*5 (L tipi) ve Fine-Kinney yöntem karşılaştırma tablosu

| Risk değerlendirme yapılan birim | Risk önem derecesi | L Tipi Matris | Risk önem derecesi | Fine-Kinney |
|----------------------------------|--------------------|---------------|--------------------|-------------|
| Acil servis | Durdur | - | Çok büyük risk | 9 |
| | Yüksek | 13 | Esaslı risk | 11 |
| | Orta | 22 | Önemli risk | 12 |
| | Düşük | 3 | Olası risk | 5 |
| | Önemsiz | - | Önemsiz | 1 |
| Poliklinik | Durdur | - | Çok büyük risk | 3 |
| | Yüksek | 4 | Esaslı risk | 9 |
| | Orta | 23 | Önemli risk | 11 |
| | Düşük | 2 | Olası risk | 5 |
| | Önemsiz | - | Önemsiz | 1 |
| Ameliyathane | Durdur | - | Çok büyük risk | 2 |
| | Yüksek | 4 | Esaslı risk | 15 |
| | Orta | 24 | Önemli risk | 8 |
| | Düşük | 3 | Olası risk | 6 |
| | Önemsiz | 0 | Önemsiz | - |

Bu çalışma ile fazla karmaşık olmayan bir ilçe hasta hanesinde risk analiz yöntemlerinin farklı sonuçlar doğurduğunu dolayısı ile alınan önlemlerin yetersiz olabileceği öngörülmüştür. Acil servis, Poliklinikler ve Ameliyathane olarak Risk değerlendirme yapılan sağlık hizmet alanlarının risk önem derecelerinde her iki yöntemde kalitatif olmasına rağmen 5*5 L tipi Matris yöntemi ile Fine-Kinney yönteminde önem dereceleri farklı sonuçlar ortaya çıkarmıştır.

Fine-Kinney yönteminde;

- Toplamda çok büyük/esaslı risk seviyesinde ameliyathanelerde 11 adet tehlike kaynağı, acil serviste 6 adet tehlike kaynağı, poliklinik çalışma alanlarında ise 17 adet tehlike kaynağı tespit edilmiştir. Aynı alanlarda sırası ile 5*5 L Tipi Matris yönteminde ise 4, 13, 4 adet olarak tespit edilmiştir. Fine-Kinney yönteminde çalışma yapılan tüm alanlarda toplam çok büyük risk/durdur seviyesinde 13 adet tehlike kaynağı tespit edilmiş olup bunlardan bazıları şu şekildedir;

- “Acil çıkış olmaması” buna bağlı olarak yaralanma, ölüm, güvenli alana ulaşamama riski tespit edilerek, önlem olarak acil çıkış ya da ikinci bir çıkış yapılması,

- “Basınçlı tüplerin kullanılmasından kaynaklanan riskler” buna bağlı olarak patlama, yangın, yaralanma riski tespit edilmiş, önlem olarak eldivensiz oksijen tüpüne dokunulmaması, yağlı

eldiven veya kremlilerle dokunulmaması, yağ, petrol veya diğer kolaylıkla yanabilir maddelerin, oksijen ihtiva eden tüplerin valfleri ile temasa geçmesine asla müsaade edilmemesi, tüp çıkış valfleri özellikle yağ ve su gibi kirleticilerden uzak ve temiz tutulmalı, yağlı ekipman (conta, regülatör vb.) kesinlikle kullanılmaması, kliniklerde muhafaza edilen tüplerin paslanmaya ve sert havaya karşı korunaklı, çok iyi havalandırılmış bir sahada depolanması, depolama esnasında tüp sıcaklığının -40 °C'nin altına inmeyecek, 45 °C'nin üstüne çıkmayacak şekilde önlem alınmasının sağlanması, kliniklerde muhafaza edilen tüpler devrilmeyecek ve yuvarlanmayacak şekilde tutulması, tüp valflerinin sıkıca kapatılması ve koruyucu kapakları yerinde olması, dolu ve boş tüpler ayrı ayrı depolanması ve ilk önce eski stok kullanılacak şekilde dolu tüplerin ayarlanması, oksijen gibi oksitleyici tüplerle parlayıcı ve yanıcı gaz tüpleri ayrı ayrı depolanmasının sağlanması,

- Enfeksiyon ile ilgili risklerde “Biyolojik Etkenler” buna bağlı olarak enfeksiyon riski tespit edilmiş, önlem olarak biyolojik etkenlere maruziyet risklerinin önlenmesi hakkındaki yönetmelik gereğince önlemlerin alınması, hijyen eğitimlerinin verilmesi, KKD kullanımının sağlanması, düzenli aralıklarla denetlenmesi,

- Elektrik ile ilgili risklerde “Elektrik panolarının açıkta olması ve kilitlenmemiş olması” buna bağlı olarak yetkisiz kişilerin erişimi ile oluşabilecek iş kazaları ve yangın riski tespit edilmiş önlem olarak

panoların kapaklarının kapatılıp kilitlemesi, yetkisiz kişilerin erişimi engellenmesinin sağlanması önerilmiştir.

Çalışan sağlığı ve güvenliği ile tesis güvenliğinin sağlanması ve devamlılığının korunması için çok büyük/esaslı risk seviyesinde yer alan tehlike kaynaklarına daha erken müdahale edildiği ve aksiyon planlaması yapıldığı görülmüştür.

Yapılan araştırmalar hastanelerde risk değerlendirme yöntemlerinden L tipi Matrisin risk değerlendirme metodu olarak daha çok tercih edildiğini göstermektedir. Kantarcıoğlu, 2020 çalışmasında kamu hastanelerinde risk değerlendirme süreçlerinde risk derecelerinin doğru belirlenmesi için sağlık hizmet sunucularına özel risk değerlendirme metodu oluşturma çalışmasının gerekli olduğunu belirtmektedir.

Sonuç olarak yapılan çalışma Fine-Kinney yönteminin 5x5 L tipi Matris yöntemine göre daha hassas sonuçlar verdiği görülmüştür. Özellikle yataklı sağlık kurumlarında risk değerlendirme çalışmalarında kalitatif risk değerlendirme yöntemlerinden yararlanılacaksa 5x5 L Tipi Matris ve Fine-Kinney yönteminin çalışma sahasına göre beraber kullanılması, örneklem aldığımız sahalarda ise Fine-Kinney yönteminin kullanılması önerilmektedir.

5. BİLGİLENDİRME

Bu makale Gülistan Karan Buturak'a ait Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Yavuz, A.İ., 2014. Sağlık İşletmelerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği Kapsamında Çalışanlara Yönelik Şiddet (Dr. Behçet Uz Çocuk Hastalıkları ve Cerrahisi Eğitim ve Araştırma Hastanesi örneği), Sosyal Bilimler Enstitüsü, Beykent Üniversitesi, İstanbul, 148.
2. Özkılıç, Ö., 2008. Tehlike ve Risk Kavramları-Terminoloji, 5. Uluslararası İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı 1. Oturum Sözel Bildiri.

(s.2), Düzenleyen Taysad Organize Sanayi Bölgesi (TOSB), İstanbul.

3. İncesu, E., 2019. Sağlık Hizmetlerinde Kurumsal Risk Yönetim Modeli Önerisi, Sağlıkta Kalite ve Akreditasyon Dergisi, 47-53.
4. Kantarcıoğlu, H., Kantarcıoğlu, A. , Dinç, H., 2020. Sağlık Kurumlarında İş Sağlığı Ve Güvenliği: Kamu Hastanelerinde Risk Değerlendirme Yöntemlerine Yönelik Bir İnceleme, Sağlık Akademisyenleri Dergisi, 7(1), 61-66.
5. Seber, V., 2012. İşçi Sağlığı ve Güvenliğinde Risk Analizleri Nasıl Yapılır?, Elektrik Mühendisliği Dergisi, 445, 30-34.
6. Buturak Karan G., Yapıcı, N., 2019. The Importance of Risk Analysis Methods in Occupational Health Institutions, "6th International Multidisciplinary Studies Congress , 172-189, Gaziantep.
7. Meydanlıoğlu, A., 2013. Sağlık Çalışanlarının Sağlığı ve Güvenliği. Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi, 2(3), 192-199.
8. Buturak Karan G., 2019. Bir Sağlık Kurumunda L Matris ve Fine-Kinney Risk Analiz Yöntemlerinin Kıyaslanması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Adana, 99.

Mechanical Analyses of Denim Fabrics Laminated with Recycled Polyethylene Packaging Wastes

İpek YALÇIN-ENİŞ¹ ORCID 0000-0002-7215-3546
Hande SEZGİN^{*1} ORCID 0000-0002-2671-2175

¹Istanbul Technical University, Faculty of Textile Technologies and Design, Textile Engineering Department, Istanbul

Geliş tarihi: 17.01.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: YALÇIN ENİŞ, İ., SEZGİN, H., (2022). Mechanical Analyses of Denim Fabrics Laminated with Recycled Polyethylene Packaging Wastes. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 765-772.

Abstract

Due to the increasing population and production rate in the world, the amount of waste accumulating in solid waste sites is increasing day by day. In particular, disposable packaging wastes go to landfills after they are used, and this situation poses a serious risk when evaluated in terms of solid waste management. On the other hand, the textile industry, which has a large production volume, causes tons of textile waste to be buried in solid waste sites. The major goal of this study is to produce 100% recycled laminated textiles by combining waste from denim fabric and polyethylene bottle caps, which are the priority waste categories for both industries. In this context, low and high density polyethylene waste bottle caps were recycled separately by the hot press method, and the matrix plates obtained were laminated to waste denim fabrics. The physical and mechanical properties of the produced laminated fabrics were tested, and the results were discussed by comparing them with the test results of polyethylene plates and denim fabrics. The findings demonstrated that high density polyethylene could be processed more easily in the lamination process and also imparted better mechanical properties to the fabric to which it was laminated compared to low density polyethylene. These laminated textiles with 100% waste content are expected to provide a sustainable substitute for value-added products that can be used especially in outdoor application areas such as awnings with their improved properties.

Keywords: Polyethylene, Packaging waste, Denim fabric, Laminated fabric, Recycling

*Corresponding author (Sorumlu yazar): Hande SEZGİN, sezginh@itu.edu.tr

Geri Dönüştürülmüş Polietilen Ambalaj Atıkları ile Lamine Edilmiş Denim Kumaşların Mekanik Analizi

Öz

Dünyada artan nüfus ve üretim hızı nedeniyle katı atık sahalarında biriken atık miktarı her geçen gün artmaktadır. Özellikle tek kullanımlık ambalaj atıkları kullanıldıktan sonra düzenli depolama sahalarına gitmekte ve bu durum katı atık yönetimi açısından değerlendirildiğinde ciddi bir risk oluşturmaktadır. Öte yandan, büyük bir üretim hacmine sahip olan tekstil sektörü, tonlarca tekstil atığının katı atık sahalarına gömülmesine neden olmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, her iki sektör için de öncelikli atık kategorileri arasında yer alan denim kumaş ve polietilen şişe kapaklarının atıklarını birleştirerek %100 geri dönüştürülmüş lamine tekstil ürünleri üretmektir. Bu kapsamda düşük ve yüksek yoğunluklu polietilen atık şişe kapakları sıcak pres yöntemiyle ayrı ayrı geri dönüştürülmüş ve elde edilen matris plakalar atık denim kumaşlara lamine edilmiştir. Üretilen lamine kumaşların fiziksel ve mekanik özellikleri test edilmiş ve sonuçlar polietilen plakalar ve denim kumaşların test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bulgular, yüksek yoğunluklu polietilenin laminasyon işleminde daha kolay işlenebileceğini ve ayrıca lamine edildiği kumaşa düşük yoğunluklu polietilene kıyasla daha iyi mekanik özellikler kazandırdığını göstermiştir. %100 atık içeriğine sahip bu lamine tekstillerin, geliştirilmiş özellikleri ile özellikle tente gibi dış mekan uygulama alanlarında kullanılacak katma değerli ürünlere sürdürülebilir bir ikame sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Polietilen, Ambalaj atıkları, Denim kumaş, Lamine kumaş, Geri dönüşüm

1. INTRODUCTION

Municipal solid waste (MSW) disposal is a huge problem for developing countries. About 11% by the weight of MSW consists of waste plastics such as polyethylene (PE), polyethylene terephthalate (PET), polypropylene (PP) and polystyrene (PS) [1]. The main reason for this is that almost 91% of all plastic produced in the world is not recycled. It is thought that the cumulative amount of plastic waste in 2050 will reach 12,000 mt if plastic production continues at the same pace and if no change is made in the waste management trend. On the other hand, when these data are evaluated in terms of greenhouse gases, it is predicted that carbon dioxide emissions will increase approximately 4 times in 2050 compared to 2015. Therefore, every virgin plastic that enters production will continue to threaten the environment due to both solid waste and greenhouse gas emissions [2].

Polyolefins play a leading role in the packaging industry thanks to their good mechanical

properties, easy processing and low cost. According to 2018 data, Europe has 49% plastic demand for polypropylene (PP) and polyethylene (PE), and the largest shareholder of this plastics industry is the packaging industry with 39.9% [3]. Polyethylene has the largest share in international trade, and the global demand for it is increasing day by day [4].

Polyethylenes are classified according to their density, which is a result of their degree of crystallinity, and the type and content of branches. The chemical formulas of these polyethylenes, the most common commercial examples of which are high density polyethylene (HDPE) and low density polyethylene (LDPE), are the same, but the density of their molecular chains is different. HDPE has a high molecular weight resulting in a high degree of crystallinity and consists of a linear structure with little or no branching. LDPE, on the other hand, has lower crystallinity compared to HDPE because it consists of a chaotic structure with short and long chain branches [5]. These two polyethylenes are polymers that can be reprocessed under heat with different properties they exhibit.

It is important to recycle or reuse plastics after use in order to reduce environmental pollution caused by plastic packaging waste. In this sense, there are remarkable developments under the name of sustainability today. For example, while the rate of recycled plastic was 16% worldwide in 2016, this rate was given as 32% for Europe in 2018. Although the result that recycling has increased by 2 times is promising, it is obvious that the recycling percentage is still insufficient [6].

Like the plastics industry, the textile sector is one of the leading industries that generate a large amount of waste. In direct proportion to the increase in population and income level, textile consumption increases at a high rate and this leads to unwanted waste textile production worldwide [7]. More than millions of tons of textile waste is generated worldwide every year, but only less than 20% of this is recycled [8].

In textile industry, the impact of denim production on environmental degradation is extremely dangerous due to both being one of the most widely used fabrics and the high amount of chemicals used during its production [9, 10]. Cotton is the main raw material used in denim production [11]. The reuse of cotton will reduce cotton production, which results in a very high use of water, fertilizers and pesticides [12]. Waste cotton fabrics and fibers are recycled and reused in many different areas. The abundance of raw materials, low density, high biodegradability and low price provide advantages in the use of waste cotton fibers as reinforcement material in composite structures [7].

In the literature, it is possible to find some studies that focus on the production of fabric-reinforced polyolefin-based composites. For instance, in a study of Sayem et al. commercial HDPE, PP and Nylon 6 sheets were reinforced with jute fabrics using compression moulding techniques [13] whereas Lv et al. manufactured decorative wood fiber and HDPE composites with canvas or polyester fabrics by hot and cold pressing techniques [14]. In almost a similar way, Mayer et al. produced Kevlar fabric reinforced HDPE and PP film-based laminates by hot press method for

ballistic applications [15]. On the other hand, the number of studies on environmentally friendly production using recycled polyolefins in laminated fabrics is quite limited. Rokbi et al. have a study on investigation of tensile properties of plain woven jute fabric reinforced recycled polypropylene film composites [16]. Unlike all the mentioned studies, in this study, HDPE and LDPE plates produced from recycled polyethylene bottle caps are laminated to waste denim fabrics by hot press method and the physical and mechanical properties of these laminated fabrics are evaluated by comparing them with the results of pure recycled PE plates and denim fabrics. Rather than using pure polymers in this study, plates were made of recycled post-consumer waste polymers, and denim fabric waste, the textile industry's most chemically-intensive fabric type, was recycled instead of being disposed of in landfills. Leading the subsequent studies on sustainability will be recycling the wastes of these two significant industries (textiles and plastics), which produce enormous volumes of garbage.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

In this study, 240 g/m² post-production wastes of denim fabrics (98% cotton, 2% elastane) with twill weave structure supplied from Calik Denim and used as a reinforcement material whereas post-consumer wastes of HDPE and LDPE water bottle caps that are collected from ITU Gumussuyu Campus and recycled, are used as matrix materials.

2.2. Methods

2.2.1. Preparation of Matrix Plate

Before the production of the laminated fabrics within the scope of the study, the matrix material is prepared in the form of a plate. For this purpose, LDPE (24 pieces, Figure 1a) and HDPE (117 pieces, Figure 1b) bottle caps arranged between two pieces of Teflon paper are placed in the hot press machine. Considering the melting temperatures of the polymers, the temperature is

adjusted to 160°C for HDPE plate production and to 140°C for LDPE plate production. The materials are kept at these temperatures and 20 tons of pressure for 1 hour, then the temperature is turned off and the material is left to cool for about 3-4 hours under the same pressure. The matrix plate obtained can be seen in Figure 1c.

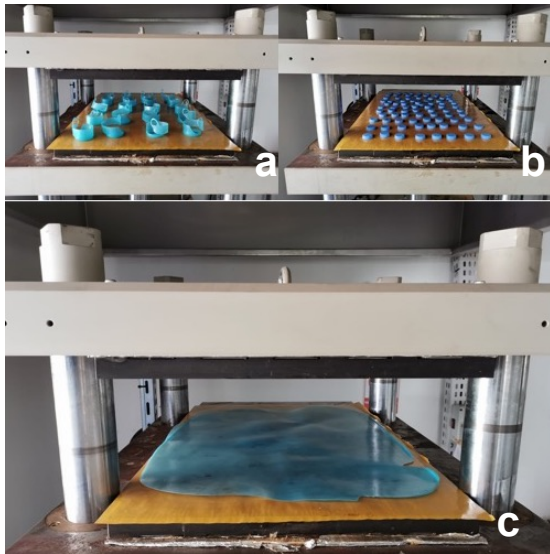


Figure 1. a. LDPE and b. HDPE bottle caps c. matrix plate

2.2.2. Preparation of Laminated Fabrics

The purpose of lamination on denim fabric is to improve the mechanical properties of the fabric, as well as to make it a suitable material for various outdoor applications by imparting water resistance.

In order to obtain laminated fabric, LDPE and HDPE matrix plates produced in 50*80 cm dimensions are placed in the hot press together with one layer of denim fabric cut in the same dimensions. Similarly, Teflon paper is used to prevent the matrix plate from sticking to the metal sheets of the hot press. HDPE and LDPE laminated fabrics are kept for 1 hour under 20 tons of pressure at temperatures of 160 °C and 140 °C, respectively. After 1 hour, the temperature is turned off and the samples are kept under the same pressure for 18 hours to prevent curling.

Laminated fabric structures can be seen in Figure 2.

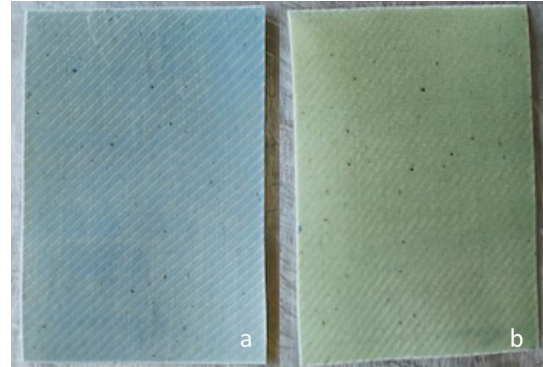


Figure 2. Laminated fabrics a. HDPE b. LDPE

2.2.3. Physical Analysis

The thickness of the waste denim fabric, recycled HDPE and LDPE plates and the laminated structures are measured by a digital micrometer (Standard Gage) while the areal density and fiber weight ratio values are calculated based on measured experimental weight data.

2.2.4. Mechanical Analysis

The tensile strength of the laminated fabric structures, denim fabrics and plastic plates are measured in accordance with the TS EN ISO 13934-1 standard by using the Titan² universal testing machine. Since woven fabrics have different performance properties in weft and warp directions, denim fabric and laminated fabrics are tested separately in weft and warp directions. Five different measurements are done for each sample group and the mean values are given together with the standard deviation (SD) values. The maximum load values obtained as a result of the test are divided by the cross-sectional area (width x thickness) of the test samples and the tensile strength values of the materials are calculated. Double tear strength is realized with same test machine according to TS EN ISO 13937-4 standard (Figure 3). Maximum tear force data is divided into thickness of the sample to calculate tear strength values and results are given in mean and standard deviation values of five samples.



Figure 3. Double tear strength test

The drop-weight impact tests of the laminated fabrics are performed by BESMAK impact testing machine according to the ASTM D7136 standard. Five samples from each test group are exposed to 12 Joule impact energy. The results are supported by visual damage models as well as numerical data on absorbed energy, maximum load and displacement. Numerical results are given with mean and standard deviation values.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Physical Analysis

The thickness, areal density and fiber weight ratio values of the waste denim fabric, recycled HDPE & LDPE plates and the laminated structures are given in Table 1. It is seen that the thicknesses of the laminated structures are lower than the sum of the thicknesses of the fabric and plastic plates. This shows that the lamination process is achieved properly and both HDPE and LDPE plates adhere well to the fabric surface by penetrating the yarns that make up the fabric.

Compared to HDPE plates, LDPE plates have a more viscous structure under heat, which makes it somewhat difficult for LDPE plates to penetrate the fabric in a molten phase. Therefore, due to the thicker LDPE layer in the laminated structure, a lower fiber weight ratio is achieved in LDPE laminated composite structures compared to HDPE laminated composites. The areal densities of the samples also support this result.

Table 1. Physical properties of samples

| Sample Codes | Thickness [±SD] (mm) | Areal Density [±SD] (g/m ²) | Fiber weight ratio [±SD] (%) |
|--------------|----------------------|---|------------------------------|
| Denim | 0.38[±0.02] | 240[±0.02] | |
| HDPE | 0.34[±0.03] | 307[±0.02] | - |
| LDPE | 0.52[±0.03] | 419[±0.02] | - |
| Denim-HDPE | 0.49[±0.06] | 510[±0.02] | 47 [±0.02] |
| Denim-LDPE | 0.63[±0.04] | 575 [±0.02] | 42 [±0.02] |

3.2. Mechanical Analysis

3.2.1. Tensile and Tear Strength Analyses

Tensile and tear strength values of fabrics (Denim-warp & Denim-weft), recycled matrix plates (HDPE & LDPE) and laminated fabrics (Denim-HDPE-warp, Denim-HDPE-weft, Denim-LDPE-warp & Denim-LDPE-weft) are given in Table 2. When the tensile strength results of fabric samples are examined, it is seen that the tensile strength value obtained in the warp direction is approximately 65% higher than the value obtained from the weft direction. Considering the characteristic features of woven fabrics and weave type (twill), this is an expected result. Warp yarns per inch is one the most dominant factor determining the strength of fabric in warp direction [17].

Table 2. Tensile and tear strength values of samples

| Sample Codes | Tensile strength [±SD] (N/mm ²) | Tear strength [±SD] (N/mm) |
|-----------------|---|----------------------------|
| Denim-warp | 53.72 [±2.70] | 159.03 [±16.02] |
| Denim-weft | 32.05 [±0.63] | 128.79 [±9.11] |
| HDPE | 27.02 [±1.01] | 28.10 [±5.34] |
| LDPE | 16.32 [±0.92] | 10.64 [±1.09] |
| Denim-HDPE-warp | 71.92 [±0.31] | 61.12 [±5.99] |
| Denim-HDPE-weft | 39.81 [±0.44] | 59.23 [±5.12] |
| Denim-LDPE-warp | 46.15 [±1.23] | 41,92 [±4.87] |
| Denim-LDPE-weft | 29.32 [±1.09] | 29.25 [±3.64] |

When the tensile strength values of the plates are examined, it is noticed that HDPE plate has a higher tensile strength than LDPE. This can be resultant from the density differences of these polyethylenes. Density, which is defined as the measure of short chain branches, is one of the most important parameters that determine the properties of polyethylene. The decrease in density causes a decrease in the crystallinity ratio, which causes the final material to be softer and more flexible, with an increase in toughness and a decrease in yield strength [5].

In the samples laminated with HDPE and LDPE, a higher tensile strength value is obtained in the warp direction, just like in the fabric since the mechanical properties of coated fabrics depend on the those of the fibers that it contains and weave type [18]. With the lamination of the fabric with HDPE plate, an increase of 36% and 25% is observed in the tensile strength values in the warp and weft directions, respectively. However, 8-13% decrease in tensile strength is observed in LDPE laminated fabrics. It is thought that the lower tensile strength value of LDPE plate (16.32 MPa) in comparison to denim fabrics (32.05-53.72 MPa) causes this result.

However, it is very difficult to ensure homogeneous dispersion of natural raw material reinforcement materials in the thermoplastic matrix. This is because the reinforcement material is hydrophilic while the matrix material is hydrophobic, which makes it difficult to obtain a durable interface and reduces stress transfer from one component to another. For this reason, the positive effect to be obtained may increase even more if various surface modifications are carried out [19].

Considering the tear strength test results, it is seen that the tear strength of laminated fabrics is lower than that of pure fabrics. This can be explained by the fact that the melted polyethylene not only disperses between the yarns, but also diffuses between the fibers, causing the structure to become waxy, and therefore the structure cannot resist at

the time of tearing. The mobility of the fibers and yarns that make up the fabric is important for obtaining high tear strength. When a coating is applied to the fabric, it restricts the fibers and the existing mobility of the yarns, resulting in a decrease in the tear strength of the fabrics regardless of the coating type [20]. On the other hand, it is obvious that HDPE and HDPE laminated fabrics show better tear strength than LDPE and LDPE laminated fabrics.

3.2.2. Drop-weight Impact Analysis

Drop-weight impact resistance test results are given in Table 3 and Figure 4.

When the absorbed energy values of LDPE and HDPE based laminated structures are compared, it has been determined that the energy absorbed by HDPE laminated structures is higher. This result can be supported by the higher tensile strength value of HDPE plates in comparison to LDPE plates (Table 2). Moreover, the fact that HDPE laminated composites have a higher fiber weight ratio than LDPE laminates is considered as one of the reasons for this situation. In addition, in parallel with the increase in the fiber weight ratio, it is seen that the maximum force that the material can bear increases.

Table 3. Drop-weight impact resistance test results

| | Max load [kN] | Absorbed Energy [J] | Absorption ratio [%] | Displacement [mm] |
|------------|-----------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| Denim | - | - | - | - |
| HDPE | 0.33 [±0.06] | 0.57 [±0.16] | 4.75 | 7.19 [±0.29] |
| LDPE | 0.36 [±0.03] | 0.45 [±0.03] | 3.75 | 5.85 [±0.26] |
| Denim-HDPE | 0.39 [±0.08] | 0.60 [±0.19] | 5.00 | 5.61 [±0.33] |
| Denim-LDPE | 0.43 [±0.15] | 0.51 [±0.58] | 4.25 | 3.89 [±2.06] |

According to the visual damage patterns represented in Figure 4, although full penetration is observed for all samples, it is clearly noticed that the damage characteristics of HDPE and LDPE plates thus their laminates are exactly different from each other.

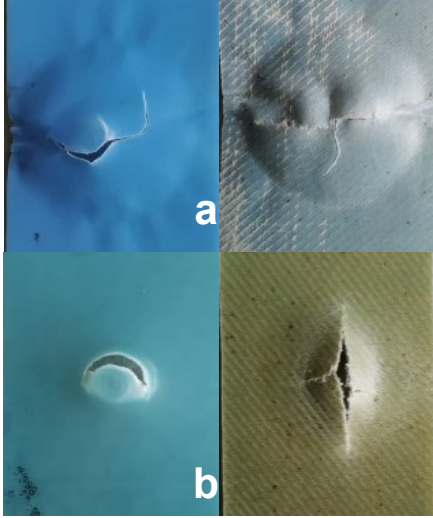


Figure 4. Damage patterns of the samples. a. HDPE plate and the Denim-HDPE sample b. LDPE plate and the Denim-LDPE sample

HDPE and HDPE laminates, which have higher absorbed energy values, are more resistant to the load acting at the time of damage and meet this load with a wider area, while it has been observed that a very smooth damage zone is formed only in the geometry and dimensions of the striking tip especially in pure LDPE samples with lower absorbed energy values. It is also seen that the characteristic features of this damage geometry have changed with the woven fabric structure added to the LDPE plates and it has been damaged more in the form of tearing.

4. CONCLUSION

In this study, waste polyethylene bottle caps are converted into matrix material and laminated to waste denim fabrics. The physical and mechanical properties of laminated fabrics produced using both HDPE and LDPE polymers are compared with pure HDPE and LDPE plates and denim fabric. The prominent results show that HDPE has easier processability than LDPE, so it can spread more easily into the textile structure. This situation directly manifests itself in the produced plate thicknesses and fiber weight ratios. It is also

known that HDPE polymer has more advantageous mechanical properties than LDPE due to its chemical structure. This results in higher tensile strength and enhanced impact resistance values in HDPE laminated fabrics compared to LDPE laminated fabrics. On the other hand, regardless of the type of polyethylene, the lamination process reduces the tear strength of all fabrics since it restricts the movement ability of the yarns that make up the fabric. These produced laminated fabrics have the feature of being 100% recyclable, exhibit better strength properties than pure plastic plate and denim fabric, and become suitable for outdoor use with the waterproofing they offer. On the other hand, depending on the application area, the direction of tension that the fabric will be exposed to should be taken into account, and accordingly the weft and warp directions should be determined. This product group can be used as the main material or component in urban furniture in park and garden applications, as well as in personal products such as shopping bags.

This study, which develops an innovative material to obtain value-added products by using completely waste materials, also contributes to solid waste management and supports the understanding of sustainability.

5. ACKNOWLEDGMENT

This study is supported by Istanbul Technical University, Scientific Research Projects (Project No: 41926).

6. REFERENCES

1. Gaurh, P., Pramanik, H., 2018. A Novel Approach of Solid Waste Management via Aromatization Using Multiphase Catalytic Pyrolysis of Waste Polyethylene. *Waste Management*, 71, 86–96.
2. Meys, R., Frick, F., Westhues, S., Sternberg, A., Klankermayer, J., Bardow, A., 2020. Towards a Circular Economy For Plastic Packaging Wastes The Environmental Potential of Chemical Recycling. *Resources Conservation & Recycling*, 162, 105010.

3. Karaagac, E., Koch, T., Archodoulaki, V.M., 2021. The Effect of PP Contamination in Recycled High-density Polyethylene (RPE-HD) from Post-consumer Bottle Waste and Their Compatibilization with Olefin Block Copolymer (OBC). *Waste Management*, 119, 285–294.
4. Moreno, D.D.P., Saron, C., 2017. Low-density Polyethylene Waste/recycled Wood Composites. *Composite Structures*, 176, 1152–1157.
5. Shebani, A., Klash, A., Elhabishi, R., Abdsalam, S., Elbreki, H., Elhrari, W., 2018. The Influence of LDPE Content on the Mechanical Properties of HDPE/LDPE Blends. *Research & Development in Material Science*, 7(5), 1-7.
6. Schyns, Z.O.G., Shaver, M.P., 2020. Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review. *Macromolecular Rapid Communications*, 42, 2000415.
7. Meng, X, Fan, W., Adibah, W., Mahari, W., Ge, S., Xia, C., Wu, F., Han, L., Wang, S., Zhang, M., Hu, Z., Ma, N.L., Le, Q.V., Lam, S.S., 2021. Production of Three-dimensional Fiber Needle-punching Composites from Denim Waste for Utilization as Furniture Materials. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125321.
8. Lu, L., Fan, W., Meng, X., Liu, T., Han, L., Zhang, T., Dong, J., Yuan, L., Tian, H., 2020. Modal Analysis of 3D Needled Waste Cotton Fiber/epoxy Composites with Experimental and Numerical Methods. *Textile Research Journal*, 91(3-4), 358-372.
9. Uncu Aki, S., Candan, C., Nergis, B., Önder, N.S., 2020. Understanding Denim Recycling: A Quantitative Study with Lifecycle Assessment Methodology. Körlü, A. (Ed.), *Waste in Textile and Leather Sectors*, Intech Open, 1-26.
10. Fernandes, P.R.B., Contin, B., Siqueira, M.U., Ruschel-Soares, R., Baruque-Ramos, J., 2021. Biocomposites from Cotton Denim Waste for Footwear Components. *Materials Circular Economy*, 3, 1-10.
11. Silva, T.L., Cazetta, A.L., Souza, P.S.C., Zhang, T., 2018. Mesoporous Activated Carbon Fibers Synthesized from Denim Fabric Waste: Efficient Adsorbents for Removal of Textile Dye from Aqueous Solutions. *Journal of Cleaner Production*, 171, 482-490.
12. Ma, Y., Zeng, B., Wang, X., Byrne, N., 2019. Circular Textiles: Closed Loop Fiber to Fiber Wet Spun Process for Recycling Cotton from Denim. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7, 11937–11943.
13. Sayem, A.S.M., Haider, J., Naveed, B., Sayeed, M.M.A., Sashikumar, S., 2020. Thermoplastic Composites Reinforced with Multi-layer Woven Jute Fabric: A Comparative Analysis. *Advances in Materials and Processing Technologies*, doi: 10.1080/2374068X.2020.1809235.
14. Lv, J., Fu, R., Liu, Y., Zhou, X., Wang, W., Xie, P., Hu, T., 2020. Decorative Wood Fiber/high-density Polyethylene Composite with Canvas or Polyester Fabric. *Journal of Renewable Materials*, 8, 879-890.
15. Mayer, P., Pyka, D., Jamroziak, K., Pach, J., Bocian, M., 2019, Experimental and Numerical Studies on Ballistic Laminates on the Polyethylene and Polypropylene Matrix. *Journal of Mechanics*, 35, 187-197.
16. Rokbi, M., Khaldoune, A., Sanjay, M.R., Senthamaraikannan, P., Ati, A., Siengchin, S., 2019. Effect of Processing Parameters on Tensile Properties of Recycled Polypropylene Based Composites Reinforced with Jute Fabrics. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 3, 144-149.
17. Majumdar, A., Ghosh, A., Saha, S.S., Roy, A., Barman, S., Panigrahi, D., Biswas, A., 2008. Empirical Modelling of Tensile Strength of Woven Fabrics. *Fibers and Polymers*, 9(2), 240–245.
18. Zhang, Y., Zhang, Q., Zhou, C., Zhou, Y., 2010. Mechanical Properties of PTFE Coated Fabrics. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(24), 3624–3630.
19. Koffi, A., Koffi, D., Toubal, L., 2021. Mechanical Properties and Drop-weight Impact Performance of Injection-molded HDPE/birch Fiber Composites. *Polymer Testing*, 93, 106956.
20. Eltahan, E., 2018. Structural Parameters Affecting Tear Strength of the Fabrics Tents. *Alexandria Engineering Journal*, 57(1), 97-105.

Tensile and Morphological Properties of Waste Tire Rubber Granule/Polyester Polymer Matrix Composite

Şafak YILDIZHAN*¹ ORCID 0000-0002-8981-9869

Feyza YEL¹ ORCID 0000-0001-6981-8511

Mustafa Atakan AKAR¹ ORCID 0000-0002-0192-0605

Umut KUMLU¹ ORCID 0000-0001-7624-6240

¹Cukurova University, Faculty of Engineering, Department of Automotive Engineering, Adana

Geliş tarihi: 24.01.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: YILDIZHAN, Ş., YEL, F., AKAR, M.,A., KUMLU, U., (2022). Tensile and Morphological Properties of Waste Tire Rubber Granule/Polyester Polymer Matrix Composite. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 773-779.

Abstract

In this study, waste tire rubber granules were used as filler material for the fabrication of polymer matrix composite samples. The polyester resin which is one of the most preferred matrix materials and recycled waste tire rubber granules were combined at varying ratios with the open molding method. The samples were characterized experimentally by conducting tensile and hardness tests. The morphological properties of the specimens were examined with scanning electron microscope images. The study revealed that the addition of untreated waste tire rubber granules to polyester resin decreases the tensile and yield strength values, while it causes to increase in elongation and ductility of the material. The morphological examinations showed that waste rubber granules and polyester resin have poor interfacial adhesion and thus the waste rubber granules should be properly treated to be used as filler material. The study indicated that waste tire rubber granule/polyester composites can be used for non-structural applications with the benefits of using less fossil sourced raw materials and contributing to the decrement of environmental pollution.

Keywords: Composite material, Waste rubber, Mechanical properties, Polyester

*Corresponding author (Sorumlu yazar): Şafak YILDIZHAN, yildizhans@cu.edu.tr

Atık Lastik Kauçuk Granül/Polyester Polimer Matris Kompozitinin Çekme ve Morfolojik Özellikleri

Öz

Bu çalışmada, polimer matrisli kompozit numunelerin üretimi için dolgu malzemesi olarak atık lastik kauçuk granülleri kullanılmıştır. En çok tercih edilen matris malzemelerinden biri olan polyester reçine ile geri dönüştürülmüş atık lastik kauçuk granülleri açık kalıplama yöntemi ile farklı oranlarda birleştirilmiştir. Numuneler, çekme ve sertlik testleri yapılarak deneysel olarak karakterize edilmiştir. Numunelerin morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskobu görüntüleri ile incelenmiştir. Çalışma, polyester reçineye işlenmemiş atık lastik kauçuk granüllerinin eklenmesinin çekme ve akma dayanımı değerlerini düşürürken, malzemenin uzama ve sünekliğinin artmasına neden olduğunu ortaya koymuştur. Morfolojik incelemeler, atık kauçuk granüllerin ve polyester reçinenin ara yüzey yapışmasının zayıf olduğunu ve bu nedenle atık kauçuk granüllerin dolgu malzemesi olarak kullanılmak üzere uygun şekilde işlenmesi gerektiğini göstermiştir. Çalışma, atık lastik kauçuk granül/polyester kompozitlerinin, daha az fosil kaynaklı hammadde kullanılması ve çevre kirliliğinin azalmasına katkıda bulunması gibi faydaları ile yapısal olmayan uygulamalarda kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit malzemeler, Atık kauçuk, Mekanik özellikler, Polyester

1. INTRODUCTION

Today, it is a well-known fact that the population of the world is increasing and thus the consumption of goods and energy is increasing exponentially. The limited sources of raw materials and energy have been a major issue all over the world. Since the raw materials and energy sources are limited, it is very critical to employ sustainable production [1]. One of the most promising solutions for this problem is the recycling of waste materials which has many benefits both economically and environmentally [2]. The recycled materials can be directly used to produce new products or they can be employed as the raw material in composite materials with proper treatment. Composite materials have been one of the most important material categories in recent years. Composites have critical advantages in comparison with conventional engineering materials such as high specific strength and modulus, good corrosion resistance, material variety, and tailorable properties [3]. The variety of products has significantly increased in the last decades and parallel to this increment the demand and need for new materials with discrete properties have been inevitable. Composite materials can be a combination of any type of conventional material

with the aim of providing required material specifications that are not possible with monolithic materials. Especially, the applications where good mechanical properties and low weight is needed, composite materials are mostly preferred in material selection processes. Polymer matrix composites (PMCs) have a wider application area - due to their relatively low cost and easier production methods- than metal or ceramic matrix composites. The most common matrix materials are polyesters, vinyl esters, epoxies while the most common reinforcement materials are glass, basalt, carbon, and aramid fibers. Each type of matrix material and reinforcement material has a particular application area which is determined by the product specifications.

Recently many researchers have been studied on the fabrication and characterization of composite materials with waste materials. There are many types of waste materials that are studied by researchers. The authors mostly focused on particular type of wastes that are abundant and have a high potential of environmental pollution such as plastic wastes [4], construction/demolition wastes [5], agricultural/food wastes [6], and industrial wastes [7]. Besides those waste types, tire wastes have started to get attention since every

year tonnes of tire wastes which are one of the alternative waste materials [8]. Currently, there are some applications to reuse the tire wastes but the ratio of reuse is not high enough for a sustainable environment. Lately, many authors have studied on using tire wastes in composite material fabrication [9-14].

In this study, the effects of the matrix/filler ratio of polyester/waste tire granule composites were investigated experimentally. Polyester/waste tire granule specimens were fabricated with 3 different matrix/filler ratios and the specimens were mechanically characterized.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Materials

In this study, polyester resin and recycled waste tire granules were used as matrix material and filler material, respectively. In Table 1, the technical properties of the polyester are given. Methyl ethyl ketone peroxide (AKPEROX A60) was used as a curing agent and Cobalt(II) 2-Ethyl Hexanoate (AKCOBALT KXC6) was used as an accelerator. The recycled waste tire granules were obtained from a local supplier and they were used with no modification.

Table 1. Technical properties of the polyester resin (supplier data)

| Type | Polyester | |
|-------------------------------|-----------|--------------|
| Viscosity (cps) | 350-450 | Liquid Resin |
| Monomer content (%) | 38-42 | |
| Density (gr/cm ³) | 1.1 | |
| Tensile strength (MPa) | 65 | Cured Resin |
| Elongation at break (%) | 2 | |

2.2. Fabrication of the Samples

The specimens were fabricated with the open molding method. To fabricate samples, firstly accelerator (0.2% wt.) and polyester resin were mixed and stirred to obtain a homogenous mixture. Afterward, the recycled waste tire granules were added to the mixture and stirred mechanically for 10 minutes. The hardener chemical (2% wt.) was

added and 10 more minutes stirring was applied. After the homogeneous mixture is obtained, the mixture was poured into the open mold at room temperature. The specimens were cured at room temperature for 24 hours and after that, the specimens were removed from the molds. The specimen fabrication procedure was applied for each specimen and the schematic of the fabrication processes and testing is illustrated in Figure 1.

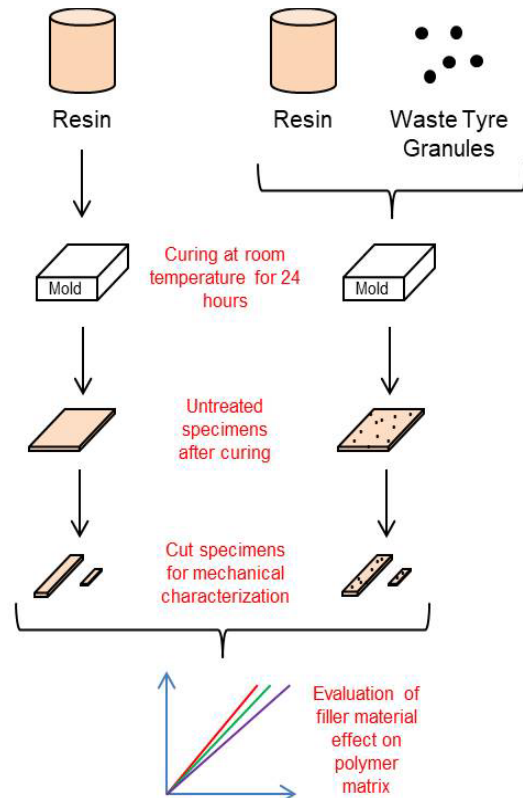


Figure 1. Schematic of the experimental fabrication and test procedure

4 different specimen types were prepared for the experimental studies. The material ratios of the specimens were given in Table 2. After the fabrication processes, the tensile, impact and hardness specimens were cut out from the samples.

2.3. Characterization of the Samples

The prepared specimens were experimentally characterized to determine the effects of the filler

ratios. Tensile tests were conducted with ALŞA Hydraulic (60 ton) mechanical testing device. The dimensions of the tensile specimens were 250 mm x 25 mm x 2.5 mm. The hardness values of the specimens were determined with Vickers Micro-Hardness test. 10 seconds dwell time and 0.3 kgf of the load were used for the hardness tests. The microstructures of the samples were examined with the scanning electron microscope (FEI Quante 650 FEG scanning electron microscope).

3. RESULT AND DISCUSSION

In Table 3, the tensile and hardness test results of the specimens are given. The results revealed that the addition of waste tires to polyester resin decreased the tensile and yield strength of the polyester resin while addition increased the elongation. With the increment of the waste tire granule amount, the strength values were further decreased. Tensile strength of the polyester resin was decreased 8.85%, 13.51%, and 16.19% for 100:5, 100:10, and 100:15 resin:waste tire granule ratios, respectively.

Table 2. Material ratios of the experimental composite samples

| Specimen designation | Resin | Resin:waste tire granule |
|----------------------|-----------|--------------------------|
| P | Polyester | 100:0 |
| P-WTG5 | | 100:5 |
| P-WTG10 | | 100:10 |
| P-WTG15 | | 100:15 |

The decrement of the strength may be due to poor interfacial interphase between the rubber granules and the polyester matrix [15, 16]. The decrement of the strength values is a critical disadvantage for the application of these combination for a product. But also, it should be emphasized that using waste tire granule as a filler material for composite material decreases the usage of polymeric resins

which are mainly fossil sourced raw materials. The results show a decrement in strength values and this indicates that these combinations are not feasible for structural applications where good mechanical properties are required. In addition to this fact, this combination can be utilized in applications where low cost and environmental issues are the primary considerations.

Table 3. Tensile test results

| Specimen | Yield strength (MPa) | Tensile strength (MPa) | Elongation (%) | Tensile modulus (MPa) |
|----------|----------------------|------------------------|----------------|-----------------------|
| P | 51.46 | 62 | 1.95 | 3335 |
| P-WTG5 | 45.20 | 56.51 | 2.15 | 3210 |
| P-WTG10 | 43.96 | 53.62 | 2.28 | 3250 |
| P-WTG15 | 41.82 | 51.96 | 2.35 | 3270 |

The SEM images (Figures 2 – 5) of the specimens after the tensile test were taken from the breaking points. The SEM images provide insights into the microstructures and the breaking mechanisms of the specimens. From Figure 2, it can be seen that the polyester resin has brittle nature and its

breakage created significantly sharp faces. However, from Figures 3 – 4, it can be seen that the sharpness has been reduced with the addition of the rubber granules. These images also explain the increment of the elongation values with additional rubber granules.

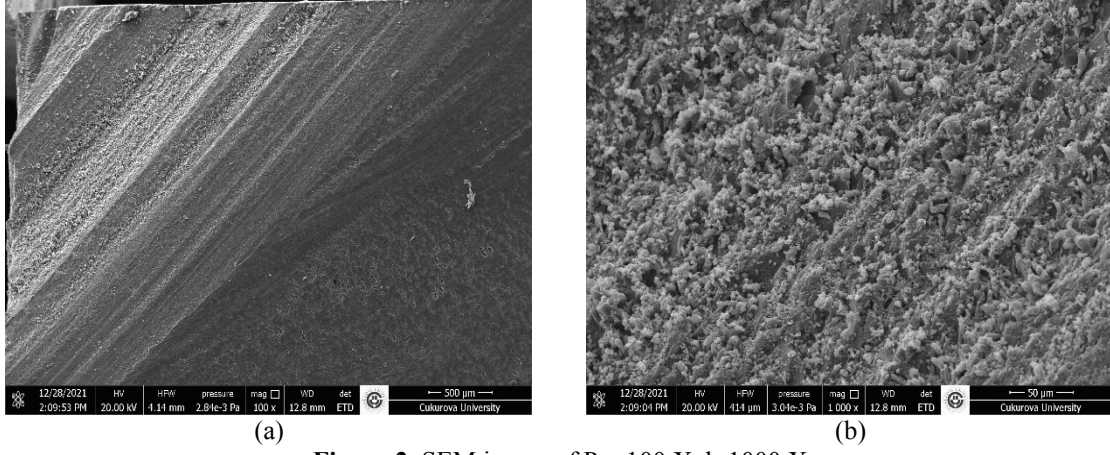


Figure 2. SEM image of P a-100 X, b-1000 X

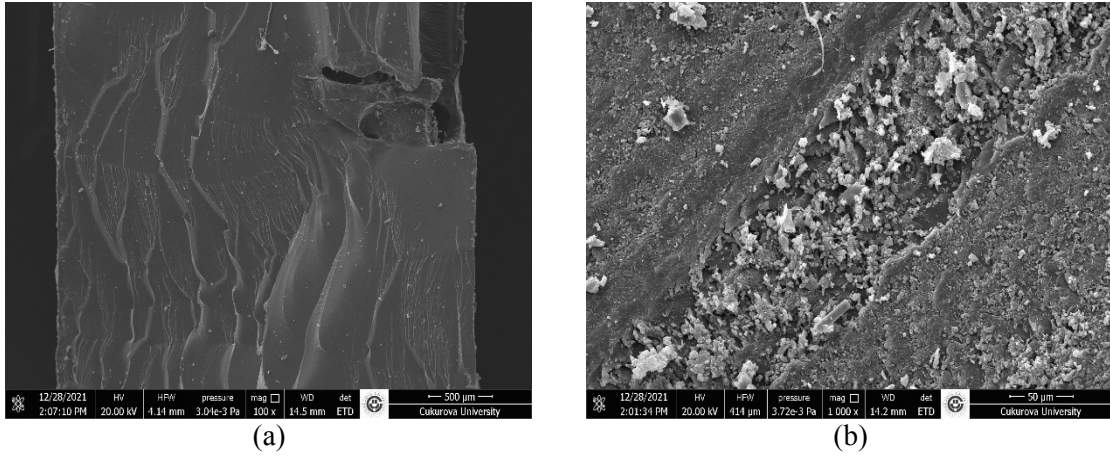


Figure 3. SEM image of P-WTG5 a-100 X, b-1000 X

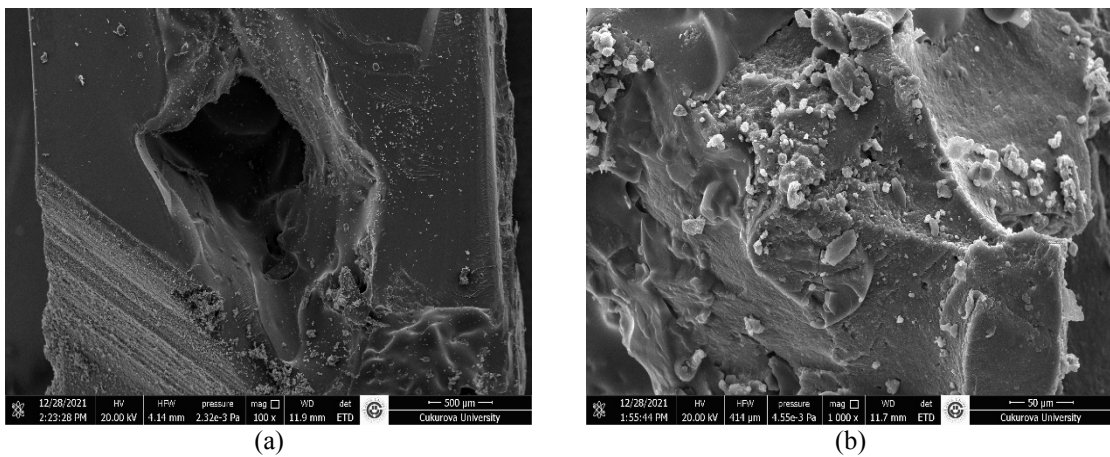


Figure 4. SEM image of P-WTG10 a-100 X, b-1000 X

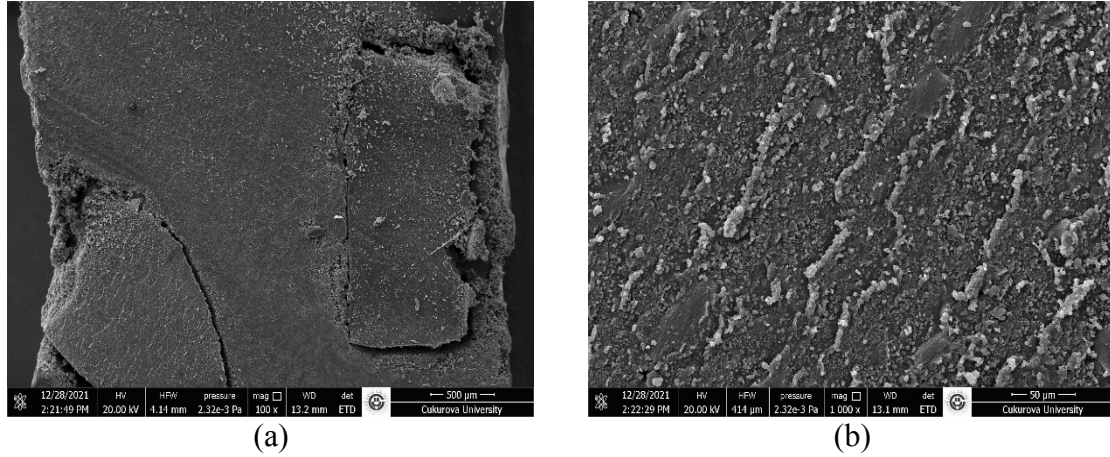


Figure 5. SEM image of P-WTG15 a-100 X, b-1000 X

4. CONCLUSIONS

In this study, waste tire rubber granules were used as filler material to produce polymer matrix composite samples. The polyester resin was used as matrix material and three different ratios of waste tire rubber granules were employed to fabricate the experimental samples. The specimens were fabricated with the open molding method. Tensile and hardness tests were conducted to determine the mechanical properties of the specimens and SEM images were taken to examine the microstructures of the specimens. From the study, the following statements are concluded;

- Waste tire rubber granules can be used as filler material especially for non-structural applications since rubber granule addition to polyester matrix decreases the strength of the structure.
- Even the addition of waste tire rubber granules to the structure weakens the structure, but also it increases the ductility of the material.
- Untreated waste tire rubber granules and polyester matrix combination create poor interfacial adhesion which should be improved with proper treatment.
- Using waste tire rubber granules for composite material fabrication is a promising alternative solution for sustainable and environmental-friendly

production by employing recycling and decreasing usage amount of the fossil sourced raw materials.

5. ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank the Çukurova University Scientific Research Project Coordination (FYL-2021-13508) for financial support.

6. REFERENCES

1. Berger, C., Mattos, D.B., Amico, S.C., Farias, S., Coldebella, R., Gatto, D.A., Missio, A.L., 2020. Production of Sustainable Polymeric Composites Using Grape Pomace Biomass. *Biomass Conversion and Biorefinery*.
2. Taurino, R., Pozzi, P., Lucchetti, G., Paterlini, L., 2013. New Composite Materials Based on Glass Waste. *Composites Part B-Engineering*, 45(1), 497-503.
3. Serin, H., Yildizhan, S., 2021. Tensile Properties and Cost-property Efficiency Analyses of Expanded Polystyrene/chopped Glass Fiber/epoxy Novel Composite. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 35(1), 145-151.
4. Shahani, S., Zhongquan, G., Qaisrani, M.A., Ahmed, N., Yaqoob, H., Khoshnaw, F., Sher, F., 2021. Preparation and Characterisation of

- Sustainable Wood Plastic Composites Extracted from Municipal Solid Waste. *Polymers*, 13(21).
5. Lahtela, V., Karki, T., 2021. A Study on the Effect of Construction and Demolition Waste (CDW) Plastic Fractions on the Moisture and Resistance to Indentation of Wood-polymer Composites (WPC). *Journal of Composites Science*, 5(8).
 6. Vaisanen, T., Haapala, A., Lappalainen, R., Tomppo, L., 2016. Utilization of Agricultural and Forest Industry Waste and Residues in Natural Fiber-polymer Composites: A Review. *Waste Management*, 54, 62-73.
 7. Gangwar, S., Pathak, V.K., 2021. A Critical Review on Tribological Properties, Thermal Behavior, and Different Applications of Industrial Waste Reinforcement for Composites. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part L-Journal of Materials-design and Applications*, 235(3), 684-706.
 8. Dwivedi, R.K., Bhaskar, J., Pandey, P., Kumar, S., 2017. Characterization of Non-metallic Waste Material Reinforced Polymer Composites. *Materials Today-proceedings*, 4(4), 5361-5369.
 9. Yogeshwaran, S., Natrayan, L., Udhayakumar, L., Godwin, G., Yuvaraj, L., 2021. Effect of Waste Tyre Particles Reinforcement on Mechanical Properties of Jute and Abaca Fiber-Epoxy Hybrid Composites with Pre-Treatment. *Materials Today-Proceedings*, 37, 1377-1380
 10. Revelo, C.F., Correa, M., Aguilar, C., Colorado, H.A., 2021. Composite Materials Made of Waste Tires and Polyurethane Resin: A Case Study of Flexible Tiles Successfully Applied in Industry. *Case Studies in Construction Materials*, 15(5).
 11. Mousa, B.H., Azab, N.A, Bassioni, G., Abdellatif, M.H., 2021. Assessment of the Damage Resulting from Drilling Holes in Waste Tire Rubber Polyester Composite Laminates. *Waste and Biomass Valorization*, 12(7), 4069-4080.
 12. Kosmela, P., Olszewski, A., Zedler, L., Burger, P., Piasecki, A., Formela, K., Hejna, A., 2021. Ground Tire Rubber Filled Flexible Polyurethane Foam-effect of Waste Rubber Treatment on Composite Performance. *Materials*, 14(14).
 13. Hittini, W., Mourad, A.H.I., Abu-Jdayil, B., 2021. Utilization of Devulcanized Waste Rubber Tire in Development of Heat Insulation Composite. *Journal of Cleaner Production*, 280.
 14. Hamdi, A., Abdelaziz, G., Farhan, K.Z., 2021. Scope of Reusing Waste Shredded Tires in Concrete and Cementitious Composite Materials: A Review. *Journal of Building Engineering*, 35.
 15. Adesina, A.Y., Zainelabdeen, I.H., Dalhat, M.A., Mohammed, A.S., Sorour, A.A., Al-Badour, F.A., 2020. Influence of Micronized Waste Tire Rubber on the Mechanical and Tribological Properties of Epoxy Composite Coatings. *Tribology International*, 146.
 16. Xu, X.W., Tian, F.Y., Li, X.K., 2020. Regenerated Waste Tire Powders as Fillers for Wood Fiber Composites. *Bioresources*, 15(2), 3029-3040.

Havaalanlarında Dijital Dönüşüm Risklerinin Değerlendirilmesi

Fatma Şeyma YÜKSEL*¹ ORCID 0000-0002-8080-2665

Olca KALAN¹ ORCID 0000-0001-5828-7743

Melek IŞIK¹ ORCID 0000-0001-6078-7026

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 02.06.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: YÜKSEL, F.Ş., KALAN, O., IŞIK, M., (2022). Havaalanlarında Dijital Dönüşüm Risklerinin Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 781-791.

Öz

Son zamanlarda ivme kazanmaya başlayan ve fiziksel sistemin sanal bir kopyasını oluşturmakla ilgili olan sistemler dijital dönüşüm olarak adlandırılmaktadır. Dijital dönüşüm verimliliği etkileyen ve rekabet avantajı oluşturan bir kavram haline gelmiştir. Tüm sektörlerde olduğu gibi havacılık sektöründe de rekabetin giderek artmasıyla dijitalleşmenin önemi giderek artmaktadır. Bu çalışmada, havaalanlarında kullanılan dijital dönüşüm unsurları incelenmiş ve bu süreci etkileyen riskler çok kriterli karar verme araçlarından olan analitik ağ prosesi yöntemi ile incelenmiştir. Karşılaşılan sorunlar ve nedenleri balık kılçığı diyagramı ile ortaya konmuş daha sonra ortaya çıkan kriterler analitik ağ prosesi yöntemi ile önem derecelerine göre sıralanıp değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler neticesinde multidisipliner bir çalışma ortamının oluşturulmasının havalimanlarındaki dijital dönüşümde büyük öneme sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dijital dönüşüm, Risk, Analitik ağ prosesi, Havaalanı yönetimi.

Evaluation of Digital Transformation Risks at Airports

Abstract

Systems that have started to gain momentum recently and are concerned with creating a virtual copy of the physical system are called digital transformation. Digital transformation has become a concept that affects productivity and creates competitive advantage. As in all sectors, the importance of digitalization is increasing with the increasing competition in the aviation sector. In this study, the digital transformation elements used in airports were examined and the risks affecting this process were examined with the analytical network process method, which is one of the multi-criteria decision-making tools. The problems encountered and their causes were revealed with the fishbone diagram, and then the criteria that emerged were ranked and evaluated according to their importance with the analytical network process method. As a result of the evaluations, it was concluded that the creation of a multidisciplinary working environment is of great importance in the digital transformation at airports.

Keywords: Digital transformation, Risk, Analytical network process, Airport management

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Fatma Şeyma YÜKSEL, fdonmez@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Son dönemlerde dijital dönüşüm hem Türkiye’de hem de dünyada önemli konulardan biri haline gelmiştir. Bilgi teknolojilerinin bütün süreçlerde uygulanması ile insan gücü en aza indirgenmiş ve ortaya çıkan yeni teknolojilerle insanlık yeni bir çağa doğru evrilmiştir. Etkinlik ve verimliliğin artmasını sağlayan yapay zeka, süper bilgisayarlar ve robotlar gibi birçok yeniliğin üretim sektöründen hizmet sektörüne hemen her alanda etkili halde kullanılması dijital dönüşüm olarak değerlendirilmektedir. Dijital dönüşüm, dijitalleşen dünyanın hızını ve kolaylığını günlük yaşama taşımaya yardımcı olmaktadır.

Dijital dönüşümden etkilenen sektörlerden birisi de havacılık sektörüdür. Havacılık sektörü ve havalimanlarındaki dijital teknoloji uygulamalarını arttırmak, havacılık operasyonlarının olumlu yönde değişmesi, yolcu deneyimleme kısmı ve ihtiyaçlarının giderilmesi ve havacılık dışı gelirlerdeki artışın sağlanması için çok önemlidir [1]. Bunun yanı sıra dijital dönüşüm beraberinde Havacılık sektöründe de bazı riskler oluşturmuştur. Oluşan bu riskler için ana sorunların tespiti ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Dijital dönüşüm sürecinde ve sonrasında meydana gelebilecek sorunların kök nedenine inmek ve oluşabilecek riskleri etkileyen kriterlerin tespiti büyük önem kazanmıştır.

Yapılan çalışmada ilk olarak dijital dönüşümde karşılaşılan riskler ve ilgili çalışmalar incelenmiştir. Menshikova ve arkadaşları [2], kalite yönetim sisteminin dijital ekonomideki dönüşümünün sorunlarını ele almaktadır. İşletme üzerinde dijital platform oluşturularak kalite yönetim sisteminin genel yönetim sistemine entegrasyonu önerilmiştir. Akmeşe [3], kamu sektörünün içerisinde olduğu dijital dönüşüm yolculuğunun temel bileşenleri tartışmış ve iç denetimin siber güvenlik ve dijital güvence alanında organizasyona nasıl katkı sağlayabileceğini değerlendirmiştir. Karlı ve Tanyaş [4], akıllı lojistikle ilgili yapılan çalışmaların sistematik bir derlemesini sunmuşlar ve literatürdeki boşlukları ortaya koyarak bu

alandaki çalışacak araştırmacılara katkı sağlamışlardır. Gölcük [5], dijital dönüşüm projelerinin risk değerlendirmesi için aralıklı tip-2 bulanık en iyi-en kötü yöntem ve algısal akıl yürütmeyi birleştirerek yeni bir risk değerlendirme modeli sunmuştur. Casey ve Souvignet [6], adli laboratuvarların hazırlıklarına yardımcı olacak öneriler sunulmuş ve bu riskleri yönetmek, teknolojiyi etkin kullanmak ve nihayetinde adli bilimleri güçlendirmek amaçlanmıştır. Dijital dönüşümlerin risk yönetimine dijital adli tıp uzmanlığının dahil edilmesinin önemine ağırlık verilmiştir. Sokolov ve arkadaşları [7], dijital dönüşüm teknolojilerinin geliştirilmesinin sonuçlarını çevre ekonomisi açısından incelemişler ve doğal-endüstriyel sistemlerde risk yönetimini, iklim değişikliği açısından göz önünde bulundurmışlardır. Analizler, risk yollarının doğal-endüstriyel sistemler için yönetim, çevre içinde iklim değişikliği ekonominin yeni kavramları nedeniyle dijital dönüşümün farklı özelliklerine sahip verilerin elde edilmesi ve sunulmasını içermektedir. Giraldo ve arkadaşları [8], Kolombiya’da geliştirilen ticari dijital dönüşüm sürecini ele alan vaka raporunu içermektedir.

Havacılık sektöründe yapılmış olan çalışmalardan biri olan Molchanova [9], ekonomik gerileme, artan yakıt maliyetleri ve artan müşteri talebinin neden olduğu şiddetli rekabet nedeniyle, hava yolu şirketleri performanslarını ve müşteri tabanlarını iyileştirmenin yeni yollarını araştırmıştır. Hava taşımacılığının geleceği, sektördeki dijital dönüşüm tarafından yönlendirileceğini ortaya koymuştur. Zaharia ve Pietreanu [10], Romanya Henri Coandă havalimanının dijital dönüşümü için gerekli ekipmanların belirlendiği teknolojik zorlukları analiz etmiş ve check-in alanı, güvenlik, gümrük kontrolü, kalkış kontrolü ve yolcu yardım hizmetleri için çözümler önermiştir. Siddiqui [11], tam entegre bir akıllı havalimanı kavramsallaştırmanın temellerini atması gereken Havalimanı Bilgi Yönetim Sistemleri mimarisini açıklamıştır. Çalışma, havayolu ve havaalanı sistemleri, havaalanı bilgi teknolojisi ve yönetim sistemlerini içermektedir. Büyüközkan ve arkadaşları [12], bulanık bilişsel harita tekniğini analiz etmektedir.

Dijital dönüşümün etkilerinin yoğun olarak gözlemlendiği sektörlerden biri olan havacılık sektörü ele alınmıştır. Rajapaksha ve Jayasuriya [13], havacılık güvenliği, yolcu kolaylığı, operasyonel verimlilik ve sınırlı kaynakları optimize etme kilit alanları altında akıllı havalimanı uygulamasının avantajlarını belirleyerek akademi ve endüstri alanına katkıda bulunmuşlardır. Akıllı havalimanı uygulamaları şu şekilde detaylandırılmıştır;

- Akıllı Check-in
- Self-boarding
- Dahili navigasyon
- Biometrik hizmetler
- Akıllı giyilebilir cihazlar
- RFID bagaj etiketleri
- Self-bagaj etiketleme
- Kayıp eşya kioskları
- Sınır denetleme
- Mobil cihazlar için havaalanı uygulamaları

Katerna ve Molchanova [14], Ukrayna'daki dijital dönüşüm süreçlerine yönelik yasal ve düzenleyici desteğini analiz etmişlerdir. Dünyanın önde gelen havalimanlarıyla karşılaştırıldığında, Ukrayna havaalanları çok düşük düzeyde altyapı geliştirme seviyesine sahip ve modernizasyon planları en son dijital teknolojilerin tanıtımını içermektedir Camúñez i Guirao [15], havalimanlarının kapasitesini artırmak için teknolojinin kullanılmasını önermiştir. Dijital dönüşüm, yolcuların uçakla seyahat ederken geçmek zorunda oldukları süreçlerin işleme kapasitesini geliştirmek için havalimanına birçok olası çözüm getirmektedir. Artar ve Türkay [1], dijital dönüşüm araçlarının havacılık sektöründeki yeri havalimanlarındaki dijital dönüşüm süreci anlatılmıştır. Buna bağlı olarak dijital dönüşüm araçları, büyük veri gibi teknolojik gelişmelerin havacılık sektöründeki uygulanma süreci, dijital dönüşümün havalimanlarındaki uygulanma süreçleri ve bu teknolojileri kullanmakta olan 6 gelişmiş havaalanı hakkında toplanan veriler arasında karşılaştırma yapılmıştır. Büyüközkan ve arkadaşları [16], literatürde ilk kez önerilen entegre bir SWOT tabanlı bulanık AHP-MARCOS metodolojisi yardımıyla farklı dijital dönüşüm stratejilerini belirlemeyi ve analiz etmeyi

amaçlamışlardır. Bu metodoloji, Türkiye'deki havayolu endüstrisine ilişkin bir vaka çalışması ile doğrulanmıştır. Büyüközkan ve arkadaşları [17], yeni bir dijital yetkinlik değerlendirmesini tanıtmışlardır. Önerilen model, teknoloji dönüşümü ve uygulamasını ayrıca otuz alt kriter ile oluşum ve uyum yönetimi boyutlarını içermektedir. Kriter ağırlıkları IVIF AHP yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, en önemli kriterin dönüşüm olduğunu göstermektedir. Dijital olarak en yetkin havayolu IVIF VIKOR yöntemiyle seçilmiştir. Önerilen modelin geçerliliğini doğrulamak için ilgili vaka çalışması Türkiye'de gerçekleştirilmiştir. Alpar, Erturgut ve Alır [18], yeni bir kavram olan Smart Airports ya da diğer bir adıyla Airport 4.0. kavramının literatür incelenmesini yapmışlardır. Çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda bu kavramın tanımı üzerine yapılan çalışmalar mevcut olup ikinci kısımda havaalanı örnekleriyle kavramın pratik sonuçları incelenmiştir. Heiets ve arkadaşları [19], anket yöntemi kullanarak yolcuların bir uçuşun farklı aşamalarında uygulanan mevcut ve en son dijital altyapılarla ilgili deneyimlerini araştırmışlardır. Anket sonuçlarını nitel ve nicel yöntemler olarak analiz etmişlerdir. Anket verileri, yaş grupları ve yıllık uçuş süresi gibi farklı göstergelere dayalı olarak yolcuların nasıl etkilendiğini tartışmak için kullanılmıştır.

Çalışmada havaalanlarında kullanılan dijital dönüşüm unsurları incelenmiş ve bu dönüşümde ortaya çıkan riskler çok kriterli karar verme araçlarından olan analitik ağ prosesi yöntemi ile değerlendirilmiştir. Öncelikle dijital dönüşüm sürecinde karşılaşılan ana sorunlar ve her bir sorun için kök nedenler balık kılıcı diyagramı ile ortaya konmuş daha sonra ortaya çıkan kriterler analitik ağ prosesi yöntemi ile önem derecelerine göre sıralanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Günümüzde sürekli değişen hayat şartları yaşamımızın her döneminde birçok alternatifle karşılaşmamıza neden olmuştur. Bu alternatifler arasından en iyisini seçmek için karar verme aşamasında birçok yöntem mevcuttur.

Alternatiflerin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanması hem işletme kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlamakta hem de yöneticilere karar almada büyük kolaylık sağlamaktadır. Özellikle birden fazla kriterden oluşan sorunların çözümünde karar vermeye yardımcı olan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çok kriterli karar verme teknikleri karmaşık yapıdaki problemlerin çözümünde çok geniş kullanım alanına sahiptir. Literatürde en çok karşılaşılan çok kriterli karar verme teknikleri AHP (Analytic Hierarchy Process), ANP (Analytic Network Process), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) ve ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality) gibi yöntemlerdir [20-23]. Bu yöntemlerden AHP ve ANP karar vericilere en iyi alternatifi seçerken kriterleri hiyerarşik yapıda ele almaktadırlar. AHP'de ana kriterlere arasındaki tek yönlü ilişkiye bakılmaktayken, ANP'de ana kriterler arasındaki ilişkiler ve bu ilişkilerin yönleri tanımlanmaktadır. Her iki yöntemde de kriterlerin ikili karşılaştırmaları mantığı aynıdır ancak ANP yöntemi, AHP yönteminin daha genel bir formu olarak karmaşık problemlerin incelenmesine imkan vermektedir.

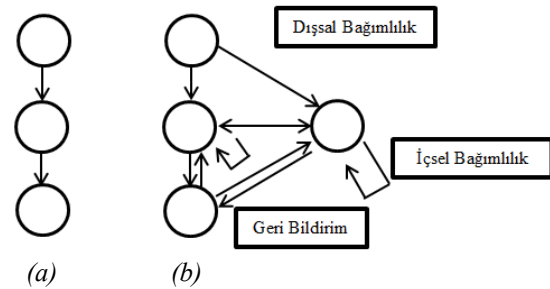
Sebe-sonuç diyagramı veya Ishikawa diyagramı olarak da bilinen Balık kılıcı diyagramları, bir etkinin veya problemin olası sebeplerini araştırmak için oluşturulan diyagramlardır. İlk defa Kaoru Ishikawa tarafından kullanılan bu diyagramlar sonuçlara neden olan sebepleri ortaya koymak ve görselleştirmek için oluşturulmaktadır [24].

Yapılan bu çalışmada öncelikle dijital dönüşümde risklerin değerlendirilmesinde ilk adım olarak kriterlerin belirlenmesi için balık kılıcı diyagramı kullanılmış daha sonra belirlenen kriterler üzerinden analitik ağ süreci analizi yapılmıştır.

1.1. Analitik Ağ Süreci

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Ağ Süreci 1996 yılında Thomas L. Saaty tarafından ortaya atılmıştır [25].

ANP, sadece tek yönlü olarak değerlendirme yapmamakta aynı zamanda karar vermede yer alan tüm kriterler, alt kriterler, içsel-dışsal bağımlılıkları, birbirleri ile karşılıklı etkileşimleri ve geri beslemeleri dikkate alan model yapısına sahiptir. Şekil 1'de tek yönlü hiyerarşik yapıdaki modelleme ile tek yönlü olmayan ağ yapıları modellemesi arasındaki farklılıklar gösterilmektedir.



Şekil 1. Tek yönlü (a) ve tek yönlü olmayan (b) hiyerarşik yapılar arasındaki fark [26]

ANP yönteminde öncelik vektörleri doğrusal bir biçimde hesaplanmaktadır. Ana kriterler hem diğer kriterlere hem de kendi içlerinde bağımlıdır. Ana kriterlerin diğer ana kriterlere bağımlılığına dışsal bağımlılık, kendi içindeki bağımlılığa içsel bağımlılık denmektedir [26]. ANP yönteminde ana kriterlerin ilişkileri tanımlandıktan sonra bu kriterlere etki eden tüm kriterler için ikili karşılaştırmalar yapılarak birbirlerine üstünlüklerine göre önem sırası belirlenmektedir.

Analitik ağ süreci yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- Problemin tanımlanması ve modelin oluşturulması
- İkili karşılaştırmaların yapılması
- Süpermatrisin oluşturulması
- En iyi alternatifin seçilmesi.

Problemin tanımlanması ve modelin oluşturulması; bu aşamada Analitik Ağ Süreci yönteminde öncelikle karar verme probleminin amacı ve tüm kriterleri ortaya konur. Ana kriterler ve karar verme sürecine dahil olan alternatifler belirlenmektedir. Daha sonra bu kriterler

arasındaki ilişkiler ve ilişkilerin tek yönlü veya çift yönlü olmasına karar verilir. Kriterler arasındaki çift yönlü etkileşimler ve doğrudan bağlantı olmayan kriterlerin birbirleri ile etkileşimleri ve içsel bağımlılık, yöntemde geri bildirim izin vermektedir.

İkili karşılaştırmaların yapılması; kriterler arasındaki ilişkiler belirlendikten sonra kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapılır ve öncelikleri belirten ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Bu ikili karşılaştırmada Çizelge 1.'de Saaty tarafından oluşturulan puan skalası dikkate alınmaktadır [27].

Çizelge 1. İkili karşılaştırmada kullanılan puan skalası

| DERECELER | TANIM |
|-----------|-----------------------------|
| 1 | Eşit Önemli |
| 3 | Biraz Daha Fazla Önemli |
| 5 | Kuvvetli Derece Önemli |
| 7 | Çok Kuvvetli Derece Önemli |
| 9 | Aşırı Derece Önemli |
| 2-4-6-8 | Uzlaşma (Ortalama) Değerler |

İkili karşılaştırmalar yapılırken karar vericilerden oluşan uzman grup değerlendirme yapmaktadır. İkili karşılaştırmalar yapıldıktan sonra lokal öncelik vektörü elde edilir. Lokal öncelik vektörü A . $W_i = \lambda_{max} \cdot W_i$ denkleminin çözülmesi ile elde edilmektedir. A ikili karşılaştırma matrisini, W_i özvektörü, λ_{max} ise A matrisindeki en büyük özdeğeri ifade etmektedir. Özvektör (W_i) (Eşitlik 1) ve λ_{max} (Eşitlik 2)'den hesaplanmaktadır [27].

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{AW_i}{W_i} \quad (2)$$

Karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra her matrisin tutarlılık oranı (CR) hesaplanmalıdır. Burada $CR=CI/RI$ olarak hesaplanmaktadır. CI tutarlılık indeksi, RI ise rastgele tutarlılık indeksi olarak ifade edilmektedir. CI değerleri ise (Eşitlik 3)'den hesaplanmaktadır [27].

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Eğer hesaplanan CR değeri 0,10 değerinden düşük ise ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu söylenebilir. Aksi takdirde karar verici uzman grup, yapılan ikili karşılaştırmaları tekrar gözden geçirmelidir. Rastgele tutarlılık indeksleri ise Saaty tarafından oluşturulan Çizelge 2.'de verilmiştir [27].

Çizelge 2. Rastgele tutarlılık indeksleri

| | | | | | | | | |
|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| RI | 0 | 0 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 |
| n | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
| RI | 1,45 | 1,49 | 1,51 | 1,54 | 1,56 | 1,57 | 1,59 | |

Süpermatris oluşturulurken; elde edilen özvektörler (lokal öncelik vektörleri) süpermatrisin sütunlarına yazılır. Burada süpermatris ikili karşılaştırmadaki ilişkileri gösteren parçalı matrislerden oluşmaktadır. Bu matriste kriterlerin hiç birisi başka kriterden etkilenmiyorsa bu durumda süpermatrisin ilgili yerine sıfır yazılır. Ağırlıklandırılmamış matris olarak ortaya konan süper matriste matrisin tüm sütunlarında normalizasyon yapılarak ağırlıklandırılmış süpermatris haline çevrilir. Ağırlıklandırılmış matris, sütun toplamları bire eşit hale getirilmiş matristir. Daha sonra kriterlerin birbiri üzerindeki uzun süreli etkilerini belirlemek için süper matrisin kuvveti alınarak limit süpermatris elde edilir. Önem derecelerinin bir noktada eşitlenmesi sağlanır ve süpermatrisin $(2n+1)$. kuvveti alınır. Burada n rastgele belirlenen büyük bir sayıdır.

En iyi alternatifin seçilmesi; elde edilen limit süpermatriste tüm kriterlerin önem ağırlıkları belirlenmiştir ve en yüksek önem değerine sahip kriter karar probleminde en önemli kriter olarak belirlenmiş olmaktadır.

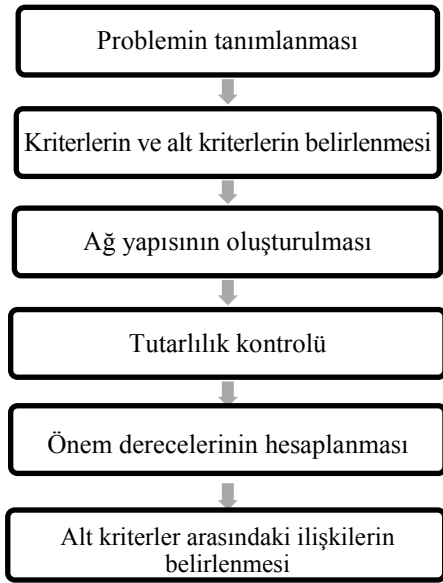
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Havaalanlarında Dijital Dönüşüm Risklerinin Analitik Ağ Süreci Yöntemi ile Analiz Edilmesi

3.1.1. Problemin Tanımlanması

Havacılık sektöründe yapılacak dijital dönüşümler yüksek bütçe gerektirmektedir. Doğru iyileştirme yatırımın boşa gitmesini önleyecektir. Havaalanı

yöneticilerinin hedefi dijital dönüşümleri uygularken en az riskle süreci tamamlamaktır. Bu amaç doğrultusunda; süreci etkileyen kriterlerin ortaya konulup, risk barındıran kriterlerin belirlenmesi önemli bir problemdir. Bu çalışmada, Türkiye'deki havaalanlarında dijital dönüşümleri etkileyen risk faktörlerinin belirlenip, risk değerlendirmesi yapılması amaçlanmıştır. Çalışmanın adımları Şekil 2'de verilmiştir.

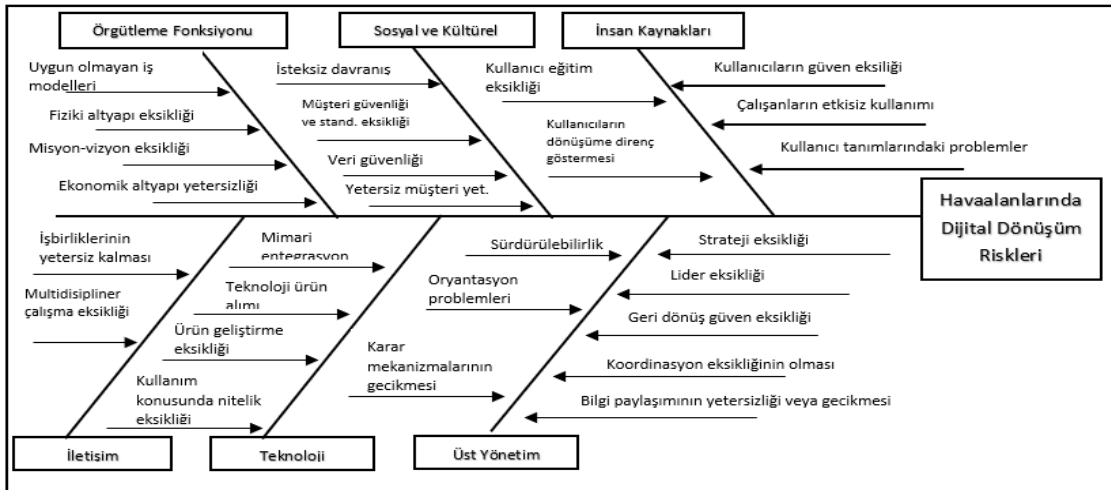


Şekil 2. Uygulama adımları

3.1.2. Kriter ve Alt Kriterlerin Belirlenmesi

Kriter ve alt kriterler yapılan literatür çalışmasından ve havacılık sektöründe uzman kişilerden alınan görüşlerinden yararlanılarak balık kılıçığı analiziyle belirlenmiştir. Uzmanlar havacılık alanında faaliyet gösteren işletmelerde çalışmakta olup 15-20 yıl deneyime sahip kişilerdir. Uzman görüşü alınırken beyin fırtınası tekniğinden yararlanılmıştır. Balık kılıçığı analizi sonucunda dijital dönüşüm riskleri iletişim, teknoloji, üst yönetim, insan kaynakları, örgütlenme fonksiyonu, sosyal ve kültürel olarak 6 grupta toplanmıştır (Şekil 3). Yapılan analizle problemin potansiyel nedenleri ve öğeleri ortaya konularak analitik ağ süreci uygulaması yapmak için kriter ve alt kriterler olarak ele alınmıştır. Uygulamada 6 ana kriter ve 27 alt kriter kullanılmıştır.

Örgütlenme fonksiyonunda yaşanabilecek riskler: Bir işletmenin amaçlarını gerçekleştirmesi önündeki riskler örgütlenme fonksiyonu ilgilendirmektedir. İşletmenin iş modelleri, fiziki ve ekonomik şartları, misyon-vizyon belirlenmesi örgütlenme fonksiyonu içerisindedir. Dijital dönüşüm için belirlenen risklerden örgütlenme



Şekil 3. Kriter ve alt kriterlerin balık kılıçığında gösterilmesi

fonksiyonunu ilgilendiren kriterler bu ana kriter altında toplanmıştır.

- O1: Dijital dönüşüme uygun olmayan iş modelleri
- O2: Fiziki altyapı eksikliği
- O3: Dijitalleşme süreçlerinde vizyon eksikliği
- O4: Ekonomik yapının alt yapıyı düzenleyebilecek yeterlilikte olmaması

İnsan kaynakları alanındaki riskler: Dijital dönüşümün hedefi insan gücünü azaltmak olsada geçiş sürecinde insan kaynaklı riskler oldukça fazladır. İnsan kaynaklarını etkileyen bu riskler bu ana kriter altında toplanmıştır.

- I1: Kullanıcıların eğitim ve interdisipliner yaklaşım eksikliklerinin olması
- I2: Kullanıcıların dijital dönüşümlere direnç göstermesi
- I3: Kullanıcıların dijital sistemlere güven eksikliği yaşamaları
- I4: İnsan kaynaklarının etkisiz kullanımı
- I5: Kullanıcı tanımlarındaki problemler

Sosyal ve kültürel riskler: Havalimanlarında yolculardan kaynaklı riskler bu kriter altında toplanmıştır.

- S1: Dijital teknolojilere karşı isteksiz davranışlar
- S2: Müşteri güvenliği ve standartlarının eksik olması
- S3: Veri güvenliğinin olmaması
- S4: Yetersiz müşteri yetkisi

Üst Yönetim ile alakalı riskler: Dijital dönüşüm sürecinde karar ve planlar ile ilgili riskler bu kriter altında toplanmıştır.

- U1: Strateji eksikliği
- U2: Lider eksikliği
- U3: Dijital dönüşüm sürecindeki geri dönüşlere duyulan güven eksikliğinin olması
- U4: Koordinasyon eksikliğinin olması
- U5: Dijitalleşme sürecinin hem finansman hem de politika olarak sürdürülebilir bir biçimde yürütülememesi
- U6: Yöneticilerin bilgi paylaşımının yetersizliği ve gecikmesi
- U7: Yöneticiler arasında oryantasyon probleminin olması
- U8: Karar mekanizmalarının gecikmesi

Teknoloji alanındaki riskler: Dijital dönüşümde teknolojinin kullanımı ve uygulanması ile ilgili riskler bu kriter altında toplanmıştır.

- T1: Mimari entegrasyon
- T2: Teknoloji ürün alımı
- T3: Ürün geliştirme eksikliğinin olması
- T4: Teknoloji kullanımı konusunda nitelik eksikliği

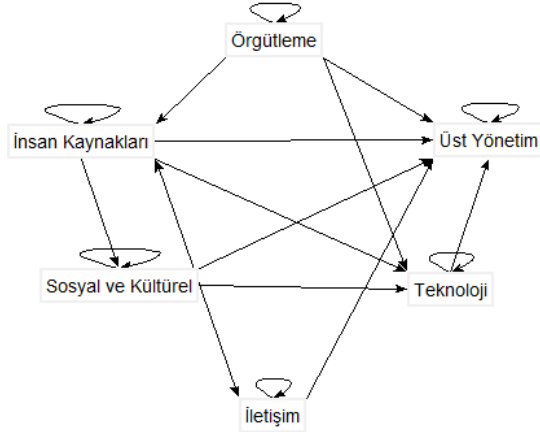
İletişim alanındaki riskler: İletişim ile alakalı riskler bu kriter altında toplanmıştır.

- L1: Taraflar ilişkilerde kendi çıkarlarını düşünmeleri sebebiyle iş birliklerinin yetersiz kalması
- L2: Multidisipliner çalışma yapısının oluşturulamaması

3.1.3. Analitik Ağ Yapısının Oluşturulması

Problemin ağ yapısının kurulmasında uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Super Decision paket programına veri olarak ikili karşılaştırma matrisleri girilmiştir. Şekil 4.'de problemin elde edilen ağ yapısı verilmektedir. Tüm ana kriterler

kendi içerisinde etkileşim halindedir. Üst yönetim ana kriterinin diğer tüm ana kriterler ile ilişkisi olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Kriterler arasındaki ağ yapısı

3.1.4. Tutarlılık Kontrolü

Super Decision paket programıyla yapılan analizler sonucunda karşılaştırmalarda tutarsızlık olmadığı görülmüştür. Çizelge 3’de tutarlılık oranları gösterilmektedir.

Çizelge 3. Ana kriterlerin tutarlılık oranları

| Ana kriterler | Tutarlılık oranı |
|---|------------------|
| Örgütme fonksiyonunda yaşanabilecek riskler | 0,04905 |
| İnsan kaynakları alanında yaşanabilecek riskler | 0,08791 |
| Sosyal ve kültürel riskler | 0,08916 |
| Üst yönetim ile ilgili riskler | 0,09259 |
| Teknoloji alanındaki riskler | 0,09003 |
| İletişim alanındaki riskler | 0,00000 |

3.1.5. Önem Derecelerinin Hesaplanması

İkili karşılaştırma matrisleri analiz edilerek bulunan önem dereceleri Çizelge 4.’te verilmektedir. Önem dereceleri yüzdelik olarak gösterilmiştir. Çizelge 4.’te de görüldüğü üzere

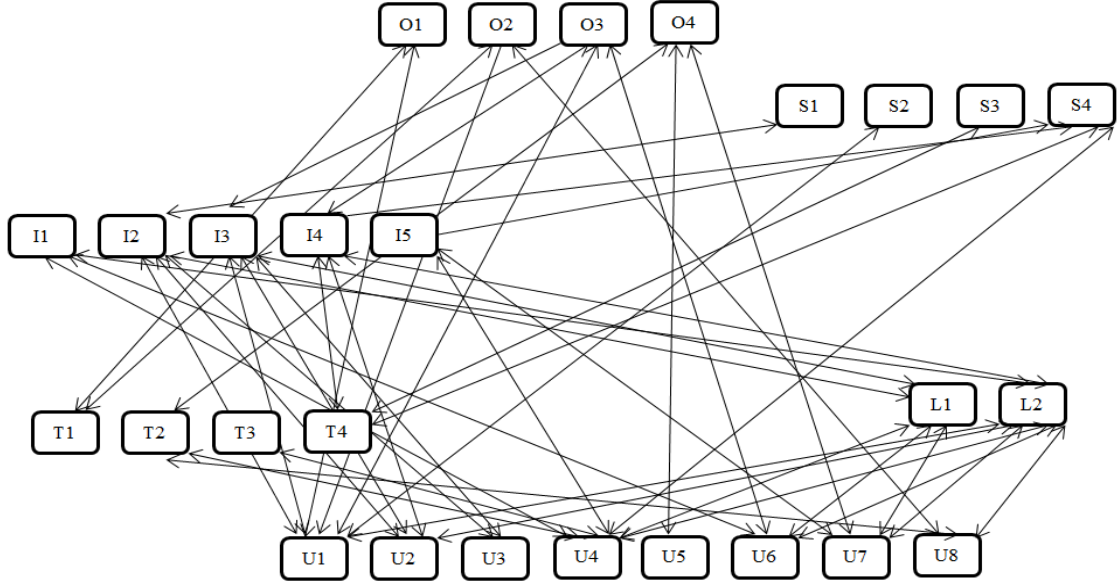
örgütme fonksiyonundaki en yüksek öneme sahip alt kriter fiziki altyapı eksikliğidir. İnsan kaynakları ana kriterinde kullanıcıların eğitim ve interdisipliner yaklaşım eksikliklerinin olması yüksek önem derecesine sahiptir. Üst yönetim ana kriterinde strateji eksikliği en önemli alt kriter olarak bulunmuştur. İletişim ana kriterinde multidisipliner çalışma yapısının oluşturulamaması, işbirliği kurulamamasından daha önemli bir alt kriterdir. Sosyal ve kültürel riskler içerisinde dijital dönüşümlere karşı isteksizliğin en önemli alt kriter olduğu görülmektedir. Son olarak teknoloji alanındaki risklerde en önemli alt kriter mimari entegrasyonun uyumu olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. Alt kriterlerin önem dereceleri

| A. kriter kodu | Önem derecesi | A. kriter kodu | Önem derecesi |
|----------------|---------------|----------------|---------------|
| O1 | %11 | U1 | %39 |
| O2 | %66 | U2 | %21 |
| O3 | %5 | U3 | %4 |
| O4 | %18 | U4 | %12 |
| I1 | %50 | U5 | %9 |
| I2 | %19 | U6 | %7 |
| I3 | %13 | U7 | %5 |
| I4 | %13 | U8 | %3 |
| I5 | %5 | L1 | %15 |
| T1 | %63 | S1 | %52 |
| T2 | %22 | S2 | %23 |
| T3 | %10 | S3 | %17 |
| T4 | %5 | S4 | %8 |
| L2 | %85 | | |

3.1.6. Alt Kriterler Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

Alt kriterlerin farklı ana kriterlerdeki alt kriterlerle olan ilişkileri Şekil 5.’te verilmiştir. Şekilde dijital dönüşüme uygun olmayan iş modellerinin; strateji eksikliği ve mimari entegrasyonla ilişkili olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Alt kriterler arasındaki ilişki

4. SONUÇ

Dijital dönüşüm çalışmaları ile hedeflenen, hataları en aza indirgeyen insan gücünün azaltıldığı ortamların oluşturulmasıdır. Bu çalışmada, dijital dönüşüme uygun olan havalimanlarında dönüşümde karşılaşılabilecek riskler değerlendirilmeye çalışılmıştır. İlk olarak, yapılan literatür çalışması ile elde edilen bulgular balık kılçığı yöntemiyle analiz edilip dijital dönüşümde etkili olan risk faktörlerinin ortaya çıkarılması sağlanmıştır. Elde edilen faktörler analitik ağ süreci yöntemine uygun olarak ana kriterler ve alt kriterler olarak gruplandırılmıştır. Uzman görüşleriyle elde edilen karşılaştırma matrisleri paket programa veri olarak girilerek ağ yapısı oluşturulmuş, önem dereceleri ve ilişkileri belirlenmiştir.

Multidisipliner çalışma ortamının oluşturulması havalimanlarındaki dijital dönüşümde en yüksek önem derecesine sahip olan alt kriter olarak bulunmuştur. Dijital dönüşüme geçişte multidisipliner bir çalışma ortamı sağlandığında bir sonraki risk faktörü fiziki altyapı eksikliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Havalimanlarının fiziki şartlarının dönüşüm risk kriterlerinin başında geldiği görülmektedir. Fiziki altyapı

eksikliğinin olmadığı veya giderildiği ortamlarda bir sonraki risk kriterinin kullanıcıların eğitim eksikliklerinin ve dijital dönüşümlere karşı direnç gösterme ihtimallerinin olduğu ortaya çıkmaktadır. Geçiş sürecinin sağlam bir stratejiyle yapılması riski azaltacaktır. Doğru stratejinin uygulanması üst yönetimin sorumluluğundadır. Bu nedenle dijital dönüşüme geçişte üst yönetimin büyük bir rolü bulunmaktadır.

Alt kriterler arasındaki ilişkiler incelendiğinde; insan kaynaklarının tüm diğer alt kategorilerle bağlantılı olduğu görülmektedir. İletişim alanında yaşanabilecek risklerin büyük çoğunlukla üst yönetimle alakalı kriterlerle bağlantılı olduğu saptanmıştır. Sosyal ve kültürel alanlarla ilgili riskler daha çok kendi içerisinde etkileşimli olduğu görülmektedir.

Çalışma sonucunda ortaya konulan riskler değerlendirilerek yapılacak dijital dönüşümler geçiş sürecini kolaylaştırabileceği düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda kullanılan metodoloji farklı sektörlerde de uygulanabilir. Yapılan bu çalışma Türkiye'deki havaalanları için değerlendirildiğinden farklı ülkelerdeki havaalanları için entegre edilerek risk değerlendirilmesi yapılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Artar, O., Türkay, U.İ., 2021. Havacılık Sektöründe Havalimanlarının Dijital Dönüşümü. Working Paper Series, 2(1), 86-97.
2. Menshikova, M.A., Piunova, Y.V., Makhova, M.N., 2019. September. Digital Transformation in the Quality Management System. In 2019 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS), IEEE, 42-46.
3. Akmeşe, S., 2020. Kamuda Dijital Dönüşümün Siber Güvenlik ve Dijital Güvence Boyutları ve İç Denetimin Rolü. Denetim, (20), 108-119.
4. Karlı, H., Tanyaş, M., 2020. Lojistik Yönetiminin Dijital Dönüşümü: Akıllı Lojistik Üzerine Sistemik Literatür Haritalaması. Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi, 7(2), 613-632.
5. Gölcük, İ., 2020. An Interval Type-2 Fuzzy Reasoning Model For Digital Transformation Project Risk Assessment. Expert Systems with Applications, 159, 113579.
6. Casey, E., Souvignet, T. R., 2020. Digital Transformation Risk Management in Forensic Science Laboratories. Forensic Science International, 316, 110486.
7. Sokolov, A.G., Abramov, V.M., Istomin, E.P., Korinets, E.A., Bolshakov, V.A., Vekshina, T.V., 2020. September. Digital Transformation of Risk Management for Natural-industrial Systems while Climate Change. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 940(1), 012003.
8. Giraldo, S., la Rotta, D., Nieto-Londoño, C., Vásquez, R.E., Escudero-Atehortúa, A., 2021. Digital Transformation of Energy Companies: A Colombian Case Study. Energies, 14(9), 2523.
9. Molchanova, K., 2020. A Review of Digital Technologies in Aviation Industry. Logistics and Transport, No 3-4 (47-48), 69-77.
10. Zaharia, S.E., Pietreanu, C.V., 2018. Challenges in Airport Digital Transformation, Transportation Research Procedia, 35, 90-99.
11. Siddiqui, F.M., 2019. April. Digital Transformation of Modern Airports by Exploiting Fog as a Service Model. In 2019 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS), 1-11.
12. Büyüközkan, G., Feyzioğlu, O., Havle, C.A., 2019. October. Analyzing Success Factors of Digital Transformation in Aviation Industry Using Fuzzy Cognitive Map Approach. In 2019 3rd International Conference on Data Science and Business Analytics (ICDSBA), 124-128.
13. Rajapaksha, A., Jayasuriya, N., 2020. Smart Airport: A Review on Future of the Airport Operation. Global Journal of Management and Business Research, 20(3), 25-34.
14. Katerna, O.K., Molchanova, K.M., 2020. Digital Transformation of Aviation Industry in Ukraine. EKOONOMIKA I VPPABLIHHA, 53-63.
15. Camúñez i Guirao, A., 2021. Digital Transformation at Airports: The Impact of the BIM and the IoT Technologies on the Airport Environment (Master's Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya), 59.
16. Büyüközkan, G., Havle, C. A., Feyzioğlu, O., 2021a. An Integrated SWOT Based Fuzzy AHP and Fuzzy MARCOS Methodology for Digital Transformation Strategy Analysis in Airline Industry. Journal of Air Transport Management, 97, 102142.
17. Büyüközkan, G., Havle, C.A., Feyzioğlu, O., 2021b. Digital Competency Evaluation of Low-cost Airlines Using an Integrated IVIF AHP and IVIF VIKOR Methodology, Journal of Air Transport Management, 91, 101998.
18. Alpar, M.Ö., Erturgut, R., Alır, E.A., 2021. Havalimanı İşletmeciliğinin Geleceği Üzerine Bir İnceleme: Airport 4.0 ve Akıllı Havalimanı Uygulamaları. 1st International Eurasian Conference on Educational & Social Studies (IECES2021), Türkiye.
19. Heiets, I., La, J., Zhou, W., Xu, S., Wang, X., Xu, Y., 2022. Digital Transformation of Airline Industry, Research in Transportation Economics, 92, 101186.
20. Antmen, Z.F., Miç, P., 2018. Çocuk Yoğun Bakım Ünitesinde Çok Kriterli Karar Verme ile Mekanik Ventilator Seçimi ve Bir

- Uygulama Örneği. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(4), 17-30.
21. Miç, P., Antmen, Z. F., 2019. A Healthcare Facility Location Selection Problem with Fuzzy TOPSIS Method for a Regional Hospital. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 16, 750-757.
 22. Işık, M., Dağsuyu, C., 2020. Bir Üretim İşletmesinde Departmanların Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile Ergonomik Analizi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9 (3), 1231-1241.
 23. Miç, P., Antmen, Z.F., 2021. A Decision-Making Model Based on TOPSIS, WASPAS, and MULTIMOORA Methods for University Location Selection Problem. SAGE Open, 11(3).
 24. Ishikawa, K., 1984. Quality Control in Japan, In The Japanese Approach to Product Quality, 1-5.
 25. Saaty, T.L., 1996. Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process, Pittsburgh: RWS publications, 4922(2).
 26. Niemira, M.P., Saaty, T.L., 2004. An Analytic Network Process Model for Financial-crisis Forecasting, International Journal of Forecasting, 20(4), 573-587.
 27. Saaty, T.L., 1990. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, 48(1), 9-26.

Performance of Machine Learning Methods in Location-Based Prediction

Nuh Mehmet ÖZMERDİVENLİ¹, ORCID 0000-0002-0854-2280

Murat TAŞYÜREK², ORCID 0000-0001-5623-8577

Serhat HIZLISOY^{*2}, ORCID 0000-0001-8440-5539

Bahatdin DAŞBAŞI³, ORCID 0000-0001-8201-7495

¹Kayseri University, Department of Calculated Sciences and Engineering, Kayseri

²Kayseri University, Faculty of Engineering, Architecture and Design, Department of Computer Engineering, Kayseri

³Kayseri University, Faculty of Engineering, Architecture and Design, Department of Engineering Basic Sciences, Kayseri

Geliş tarihi: 25.05.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: ÖZMERDİVENLİ, N.M., TAŞYÜREK, M., HIZLISOY, S., DAŞBAŞI, B., (2022). Performance of Machine Learning Methods in Location-Based Prediction. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 793-802.

Abstract

Thanks to the technological developments that have taken place in recent years, the number, variety and quality of the data obtained using IoT (Internet of Things) sensors have been increasing. Data obtained from IoT sensors have been used in many scientific fields such as land use, climate change, vegetation analysis and air quality forecasting. In this study, a location-based spatial analysis application was carried out using the data obtained from IoT sensors with machine learning. With this application, the average temperature information of the station was estimated with Artificial Neural Network (ANN), Random Forests (RF), and Support Vector Machines (SVM) methods using daily average humidity, average pressure, and station altitude information on real datas of Kayseri acquired from the Turkish State Meteorological Service, and then performances of the methods were compared. In the experimental evaluations, the ANN, RF and SVM methods obtained an average of 0.83, 0.75 and 0.50 R^2 values. The ANN method outperformed the RF and SVM methods in location-based temperature estimation.

Keywords: Location based prediction, Spatial data, Machine learning

*Corresponding author (Sorumlu yazar) : Serhat HIZLISOY, serhathizlisoy@kayseri.edu.tr

Konum Tabanlı Tahminde Makine Öğrenme Yöntemlerinin Performansları

Öz

Son yıllarda meydana gelen teknolojik gelişmeler sayesinde IoT (nesnelerin interneti) sensörleri kullanarak elde edilen verilerin sayısı, çeşitliliği ve niteliği artmaktadır. IoT sensörlerinden elde edilen bu veriler arazi kullanımı, iklim değişikliği, bitki örtüsünün incelenmesi ve hava kalitesi tahmini gibi birçok bilimsel alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmada, IoT sensörleri üzerinden elde edilen verileri makine öğrenmesi yöntemi ile kullanarak konum bazlı mekânsal analiz uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan gerçek veriler içerisinde Kayseri ilnet ait günlük ortalama nem, ortalama basınç ve istasyon rakım bilgisi kullanılarak istasyonun ortalama sıcaklık bilgileri Yapay sinir ağı (ANN), Rasgele orman (RF) ve Destek vektör Makineleri (SVM) algoritmaları ile tahmin edilerek yöntemlerin performansları karşılaştırılmıştır. Deneysel değerlendirmelerde ANN, RF ve SVM yöntemleri ortalama 0,83, 0,75 ve 0,50 R^2 değeri elde etmiştir. ANN yöntemi konum bazlı sıcaklık tahmininde RF ve SVM yöntemlerine göre daha üstün performans göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Konum tabanlı tahmin, Mekansal veri, Makine öğrenmesi

1. INTRODUCTION

Data mining is applied in a large-scale data group to find the information that the researcher wants to discover in the study area. The classification and regression algorithms applied to obtain the desired information, analyze the data set within certain rules. With the increase in the processing power of computers and the ease of accessing large amounts of data due to technological developments, analysis processes using machine learning algorithms have become frequently used in scientific studies [1].

All data containing location information can be called spatial data and configured in vector, line, and point formats and raster (image) types. Raster data are mainly obtained from remote sensing system sensors. With remotely sensed systems, data sets can be created in areas such as forestry, agriculture, geology, natural resources, land cover detection, land management plans, illegal structure detection, destruction of forests, and natural protected areas. In addition, meaningful information can be obtained from these datas with classification methods.

Another important subject of the remote sensing discipline is to produce maps representing different earth features with the help of the datas obtained [2]. In addition, in the last 20 years, plant species and plant production areas have been successfully estimated with the help of various classification and estimation techniques using the data obtained by remote sensing [3]. With the increasing use of information systems, the need for up-to-date spatial data has emerged, and data obtained from sensors by remote sensing method has become more preferred than traditional methods [4]. There is a great increase in the amount of data produced and collected for spatial applications. For all these reasons, the remote sensing discipline needs machine learning algorithms to analyze multi-dimensional data.

In the literature, there are many studies in which machine learning algorithms are used to classify spatial data and for location-based prediction [4,6-12].

When the studies in the literature are examined as a location-based estimation method, Zolfaghari et al. [13] estimated Atterberg limits and indices to examine the use of soil and environmental data in 113 spatial locations using artificial neural network

(ANN) models at the western Iran basin scale. Hong et al. [14] calculated the landslide susceptibility indices by using the landslide inventory data containing 282 landslide locations with support vector machine (SVM) to create a landslide susceptibility map in Luxi city, Jiangxi province, China. Dharumarajan et al. [15] used the random forest model (RF), referencing 116 different spatial points, to predict the spatial variation of major soil features in the Bukkarayasamudrum Mandal in Anantapur district, India.

In this study, first of all, random forest algorithms, support vector machines, and artificial neural networks, which are some of the machine learning algorithms used for spatial data analysis, are introduced. Then, the performance of these methods was examined by using real data from the Meteorological Service. Finally, by using the daily average humidity, average pressure and station altitude data, the average temperature information of the station was estimated by ANN, RF, and SVM methods and their performances were compared.

2. MACHINE LEARNING ALGORITHMS FREQUENTLY USED IN LITERATURE FOR SPATIAL DATA ANALYSIS

In this section, some machine learning algorithms used for spatial data analysis are introduced.

2.1. Random Forest Algorithm

The Random Forest (RF) algorithm is a machine learning algorithm that creates decision trees by dividing the data into multiple subgroups. It is frequently used in the literature because it is fast and easy to apply in classifying spatial data [16]. With this method, multiple decision trees are created, and then predictions are produced for each decision tree. The classification process is performed by using the output result of the majority of the decision trees created. The data sets

used in this method are randomly selected from the data set, and each is a subset of the data set. It is extreme against the over-fitting problem, as different and multiple data sets are used with the RF algorithm [17].

In the Random Forest algorithm, the user has to determine the number of trees (N) and the number of variables (m) used when creating tree structures [18].

After determining the relevant variables, samples are created from the training data, and tree formation is started for each sample. The best branching is determined with m randomly selected variables at each node.

If there is no separate data set for the test, 2/3 of the training data set is used as training data (in the bag), and 1/3 is used as test data (Out-of-Bag (OOB)) [19].

$$\sum \sum_{i=j} \left(\frac{f(C_i, T)}{|T|} \right) \left(\frac{f(C_j, T)}{|T|} \right) \quad (1)$$

CART (Classification and Regression Tree) algorithm is used for this process. The CART algorithm uses the GINI index given in Equation (1) to determine the best branch [8].

In Equation (1), T represents the training dataset, C_i represents the class to which the pixel belongs, and $\frac{f(C_i, T)}{|T|}$ represents the probability that the selected pixel belongs to the C_i class. The purpose of using the GINI index is to determine the homogeneity of the samples at each node. The algorithm selects the variable with the smallest GINI index calculated according to the randomly selected variables at each node, passes to the other node, and ends the branching if this index is zero [19]. In short, nodes are divided into branches, and tree structures are created according to the division criteria determined using the training data.

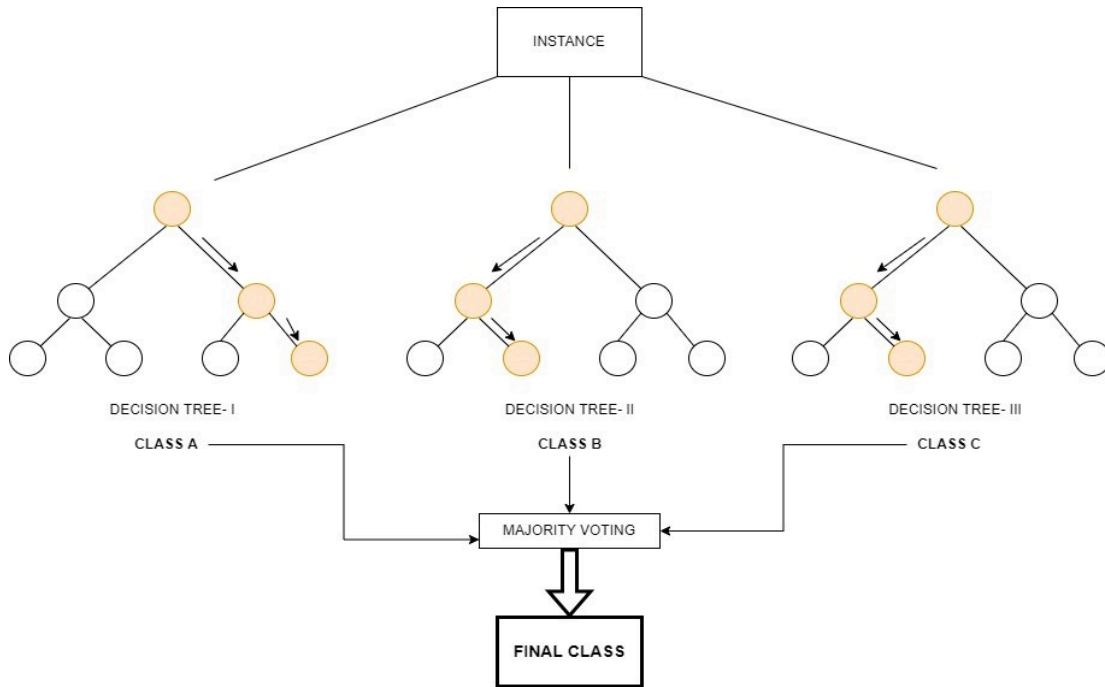


Figure 1. Diagram of random forest algorithm

2.2. Support Vector Machine

Support Vector Machine (SVM) algorithm is a machine learning algorithm used to separate data belonging to different classes from each other [20]. It is frequently used in spatial studies because it can classify high-dimensional hyperspectral data using limited training data [16]. Classification of both linear and non-linear data is possible using Support Vector Machines. For linear data, firstly, the boundary that will separate the two classes from each other is determined. Then, the decision limits on both sides of this border, called margin, are determined. The purpose of this algorithm is to make the distance between the decision boundaries as high as possible.

The classification process in nonlinear data is done by making the data set linear using kernel functions and then determining the most appropriate hyperplane. Kernel functions allow separating nonlinear separable support vectors using a linear plane [21].

Kernel functions are used to determine hyper-planes for the classification of remotely sensed datas with non-linear data characteristics with Support Vector Machines. Although many kernel functions have been defined in the literature, the radial basis function (RTF) is the most preferred kernel function due to its efficiency in problem-solving and its high classification accuracy [22].

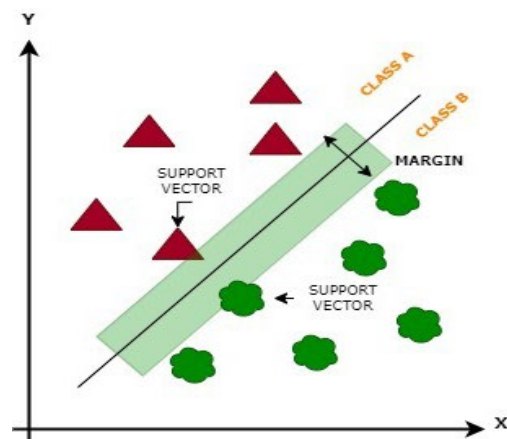


Figure 2. General representation of the SVM

Table 1. Kernel Functions that are frequently used for SVM in the literature

| Kernel Functions | Formula | Description |
|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Linear Kernel | $K(x,y)=xy$ | - |
| Polynomial Kernel | $K(x,y)=((x,y)+1)^d$ | d , Polynomial Degree |
| Radial Based Function Kernel | $K(x,y)=e^{-\gamma\ x-x_i\ ^2}$ | γ , Size of Gauss Kernel |
| Sigmoid Kernel | $K(x,y)=\tanh(b(x,y)+r)$ | b,r Kernel Parameters |

2.3. Artificial Neural Networks

The artificial Neural Networks (ANN) model, inspired by biological neural networks, is frequently used in science and engineering problems. Neural networks consist of artificial units called neurons that work together to solve complex problems. The most basic task of the Artificial Neural Network is to determine an output set that can correspond to a given input set.

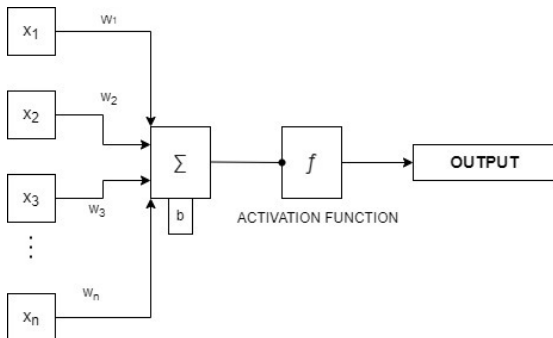


Figure 3. Basic steps of artificial neural network

In the ANN model shown in Figure 3; (x_1, x_2, \dots, x_n) represent inputs, (w_1, w_2, \dots, w_n) represent the

weights of these inputs, b represent bias value ve f represents the decision function.

The weight values are automatically changed according to the specified learning rule by giving output values against a given set of inputs. In Artificial Neural Network architecture, the activation function is an important parameter that affects the accuracy of the system. The most used activation functions in the classification of remotely sensed datas are Log-Sigmoid and Hyperbolic Tangent [23].

An artificial neural network structure consists of 3 layers: input layer, hidden layer, and output layer. The flow of data entering the network is towards the output layer. The information transmitted from the input layer to the hidden layer is weighted here and transferred to the output layer. In the output layer, the result values are reached [23]. The most widely used method for training networks is backpropagation learning [24]. During the training, the weights are updated until the stopping criterion is reached, enabling the cost function of the data set to achieve the best result. In this method, the errors progress from the input to the output by decreasing.

Table 2. The most used activation functions in classification

| Activation Function | Formula | Graphical Display |
|---------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Log-Sigmoid | $y = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ | |
| Hyperbolic Tangent | $y = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{2x}}$ | |

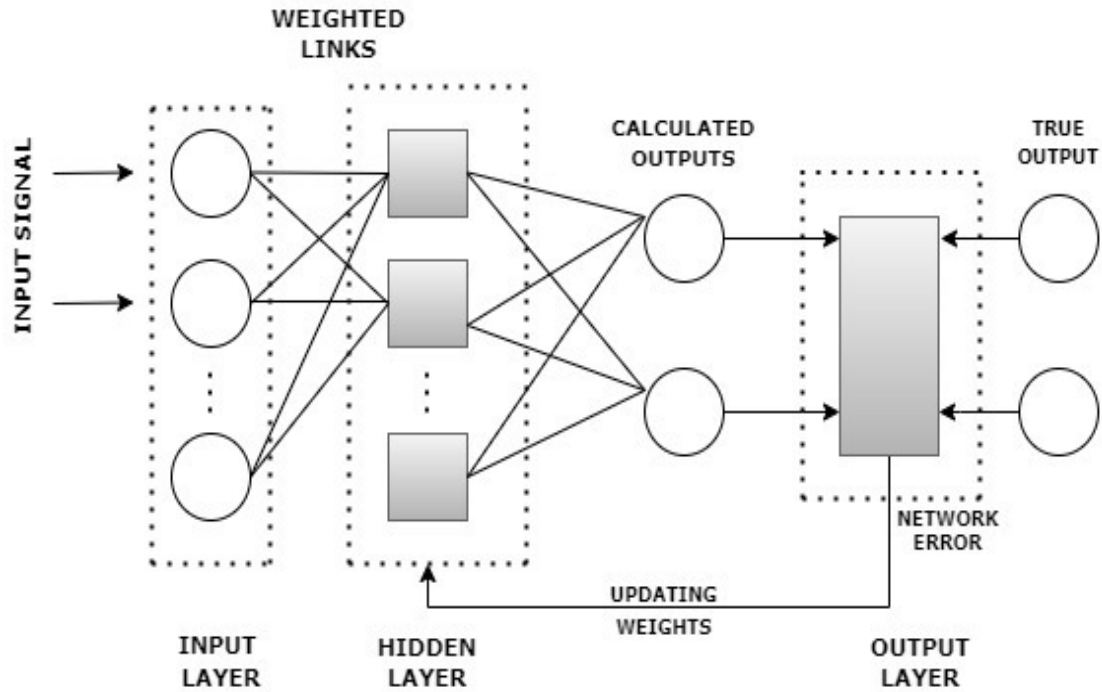


Figure 4. A feed forward backpropagation artificial neural network

3. APPLICATION

In this part, the performance of the methods is examined by using real data obtained from the Meteorological Service. The average temperature information of the station was estimated by ANN, RF, and SVM methods using daily average humidity, average pressure, and station altitude information. Each model was run separately for

each station. In this way, a special formula has been produced for each location (the station's location where the station is located). The information on the meteorology stations used within the scope of this study is presented in Table 3. The view of the locations in the real world on the two-dimensional map plane is shown in Figure 5.

Table 3. Dataset for each station used in the application

| Station No | Station Name | Altitude | Latitude | Longitude |
|------------|-------------------------------|----------|----------|-----------|
| 17836 | Develi | 1204 | 38.3744 | 35.4797 |
| 17195 | Kayseri Erkilet Airport | 1053 | 38.7730 | 35.4908 |
| 17196 | Kayseri Region | 1094 | 38.6870 | 35.5000 |
| 18148 | Kocasinan / Yamula Dam | 1075 | 38.9028 | 35.2695 |
| 17840 | Sarız | 1599 | 38.4781 | 36.5035 |
| 18207 | Yesilhisar | 1141 | 38.3408 | 35.0875 |
| 17837 | Tomarza | 1402 | 38.4522 | 35.7912 |
| 18149 | Melikgazi /Erciyes Ski Center | 2210 | 38.5428 | 35.5244 |
| 17802 | Kayseri / Pinarbasi | 1542 | 38.7251 | 36.3904 |

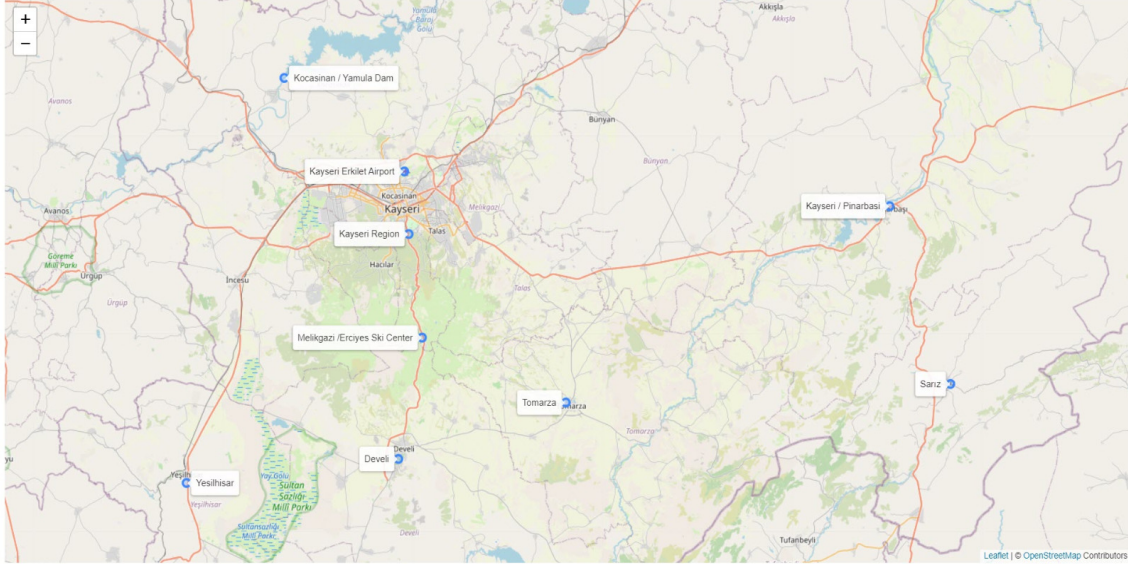


Figure 5. Locations of stations on the map

In the experimental evaluations, the temperature information of the station was estimated by using the altitude, pressure, and humidity information for each station using ANN, SVM, and RF methods. For each station, approximately %80 of the data in the dataset was used as a training set and %20 as the test set.

The R^2 in Equation (2) was used to evaluate the performance of the methods.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

Here, n is the number of samples in the dataset, y_i is the actual value, \hat{y} is the value predicted by the model and \bar{y} is the average of the values predicted by the model. The fact that the R^2 value is close to 1 indicates that the proposed model finds the relationship between the input data and the output data at the maximum level. If this value is close to 0, it is understood that the proposed method cannot model the relationship between input data and output data. The R^2 value is calculated with the above formula. Performances according to the R^2 the value obtained by ANN, SVM, and RF methods are presented in Table 4 and Figure 6.

Table 4. Performances of estimation methods

| Station | Total Data | Training Set | Test Set | ANN | RF | SVM |
|-------------------------------------|------------|--------------|----------|-------------|------|------|
| Develi | 6274 | 5019 | 1255 | 0.74 | 0.69 | 0.69 |
| Kayseri Erkilet Airport | 6033 | 4826 | 1207 | 0.95 | 0.91 | 0.67 |
| Kayseri Region | 6286 | 5029 | 1257 | 0.76 | 0.67 | 0.50 |
| Kocasinan / Yamula Dam | 1602 | 1282 | 320 | 0.79 | 0.71 | 0.57 |
| Sariz | 6290 | 5032 | 1258 | 0.86 | 0.74 | 0.58 |
| Yesilhisar | 1578 | 1262 | 316 | 0.76 | 0.65 | 0.48 |
| Tomarza | 6272 | 5018 | 1254 | 0.98 | 0.86 | 0.53 |
| Melikgazi /Erciyes Ski Center | 1506 | 1205 | 301 | 0.74 | 0.65 | 0.55 |
| Kayseri / Pinarbasi | 6302 | 5042 | 1260 | 0.88 | 0.86 | 0.50 |
| Mean R^2 values | | | | 0.83 | 0.75 | 0.56 |

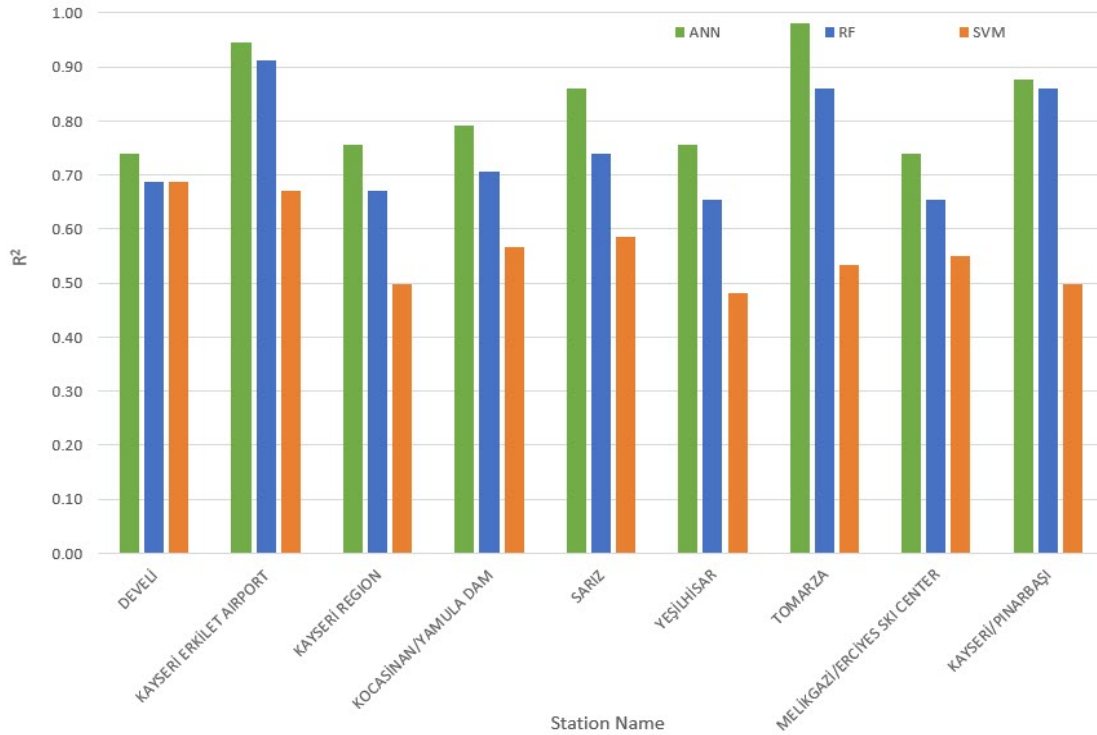


Figure 6. Performance graph of estimation methods

When Table 4 and Figure 6 are examined in detail, the ANN method performed better than RF and SVM methods in temperature estimation of the Meteorological Service stations. With the ANN method, the highest 0,98 R^2 value and the lowest 0,74 R^2 value was obtained. With an R^2 value of 0.74, it was seen that the ANN method modeled the relationship between temperature, pressure, humidity, and altitude superior to other models. The highest 0.91 R^2 value and the lowest 0.65 R^2 the value was obtained with the RF method. On the other hand, the SVM method obtained an R^2 value of 0.69 in the best case and 0.48 in the worst case. Since the SVM method could not find the R^2 value at a good level, it was able to model the relationship between temperature, pressure, humidity, and altitude at a lower rate than other models. In general, when the performance of the methods is examined according to the R^2 value, the ANN method has achieved superior performance to the RF and SVM methods. On the other hand, the RF method achieved superior performance compared to the SVM method.

4. CONCLUSION

Considering the developments in IoT techniques, computer hardware, and software, many studies have been carried out in the literature in recent years in remote sensing using different classification methods. One of the most important parameters affecting classification accuracy is the quality of the data to be used in the study field. On the other hand, when the recent studies are examined, it is observed that RF, SVM, and ANN methods are frequently used.

In this study, the average temperature information of the station was estimated with ANN, RF, and SVM methods using daily average humidity, average pressure, and station altitude information on actual data obtained from the Meteorological Service, and then performances of the methods were compared. In the experimental evaluations, R^2 values for ANN, RF, and SVM models were examined. ANN, RF and SVM models obtained

0.98, 0.91 and 0.69 in good condition, 0.74, 0.65, 0.48 in bad condition, respectively. The ANN method modeled the location-based temperature, pressure, and humidity relationship better than the RF and SVM models in the best and worst cases.

5. REFERENCES

1. Yan, X., Ai, T., 2018. Analysis of Irregular Spatial Data with Machine Learning: Classification of Building Patterns with a Graph Convolutional Neural Network. ArXiv Preprint ArXiv:1809.08196.
2. Torunlar, H.M.G., Tuğaç, M.G., Duyan, K., 2021. Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yönteminde Sentinel-2A Uydu Görüntüleri Kullanılarak Tarımsal Ürün Desenlerinin Belirlenmesi; Konya - Karapınar Örneği. Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi, 3(2), 36-46.
3. Li, L., Zheng, X., Zhao, K., Li, X., Meng, Z., Su, C., 2020. Potential Evaluation of High Spatial Resolution Multi-spectral Images Based on Unmanned Aerial Vehicle in Accurate Recognition of Crop Types. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 48(11), 1471-1478.
4. Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., Şahin, E.K., 2015. Obje Tabanlı Yaklaşımda Makine Öğrenme Algoritmalarının Sınıflandırma Performansının Analizi. TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu, 344-349.
5. Sabek, I., Mokbel, M.F., 2020. Machine Learning Meets Big Spatial Data. In 2020 IEEE 36th International Conference on Data Engineering (ICDE), 1782-1785.
6. Shang, X., Chisholm, L.A., 2013. Classification of Australian Native Forest Species Using Hyperspectral Remote Sensing and Machine-Learning Classification Algorithms. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 7(6), 2481-2489.
7. Cracknell, M.J., Reading, A.M., 2014. Geological Mapping Using Remote Sensing Data: A Comparison of Five Machine Learning Algorithms, Their Response to Variations in the Spatial Distribution of Training Data and the Use of Explicit Spatial Information. Computers & Geosciences, 63, 22-33.
8. Pal, M., Mather, P.M., 2005. Support Vector Machines for Classification in Remote Sensing. International Journal of Remote Sensing, 26(5), 1007-1011.
9. Dilek, K.S., 2013. Kentsel Alanların WorldView-2 Uydu Görüntülerinden Makine Öğrenme Algoritmaları Kullanılarak Tematik Haritalanması. Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, (107), 71-80.
10. Özdarıcı, O.A., Akar, Ö., Güngör, O., 2011. Rastgele Orman Sınıflandırma Yöntemi Yardımıyla Tarım Alanlarındaki Ürün Çeşitliliğinin Sınıflandırılması. TUFUAB 2011 VI. Teknik Sempozyumu, 1-7.
11. Ntouros, K.D., Gitas, I.Z., Silleos, G.N., 2009. August. Mapping Agricultural Crops with EO-1 Hyperion Data. In 2009 First Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing. IEEE, 1-4.
12. Tunca, E., Köksal, E., 2021. Sentinel 2 Uydu Görüntülerinden Bitki Türlerinin Makine Öğrenmesi ile Belirlenmesi. ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(1), 189-200.
13. Zolfaghari, Z., Mosaddeghi, M.R., Ayoubi, S., 2015. ANN-based Pedotransfer and Soil Spatial Prediction Functions for Predicting Atterberg Consistency Limits and Indices from Easily Available Properties at the Watershed Scale in Western Iran. Soil Use and Management, 31(1), 142-154.
14. Hong, H., Pradhan, B., Jebur, M.N., Bui, D.T., Xu, C., Akgun, A., 2016. Spatial Prediction of Landslide Hazard at the Luxi Area (China) Using Support Vector Machines. Environmental Earth Sciences, 75(1), 1-14.
15. Dharumarajan, S., Hegde, R., Singh, S.K., 2017. Spatial Prediction of Major Soil Properties Using Random Forest Techniques-A Case Study in Semi-arid Tropics of South India. Geoderma Regional, 10, 154-162.
16. Üstüner, M., Şanlı, F.B., 2019. Çok Zamanlı Polarimetrik SAR Verileri ile Tarımsal Ürünlerin Sınıflandırılması. Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, 7(1), 1-10.
17. Watts, J.D., Lawrence, R.L., 2008. Merging Random Forest Classification with an Object-oriented Approach for Analysis of Agricultural

- Lands. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37(B7).
18. Breiman, L., 2001. Random forests. Machine learning. Kluwer Academic Publishers, 45(1), 5-32.
 19. Erdem, F., Derinpınar, M.A., Nasirzadehdizaji, R., Selen, O.Y., Şeker, D.Z., Bayram, B., 2018. Rastgele Orman Yöntemi Kullanılarak Kıyı Çizgisi Çıkarımı İstanbul Örneği. Geomatik, 3(2), 100-107.
 20. Gislason, P.O., Benediktsson, J.A., Sveinsson, J.R., 2006. Random Forests for Land Cover Classification. Pattern Recognition Letters, 27(4), 294-300.
 21. Kumar, P., Gupta, D.K., Mishra, V.N., Prasad, R., 2015. Comparison of Support Vector Machine, Artificial Neural Network, and Spectral Angle Mapper Algorithms for Crop Classification Using LISS IV Data. International Journal of Remote Sensing, 36(6), 1604-1617.
 22. Yu, J.H., Ge, L., Rizos, C., 2011. Digital Elevation Model Generation Using Multibaseline Advanced Land Observing Satellite/phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar Imagery. Journal of Applied Remote Sensing, 5(1), 053510.
 23. Kavzoglu, T., Colkesen, I., 2009. A Kernel Functions Analysis for Support Vector Machines for Land Cover Classification. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 11(5), 352-359.
 24. Atasever, Ü.H., Özkan, C., 2012. Arazi Örtüsünün Belirlenmesinde Torbalama Karar Ağaçları Yönteminin Kullanılması. UZAL-CBS, Zonguldak.
 25. Rokach, L., 2010. Pattern Classification Using Ensemble Methods. Series in Machine Perception and Artificial Intelligence, World Scientific, 75.

An Experimental Study on Comparison of Selected Performance Properties of Soybean and Cotton Knitted Fabrics

G. Banu GÖKGÖNÜL*¹ ORCID 0000-0002-5297-1592

Emel Ceyhan SABİR¹ ORCID 0000-0002-2385-1524

¹Çukurova University, Engeneering Faculty, Textile Engineering Department, Adana

Geliş tarihi: 03.01.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: GÖKGÖNÜL, G.B., SABİR, E.C., (2022). An Experimental Study on Comparison of Selected Performance Properties of Soybean and Cotton Knitted Fabrics. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 803-812.

Abstract

In this study, 100% soybean and 100% cotton suprem and pique knitted fabrics were produced. Quality performance parameters, color fastness and spectrophotometric color results of the knitted fabrics were compared. The aim of the study is to reveal the advantages and weaknesses of soybean knitted fabrics compared to cotton knitted fabrics. When the production and test results are examined, soybean fabrics are softer than cotton fabrics. Knitted pique 100% soybean protein fiber fabrics dimensional change is worse than 100% cotton. Air permeability of fabrics made from soybean fiber is better than cotton fabrics therefore it can be provided thermal comfort conditions. Bursting strength of soybean fabrics is as good as cotton fabrics. In the color fastness tests, the fastness values of the soybean fabrics were found to be high and wet rubbing fastness is good. As a result of this study, it was seen that the color fastness, softness, abrasion resistance, air permeability of the soybean knitted were better than cotton fabrics. Soybean fabrics were found to be more pilling than cotton fabrics. When the results of the research are examined, 100% soybean fabrics can be used instead of cotton fabrics.

Keywords: Soybean fiber, Cotton, Knitted fabric, Comfort, Quality tests, Colour measurements

Soya ve Pamuklu Örme Kumaşların Seçilen Performans Özelliklerinin Karşılaştırılması Üzerine Deneysel Bir Çalışma

Öz

Bu çalışmada %100 soya ve %100 pamuklu süprem ve pike örme kumaşlar üretilmiştir. Örme kumaşların kalite performans parametreleri, renk haslıkları ve spektrofotometrik renk sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı, soya fasulyesi örme kumaşların pamuklu örme kumaşlara göre avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymaktır. Üretim ve test sonuçları incelendiğinde soya kumaşlarının pamuklu

*Corresponding author (Sorumlu yazar): G. Banu GÖKGÖNÜL, bgokgonul@gmail.com

kumaşlara göre daha yumuşak olduğu görülmektedir. Örme pike %100 soya proteini lifli kumaşlarda boyut değişimi %100 pamuktan daha kötüdür. Soya lifinden yapılan kumaşların hava geçirgenliği pamuklu kumaşlara göre daha iyidir, bu nedenle termal konfor koşulları sağlanabilir. Soya kumaşlarının patlama mukavemeti, pamuklu kumaşlar kadar iyidir. Renk haslığı testlerinde soya kumaşlarının haslık değerlerinin yüksek olduğu ve ıslak sürtme haslıklarının iyi olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, soya örme kumaşların renk haslığı, yumuşaklık, aşınma direnci, hava geçirgenliğinin pamuklu kumaşlara göre daha iyi olduğu görülmüştür. Soya fasulyesi kumaşlarda, pamuklu kumaşlara göre daha fazla boncuklanma olduğu tespit edilmiştir. Araştırmanın sonuçları incelendiğinde, pamuklu kumaşlar yerine %100 soya kumaşları kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Soya lifi, Pamuk, Örme kumaş, Konfor, Kalite testleri, Renk ölçümleri

1. INTRODUCTION

Soybean fiber is a herbal protein fiber. Which has a protective property for human skin. Because of softness, comfort and brightness properties, Soybean protein fiber (SPF) is named for 'skin to skin'. The most important properties of SPF fabrics are as follows: excellent softness, luster, similarity of cashmere, air permeability (comfort), high resistance to acid, alkali and ultraviolet. This fiber resistant for bacteria e-coli, staphilococcus, candida and albicana. For skin contact when comparison of herbal protein and animal protein, herbal protein havent any side effect and usefull for human body [1]. Some garments that obtained from SPF are used in underwear, towel, knitting and outdoor clothing.

Wool and silk are commonly used as protein fibers. Wool and silk have good phisical properties but their product process is expensive. There must be very mulberry tree efor requirement of silk production and also wool and silk performance features are limited. Wool's surface is available for peeling and dieing wool is hard. Besides, regenerated protein fibers and soybean protein fibers can extruded which wanted theoric limited. Production of SPF, competitive for textile industry. Oil prices increase 21 times in fifty years, soybean protein fibers increase 6.5 times. Another advantage is soybean protein have high protetein rate. Soybean have 40% protein, peanut have 25% protein and corn have 10% protein. Soybean protein is eco-friendly [2].

Li-Yi showed that soybean protein fibers are healty and comfotable, the fiber is new and popular in 21th Century, tecnolocically advanced in soybean fiber production in China. Most of its production provides from China [3]. Vynias showed SPF's morpholocig structure, all product stages and chemical [2]. Rijavec and Zuplin showed detail of soybean protein fibers chemicaly structure and fibers product stages [4]. Avcı has been compared the comfort properies of finished socks produced from new fibers and also applied comfort tests by producing socks of comfort tests by producing socks of different fibers such as modal, bamboo and soybean. The researcher has stated soybean water behavior similar to repellent fibers [5]. Ünal compared the performance and comfort properties of fabrics made from soybean and organic cotton yarns and showed that its airpermability of soybean protein fiber is better than cotton and its thermal conductivity lower than cotton [6]. Pampal produced yarns in different blends from soybean fiber and bamboo, cotton, polyamide, acrilic and viscose and evaluated the performance characteristics of knitted fabrics from this fibers. At the end of the this work, using %100 soybean yarn less using mixed soybean yarn. Mixed soybean yarn suitable than pure soybean yarn for yarn and fabric properties [7]. Perincek when new generation fibres prefinishing use ecofriendly method and while using different pre-finishing methods, chose most suitable method. Most suitable method detected for yellowness and brightness for soybean [8]. Yıldırım et al. research SPF's general structure, product and enviremental factors. The researcers give

information about SPF'S biodegradable, renewable and sustainable properties advantages and using area [9]. Yılmaz compare SPF and other fibers and it have got superior future similar natural fibers [10]. In their study, Öner and Okur examined the comfort properties such as air permeability, thermal resistance and water vapor permeability of fabrics knitted from soybean, 50%-50% cotton/coolmax, tencel, viscose and polyester. In the study, it was revealed that soybean fiber knitted fabrics have good breathability, high thermal resistance and good water vapor permeability, and will be effective in use in cold weather conditions, but are not suitable for sportswear in hot weather [11].

In the studies of Matusiak and Kamińska, comfort properties such as water vapor permeability and liquid moisture transport of SPF fabrics were investigated. In the research, it was found that the fabrics made of 100% SPFs have liquid moisture carrying ability significantly better than cotton, viscose and Dacron Coolmax fabrics [12]. Kavuşturan, Çeven and Özdemir tencel, bamboo, modal, soybean, 50/50% soybean-tencel, viscose and cotton They produced knitted fabric from core yarn with polyester and viscose and chenille yarns. They showed that 50% soybean 50% tencel can be used as chenille fabrics [13].

In their study, Ciukas et al. conducted experimental research on socks to determine the thermal properties of cotton, bamboo and soybean protein fibers. They emphasized in their studies that socks covered with (Lycra®) should be used for the cold season, since knitted fabrics made from pure cotton, soybean, bamboo yarns and covered with Lycra yarn have a lower thermal conductivity coefficient and feel more comfortable during clothing [14]. In their study in Abramaviciute et al., they conducted air permeability analysis on knitted fabrics produced from bamboo, soybean, cotton/seacell, bamboo/linen yarns to investigate the static water absorption comfort feature of knitted fabrics produced from natural and textured yarns. They concluded that an increase in the thickness and

density of bamboo and soybean fabric worsened the water absorption feature [15].

Zhang et al.'s study examined the thermal-wet states of different hydrophilic fiber such as cotton, soybean, wool, modal, bamboo t-shirts in a heavy exercise environment. Cotton and wool are natural hydrophilic fibers, and regenerated fibers have been found to have better thermal and moisture comfort than the other fibers. Products made of bamboo, soybean and modal fibers gave a warmer and moist feel. Bamboo has a cooler feeling. The study revealed that different fibers should be used in different parts of knitted clothes worn during exercise [16].

Ekinci has designed eight different non-woven surface fabrics containing soybean and cotton fibers, and designed the fabrics to be ADL (Acquisition-Distribution Layer), the diaper/diaper used in hygiene textile [17]. On non-woven surfaces; Soybean and cotton were used as the carrier fibers, 6 denier thickness and 64 mm long bicomponent polyethylene/polyester and bicomponent polyethylene/modified polyester fibers were used as binder fiber. Soybean and cotton were used separately with polyethylene/polyester in different proportions. The samples were applied performance tests for diapers/diapers, and it was observed that the samples containing soybean fiber were more resistant in wet form. The best values for the strength results in the width direction of the machine; obtained from dry /wet soybean /polyethylene/modified polyester samples. The best results in liquid transfer rate, wetting and dryness values were shown by soybean/polyethylene/polyester samples. The results showed that the performance of the transfer of soybean fiber from the upper surface to the absorbent surface in the baby/ diaper in hygiene textile was at a high level [17].

In this study, dyeing of knitted fabrics produced from 24/1 soybean protein yarn was analyzed. Soybean knitted fabric was compared with the knitted cotton fabric of the same structure. It is

aimed to contribute to the literature about dyeing and performance properties of fabrics made from soybean protein fibers by the study.

2. MATERIAL and METHOD

2.1. Material

Experimental study 24/1 Ne yarn number, twisting coefficient (α) 3.6 with 100% soybean protein fiber yarn made of (HAYTEKS AS/Turkey for soybean fiber) were used. Two different types of knitted fabrics were made with this yarn as pique and jersey. In order to determine the advantageous and disadvantageous aspects of soybean protein fiber, 100% cotton yarn of the same number and pique and jersey knitted fabric were also produced. The conditions of the knitting machine were kept

the same for two separate materials. Knitted fabrics, pre-finishing, dyeing and finishing processes are applied. Figure 1 shows the finished knitted fabrics produced.

Table 1. The finished knitting fabric analyze

| Knitting analyze | Soybean | | Cotton | |
|----------------------------------|---------|-------|--------|-------|
| | Suprem | Pique | Suprem | Pique |
| Number of stitches (piece/10 cm) | 123 | 126 | 137 | 106 |
| Verticle trick (piece/10 cm) | 178 | 116 | 173 | 158 |
| Stitch length (mm) | 3 | 4 | 3 | 4 |

2.2. Method

Standard performance tests were carried out to determine the performance characteristics of sample knitted fabrics. Table 2 shows these tests.

Table 2. Tests used in experimental study

| No | Tests | Standards [18] |
|----|--|----------------------|
| 1 | Knitted fabrics - Determination of number of stitches per unit length and unit area | TS EN 14971 |
| 2 | Fabrics- Determination of mass per unit area using small samples | TS EN 12127 |
| 3 | Determination of dimensional change in washing and drying | TS EN ISO 5077 |
| 4 | Absorbency of Bleached Cotton Textile Materials | TS 866 |
| 5 | Determination of permeability of fabrics to air | TS 391 EN ISO 9237 |
| 6 | Tests for colour fastness - Part E04: Colour fastness to perspiration | TS EN ISO 105-E04 |
| 7 | Tests for colour fastness - Part C09: Colour fastness to domestic and commercial laundering - Oxidative bleach response using a non-phosphate reference detergent incorporating a low temperature bleach activator | TS EN ISO 105-C09/A1 |
| 8 | Tests for colour fastness - Part X12: Colour fastness to rubbing | TS EN ISO 105-X12 |
| 9 | Tests for colour fastness - Part E01: Colour fastness to water | TS EN ISO 105-E01 |
| 10 | Bursting properties of fabrics- Part 2: Pneumatic method for determination of bursting strength and bursting distension | TS EN ISO 13938:2 |
| 11 | Standard Test Method for Stiffness of Fabric by the Circular Bend Procedure | ASTM D 4032-94 |
| 12 | Determination of the abrasion resistance of fabrics by the Martindale method - Part 3: Determination of mass loss | TS EN ISO 12947-3/AC |
| 13 | Determination of fabric propensity to surface fuzzing and to pilling- Part 2: Modified Martindale method | TS EN ISO 12945-2 |

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Dimensional Change in Washing and Drying

The results of the test results of the end-of-wash dimension change in the transverse direction of the knitted fabrics are given in Figure 1 and the results of the wash-end size change test in the longitudinal direction are given in Figure 2. In these tests, it is noteworthy that the size changes of the soybean pique samples in transverse and longitudinal directions are more than ± 3 , which is the acceptable limit value.

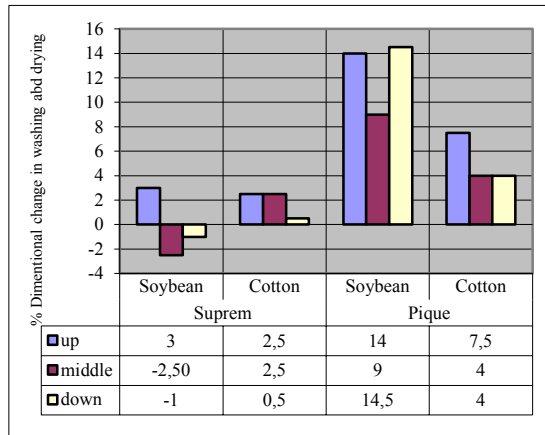


Figure 1. Dimensional changes of the samples in washing and drying (direction of horizontal)

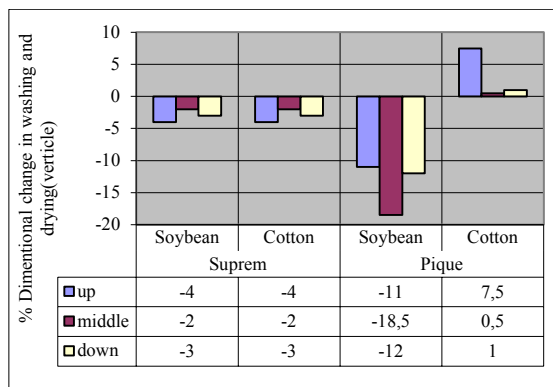


Figure 2. Dimnsional changes of the samples in washing and drying(direction of verticle)

In the transverse direction, the soybean pique fabric showed elongation while the longitudinal direction was observed. Cotton samples of the same weave are observed to have a size change (creep) above the standard. Both soybean and cotton samples have changed size in acceptable porosity. With this experiment, it was concluded that soybean pique knitted fabric would exhibit non-standard dimensional change in house type washing.

3.2. Air Permeability

Figure 3 shows the air permeability test results considered as a comfort parameter. As a result of this test, it was observed that the air permeability of soybean fabrics was better (higher value) than cotton fabrics. It is seen that pique knitted fabrics have more air permability. Statistical analysis revealed that both the raw material and the porosity type affected the air permeability value (significance value = 0).

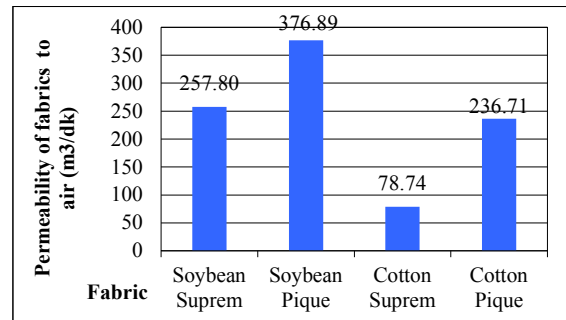


Figure 3. Air permeability of the fabrics

3.3. Bursting Strength

The bursting strength test results, which means that the fabric is drilled under air pressure, are given in Figure 4. High bursting strength values indicate high resistance. When the bursting strength of pique fabric is examined, it is seen that different results are obtained in soybean and cotton raw material use. Statistical analysis shows that the raw material variable effected bursting strecth (significance coefficient = 0.012). Again according to the statistical analysis, the cotton / cotton pique porosity structure also has a significant difference in bursting.

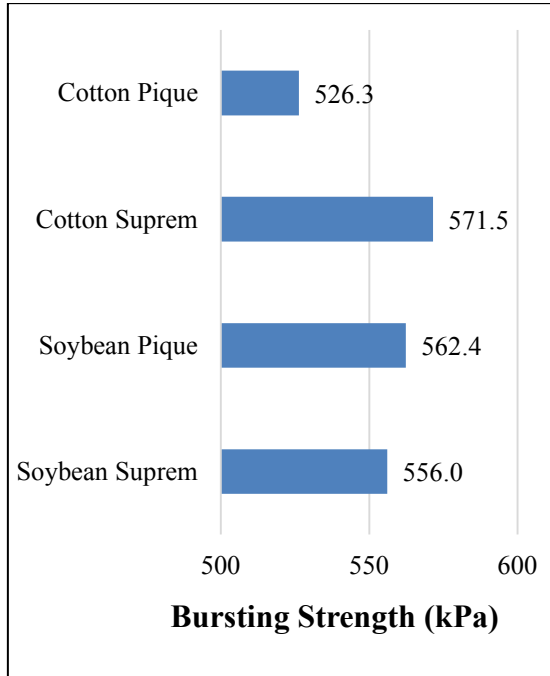


Figure 4. Bursting strength test results of the samples

3.4. Water Absorbency Performance

Figure 5 shows the water absorbency performance of fabrics. This value is high means that water absorption takes a long time. Soybean suprem and pique samples have a longer lasting water absorbency compared to cotton and pique samples. This test is not enough to evaluate this feature as good or bad. Further testing on dehumidification is required. In addition, this test is generally applied for cotton samples. The water absorbency performance of a new fiber, soybean fiber, was also measured by this test. It was also found that the difference in raw material effected the water absorption time with the statistical analysis (soybean suprem/cotton supreme sig. coeff = 0.002 and soybean pique/cotton pique sig. coeff.= 0). The study of Gretha et all. was investigated that three different counts of spun soybean yarn were utilized for knitted fabric production, such as 20 Ne,30SNe, and 40Ne.° Gretha et all. show that the single pique structure with finer yarn count and higher loop length configuration showed higher moisture management properties [19].

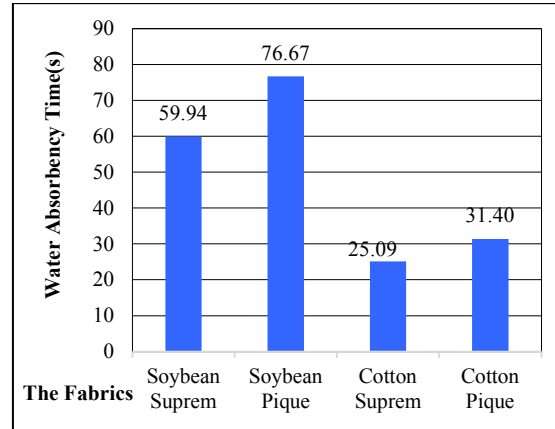


Figure 5. Water absorbency test results of the fabrics

3.5. Flexural Strength (Stiffness)

Flexural strength test is used to evaluate the softness or hardness of the fabrics. The high strength value is interpreted as the hardness of the fabric. Figure 6 shows the circular flexural strength test results. There is no difference in the fact that there is no difference in soybean or cotton in suprem knitting. However, soybean and cotton samples in pique knitting vary in terms of hardness (soybean pique/cotton pique *statistical significance coefficient* = 0.017). When we look at pique samples, it is seen that cotton has a harder fabric structure and soybean has a softer fabric structure than cotton.

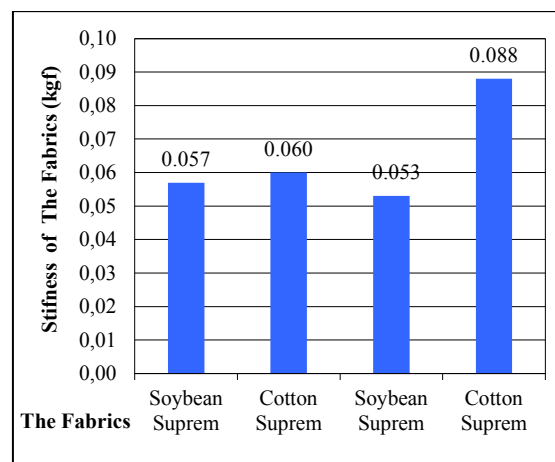


Figure 6. Stiffness test results of the fabrics

Pilling

The pilling values of soybean and cotton knitted fabrics are graded with a gray scale at the end of 2500 cycles obtained by using of Martindale device. When the measurement results in Table 3 are examined, it has been determined that soybean knit fabric hair growth is higher than cotton.

Table 3. Pilling on surface of the fabrics (Martindale method)

| Surface fuzzing and pilling (after 2500 period) | | | |
|---|---------------|---------------|--------------|
| Soybean suprem | Soybean pique | Cotton suprem | Cotton pique |
| 1/2 | 1/2 | 2/3 | 3/4 |

3.6. Abrasion Resistance

Figure 7 shows proportionally the mass loss in the fabrics against abrasion. This high value means that the fabric has suffered a loss of mass under a force and impact. Soybeana suprema and pique samples lost less mass than abrasion and cotton samples. So soybean fabrics have better wear resistance than cotton. The difference in the raw material difference was also determined by the statistical analysis (*mass difference coefficient* = 0.019 and soybean pique/cotton pique = 0.02). According to the statistical analysis, the change in weave is a parameter that affects the mass loss (cotton supreme/cotton pique *significance coefficient*=0.004 and soybean supreme/soybean

pique *significance coefficient*=0.043). This analysis showed that the abrasion resistance of soybean fabric was higher than that of cotton.

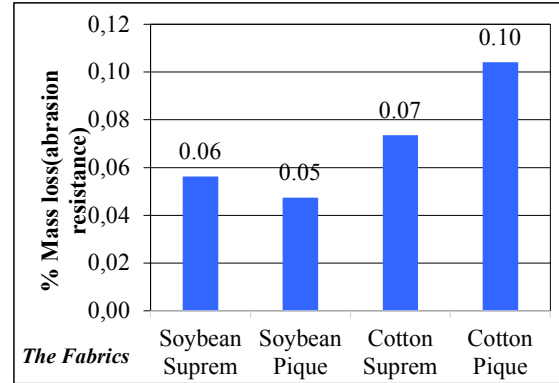


Figure 7. Abrasion resistance of the fabrics by Martindale method (after 15000 period)

3.7. Color Fastnesses

The results of color fastness tests are given in Table 4. For both cotton and soybean fabrics, the acidic and basic sweat fastness values were approximately the same and the fastness values were good. When washing fastness is examined; similar to the perspiration fastness for soybean and cotton, good fastness values were obtained. Similar results were found for soybean and cotton in water holding fastness.

Table 4. Color fastness test results of the fabrics (From A to E)

A) Colour fastness to alkaline perspiration

| Fabrics | Wool | Acrylic | PES | Nylon | Cotton | Acetate | Fading |
|----------------|------|---------|-----|-------|--------|---------|--------|
| Soybean suprem | 5 | 5 | 5 | 5 | 4/5 | 5 | 4/5 |
| Soybean pique | 5 | 5 | 5 | 5 | 4/5 | 5 | 4/5 |
| Cotton suprem | 5 | 5 | 5 | 5 | 4/5 | 5 | 4/5 |
| Cotton pique | 5 | 5 | 5 | 5 | 4/5 | 5 | 4/5 |

B) Colour fastness to acidic perspiration

| Fabrics | Wool | Acrylic | PES | Nylon | Cotton | Acetate | Fading |
|----------------|------|---------|-----|-------|--------|---------|--------|
| Soybean suprem | 5 | 5 | 5 | 5 | 4/5 | 5 | 5 |
| Soybean pique | 5 | 5 | 5 | 4/5 | 4/5 | 5 | 5 |
| Cotton suprem | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Cotton pique | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

C) Colour fastness to domestic and commercial laundering

| Fabrics | Wool | Acrylic | PES | Nylon | Cotton | Acetate | Fading |
|----------------|------|---------|-----|-------|--------|---------|--------|
| Soybean suprem | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| Soybean pique | 5 | 4/5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4/5 |
| Cotton suprem | 5 | 5 | 5 | 5 | 3/4 | 5 | 5 |
| Cotton pique | 5 | 5 | 5 | 5 | 3/4 | 5 | 5 |

D) Colour fastness to water

| Fabrics | Wool | Acrylic | PES | Nylon | Cotton | Acetate | Fading |
|----------------|------|---------|-----|-------|--------|---------|--------|
| Soybean suprem | 5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 4 | 5 | 5 |
| Soybean pique | 5 | 4/5 | 5 | 4/5 | 3/4 | 5 | 5 |
| Cotton suprem | 5 | 4/5 | 5 | 4/5 | 3/4 | 5 | 5 |
| Cotton pique | 5 | 4/5 | 4/5 | 4/5 | 3/4 | 5 | 5 |

E) Colour fastness to rubbing

| Fabrics | Dry | Wet |
|----------------|-----|-----|
| Soybean suprem | 4/5 | 3/4 |
| Soybean pique | 4/5 | 3/4 |
| Cotton suprem | 4/5 | 4/5 |
| Cotton pique | 4/5 | 4/5 |

In the experiments, good fastness values were obtained except that the fabrics contaminated the cotton in the accompanying diaper. Cotton fabric has worse wet rubbing fastness than soybean fabric.

Colour analysis by spectrophotometer

Soybean and cotton knitted fabrics dyed in the same bath and with the same recipe were studied in the spectrophotometer and the measurement results in Table 5 were obtained (D65 in daylight). Cotton pique fabric was selected as the control sample and compared with Soybean pique fabric and $\Delta E:11.570$ was obtained. By spectrophotometer; the sample was interpreted as lighter, greener, more blue. The smaller the ΔE value is interpreted as the lower the color difference.

Since the colors of the raw materials are different even after pretreatment, there is a color difference between the colored fabrics obtained in soybean and cotton. Soybean fiber has a unique yellow color and does not be bleached as much as desired. Thus, the color of soybean and cotton fabrics at the end of the dyeing resulted in a difference due to this yellowing on the ground. Due to the high ΔE value in spectrophotometric measurements, new

measurements have been made about this difference and it has been tried to determine whether this difference is related to bleaching.

Table 5. Colour measurement results of spectrophotometer

| The Fabrics | | | | | | | |
|---------------|-------|--------------|-------|----------------|-------|---------------|-------|
| Cotton suprem | | Cotton pique | | Soybean suprem | | Soybean pique | |
| D65/10 | | | | | | | |
| X | 17.65 | X | 17.31 | X | 17.3 | X | 16.51 |
| Y | 9.99 | Y | 9.7 | Y | 10.51 | Y | 9.94 |
| Z | 3.36 | Z | 3.11 | Z | 5.44 | Z | 4.98 |
| CIELab D65/10 | | | | | | | |
| L* | 37.82 | L* | 37.29 | L* | 38.75 | L* | 37.73 |
| a* | 53.5 | a* | 53.95 | a* | 47.61 | a* | 47.65 |
| b* | 29.74 | b* | 30.46 | b* | 20.38 | b* | 20.77 |
| C* | 61.21 | C* | 61.96 | C* | 51.79 | C* | 51.98 |
| h | 29.07 | h | 29.45 | h | 23.17 | h | 23.55 |

The color difference of the knitted fabrics before and after bleaching was measured and the results are given in Table 6. Here, the sample before the bleaching (raw) was taken as a control sample. It is observed that the schedule bleaching process is not effective in soybean fabric.

Table 6. Colour difference of soybean and cotton fabrics (compared before bleaching and after bleaching)

| Bleached sample | The difference before bleaching and after bleaching, ΔE |
|-----------------|---|
| Soybean pique | 0,92 |
| Cotton pique | 9,14 |

The color differences of both soybean and cotton fabrics after bleaching were measured and compared. The aim of this measurement is to measure the color difference between the bleached cotton fabric and the bleached soybean fabric. Cotton bleached fabric was selected as the control sample. The color difference between cotton fabrics and soybean fabrics after dyeing was found as $\Delta E = 11.570$. Before painting from Table 7, it was found that the color difference was large when it was still bleached (around $\Delta E = 15$). This result shows that the bleaching process is not successful in soybean fabrics.

Table 7. Color difference of soybean sample from cotton sample (bleached both fibers)

| Bleached sample | ΔE |
|-----------------|------------|
| Soybean suprem | 15,01 |
| Soybean pique | 15,06 |

4. CONCLUSION

In this study, pure soybean knitted fabrics compare with pure cotton knitted fabrics. The findings are summarized below. These findings should be interpreted according to the raw material and production techniques mentioned in the material and method section.

- In the dimensional change, the values of 100% soybean protein fiber and knitted pique fabrics were above the standard.
- Air permeability of fabrics made from soybean fiber is better than cotton fabrics. Therefore, it can provide thermal comfort conditions.
- Bursting strength of soybean fabrics is as good as cotton fabrics.

- The water absorption rate of soybean fabrics is slower than cotton fabrics. Cotton fabric is approximately better %60 than soybean fabric. (negative for comfort).
- Soybean fabrics are softer than cotton fabrics.
- Soybean fabrics are more pilling than cotton fabrics. Soft fabrics have a high tendency to pilling. Wear resistance of soybean fabrics was found to be better than cotton fabrics.
- In the color fastness tests, the fastness values of the soybean fabrics were found to be high and wet rubbing fastness is good.
- The color difference between soybean fabrics and cotton fabrics before and after the bleaching process is also high.

As a result of this study, it has been demonstrated that soybean protein fiber, a renewable, biodegradable fiber, can be used as an alternative to cotton fabrics. It can be preferred as a product in areas where cotton fabrics are used.

5. ACKNOWLEDGE

This study was supported by the Scientific Research Projects Unit of Çukurova University (Project code: FYL-2016-645).

Nomenclature;

L : colour darkness, lightness

a :axis of green,red

b : axis of blue,yellow

C :croma

h : hue angle X,Y,Z numerical value of color (redness, greens, yellowness)

6. REFERENCES

1. <https://www.swicofil.com/commerce/products/soybean/152/introduction> (Last Access: Sept. 2021).
2. Vynias, D., 2006. Soybean Fibre: A Novel Fibre in the Textile Industry, 12(2), 461-490, www.intechopen.com.
3. Li, Y.Y., 2004. The Soybean Protein Fibre – A Healthy & Comfortable Fibre for the 21st Century. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*; 12(2), 8-9.

4. Rijavec, T., Zupin, Z., 2011. Soybean Protein Fibres (SPF), Researchgate [serial online]; Chapter 23th in book: 501-522. (DOI: 10.5772/19614).
5. Avcı, H., 2007. Yeni Liflerden Mamul Çorapların Konfor Özellikleri. İstanbul Technical University, Department of Textile Engineering, Master Thesis (In Turkish). Turkey, 81.
6. Ünal, Z., 2010. Investigation of the Some Performance Properties of Knitted Fabrics which are Produced by Soybean and Organic Cotton Yarn. University of Gaziantep, Department of Textile Engineering. Master Thesis. Turkey, 89.
7. Pampal, E.Ş., 2012. Soya İplik Özelliklerinde Etkili Faktörler Üzerine Bir Araştırma. University of Uludağ, Department of Textile Engineering, Master Thesis (In Turkish). Turkey, 104.
8. Perinçek, S., 2014. Selülozik Liflerin ve Yeni Nesil Liflerin Ön Terbiye İşlemlerinde Çevre Dostu Yeni Yöntem ve Teknolojilerin Uygulanabilirliğinin Araştırılması. University of Ege, Department of Textile Engineering, Ph.D. Thesis. (In Turkish). Turkey, 61.
9. Yıldırım, F., Avinç, O., Yavaş, A., 2014. Soya Fasüyesi Protein Lifleri Bölüm 1: Soya Fasüyesi Protein Liflerinin Genel Yapısı, Üretimi ve Çevresel Etkileri. Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi; 19(2), 29-50.
10. Yılmaz, D., Karaboyacı, M., Kılıç, H., Kitapçı, K., Yelkovan, S. 2015. Comparison of Selected Properties of Eco-friendly Soybean and Other Fibres. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*; 23,(111), 14-24.
11. Öner, E., Okur, A., 2015. Thermophysiological Comfort Properties of Selected Knitted Fabrics and Design of T-shirts. *The Journal of the Textile Institute*; 106(12), 1403–1414.
12. Matusiak, M., Kamińska, D., 2019. Investigation of Selected Utility Properties of Woven Fabrics Made of Soybean Protein Fibres. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*; 27(6), 138.
13. Kavuşturan, Y., Çeven, E.K., Özdemir, Ö., 2010. Effect of Chenille Yarns Produced with Selected Comfort Fibres on the Abrasion and Bending Properties of Knitted Fabrics *Fibres & Textiles in Eastern Europe*; 18(1), 78.
14. Ciukas, R., Abramaviciute, J., Kerpauskas, P., 2010. Investigation of the Thermal Properties of Socks Knitted from Yarns with Peculiar Properties. Part I. Thermal Conductivity Coefficient of Socks Knitted from Natural and Synthetic Textured Yarns. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*; 80(3), 89-93.
15. Abramaviciute, J., Mikucioniene, D., Ciukas, R. 2011. Static Water Absorption of Knits from Natural and Textured Yarns. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 19(3), 86.
16. Wu, H.Y., Zhang, W.Y., Li, J. 2009. Study on Improving the Thermal-wet Comfort Clothing during Exercise with an Assembly of Fabrics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 17(4), 75.
17. Ekinci, D., 2018. Soya Lifi İçeren Dokusuz Yüzey Kumaşların Tekstillerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Msc Thesis, Çukurova University Institute of Natural and Applied Sciences Department of Textile Engineering, 73.
18. <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/StandardAra.aspx>, (Last Access: Sept. 2022)
19. Geetha, M.S., Kavitha, S., Senthilkumar, B., Vijay, D., Patchiyappan, K.M., 2022. Comparative Moisture Management Studies of Single Jersey Knitted Soya Bean Fabrics. *Journal of Natural Fibers*, DOI: 10.1080/15440478.2022.207294.

Investigation of the Effect of Side Devices and Crosswind Flow on Aerodynamic Drag of a Ground Vehicle

Ahmet ŞUMNU*¹ ORCID 0000-0002-5580-5266

¹İskenderun Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics Engineering,
Department of Aerospace Engineering, İskenderun

Geliş tarihi: 11.05.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: ŞUMNU, A., (2022). Investigation of the Effect of Side Devices and Crosswind Flow on Aerodynamic Drag of a Ground Vehicle. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 813-826.

Abstract

In the present study, effect of side devices and crosswind flow are investigated to observe aerodynamic drag coefficient for a simplified ground vehicle (Ahmed body) since it directly effects fuel consumption. When the literature was examined, the studies that were investigated effect of slant angle, velocity and geometric modifications were presented. However, there are few studies that proposed both side device effect and crosswind flow for ground vehicles at different yaw angles. The CFD (Computational Fluid Dynamic) solution is performed both model with side devices and crosswind flow condition. The crosswind flow condition has been analyzed at different yaw angles ($\beta=5^\circ, 10^\circ, 20^\circ, \text{ and } 30^\circ$) to observe how to affected drag coefficient. Pressure contours have been presented for model with and without side devices and under the crosswind flow conditions at rear region of body since the most of the drag force occurs flow separation or adverse pressure gradient. The streamlines velocities have been presented at x-plane which is positioned side devices location under the crosswind flow conditions. In addition, vorticity magnitude has been given for both models with and without side devices at different yaw angle. In the results of study are observed that side devices adversely effects aerodynamic performance since flow separation occurs on the side of body and it causes to increase pressure drag. The pressure drop is also observed at rear region of model due to crosswind flow condition. This causes the increase of drag forces.

Keywords: Ahmed body, CFD, Flow separation, Yaw angle, Drag coefficient

Bir Kara Aracının Aerodinamik Sürüklenmesi Üzerine Yan Cihazların ve Yan Rüzgâr Akışının Etkisinin İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada, yakıt tüketimini doğrudan etkilediği için basitleştirilmiş bir kara aracının (Ahmed gövdesi) aerodinamik sürüklenme katsayısını gözlemlmek için yan cihazların ve yan rüzgâr akışının etkisi araştırılmıştır. Literatür incelendiğinde eğik açı, hız ve geometrik modifikasyonların etkisini araştıran çalışmalar sunulmuştur. Ancak, kara araçları için farklı sapma açılarında hem yan cihaz etkisini hem de yan rüzgâr akışını öneren az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle, HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) çözümü hem yan cihazlara sahip modelde hem de yan rüzgâr akış koşullunda

*Corresponding Author (Sorumlu Yazar): Ahmet ŞUMNU, ahmet.sumnu@iste.edu.tr

gerçekleştirilmiştir. Yan rüzgâr akış durumu, sürüklenme katsayısının nasıl etkilendiğini gözlemek için farklı sapma açılarında ($\beta=5^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ ve 30°) analiz edilmiştir. Sürüklenme kuvvetinin büyük bir kısmı akış ayrılması veya ters basınç gradyanından dolayı meydana geldiğinden, yan cihazlara sahip olan ve olmayan modeller için ve yan rüzgâr akış koşulları altında gövdenin arka bölgesindeki basınç konturları sunulmuştur. Yan rüzgâr akış koşulları altında, yan cihazların konumlandığı x-düzleminde akım çizgilerinin hızları sunulmuştur. Ek olarak, girdap büyüklüğü, farklı sapma açılarında yan cihazları olan ve olmayan her iki model için de verilmiştir. Çalışma sonuçlarında, akış ayrılması meydana geldiği ve basınç direncinin artmasına neden olduğu için yan cihazların aerodinamik performansı olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir. Yan rüzgâr akış durumu nedeniyle modelin arka bölgesinde de basınç düşüşü gözlemlenmiştir. Bu, sürüklenme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ahmed gövdesi, HAD, Akış ayrılması, Sapma açısı, Sürüklenme katsayısı

1. INTRODUCTION

The investigation of aerodynamic forces is crucial issue for a ground vehicle since the fuel consumption stems from friction and drag force acting on body. Ground vehicles are used in under different conditions such as velocity and direction of air, rainy weather condition, pressure. Therefore, when the aerodynamic analysis is performed, all conditions are taken into account to find realistic and accurate results for experimental or analytic solutions. The previous studies are mentioned related with ground vehicles in the following paragraph.

Ahmed et al. [1] performed an experimental study for ground vehicle that is known Ahmed body, to analyze the wake structure at different slant angle. The results of this study showed that the flow separation and wake flow cause increase in drag force. The investigation of different shape of rear region of vehicle was performed in terms of aerodynamic performance in a wind tunnel [2]. Lienhart and Becker [3] also investigated contribution of wake generation on aerodynamic drag at behind of the simplified car model. Watkins and Vino [4] performed the study on Ahmed body aerodynamics by positioning the two co-linear bodies. It was deduced that the effect of space of two bodies significantly increase drag coefficients and strong vortex formation that cause the change of drag and lift force at rear region of body was observed. Another study was performed to investigate aerodynamic of Ahmed body using experimental and numerical method by Meile et al. [5]. Large Eddy Simulation (LES) method was

used to perform numerical simulation of Ahmed body at high Reynolds-number by Östh et al. [6]. In order to observe unsteady wake occurring on Ahmed model, experimental study was performed by Volpe et al. [7].

In real case, an automobile is generally exposed to crosswind. Therefore, crosswind conditions should be taken into account when aerodynamic analysis is performed. In the literature, there are few studies related with this issue. The crosswind sensitivity was investigated to decide how to effect the ground vehicle aerodynamics and driving performance by [8]. Ahmed body model was used to perform analysis at 0° - 15° yaw angle and 25° and 35° slant angle. It was deduced that rate of turbulence and velocity fluctuations were significantly effect the shear layers so, rear vertical and slanted surface were important in terms of flow dynamics. Heavy ground vehicles was presented to investigate crosswind effect because they have high lateral surface area and center of gravity of heavy vehicles are higher above ground than an automobile [9]. Crosswind effect was investigated to observe aerodynamic characteristic at different yaw angles for long vehicles and heavy vehicles by [10]. The study applied crosswind over Ahmed body was implemented using rear cavities at base body [11]. The crosswind effect was also investigated to evaluate aerodynamic performance using different shape body and wind tunnel test [12]. Both experimental and numerical studies were performed for observation of crosswind conditions on bluff bodies at 0° to 30° yaw angles [13]. In addition, the similar analysis was carried out using DES (Detached-Eddy Simulation) at 0°

to 30° yaw angles and it was concluded that the results were good agreement with experimental results [14]. Altınışık and Umur [15] focused on crosswind analysis for a special car. They performed wind tunnel test and numerical analysis to observe how to effect crosswind flow for selected car model. It was deduced that drag coefficient increased up to 35° yaw angle and after that point, drag coefficient become to reduce. Crosswind and headwind flow that is incompressible and unsteady was also analyzed for the Ahmed body [16]. Another study that was investigated yaw angle effects on aerodynamic performance was performed experimental study for Ahmed body [17]. It was deduced that drag coefficient was increase at yaw angle 0°- 60°. However, it remains constant between 60° and 75° and it then increase up to 90°.

The experimental study was implemented using particle image velocimetry (PIV) technique to investigate flow physics at different slant angle of Ahmed body [18]. The slant angle effect was observed for Ahmed body by means of numeric analysis and the results were compared experimental study [19].

Some devices that mounted on automobiles side or upper regions should be taken into consideration since these devices affect the aerodynamics of automobile body. However, when previous studies are examined, there are limited studies that take into account side devices effect on aerodynamics. Murutila et al. [20] presented a study adding a device that is side view mirrors to investigate the effects on the aerodynamic drag coefficients. It was deduced that drag coefficient was increase about % 6 for Ahmed body with slant angle 25°. The effect of rear view side mirrors was investigated for a car [21]. Four different models were generated and numerically analyzed to observe side devices effect.

Some devices can be used to improve aerodynamic performance of automobiles. These may be passive and active devices that use to control over the body. In the literature, some studies have been presented. Ahmed and Murtaza [22] presented the

review study related with car aerodynamics and investigated effect of passive flow devices. The research results were concluded that the passive devices should be applied commercial vehicles and the aerodynamic noise study should be performed to enhance the quality of comfort. An active flow control study was presented to improve aerodynamic efficiency using jet actuator for Ahmed body [23]. It was deduced that drag force was reduced for 25° slant angle while drag force was increase for 35° slant angle. Buscariolo et al. [24] presented study for Ahmed body using diffuser and observed flow field that occurs on the rear region. The diffuser analysis was performed by changing the angle that is between 0° and 50°. It was concluded that change of drag and lift coefficient was %13 and %1, respectively. A study was proposed by Yakkundi and Mantha [25] to observe CFD solution and experimental study to validate for generated image model car. Demircioglu [26] proposed aerodynamic analysis of F1 race automobile to observe velocity and pressure distribution occurring over car body at 130 km/h. The similar study was performed for electric vehicles. Both numerical and experimental studies were carried out and the results were compared [27].

The unsteady analysis is performed, if we want the realistic results. Therefore, the solution can be performed time depended. The some previous studies mentioned unsteady analyses are presented in the following. Han [28] proposed numerical study to predict flow around the Ahmed model-like body very well. The Averaged-Reynolds Navier-Stokes equations were solved numerically together with k-ε turbulence model. The reverse flow region and trailing vortices was predicted for three dimensional turbulent flow of the Ahmed vehicle. Krastev and Bella [29] investigated steady and unsteady flow over the Ahmed body using open source CFD toolbox OPENFOAM. Using URANS and steady-state RANS model the numerical simulations were implemented and compared with experimental results available in the literature. Hinterberger et al [30] performed a study to investigate Ahmed body model with slant angle 25° using LES (Large Eddy Simulation).

Another similar study that performed experimentally to visualize longitudinal vortices that occurs the side edges of the rear window at 25° slant angle of Ahmed body model was presented by Jermann et al. [31].

Optimization studies have presented to improve the shape of the body for reduction of drag force and increase the efficiency in point of fuel consumption. When examined the previous studies, a paper was presented by Dumas [32]. The hybrid optimization that was combined a Genetic Algorithm (GA) and a second-order Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) method were applied to the 3D car model for drag minimization. Beigmoradi et al. [33] performed optimization study based on aerodynamic and acoustic objectives. In this study, realizable k-ε turbulent model and broad band noise model was used to perform simulation of model. Taguchi method was also used to reduce number of simulation. The optimum results were obtained using Genetic Algorithm and Artificial Neural Network optimization method. He et al. [34] presented CFD based optimization combining adjoint approach and gradient based method for computing derivatives to optimize the designs. In order to show their optimization framework, bluff body with ramp shape geometry was optimized and the drag level reduced about 9%. The optimization study related with rear end of Ahmed body was proposed by Han et al. [35]. Three dimensional Navier-Stokes analyses were performed for optimization. The three items that backlight angle, boat-tail angle and ramp angle were investigated to find optimum shape for reduction of drag coefficient. The results showed that drag reduction was achieved about 0.13. Wang et al. [36] focus on optimization of Ahmed body for non-smooth surface on the drag reduction. In this study flow field analysis was performed and compared with experimental data in the literature then optimization method that multi-island Genetic Algorithm was applied to increase the efficiency in point of aerodynamic. Qiao et al. [37] presented to flow control for bluff body using multi-frequency and optimization was also performed to reduce drag coefficient value at 10° yaw angle. It was concluded that drag reduction was achieved about

20% by applying genetic algorithm optimization. In order to reduce aerodynamic drag coefficient, geometric revision on the analyzed car was performed and the results were observed that drag force and pressure on the car body were reduced and performance was improved [38].

The result of examined literature related with automobile aerodynamics, there are few studies about side effects with crosswind analysis. In addition, yaw angles of crosswind were generally studied at low, medium and high angles that are between 5° and 30° in previous studies. Therefore, in this study, the analysis of side devices with crosswind have been performed up to 30° yaw angle. The solution results are presented for both models with and without side devices under the crosswind condition to show how to affect the aerodynamic performance of simplified ground vehicle. The following sections are given to explain generation of body and mesh structure and CFD solutions setup in ANSYS.

2. COMPUTATIONAL SETUP

2.1. Geometry of Ahmed Body

In this study, the Ahmed body has been studied in point of aerodynamic analysis to investigate the side device and crosswind effects. For this, geometry was firstly generated using Designmodeler in ANSYS and mesh generation has been then performed Mesh in ANSYS. The dimensions of body are shown in Figure 1 [1,30]. Figure 2 shows solid model of the Ahmed body and Figure 3 shows the model with side devices and its position and dimensions. These position and dimensions are determined by examining the previous studies [20, 21].

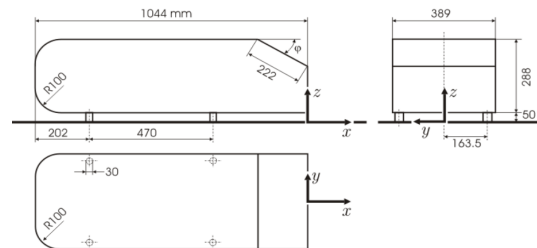


Figure 1. Dimensions of Ahmed body [1,30]

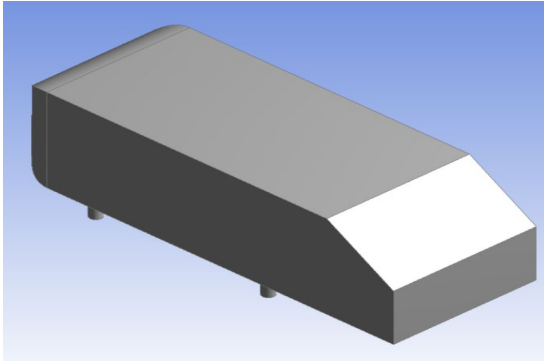
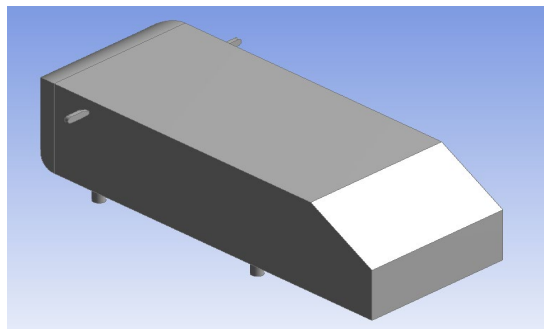
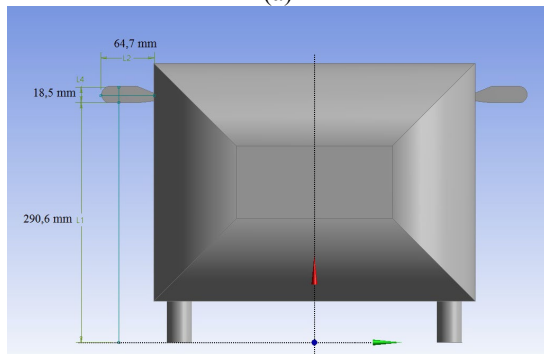


Figure 2. 3D view of Ahmed body



(a)



(b)

Figure 3. Ahmed body with side devices
(a: Isometric view b: Front view with side device position and dimensions)

2.2 Mesh Generation

The mesh generation process is a crucial issue to obtain precision results. The number of mesh and generation method should be compatible to capture flow field around the body. Therefore, mesh generation is started from courser to finer mesh number and prismatic layer is formed around the

model at different number of inflation layer for obtaining accurate results. Inflation control is important to capture the boundary layer since turbulent boundary layer is expected in the solution. The results are compared with experimental results for verification. Tetrahedral mesh has been then generated. Rectangular shape is generated around the body as computational fluid domain. Its length, height and wide of fluid domain are 12, 10 and 10 times of the body length, height and wide, respectively.

In this study, the mesh generation has been performed using Mesh ANSYS. Figure 4 and 5 show the mesh generation for body and computational domain, respectively. The other issue is mesh sensitivity analysis in order to find sufficient mesh number and correct result. Therefore, the CFD solution has been implemented starting from courser mesh numbers to finer mesh numbers. The mesh dependency analysis is given in Figure 6. The CFD solution has been performed from starting 100.000 mesh numbers to 6 Million mesh numbers. The results show that 4 Million mesh numbers has been enough to find accurate solutions.

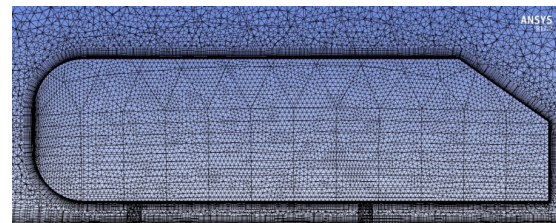


Figure 4. Mesh generation around the model

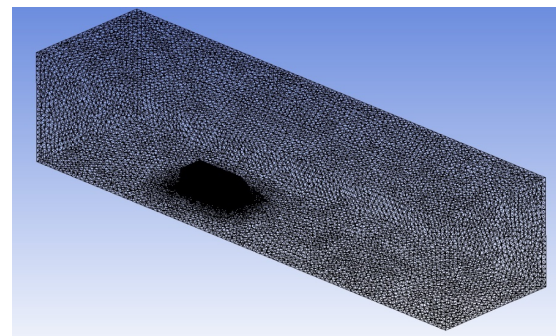


Figure 5. Mesh generation of computational fluid domain

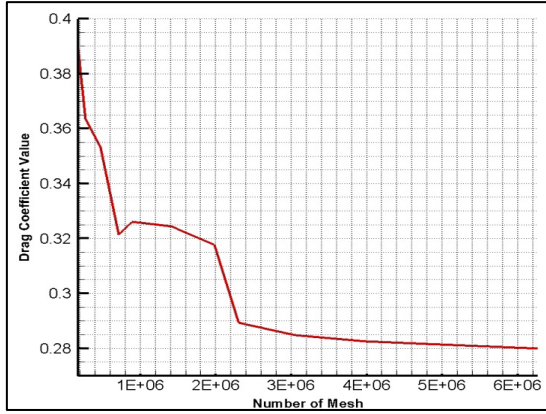


Figure.6. Mesh sensitivity analysis

2.3. Numeric Solution

The solution of the problem has been carried out using Fluent ANSYS that uses finite volume method. 3-Dimensional, steady, compressible solutions have been implemented. In order to describe the flow field, the Navier-Stokes equations that include the continuity and momentum equations are used.

The Navier-Stokes equation in x-direction can be written as (Equation 1)

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla(\rho u V) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x \quad (1)$$

In this study, RNG (Re-Normalisation Group) k-ε turbulence model was used since this turbulence model simulates accurately flow field for this specified conditions [39]. This model is renormalized the Navier-Stokes equations and take into account smaller motion effect. The RNG k-ε transport equation can be described as following (Equations 2 and 3).

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \epsilon \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) =$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} P_k + C_{2\epsilon}^* \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (3)$$

Where,

$$C_{2\epsilon}^* = C_{2\epsilon} + \frac{C_{\mu^3}(1-f_0)}{1+\beta^3}$$

$$\eta = Sk /$$

$$S = (2S_{ij}S_{ij})^{1/2}$$

The setup of Fluent is defined as following. Ahmed body is described as wall type due to no-slip condition. During the solution, enclosure surfaces are defined as symmetry. Velocity-inlet is defined for inlet condition and pressure outlet is described for outlet plane. Solution method is selected as Roe-FDS flux type and flow is specified second order upwind. Solution is also implemented as density based and steady-state. Enhancement wall treatment is selected as the wall function for RNG k-ε turbulences model. Courant number is determined as 0.7. The dimensionless y⁺ value is approximately “1” for capturing flowfield in boundary layer. However, some place on the body, it may be greater than 1. When the change of drag coefficient value is negligible small and the value of flow residuals reach to 10⁻⁵, the solution run is finished. The CFD solutions are implemented at 40 m/s and different yaw angles (5°, 10°, 20°, 30°). Reynolds number that is based on model’s length is 2.78x10⁶.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, crosswind and side device effects have been investigated for a simple ground vehicle. The analysis has been firstly performed without crosswind condition and side devices. When previous papers are examined, yaw angles of crosswind were generally studied at low, medium and high angles that are between 5° and 30°. Hence, solutions have been carried out by applying crosswind conditions at different yaw angles that is 5°, 10°, 20°, 30°. In addition, side

devices have been mounted on base model at position $x = -0.8$. All solutions have been carried out at 40 m/s velocity and 35° slant angle.

The pressure contours is presented at plane $z=0$ for rear region of body without side devices at yaw angle 0°, 5°, 10°, 20°, 30° in Figure 7. The range of pressure value is same for all figures since the comparison and observation can be made easily. When examined these figures and compared each other, it can be observed that pressure drop or adverse pressure gradient occur at rear region of body with increasing yaw angle of flow. In addition, it can be said that crosswind flow is especially affected at yaw angle 20° and 30° and pressure differences increase between front and rear region of model when compared with flow at 0° yaw angle. The flow separation can occur due

to adverse pressure gradient formation and the flow cannot proceed over surface due to no-slip condition. This causes an increase in drag force for a ground vehicle. The pressure contours is presented at plane $z=0$ for rear region of body with side devices at yaw angle 0°, 5°, 10°, 20°, 30° in Figure 8. These figures are presented to observe the effect of side devices at rear region flow field by comparing with Figures 7. When the figures presented model with side devices can be observed that pressure drop at slant surface is more than model without side devices. In addition, it can be stated that side devices effect causes earlier flow separation due to adverse pressure gradient. Therefore, both crosswind and side device are adversely affect flow field at rear region and cause increase drag force.

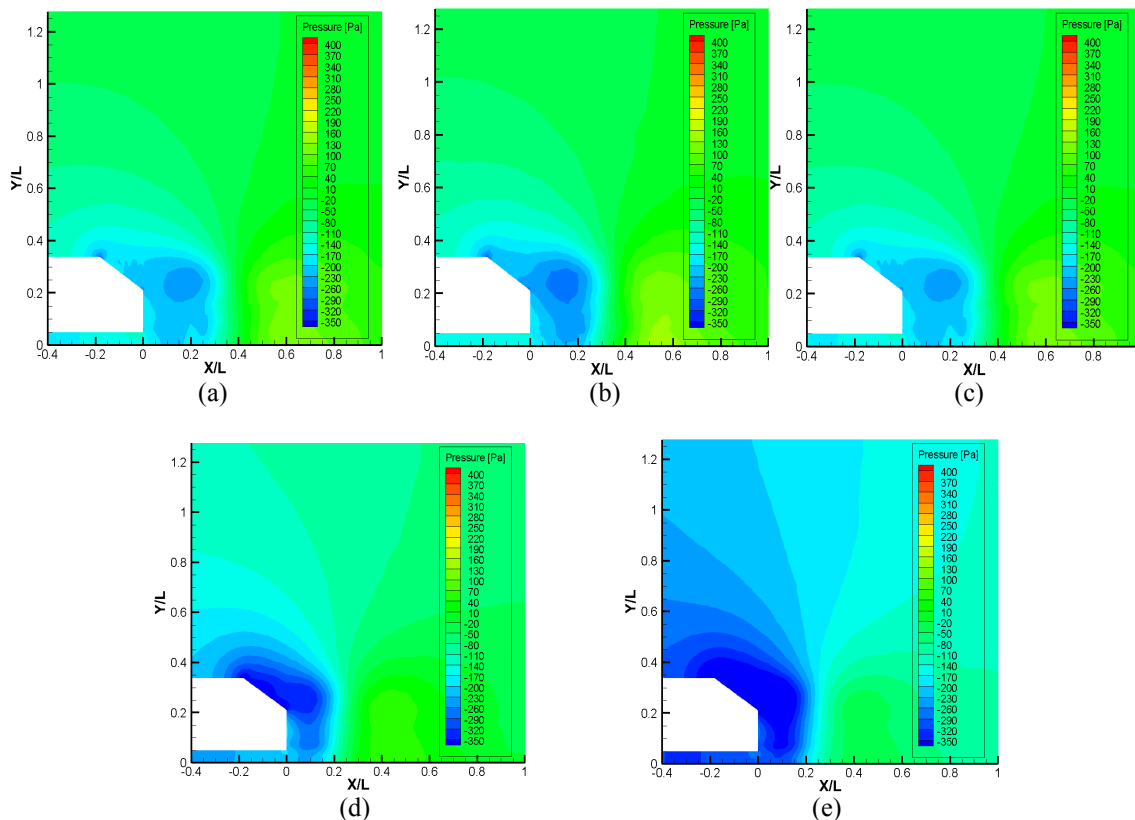


Figure 7. Pressure contours plane $z=0$ for rear region of body without side devices at 40 m/s and 35° Slant angle (a: yaw angle 0°, b: yaw angle 5°, c: yaw angle 10°, d: yaw angle 20°, e: yaw angle 30°)

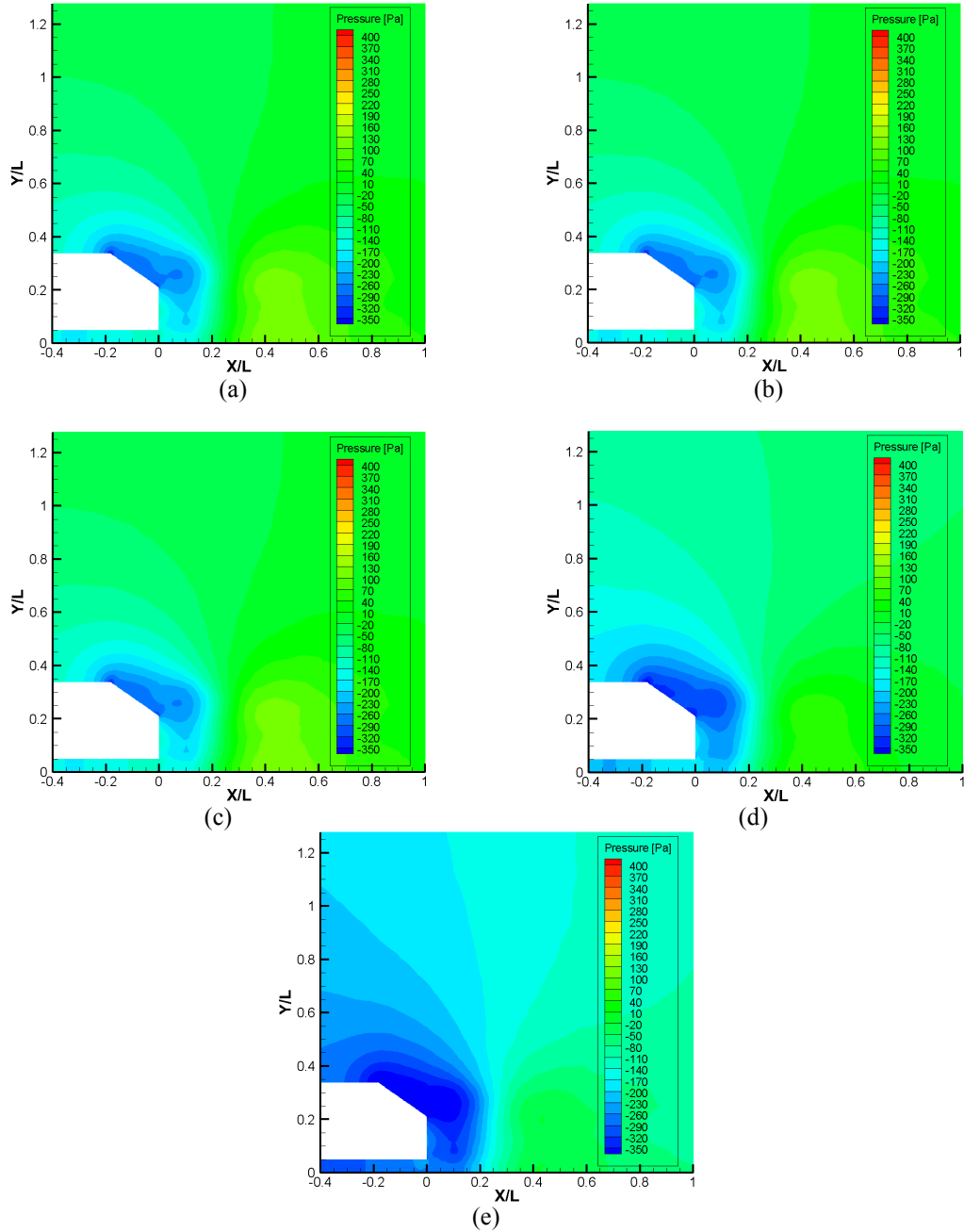


Figure 8. Pressure contours plane $z=0$ for rear region of body with side devices at 40 m/s and 35° Slant angle (a: yaw angle 0°, b: yaw angle 5°, c: yaw angle 10°, d: yaw angle 20°, e: yaw angle 30°)

The velocity streamlines are presented to show flow separation and vortices with and without side devices in Figure 9 and Figure 10, respectively.

These streamlines are examined plane $x=-0.8$ which describes according to reference point that rear end of model. The vortex intensity and its

effected area increase with increasing yaw angle when examined the Figure 9. Moreover, flow separation and vortex generation can be observed over the top surface of model at yaw angles 10° , 20° , and 30° when compared with Figure 9(a) that represents flow without yaw angle. The Figure 10 represents the side devices position to show flow field. When examined these figures, side devices

effect flow field as seen in Figures. However, it can be stated that the vortex area decrease when compared with solution results without side devices. Hence, it can be inferred that drag force does not significantly increase at mounted position of side devices but it may increase due to pressure drop behind side devices position as understood from figures.

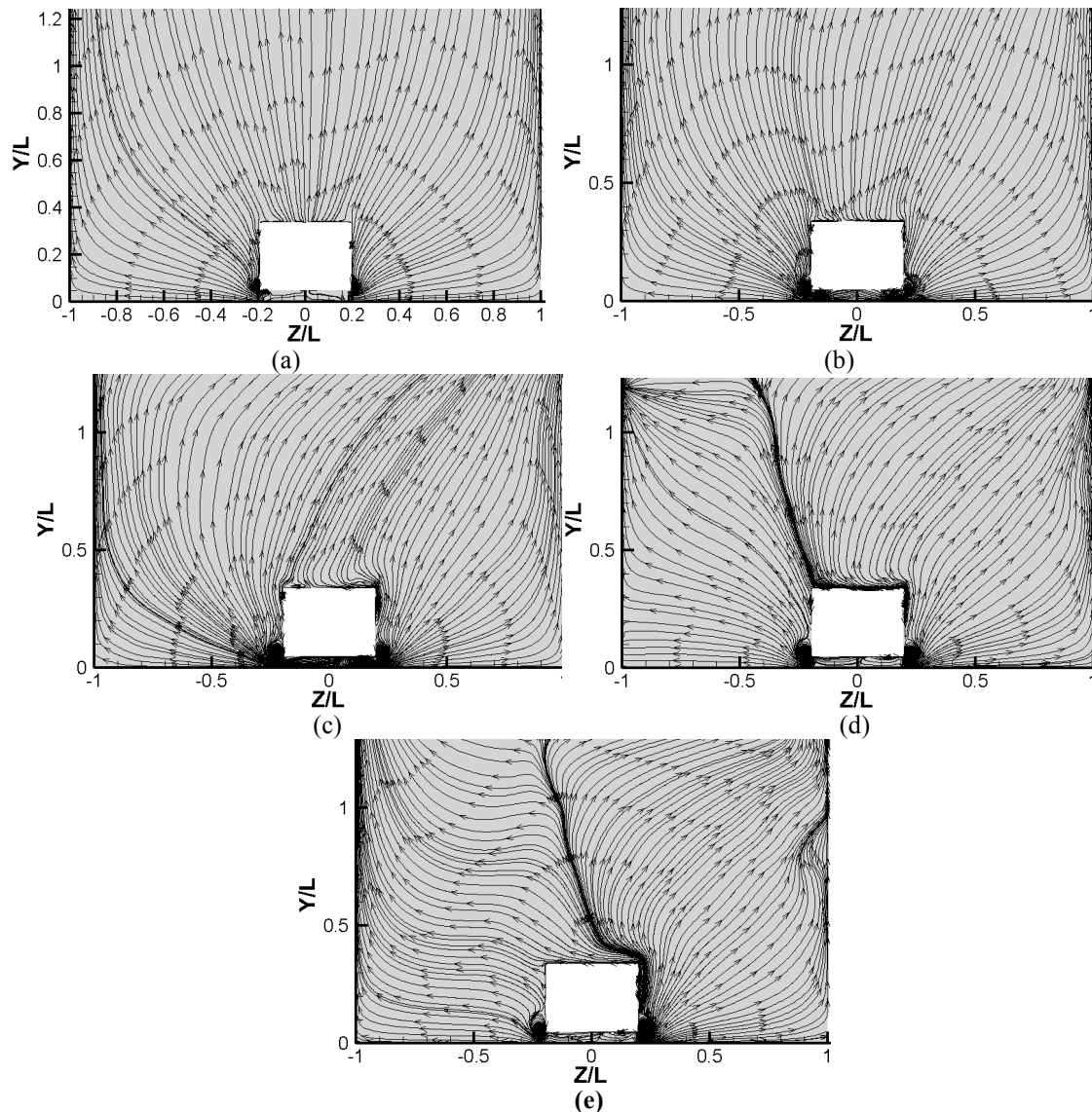


Figure 9. Streamlines velocity plane $x=-0.8$ for body without side devices at 40 m/s and 35° Slant angle (a: yaw angle 0° , b: yaw angle 5° , c: yaw angle 10° , d: yaw angle 20° , e: yaw angle 30°)

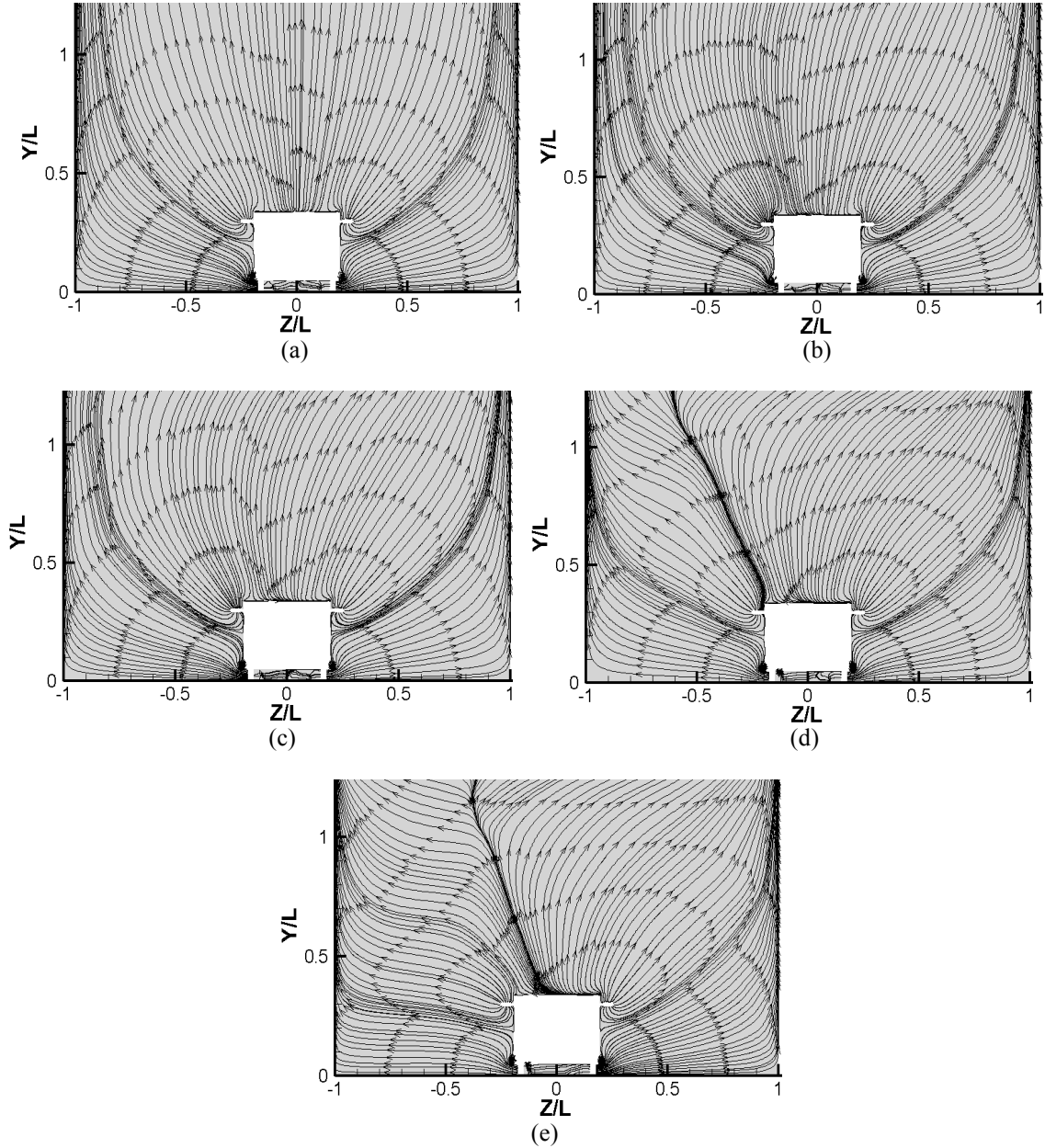


Figure 10. Streamlines velocity plane $x=-0.8$ for body with side devices at 40 m/s and 35° Slant angle (a: yaw angle 0° , b: yaw angle 5° , c: yaw angle 10° , d: yaw angle 20° , e: yaw angle 30°)

The vorticity magnitude is presented to show rear region of model for body without side device in Figure 11. When examining the figures, the vorticity magnitude is high at top and bottom of rear region of body. The magnitude also increases

top region of model with increasing yaw angle. However, it can be observed that vorticity magnitude values reduce after flow has moved slightly away from rear region of model by increasing yaw angle.

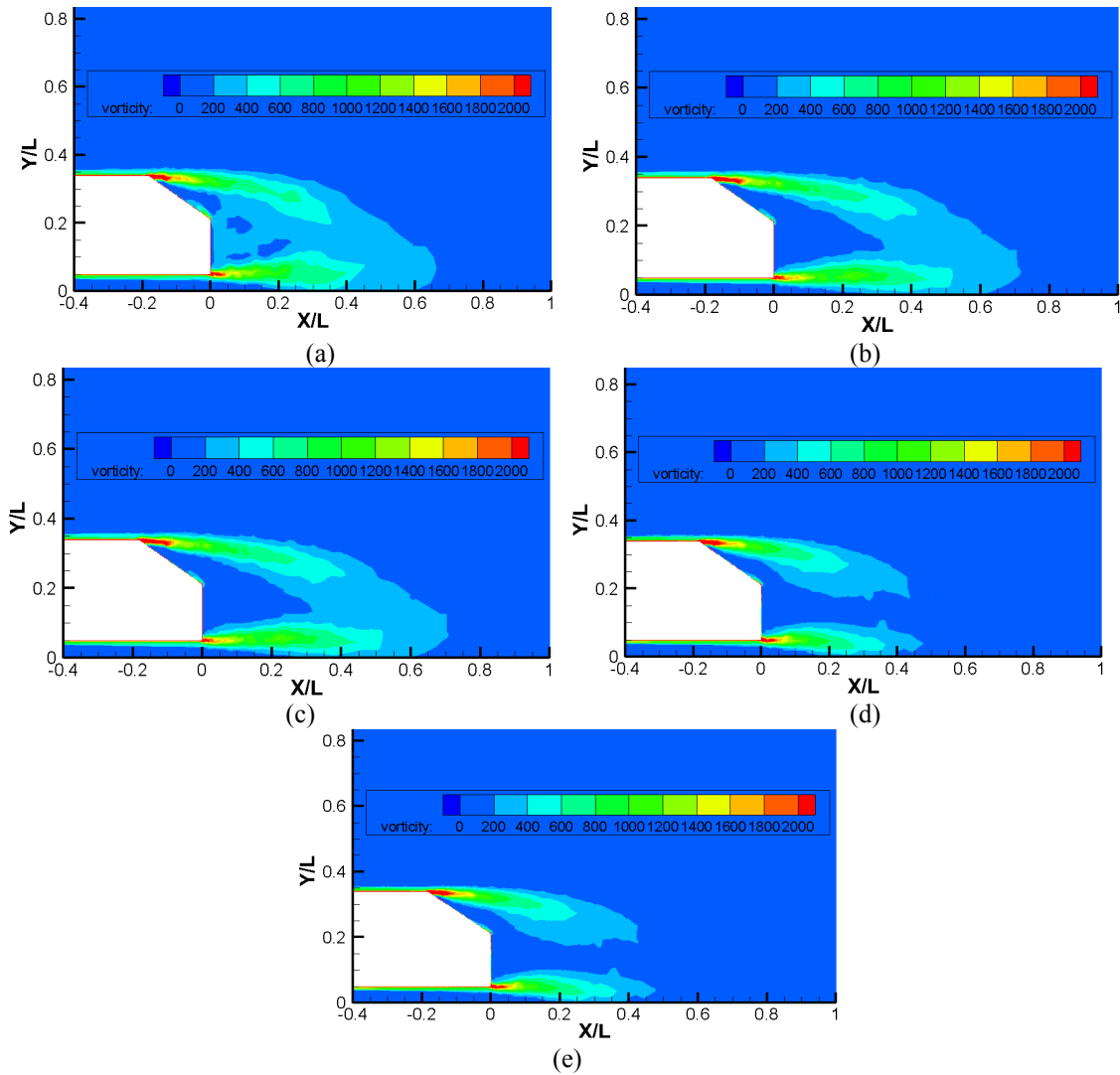


Figure 11. Vorticity magnitude for body without side devices at 40 m/s and 35° slant angle (a: yaw angle 0°, b: yaw angle 5°, c: yaw angle 10°, d: yaw angle 20°, e: yaw angle 30°)

The CFD solution for without side devices of model was compared with previous study that reported C_D values [5] and it was concluded that the results were good agreement each other. Table 1 and Table 2 show the drag coefficients values for both models without and with side devices at 0°, 5°, 10°, 20° and 30° yaw angles, respectively.

Table 1. Drag values at 40 m/s and 35° slant angle without side device (a: yaw angle 0°, b: yaw angle 5°, c: yaw angle 10°, d: yaw angle 20°, e: yaw angle 30°)

| Yaw Angles | C_D Values |
|---------------------|------------------|
| 0° | 0,281 |
| exp. results | 0,279 [5] |
| 5° | 0,297 |
| 10° | 0,321 |
| 20° | 0,359 |
| 30° | 0,388 |

Table 2. Drag values at 40 m/s and 35° slant angle with side device (a: yaw angle 0°, b: yaw angle 5°, c: yaw angle 10°, d: yaw angle 20°, e: yaw angle 30°)

| Yaw Angles | C _D Values |
|------------|-----------------------|
| 0° | 0,301 |
| 5° | 0,312 |
| 10° | 0,339 |
| 20° | 0,368 |
| 30° | 0,402 |

4. CONCLUSION

In the current study, side devices and crosswind effects were investigated for a simplified ground vehicle, separately since there are few studies related with both side device and crosswind analysis at the same time and different yaw angles when previous studies were examined. The model was generated using Designmodeler in ANSYS and the side devices were mounted on the model. The position and dimensions of side devices were determined by examining the previous studies [20, 21]. CFD solutions were then performed both cases in four different yaw angles (5°, 10°, 20° and 30°) because yaw angles of crosswind were generally studied at low, medium and high angles that are between 5° and 30° when previous papers were observed. In order to simulate flow field and capture boundary layer over Ahmed body, mesh generation was performed both prismatic and tetrahedral mesh structure and RNG k-ε turbulence model was used in Fluent solution.

Pressure contours were presented to show flow field at rear region of model and pressure drop or adverse pressure gradient were observed at slant surface of model due to effect of crosswind flow. The solution results were also presented as velocity streamlines at x-plane that is placed position of side devices. When the velocity streamlines were observed, the intensity and area of vortex formation are less than the model without side devices. Hence, crosswind flow causes the most of increase of aerodynamic drag force when compared with side device effect. However, the solution results with both crosswind

and side device were showed that the drag force was more than the solution results with only crosswind effect. In addition, vorticity magnitude has been given for both without side devices at different yaw angle to observe vortex effects at rear region of model. Drag coefficients values were also presented for all solutions. The C_D values was compared with previous study that reported [5] and it was concluded that the results were good agreement each other. Finally, the results of solutions showed that side devices and crosswind reversely affected the body in point of aerodynamic performance since they cause air flow disruption and separation at rear region and side of model. The optimization study can be performed to find optimum position and dimensions of side device and increase aerodynamic performance for the future work.

5. REFERENCES

1. Ahmed, S. R., Ramm, G., Faltin, G., 1984. Some Salient Features of the Time-Averaged Ground Vehicle Wake. SAE Transactions, 473-503.
2. Ahmed, Syed R., 1981. Wake Structure of Typical Automobile Shapes. Transaction of the ASME, 162-169.
3. Lienhart, H., Becker, S., 2003. Flow and Turbulence Structure in the Wake of a Simplified Car Model. SAE Transactions, 785-796.
4. Watkins, S., Vino, G., 2008. The Effect of Vehicle Spacing on the Aerodynamics of a Representative Car Shape. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96(6-7), 1232-1239.
5. Meile, W., Brenn, G., Reppenhagen, A., Lechner, B., Fuchs, A., 2011. Experiments and Numerical Simulations on the Aerodynamics of the Ahmed Body. CFD Letters, 3(1), 32-39.
6. Östh, J., Noack, B.R., Krajnović, S., Barros, D., Borée, J., 2014. On the Need for a Nonlinear Subscale Turbulence Term in POD Models as Exemplified for a High-Reynolds-Number Flow over an Ahmed Body. Journal of Fluid Mechanics, 747, 518-544.

7. Volpe, R., Devinant, P., Kourta, A., 2015. Experimental Characterization of the Unsteady Natural Wake of the Full-scale Square Back Ahmed Body: Flow Bi-stability and Spectral Analysis. *Experiments in Fluids*, 56(5), 99.
8. Tunay, T., Firat, E., Sahin, B., 2018. Experimental Investigation of the Flow Around a Simplified Ground Vehicle under Effects of the Steady Crosswind. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 71, 137-152.
9. Tunay, T., Druge, L., O'Reilly, C. J., 2020. On Coupling Methods Used to Simulate the Dynamic Characteristics of Heavy Ground Vehicles Subjected to Crosswind. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 201, 104194.
10. McArthur, D., Burton, D., Thompson, M., Sheridan, J., 2018. An Experimental Characterisation of the Wake of a Detailed Heavy Vehicle in Cross-wind. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 175, 364-375.
11. Lorite-Diez, M., Jiménez-González, J.I., Pastur, L., Cadot, O., Martínez-Bazán, C., 2020. Drag Reduction on a Three-Dimensional Blunt Body with Different Rear Cavities under Cross-Wind Conditions. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 200, 104145.
12. Suzuki, M., Tanemoto, K., Maeda, T., 2003. Aerodynamic Characteristics of Train/vehicles under Cross Winds. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91(1-2), 209-218.
13. Guilmineau, E., Chometon, F., 2009. Effect of Side Wind on a Simplified Car Model: Experimental and Numerical Analysis. *Journal of Fluids Engineering*, 131(2).
14. Guilmineau, E., Chikhaoui, O., Deng, G., Visonneau, M., 2013. Cross Wind Effects on a Simplified Car Model by a DES Approach. *Computers & Fluids*, 78, 29-40.
15. Altınışık, A., Umur, H., 2018. Yanal Rüzgar Durumunda Otomobil Aerodinamiği. 9th International Automotive Technologies Congress OTEKON, 7-8 May, 2018, Bursa
16. Zafer, B., Haskaraman, F., 2017. Önden ve Yanal Rüzgar Şartı Altında Ahmed Cisminin Sayısal İncelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 32(1).
17. Bello-Millan, F.J., Mäkelä, T., Parras, L., Del Pino, C., Ferrera, C., 2016. Experimental Study on Ahmed's Body Drag Coefficient for Different Yaw Angles. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 157, 140-144.
18. Tunay, T., Sahin, B., Ozbolat, V., 2014. Effects of Rear Slant Angles on the Flow Characteristics of Ahmed Body. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 57, 165-176.
19. Kara, E., 2018. Numerical Investigation of Slant Angle Effect on a Simplified Car Model with Solution Adaptive Cartesian Grid Method. In *International Congress of Automotive and Transport Engineering Springer, Cham*. 32-39.
20. Muritala, A.O., Fatokun, H.A., Obayopo, S. O., 2017. Effect of an Add-on Device on the Aerodynamic Characteristics of a 3-Dimensional Ahmed Body. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 14(6), 18-29.
21. Ensarioğlu, M.V., 2020. Taşıtlarda Yan Ayna Üzerindeki Aerodinamik Etkilerin Nümerik Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, 290.
22. Ahmed, A., Murtaza, M.A., 2016. CFD Analysis of Car Body Aerodynamics Including Effect of Passive Flow Devices—A REVIEW. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5(3), 141-144.
23. Park, H., Cho, J.H., Lee, J., Lee, D.H., Kim, K.H., 2013. Aerodynamic Drag Reduction of Ahmed Model using Synthetic Jet Array. *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems*, 6(2013-01-0095), 1-6.
24. Buscariolo, F.F., Assi, G.R., Sherwin, S.J., 2021. Computational Study on an Ahmed Body Equipped with Simplified Underbody Diffuser. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 209, 104411.
25. Yakkundi, V.K., Mantha, S.S., 2010. CFD Analysis of Flow over Car Variants & Validation with Ahmed Body. *CURIE Journal*, 3(1).

26. Demircioğlu, T.K., 2007. Bir Araç Modelinin Aerodinamik Analizi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, 61.
27. Günay, C., Kumlutaş, D., Özer, Ö., Yücekaya, U.A., 2019. Elektrikli Arabaların Aerodinamik Karakteristiklerinin Parçacık Görüntülemeli Hiz Ölçüm Yöntemi (Pghö) ve Sayısal Olarak İncelenmesi. 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan, 2019, İzmir.
28. Han, T., 1989. Computational Analysis of Three-dimensional Turbulent Flow Around a Bluff Body in Ground Proximity. AIAA Journal, 27(9), 1213-1219.
29. Krastev, V.K., Bella, G., 2011. On the Steady and Unsteady Turbulence Modeling in Ground Vehicle Aerodynamic Design and Optimization. SAE Technical Paper, No. 2011-24-0163.
30. Hinterberger, C., Garcia-Villalba, M., Rodi, W., 2004. Large Eddy Simulation of Flow Around the Ahmed Body. In The Aerodynamics of Heavy Vehicles: Trucks, Buses, and Trains, Springer, Berlin, Heidelberg, 77-87.
31. Jermann, C., Pujals, G., Meliga, P., Serre, E., Gallaire, F., 2013. Characterization of the Streamwise Vortices and Near-wake Dynamics in the Turbulent Flow Around the 25° Ahmed Body Based on SPIV. In 3rd GDR Symposium "Flow Separation Control", Ecole Centrale de Lille, 7th and 8th, 2013.
32. Dumas, L., 2008. CFD-Based Optimization for Automotive Aerodynamics. In Optimization and Computational Fluid Dynamics. Springer, Berlin, Heidelberg, 191-215.
33. Beigmoradi, S., Hajabdollahi, H., Ramezani, A., 2014. Multi-Objective Aero Acoustic Optimization of Rear end in a Simplified Car Model by using Hybrid Robust Parameter Design, Artificial Neural Networks and Genetic Algorithm Methods. Computers & Fluids, 90, 123-132.
34. He, P., Mader, C.A., Martins, J.R., Maki, K.J., 2018. An Aerodynamic Design Optimization Framework using a Discrete Adjoint Approach with OpenFOAM. Computers & Fluids, 168, 285-303.
35. Han, T., Hammond Jr, D.C., Sagi, C.J., 1992. Optimization of Bluff Body for Minimum Drag in Ground Proximity. AIAA Journal, 30(4), 882-889.
36. Wang, Y., Wu, C., Tan, G., Deng, Y., 2017. Reduction in the Aerodynamic Drag Around A Generic Vehicle by using a Non-Smooth Surface. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D: Journal of Automobile Engineering, 231(1), 130-144.
37. Qiao, Z.X., Minelli, G., Noack, B.R., Krajnović, S., Chernoray, V., 2021. Multi-Frequency Aerodynamic Control of a Yawed Bluff Body Optimized with a Genetic Algorithm. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 212, 104600.
38. Kalaycı, C., 2021. SUV Model Bir Motorlu Taşıtın Aerodinamik Performansının Sayısal İncelenmesi ve Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Batman, 63.
39. Şumnu, A., 2021. Shape Modification of Ahmed Body to Reduce Drag Coefficient and Determination of Turbulence Model. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(2), 824-832.

Bir Taş Ocağındaki Patlatma Uygulamalarına Ait En Yüksek Parçacık Hızı ile Frekans İlişkisi

Serdar ERCİNS^{*1} ORCID 0000-0001-8730-4135

Abdurrahman TOSUN² ORCID 0000-0002-3829-4417

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Sivas

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Bergama Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, İzmir

Geliş tarihi: 18.04.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: ERCİNS, S., TOSUN, A., (2022). Bir Taş Ocağındaki Patlatma Uygulamalarına Ait En Yüksek Parçacık Hızı ile Frekans İlişkisi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 827-833.

Öz

Bilindiği gibi açık ocak patlatmalarında patlatma sonucu, çevreye titreşim dalgaları yayılmakta ve dalgaların geçtiği yerler olumsuz bir şekilde etkilenmektedir. Konu ile ilgili çalışmalar yapan araştırmacılar, dalgaların oluşturduğu zarar derecesinin, en yüksek parçacık hız değeri ile ölçüldüğünü rapor etmişlerdir. Söz konusu hız değeri arttıkça zarar miktarının yüksek olduğu, hız değeri azaldıkça da çevreye verilen zarar miktarının az olduğunu vurgulamışlardır. Yapılan bu çalışmalarda, en yüksek parçacık hız değerinin, ölçekli mesafeye diğer bir deyişle patlatma noktası ile ölçüm yapılan nokta arasındaki mesafeye ve bir defada patlayan en yüksek patlayıcı madde miktarına bağlı olduğu görülmektedir. Ancak patlatma sonucu oluşan titreşim dalgalarının sıklığı yani frekans değerleri de çevreye zarar verme derecesini belirlemektedir. Bu çalışmada, bir taş ocağında bir takım patlatma uygulamaları gerçekleştirilerek en yüksek parçacık hız değerleri ölçülmüştür. Bu değerler ile Yanal (Tran), Düşey (Vert) ve Boyuna (Long) frekans değerleri karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: En yüksek parçacık hızı, Frekans, Titreşim, Ölçekli mesafe

Frequency Relationship with the Highest Particle Velocity of Blasting Applications in a Quarry

Abstract

As it is known, as a result of blasting in open pit blasting, vibration waves spread to the environment and the places where the waves pass are adversely affected. Researchers working on the subject have reported that the degree of damage caused by waves is measured with the highest particle velocity value. They emphasized that as the velocity value increases, the amount of damage is high, and as the velocity value decreases, the amount of damage to the environment is less.

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Serdar ERCİNS, sercins@cumhuriyet.edu.tr

In these studies, it is seen that the highest particle velocity value depends on the scaled distance, in other words, the distance between the detonation point and the measurement point, and the amount of the highest explosive substance detonated at once. However, the frequency of vibration waves formed as a result of blasting, in other words frequency values, also determines the degree of damage to the environment. In this study, the highest particle velocity values were measured by performing some blasting experiments in a quarry. These values and Transverse (Tran), Vertical (Vert) and Longitudinal (Long) frequency values were compared and interpreted.

Keywords: Peak particle velocity, Frequency, Vibration, Scaled distance

1. GİRİŞ

Sanayi ve endüstrinin temel girdi parametrelerini üreten madencilik sektöründe patlatma uygulamaları en önemli ana kriterlerden biridir. Özellikle hammaddelerin ekonomik olarak üretiminde patlatmanın verimli olarak uygulanabilmesinin yanı sıra, çevreye verilebilecek olan zararında en az seviyede tutulabiliyor olması oldukça önem arz etmektedir. Bu anlamda patlatma uygulamalarından kaynaklanan titreşimlerin önceden tahmin edilip en aza indirilebilmesinde kullanılan temel yaklaşım, en yüksek parçacık hızı ve ölçekli mesafe ilişkilerinin kullanılması ile sağlanmaktadır. Patlatma uygulamaları sonucunda meydana gelen yer sarsıntısının, gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarına, ölçüm mesafesine ve sahanın jeolojik faktörüne bağlı oldu pek çok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır. [1-4]. Sahanın jeolojik faktörü kontrolü sağlanamayan oldukça karmaşık bir sistemdir. Her sahanın jeolojik yapısı birbirinden farklı olduğundan, yer sarsıntısını oluşturan dalgalar bazı sahalarda çok hızlı ilerlerken bazılarında dalga hızı oldukça yavaş olabilmektedir. Bu sebeple saha içinde yapılacak yer sarsıntısı ölçümleri bir yön belirlenerek hep o yönde yapılmalıdır. Patlatma uygulamalarında gecikme başına kullanılan patlayıcı madde miktarı ise kontrol edilebilen bir parametredir. Gecikme başına kullanılan patlayıcı madde ne kadar çoksa yersarsıntısı dalgaları da o kadar hızlı yayılır ve bunun etkisi daha tahrip edici olur. Patlatma noktası ile yersarsıntısının oluştuğu nokta arasındaki ölçüm mesafesi ne kadar uzak ise yersarsıntısı dalgalarının hızı da o kadar yavaş olmaktadır. Meydana gelen yersarsıntısından dolayı patlatma yapılan bölgeye yakın yerlerde bulunan yerleşim yerleri, insanlar ve yapılar

olumsuz bir şekilde etkilenmektedir. Bu nedenle patlatma esnasında meydana gelen yersarsıntısı hızını azaltmak için araştırmacılar birtakım çalışmalar yapmıştır [5-18].

Bu çalışmada, patlatma delikleri arasında optimum gecikme aralığı uygulanmış ve/veya deliklerde kullanılan patlayıcı madde miktarını azaltarak, yersarsıntısından kaynaklanan en yüksek parçacık hızının azaltılması sağlanmıştır. Aldaş ve Ecevitoglu [19] yaptıkları bir çalışmada, patlatma delikleri arasında uygun gecikme aralıkları kullanarak yersarsıntısından oluşan en yüksek parçacık hızını önemli ölçüde azaltmışlardır.

Patlatma uygulamaları esnasında titreşim ölçer cihazı kullanılarak belirlenen en yüksek parçacık hızı, önemli bir hasar göstergesidir. Ancak titreşim ölçer cihazında en yüksek parçacık hızının yanı sıra Yanal (Tran), Düşey (Vert) ve Boyuna (Long) kaydedilen parçacık hızlarının frekans değerleri de belirlenmektedir. Titreşim etkisinin en aza indirilmesinin yanı sıra, frekans verilerine bakarak patlatma esnasında sahadaki yer değiştirme ve dalga yayılma durumu hakkında yorum yapabilmek de oldukça önem arz etmektedir.

Hertz (Hz) ile gösterilen frekans ya da titreşim sayısı, bir olayın 1 saniyede hangi sıklıkta, kaç kere tekrar edildiğinin ölçümü olarak ifade edilmektedir. Bir olayın frekansı ölçülürken, o olayın belirli bir zaman aralığında kendisini kaç defa tekrar ettiği sayılır ve sonra bu sayı o zaman aralığına bölünerek frekans bulunur [20].

Patlatma kaynaklı titreşimlerin en aza indirilmesinde ve patlatma esnasında oluşan dalgaların formasyondaki yayılma durumları ile ilgili bilgi sağlanabilmesi açısından frekans içeriği

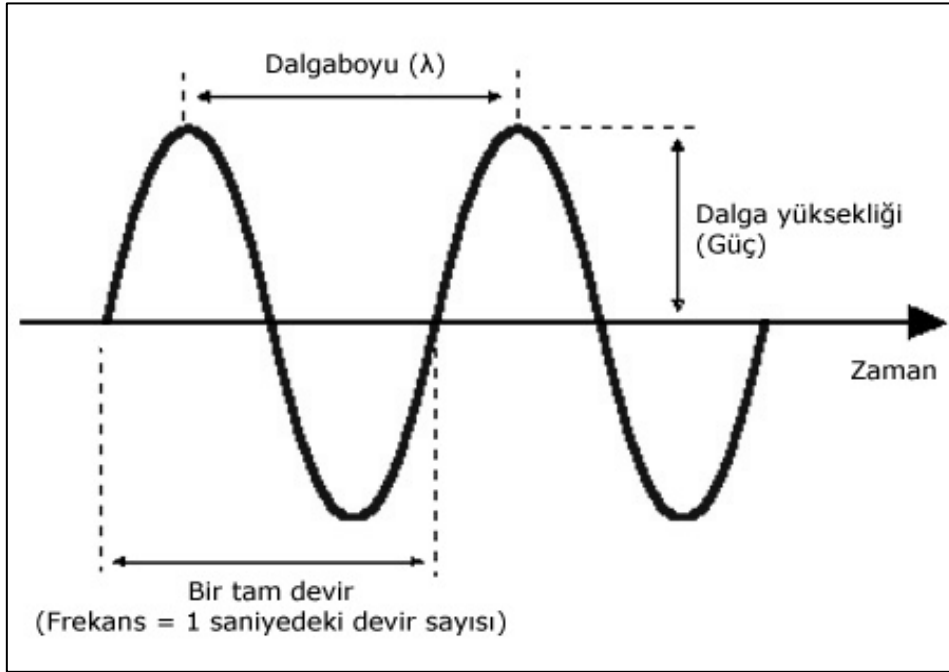
dikkate alınması gereken bir diğer önemli parametredir.

Bir dalganın frekansı, dalga boyu ile ilişkilidir. Dalga boyu, bir dalga örüntüsünün tekrarlanan birimleri arasındaki mesafe olarak tanımlanmakta (Şekil 1) ve Eşitlik 1 ile hesaplanmaktadır [21].

$$\lambda = v / f$$

(1)

Burada;
 λ : dalga boyu
 v : hız
 f : frekans



Şekil 1. Dalga boyu/frekans ilişkisi

Eşitlik 1'den de anlaşılacağı üzere frekansın artması, dalga boyunu dolayısı ile yer değiştirmeyi azaltmaktadır. Çünkü yer değiştirme, düşük frekanstaki bileşenlerine daha hassastır. Bu sebeple düşük frekansa sahip dalgalar, daha fazla mesafe kat ederek daha fazla yapıyı etkiler ve hasar riski oluşturur.

Çalışmada, bir taş ocağı sahasında uygulanan patlatmalardan kaynaklanan titreşimlerin değerlendirilmesinde, en yüksek parçacık hızı ve ölçekli mesafe ilişkisinin yerine en yüksek parçacık hızı ile Yanal (Tran), Düşey (Vert) ve Boyuna (Long) kaydedilen parçacık hızlarının frekans değerleri karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

2. SAHA JEOLJİSİ VE ARAZİ ÇALIŞMALARI

Kırmataş (kalker) üretiminin yapıldığı çalışma sahası Sivas ili, Ulaş ilçesi, Tecer Dağı'nda bulunmaktadır (Şekil 2). Tecer Dağı yöresinde gri, siyahımsı renkli, orta-kalın tabakalı kireçtaşı ile temsil edilir. Kalınlığı değişken olmakla birlikte yanal devamlılığı olmayan bir düzey görünümündedir. Ofiyolitli karışık üzerine uyumsuz olarak çökelen bu kireçtaşı, ofiyolitlerin Eosen'de ikinci kez aktarılması sonucu, bugünkü konumunu kazanmıştır. Yaşı, Üst Maestrihtiyen-Paleosen olarak belirtilmiştir [22].

Sivas Geç Kretase-Tersiyer havzasının güney kenarı Ulaş ilçesi doğusunda yer alan ve Tecer

dağını içine alan bölgedeki oluşuklarla temsil edilir. Miyosen sonu yoğun tektonik etkinliklere sahne olan bu bölge Neotetis kuzey kolunun Erken Miyosen sonunda kapanmış olabileceğini simgeleyen kanıtlar saklar. Yörede en yaşlı kayalar havzanın güneyini sınırlayan Geç Jura-Erken Kretase yaşlı platform kireçtaşlarıdır.

Çalışma sahasında farklı zamanlarda gerçekleştirilen 11 adet patlatma uygulamasının

ölçümleri, titreşim ölçer cihazı ile kayıt altına alınmış ve elde edilen ölçüm bilgileri değerlendirilmiştir. Yapılan patlatma uygulamalarına ait delik boyu ve çapı, gecikme başına patlayan en fazla patlayıcı madde miktarı, patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki mesafe değerleri hassas bir şekilde belirlenmiştir. Söz konusu bilgiler ile patlatma uygulamalarında titreşim ölçüm cihazı ile tespit edilen ölçüm değerleri de Çizelge 1’de verilmiştir.



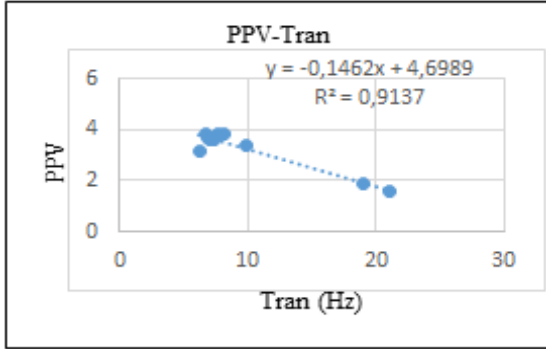
Şekil 2. Taşocağından genel bir görünüm ve verilerin alındığı bölgeler

Çizelge 1. Taş ocağında gerçekleştirilen patlatma uygulamalarından elde edilen veriler

| Delik boyu (m) | Delik çapı (mm) | Gecikme başına en fazla patlayıcı (kg) | Ölçüm mesafesi (m) | Ölçekli mesafe | Tran (mm/sn) | Tran (Hz) | Vert (mm/sn) | Vert (Hz) | Long (mm/sn) | Long (Hz) | En yüksek parçacık hızı (mm/sn) | Gürültü (dB) |
|----------------|-----------------|--|--------------------|----------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|---------------------------------|--------------|
| 5 | 102 | 16 | 287 | 71,75 | 1,513 | 19 | 1,907 | 11,0 | 1,458 | 13 | 1,907 | 111,1 |
| 5 | 102 | 16 | 315 | 78,75 | 1,151 | 21 | 1,545 | 26,0 | 1,442 | 16,5 | 1,545 | 111,8 |
| 10 | 89 | 42 | 277 | 42,74 | 2,618 | 6,2 | 1,874 | 5,6 | 3,191 | 7,6 | 3,191 | 135,12 |
| 13 | 89 | 40 | 273 | 43,17 | 2,004 | 7,1 | 3,712 | 9,3 | 1,738 | 10 | 3,712 | 134,3 |
| 12 | 89 | 45 | 285 | 42,49 | 2,856 | 7,4 | 3,581 | 7,2 | 2,612 | 5,8 | 3,581 | 129,1 |
| 10,2 | 89 | 58 | 241 | 31,64 | 3,722 | 7,6 | 3,019 | 16,1 | 3,802 | 9,3 | 3,802 | 145,6 |
| 13 | 89 | 51 | 263 | 36,83 | 3,805 | 6,7 | 3,629 | 13,7 | 3,698 | 7,3 | 3,805 | 138,5 |
| 12 | 89 | 45 | 202 | 30,11 | 2,908 | 7 | 3,632 | 6,9 | 2,471 | 4,9 | 3,632 | 135 |
| 15 | 89 | 55 | 241 | 32,50 | 1,981 | 6,8 | 3,682 | 9,2 | 1,702 | 12 | 3,682 | 130,8 |
| 15 | 89 | 61 | 227 | 29,06 | 3,503 | 8,2 | 1,48 | 8,9 | 3,812 | 7,4 | 3,812 | 128,7 |
| 8,5 | 89 | 32 | 288 | 50,91 | 3,405 | 9,8 | 2,708 | 14 | 2,294 | 5,8 | 3,405 | 128,5 |

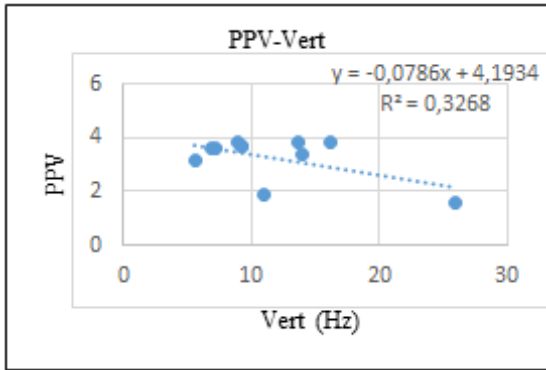
Sahada gerçekleştirilen patlatma uygulamalarına ait Yanal (Tran), Düşey (Vert) ve Boyuna (Long) kaydedilen parçacık hızlarına ait frekans

değerlerinin en yüksek parçacık hızı ile olan regresyon analizlerini gösteren grafikler Şekil 3, 4 ve 5’te verilmiştir.



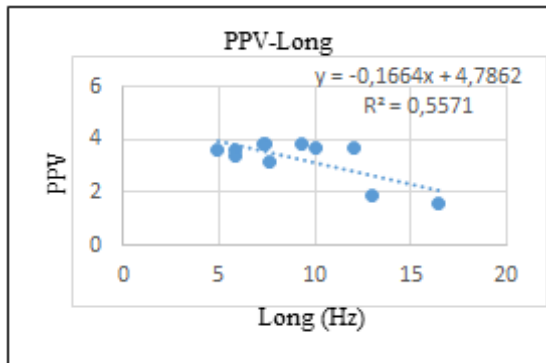
Şekil 3. PPV–tran (Hz) ilişkisi

Şekil 3'te görüldüğü gibi en yüksek parçacık hızı ile yanal frekans değerleri arasında ters orantılı olarak %91,37 regresyon katsayısı oluşmuştur.



Şekil 4. PPV–vert (Hz) ilişkisi

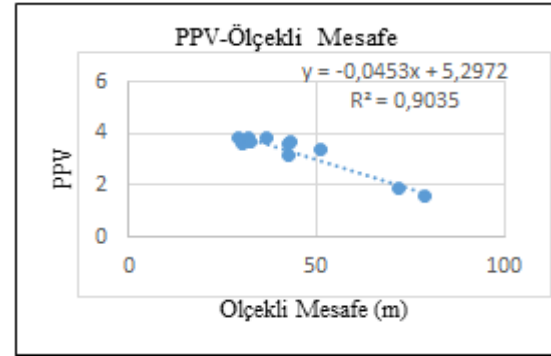
Şekil 4 incelendiğinde, en yüksek parçacık hızı ile düşey frekans değerleri arasında kuvvetli bir ilişki belirlenememiştir.



Şekil 5. PPV–long (Hz) ilişkisi

Şekil 5'te ise en yüksek parçacık hızı ile boyuna frekans değerleri arasında yine ters orantılı olarak %55,71 regresyon katsayısı hesaplanmıştır.

Sahada gerçekleştirilen patlatma uygulamalarına ait en yüksek parçacık hızı ve ölçekli mesafe ilişkisini gösteren grafik Şekil 6'da verilmiş ve denklemi bulunmuştur.



Şekil 6. PPV–ölçekli mesafe (m) ilişkisi

Şekil 6'da görüleceği üzere en yüksek parçacık hızı ile ölçekli mesafe değerleri arasında %90,35 regresyon katsayısı oluşmuştur. Regresyon katsayısının yüksek bir değer olması, değerlendirme için verilerin yeterli olduğunu göstermektedir. Ancak çalışma konusunun daha fazla veri ile desteklenmesi de önemlidir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bir taş ocağında gerçekleştirilen patlatma uygulamalarından elde edilen en yüksek parçacık hızı ile frekans verilerinin regresyon analiz sonuçları incelendiğinde, yanal frekans ile en yüksek parçacık hızı arasında anlamlı bağıntı çıkarken, düşey ve boyuna frekans ile en yüksek parçacık hızı arasındaki regresyon analizi sonucunda anlamlı bir bağıntının çıkmadığı görülmektedir. Bu durum patlatma ile oluşan titreşim dalgalarının yatay ve düşey ortamda yayılımının farklı olduğunu göstermektedir. Konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalarda en yüksek parçacık hızı belirlenirken sadece yatay mesafe değerleri dikkate alınmıştır. Burada yatay mesafenin yanında düşey mesafe parametresinin

de en yüksek parçacık hızını etkilediği görülmektedir.

Genel olarak literatürde patlatma işlemlerinde meydana gelen titreşim dalgalarının çevreye zarar verme oranı, en yüksek parçacık hızının miktarına göre belirlenmektedir. En yüksek parçacık hızı arttıkça söz konusu dalgaların geçtiği bölgenin daha olumsuz bir şekilde etkilendiği vurgulanmaktadır. Çalışmadaki analiz sonuçlarında, en yüksek parçacık hız değeri ile düşey ve boyuna frekans değerleri arasındaki regresyon analizi sonucunda anlamlı bir bağıntının çıkmadığı görülmektedir. Oysaki söz konusu frekans değerleri, patlatma sırasında yerleşim yerlerini olumsuz etkileyecektir. Araştırmacıların bu konuda daha detaylı çalışmalar yapmaları önerilmektedir.

4. SONUÇ

Çalışmada, bir taş ocağında uygulanan patlatmalardan kaynaklanan en yüksek parçacık hız değerleri ile Yanal (Tran), Düşey (Vert) ve Boyuna (Long) kaydedilen frekans değerleri arasında regresyon analizleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. En yüksek parçacık hızı ile frekans verilerinin regresyon analiz sonuçları

| | PPV- Tran (Hz) | PPV- Vert (Hz) | PPV- Long (Hz) |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| R ² | 0,9137 | 0,3268 | 0,5571 |

Regresyon sonuçlarında, en yüksek parçacık hız değerleri ile yatay frekans değerleri arasında anlamlı ilişkiler çıkarken; en yüksek parçacık hız verileri ile dikey ve uzunlamasına frekans arasında herhangi bir ilişkinin olmadığı görülmüştür. Ancak bilinmelidir ki söz konusu frekans değerleri, patlatma yapılırken patlatma çevresini olumsuz etkileyecektir. Bu nedenle çevreye zarar verme parametresi olarak en yüksek parçacık hızının yanında diğer frekans değerleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

5. TEŞEKKÜR

Dokuz Eylül Üniversitesi BAP (Bilimsel Araştırma Projeleri)'a bu çalışmayı mali açıdan desteklediğinden dolayı teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Duval, W.I., Fogelson, 1962. Review of Criteria For Estimating Damage To Residences From Blasting Vibrations, U.S. Bureau of Mines, RI 5868.
2. Ambraseys, N.R., Hendron, A.J., 1968. Dynamic Behavior of Rock Masses, Rock Mechanics. In: Stagg and Zeinkiewicz (eds.). Engineering Practice, John Wiley and Sons Inc., London, 442.
3. Langefors, Khilström, 1978. The Modern Technique of Blasting, 3rd Ed, Halsted Press, 1978, Sweeden, 405.
4. Ghosh, A.K., Samaddar, A.B., 1984. Design of Surface Mine Blast. Min. Eng. J. Inst. Eng., (I), 52–57.
5. Bollinger, G.A., 1971. Blast Vibration Analysis (Carbondale, IL: Southern Illinois University Press).
6. Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., Dowding, C.H., 1980. Structure Response and Damage Produced By Ground Vibrations From Surface Mine Blasting USBM RI 8507.
7. Anderson, D.A., Winzer, S.R., Ritter, A.P., 1982. Blast Design For Optimizing Fragmentation While Controlling Frequency of Ground Vibration Proc. 8th Conf. on Explosives and Blasting Technique (New Orleans, 1982) 69–89.
8. Dowding, C.H., 1985. Blast Vibration Monitoring and Control (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall).
9. Siskind, D.E., Crum, S.V., Otterness, R.E., Kopp, J.W., 1989. Comparative Study of Blasting Vibrations From Indiana Surface Coal Mine USBM RI 9226.
10. Anderson, D.A., 1993. Blast Monitoring: Regulations, Methods and Control Techniques Comprehensive Rock Engineering, (Oxford: Pergamon) 4, 95–110.

11. Persson, P.A., Holmberg, R., Lee, J., 1994. Rock Blasting and Explosives Engineering (Boca Raton, FL: CRC Press), 560.
12. Muller, B., 1997. Adapting Blasting Technologies to the Characteristics of Rock Masses in Order to Improve Blasting Results and Reduce Blasting Vibrations *Fragblast* 1, 361–378.
13. Muller, B., Hohlfeld, Th., 1997. New Possibility of Reducing Blasting Vibrations with an Improved Prognosis *Fragblast*, 1, 379–392.
14. Hoshino, T., Mogi, G., Shaoquan, K., 2000. Optimum Delay Interval Design in Delay Blasting *Fragblast-Int. J. Blasting Fragmentation*, 4, 139–148.
15. Siskind, D.E., 2000. *Vibrations From Blasting* (Cleveland, OH: International Society of Explosives Engineers).
16. Chen, G., Huang, S., 2001. Analysis of Ground Vibrations Caused By Open Pit Production Blasts: A Case Study *Fragblast-Int. J. Blasting Fragmentation*, 5, 91–107.
17. Tripathy, G., Gupta, I.D., 2002. Prediction of Ground Vibrations Due to Construction Blasts in Different Types of Rock *Rock Mech. Rock Eng.* 35, 195–204.
18. Adhikari, G.R., Theresraj, A.I., Venkatesh, S., Balachander, R., Gupta, R.N., 2004. Ground Vibration Due to Blasting in Limestone Quarries *Fragblast-Int. J. Blasting Fragmentation*, 8, 85–94.
19. Aldaş, G.G.U., Ecevitöglu, B., 2008. Waveform Analysis in Mitigation of Blast-induced Vibrations. *Journal of Applied Geophysics*, 66(1-2), 25-30.
20. Vikipedi, Frekans, tr.wikipedia.org/wiki/Frekans. Erişim Tarihi:09.05.2021
21. Vikipedi, Dalga Boyu, https://tr.wikipedia.org/wiki/Dalga_boyu. Erişim Tarihi:09.05.2021.
22. İnan, S., Öztürk, A., Gürsoy, H., 1993, Stratigraphy of the Ulaş-Sincan (Sivas) Region, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 2, 1-15.

Kıyı Çizgisinin Makine Öğrenmesi Tabanlı Mean-Shift, Rastgele Orman ve Destek Vektör Makinaları ile Belirlenmesi

Şeyma AKÇA *¹ ORCID 0000-0002-7888-5078

Fusun BALIK ŞANLI² ORCID 0000-0003-1243-8299

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

²Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 01.03.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: AKÇA, Ş., BALIK ŞANLI, F., (2022). Kıyı Çizgisinin Makine Öğrenmesi Tabanlı Mean-Shift, Rastgele Orman ve Destek Vektör Makinaları ile Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 835-842.

Öz

Kıyıları kara ve deniz sınırını oluşturan, belirli bir canlı ekosistemini ihtiva eden alanlardır. Suların iklim değişimine bağlı olarak çekilmesi veya yükselmesi, gelgit hareketleri, tropik ekosistemlerde hava olaylarına bağlı olarak meydana gelen fırtına, hortum, kasırga vb. iklim olaylarında, deniz alanlarının karalardan ayrıldığı kıyı çizgisinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında Sentinel-2A uzaktan algılama görüntüsü üzerinde, makine öğrenmesi tabanlı mean-shift, rastgele orman (RO) ve destek vektör makinaları (DVM) yöntemleri uygulanmış olup, bölütleme sonrası sonuç görüntüleri doğruluk ve IoU metrikleri ile değerlendirilmiştir. Genel doğruluklar, mean-shift, rastgele orman ve destek vektör makinaları için sırasıyla %97.23, %99.15 ve %98.68 bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kıyı çizgisi, Rastgele orman, Mean-shift, Destek vektör makinaları, Bölütleme

Machine Learning Based Segmentation of Shoreline Using Mean-Shift, Random Forest and Support Vector Machine

Abstract

The coast is an area that forms the boundary between land and sea and contains a certain ecosystem of life. To determine the coastline where sea areas are separated from the land in climatic events such as storms, tornadoes, hurricanes, which occur due to the withdrawal or rise of waters due to climate change, tidal movements, weather events in tropical ecosystems. In this study, machine learning-based mean-shift, random forest (RO), and support vector machines (SVM) methods were used on the Sentinel-2A satellite image, and the results were evaluated by calculating overall accuracy and using IOU metrics. The overall accuracies are 97.23%, 99.15%, and 98.68% for mean-shift, random forest, and support vector machines, respectively.

Keywords: Shoreline, Random forest, Mean-shift, Support vector machine, segmentation

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Şeyma AKÇA, seymakca@harran.edu.tr

1. GİRİŞ

Kıyılar kara ve deniz sınırını oluşturan, belirli bir canlı ekosisteminin içerisinde yaşamasına olanak sağlayan alanlardır. Kıyılar okyanus ve denizlerin biriktirme ve aşındırma faaliyetleri sonucu oluşur [1]. Suların iklim değişimine bağlı olarak çekilmesi veya yükselmesi, gelgit hareketleri, tropik ekosistemlerde hava olaylarına bağlı olarak meydana gelen fırtına, hortum, kasırga vb. iklim olaylarında, denizlerin karalardan ayrıldığı kıyı çizgisi alanlarının belirlenmesi, izlenmesi, yönetimi ve sürdürülmesi için sinoptik görüş sunan uzaktan algılama sistemleri ile geniş alanlarının takibi, diğer yersel ölçümlere nazaran daha etkili, hızlı ve düşük maliyetlidir.

Kıyı çizgisi ülkemiz için 8333 kilometre uzunluğundadır [2]. Geniş bir sınır ihtiva eden kıyı sınırlarımızın yıllar içerisindeki doğal ve antropojenik süreçlere bağlı olarak değişiminin gözlenmesi için yapay zeka çalışmalarının bir uygulama alanı olan makine öğrenmesi yöntemleri ile doğrudan belirlenebilmektedir. Uydu görüntüleri üzerinde yapılan görüntü segmentasyonu diğer bir deyişle bölütleme, görüntü analizi işleminde benzer gri seviye değerlerine sahip görüntü piksellerin homojen olarak gruplandırılmasıdır. Genel olarak, görüntü bölütlemesi için kullanılan yöntemler kontrollü veya kontrolsüz olmak üzere iki şekilde sınıflandırılır. Kümeleme tabanlı kontrolsüz bölütleme yöntemlerinde piksel gruplama işlemi, küme merkezlerinin güncellenmesi bitinceye kadar devam eder. Örneğin, K-Means veya makale kapsamında uygulanan Mean-Shift gibi yöntemlerde durum böyledir. Kontrollü öğrenme tabanlı makine öğrenmesi yöntemlerine ise en çok benzerlik (EÇB), rastgele orman (RO) ve destek vektör makinaları (DVM) örnek verilebilir.

Bu çalışma kapsamında, uzaktan algılama verileri ile kıyı çizgisinin belirlenmesi için makine öğrenmesi tabanlı, mean-shift, rastgele orman (RO) ve destek vektör makinaları (DVM) yöntemleri kullanılarak, bölütleme sonuçları

doğruluk metrikleri ve kesişim üzerinden birliklilik (IOU) metrikleri ile değerlendirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kıyı çizgisi belirlenmesi üzerine daha önceki yapılan çalışmalar incelendiğinde; Şatıroğlu ve arkadaşları (2015), İstanbul'un Anadolu Feneri ve Ağva dahil olmak üzere 1990-2005 yılları arasında kıyılarda meydana gelen değişimi Landsat MSS ve Landsat TM uydu görüntüleri üzerinde gerçekleştirilen ISODATA ve EÇB yöntemi ile sınıflandırmıştır. Çalışma sonucunda 1990-2005 yılları arasındaki değişim tarım alanları için %63,9, yerleşim %60,7, çayır %50,8 azalış gösterirken; ağaç %39,1 ve boş alan %18,2'lik bir artış göstermiştir. Ünel ve arkadaşları (2019), Aydınlar Göleti'nin 2015-2019 yılları arasındaki kıyı değişimini ortofoto haritalar üzerinde inceleyip göl alanının 8713.83 m² büyüdüğünü belirtmişlerdir [3]. Erdem ve arkadaşları (2018), Landsat-8 görüntüsü üzerinde İstanbul'un belirli bölgesi için rastgele orman yöntemi ile kıyı çizgisini belirlemek için farklı spektral kombinasyonlar üzerinde 14,93 ve 14,85 karesel ortalama hata ile belirlemişlerdir [4]. Çoban ve arkadaşları (2019), Batum/Çoruh Deltasında HES'lerin işletilmesinden sonraki dönem olan 1985-2019 yılları arasındaki 11 uzunluğundaki km kıyı değişimi için ASTER GDEM verisi üzerinde ürettikleri sayısal yükseklik modeli ile kıyı çizgisinin kara yönünde 238 m'ye kadar gerilediğini gözlemlemişlerdir [5]. Aykut (2019), İHA ile elde edilen kıyı görüntüleri üzerinde 10 metre aralıklarla enine kesitler oluşturup GNSS ile kıyı boyunca aldığı koordinatlar arasında yapılan hesaplama ile konum doğruluğunu 1.068 m olarak belirlemiştir [6]. Kılar ve arkadaşları (2019), Mersin Göksu deltasının kıyı değişiminin 25 ve 50 yıl sonraki konumlarını 1984-2017 yılları arasındaki Landsat görüntüleri üzerinde bant oranlaması yaparak, elde edilen kıyı çizgilerini DSAS (Digital Shoreline Analysis Tool) aracı ile kıyı değişim değerlerini dikkate alarak ileriye yönelik tahmin gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak 25 yıl için kıyı çizgisinin ortalama 114 m ve 50 yıl

sonra ortalama 223 m gerileme olacağı aşınma alanları için elde edilirken birikme alanları için 25 yıl sonra ortalama 119 m ve 50 yıl sonra 236 m olacağı öngörülmüştür [7]. Kıyı çizgisinin belirlenmesinde yapılmış uluslararası çalışmalara bakıldığında; Di ve arkadaşları (2003) yüksek çözünürlüğe sahip IKONOS uydu görüntüsü üzerinde PAN bandı da kullanarak mean-shift yöntemi kıyı çizgisinin segmentasyonunu gerçekleştirmişlerdir [17]. Bamdadinejad ve arkadaşları (2021), 1998-2017 yılları arasındaki Landsat görüntüleri kullanılarak DVM ve EÇB yöntemleri ile kıyı çizgisini çıkarmışlardır [18]. Billa ve arkadaşları (2011), Malezya bölgesine ait Radarsat-1 SAR görüntüsü üzerinde yarı otomatik olarak kıyı çizgisinin çıkarımı gerçekleştirmişlerdir [19]. Rishikeshan ve arkadaşları (2017), Cartosat 1-2, LISS IV ve Landsat 8 görüntüleri kullanarak geliştikleri morfolojik tabanlı matematiksel yaklaşım ile kıyı çizgisinin çıkarımını gerçekleştirmişlerdir [20]. Kafrawy ve arkadaşları (2017), kıyı gözleme için Landsat 8 görüntüsü üzerinde eşikleme, bant oranlama ve sınıflandırma işlemleri gerçekleştirerek normalize fark bitki indeksi ve normalize fark su indeksini uygulamışlardır. Elde edilen kıyı çizgisinin doğrulamasını yüksek çözünürlükle Pleiades B1 görüntüsü ile gerçekleştirmişlerdir. Uyguladıkları yöntemler %84-%94 arasında bir doğruluk üretmiştir [21].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Uygulama görüntüsü Copernicus (ESA) tarafından ücretsiz olarak sağlanan 22/04/2021 tarihli Sentinel-2A uydu görüntüsüdür. Uygulama ile kara ve deniz sınırlarının ayrılıp kıyı çizgisinin tespiti amaçlanmıştır. Orijinal olarak 12 banda sahip uydu görüntüsünün 10 metre konumsal çözünürlüğe sahip kırmızı, yeşil, mavi ve NIR bantları birleştirilip uygulama görüntüsü 4 bantlı bir koleksiyon haline getirilmiştir (Çizelge 1). 798x798 piksel boyutlarında olacak şekilde, çalışma bölgesi İstanbul olarak belirlenmiştir.

Uygulamalar MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Sentinel- 2A bant bilgileri [8]

| Bant | Spektral Alan | Dalgaboyu Aralığı (nm) | Çözünürlük (m) |
|------|---------------------------|------------------------|----------------|
| B1 | Kıyı Aerosol | 0.443 | 60 |
| B2* | Mavi | 0.490 | 10 |
| B3* | Yeşil | 0.560 | 10 |
| B4* | Kırmızı | 0.665 | 10 |
| B5 | Vejetasyon Kırmızı Köşe | 0.705 | 20 |
| B6 | Vejetasyon Kırmızı Köşe | 0.740 | 20 |
| B7 | Vejetasyon Kırmızı Köşe | 0.783 | 20 |
| B8* | Yakın Kırmızı ötesi (NIR) | 0.842 | 10 |
| B8A | Vejetasyon Kırmızı Köşe | 0.865 | 20 |

*Çalışma kapsamında seçilen bantlar

3.2. Mean-Shift

Mean-Shift, obje tabanlı kontrolsüz bir görüntü segmentasyon yöntemidir. 1975 yılında Fukunaga ve Hostetler tarafından ortaya atılmıştır. $K(x)$ yoğunluk tahmin kerneli olmak üzere, d boyutlu bir öklit uzayında R^d rastgele dağılmış n nokta içinde $x(i)$ ($i=1,2,\dots,n$) x 'i hesaplamak için öncelikle kernel yoğunluk fonksiyonu hesaplanır:

$$f(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{k}\right) \quad (1)$$

Kernelin tahmin kalitesi, yoğunluk ve tahmin edilen yoğunluk arasındaki karesel hatanın ortalaması ile ölçülür. $f(x)$ yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanan nitelik uzayında öncelikle olarak

modlar belirlenir. Modlar, gradyanların sıfır oldukları noktalarda vardır. Bu sonuçlara bakarak mean-shift ile bu değerler aranır.

$$G(x) = c_{g,d} g(|x|^2) \quad (2)$$

$$m_{h,G}(x) = \frac{1}{2} h^2 c \frac{\nabla f_{h,K}(x)}{f_{h,G}(x)} \quad (3)$$

Ortalama kayma prosedürü ardışık olarak aşağıdaki işlemlerin yapılması ile gerçekleşir:

- 1) $m_{h,G}(x)$ ortalama kayma vektörünün hesaplanması
- 2) Kernel $G(x)$ 'in ortalama kayma vektörü ile tekrar hesaplanması

Görüntü üzerinde mean-shift yöntemini uygulamak için görüntüye ait RGB değerleri $L*u*v$ renk uzayına çevrilir [9]. Mean-shift, veri kümesi üzerindeki veri dağılımının en yüksek olduğu yeri bulmayı sağlar. Yani elinizdeki bir görüntü ve devam eden görüntü üzerinde (next frame), belirlenen bir alan içerisinde yer alan tepe noktalarının belirlemesi sürecidir. Belirlenen tepe noktaları, takip edilmek istenilen obje olacaktır. Oldukça basit, hızlı ve işlevsel bir yöntemdir.

3.3. Rastgele Orman

Rastgele orman yöntemi, 2001 yılında Leo Breiman tarafından geliştirilmiştir. Rastgele orman yöntemi oluşturduğu düğümler üzerinde, rastgele seçilen değişkenler arasındaki en iyi değeri kullanarak, her bir düğüm için yeniden dallara ayırır. Özellikler rastgele seçilerek ağaçlar geliştirilir. Ağaçlar, geliştirildikten sonra budama işlemi yapılmaz. Yöntemi uygulamak için iki parametre gereklidir. Bu parametreler, en iyi bölünmeyi gerçekleştirmek için kullanılan değişken sayısı (m) yani görüntü için bant sayısı ve geliştirilecek ağaç sayısı N, diğer bir ifade ile görüntü boyutudur. GINI indeksine bağlı olarak sınıf homojenliği ölçülür ve örneğin görüntü sınıflandırma işleminde pikselin hangi sınıfa ait

olduğu GINI indeksindeki değere göre belirlenir [10].

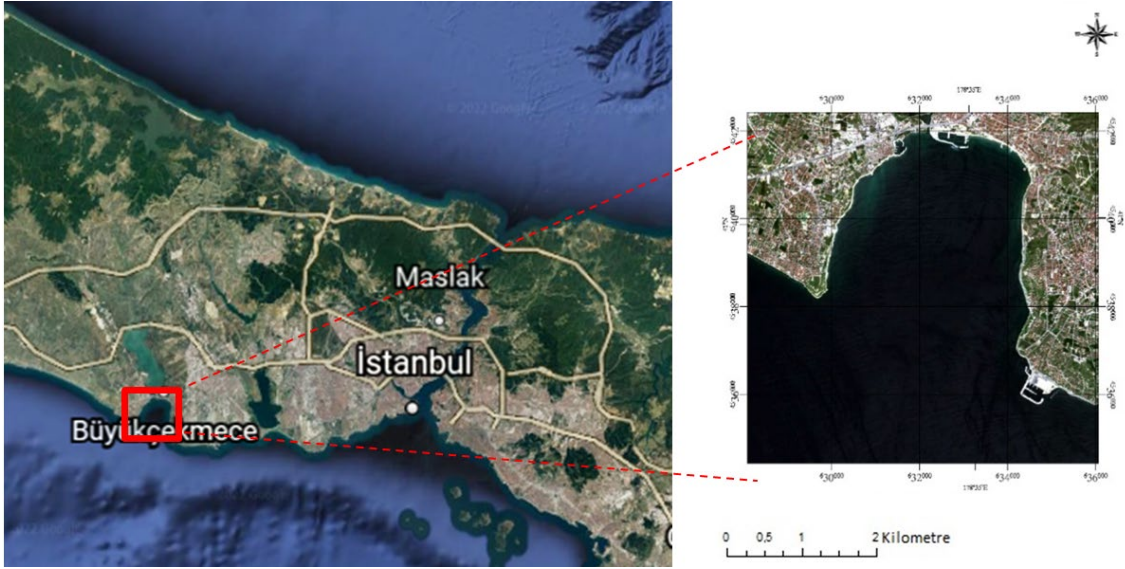
$$\sum_{j \neq i} (f(B_i, P/|P|)) (f(B_j, P/|P|)) \quad (4)$$

Burada P veri setindeki eğitim verisini, B_i rastgele şekilde seçilen pikselin ait olduğu etiket sınıfı ve $f(B_i, P/|P|)$, seçilmiş olan örneğin B_i sınıfına ait olma olasılığıdır. GINI indeks değeri büyüdükçe sınıf heterojenliği artarken, GINI indeks değeri azaldıkça sınıf homojenliği artar.

3.4. Destek Vektör Makinaları

Vladimir Vapnik ve Alexey Chervonenkis tarafından 1963 yılında temelleri atılan Destek Vektör Makineleri (DVM) istatistiksel öğrenme teorisine dayalı bir kontrollü öğrenme algoritmasıdır [11]. Çoğunlukla sınıflandırma için kullanılan destek vektör makinaları doğrusal olarak ayrılabilen ve doğrusal olarak ayrılamayan olmak üzere iki çeşittir. DVM'de ayrılacak iki sınıf arasında en uygun ayırt etme yüzeyi belirlenir. Bu yüzeye yakın en yakın vektörler, 'destek vektörü' olarak isimlendirilir. Ağırlık ve girdi değerleri vektör şeklinde ifade edebilirse, veriler hiper düzlem boyunca ayrılır. Birçok sınıflandırma problemi için doğrusal sınıflandırma yetersiz kalmaktadır. Verilerin özellikle çok boyutlu problemlerde dağılımı doğrusal olmadığından, veri sınıflandırması için kullanılacak olan hiper-düzlem de doğrusal olmayan yapıya sahip olmalıdır. Ayrıca, destek vektör makinaları "kernel based" yani çekirdek fonksiyonu tabanlı sınıflandırıcılar grubundadır. DVM'de çekirdek fonksiyonları çok boyutlu verileri ayırmak için kullanılır. Çekirdek fonksiyonu sayesinde öncelikle veriler dual uzay olarak nitelendirilen Lagrange uzayına aktarılması gerekir. Lagrange uzayının özelliği problemi daha yüksek boyutlu bir uzaya taşıyarak verilerin daha rahat ayrılmasını sağlamasıdır.

İki sınıf için sınıflandırma -1/+1 sınıf etiketleri ile ifade edilirse; $X=\{x_i, y_i\}$ için $x_i \in R_1$ ise $y_i = +1$ ve $x_i \in R_2$ ise $y_i = -1$ olur. $1/ \|w\|$ destek vektörlerinin en uygun hiper düzleme olan uzaklığını ifade eder.



Şekil 1. Çalışma bölgesi

Doğrusal olarak ayrılabilen destek vektörlerine ait Lagrange denklemi:

$$L_d = \frac{1}{2} w^2 \sum_{i=1}^N \delta_i y_i (w x_i + b) + \sum_{i=1}^N \delta_i \quad (5)$$

Doğrusal olarak ayrılamayan iki sınıfa ait destek vektör denklemi:

$$h(x) = \sum_{i=1}^N \delta_i y_i K(x_i, y_i) + b \quad (6)$$

$K(x_i, y_i)$ çekirdek fonksiyonlarını ifade etmektedir. DVM için kullanılan bazı çekirdek fonksiyonları: (5) lineer, (6) sigmoid, (7) polinomial ve (8) radial basis funtion (RBF) çekirdek (kernel) fonksiyonlarını ifade etmektedir.

$$K(x, y) = x.y \quad (7)$$

$$K(x, y) = \tanh(\gamma x.y) + b \quad (8)$$

$$K(x, y) = (1 + x.y)^d \quad (9)$$

$$K(x, y) = \exp(-\gamma x - y)^2 \quad K(x, y) = x.y \quad (10)$$

Çalışma kapsamında uygulanan DVM yöntemi için literatürde en çok kullanılan [12,13] RBF çekirdek fonksiyonu tercih edilmiştir.

4. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE DOĞRULUK ANALİZİ

Bölütleme sonrası doğruluk analizi, deniz için 403,415 ve kara için 233,389 nokta ile gerçekleştirilmiştir. Doğruluk, test görüntüsündeki etiket sınıfları ile yine sınıflandırma sonrası üretilen sonuç görüntüsü üzerinde bulunan değerler (sınıflar) arasında karşılaştırma yapılarak belirlenir. Bölütleme işlemine ait sınıflandırma ölçütleri Congalten ve Green'in (1999) sunduğu yöntemle belirlenmiştir [14]. Doğruluk analizi için, Şekil 2(f)'de gösterilen yer gerçeği kullanılarak hata matrisi oluşturulmuştur. Doğruluk analizi için kullanılan IoU, genel doğruluk, kullanıcı doğruluğu ve üretici doğruluğu aşağıda belirtildiği gibi hesaplanır.

Genel doğruluk test verisi içinde doğru olarak tahmin edilen tüm piksellerin, toplam piksel sayısına oranlamasıyla bulunur.

$$\text{Genel Doğruluk} = \frac{DP + DN}{(DP + YP + YN + DN)} \quad (11)$$

Kullanıcı doğruluğu, modelin yanlış negatiflerden ne kadar iyi kaçındığını belirler. Doğru gerçek değerlerin tüm gerçek değerlere olan oranıdır. Kullanıcı doğruluğu sınıflandırma sonucu oluşan çıktı görüntüsünün güvenilirliğini ölçer. Kullanıcı doğruluğu tahmin edilen değer gerçekte ne kadarının yeryüzünde kendi sınıfına ait olup olmadığını ölçtüdür.

$$\text{Kullanıcı Doğruluğu} = \frac{DP}{(DP + YN)} \quad (12)$$

Üretici doğruluğu eğitim ve test verilerinin kaç tanesinin doğru bir şekilde sınıflandırıldığının ölçütüdür. Diğer bir deyişle üretici doğruluğu tahmin edilen değerlerin gerçekte kaç tanesinin doğru tahmin edildiğini gösterir.

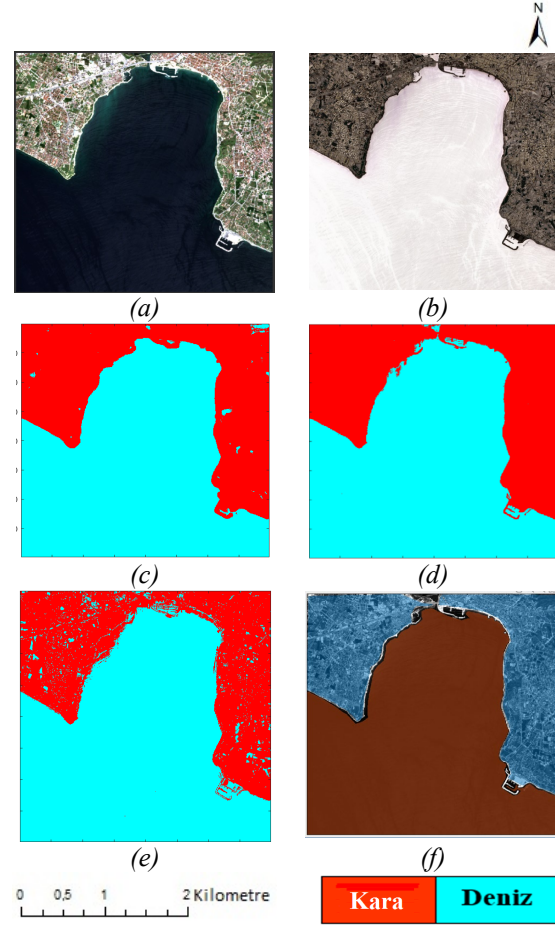
$$\text{Üretici Doğruluğu} = \frac{DP}{(DP + YP)} \quad (13)$$

IoU, bilgisayarla görü alanındaki gelişmelerle birlikte bölütleme sonuçlarını kullanan bir metrik olup, yersel doğrulama görüntüsü ile sınıflandırma sonrası çıktı görüntüsü arasındaki kesişen alanların, toplam alana olan oranıdır [15].

$$\text{IoU} = \frac{TP}{TP + FP + FN} \quad (14)$$

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bölütleme sonrası RO, DVM ve Mean-Shift yöntemlerine ait sonuç görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir. Sonuçlar görsel olarak incelendiğinde RO, kara alanlarındaki yoğun orman alanlarını yer yer deniz sınıfı olarak bulmuştur (Şekil 2c). Kıyı boyunca girintili ve çıkıntılı alanları detaylı bir şekilde belirleyememiştir. DVM, kıyı sınırı boyunca var olan nesnelere detaylarını belirlemede RO’ya göre daha iyidir (Şekil 2.d). Mean-Shift yöntemi, RO gibi kara alanlarını deniz olarak belirlemiş ve kıyı üzerinde olan iskele gibi yapıları tam olarak çıkarmakta yetersiz kalmıştır (Şekil 2.e)



Şekil 2. RGB (a), 4 BANT (Kırmızı, Yeşil, Mavi, Yakın kızılötesi bant kombinasyonu)(b), RO (c), DVM (d), Mean- Shift (e), Yer Gerçeği (f)

| RO | Kara | Deniz |
|-------|--------|--------|
| Kara | 229033 | 4356 |
| Deniz | 1070 | 402345 |

| DVM | Kara | Deniz |
|-------|--------|--------|
| Kara | 225661 | 7728 |
| Deniz | 871 | 402544 |

| Mean-Shift | Kara | Deniz |
|------------|--------|--------|
| Kara | 221229 | 12160 |
| Deniz | 5464 | 397951 |

Şekil 3. RO, DVM ve Mean-Shift yöntemlerine ait hata matrisleri

Çizelge 2. Doğruluk analizi sonucu elde edilen IoU, üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu ve genel doğruluk değerleri

| Yöntem | Etiket sınıfları | IoU | ÜD | KD | GD |
|------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| RO | Kara | 97.69 | 99.53 | 98.13 | 99.15 |
| | Deniz | 98.67 | 98.93 | 99.73 | |
| DVM | Kara | 96.33 | 99.62 | 96.69 | 98.65 |
| | Deniz | 99.78 | 98.12 | 99.78 | |
| Mean-shift | Kara | 92.62 | 97.58 | 94.79 | 97.23 |
| | Deniz | 95.76 | 97.03 | 98.65 | |

Kara sınıfı en yüksek IoU değeri RO, deniz sınıfı içinse DVM'den elde edilmiştir. Genel doğruluklar RO, DVM ve Mean-Shift için sırasıyla %99.15, %98.65 ve %97.23'tür. Üretici doğrulukları kara ve deniz sınıfları için RO ve DVM yöntemleri birbirine yakın olup sırasıyla %98 ve %99 civarındadır. Mean-Shift yöntemi için etiket sınıflarının üretici doğrulukları %97'de kalmıştır. Kullanıcı doğrulukları kara etiket sınıfı için RO, DVM ve Mean-Shift için sırasıyla %98.13, %96.69 ve %94.79'dur. Deniz etiket sınıfı içinse %99.73, %99.78 ve %98.65'dir. Mean-Shift yöntemi detayları çıkarmada iyi olmayıp, RO gibi kara alanlarındaki yerleri deniz olarak bölütlemiştir. Bunun sebebi Mean-Shift yönteminin spektral yansıma değerlerine yani renk bilgisine oldukça duyarlı olmasıdır. DVM, yakın ve benzer yansıma değerlerinin üstesinden gelmiş ve görsel olarak incelediğinde daha iyi bir sonuç vermiştir. RO yöntemi ise farklı yansımardan etkilenmiş olup DVM kadar başarılı olamamıştır.

Makale kapsamında kıyı çizgisinin çıkarımı, yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında Kumar vd., (2020), Hindistan Odissa kıyısı için K-En yakın komşu (KNN), DVM, yapay sinir ağları yöntemleri kullanarak yaptıkları çalışmada %80-%84 arasında bir doğruluk elde etmişlerdir [22]. Makale kapsamında kıyı çizgisinin belirlenmesi için üretilen doğruluk %14-%18 arasında bir artış sağlamıştır. Erdem vd., (2021), derin öğrenme yöntemleri (WaterNet) ile kıyı çizgisini %99 doğrulukla belirlemişlerdir [23]. Makale kapsamında sadece RO yöntemi ile aynı sonuç elde edilmiştir. Dang vd., (2022), derin öğrenme mimarileri olan U-NET mimarileri ile yaptıkları çalışmada %97 ve %98 olan genel doğruluklar

elde etmişlerdir. Bu sonuç makale sonuçları ile aynı olup, RO yöntemi %1 artış göstermiştir. Son dönemde derin öğrenme yöntemleri ile yapılan çalışmalar ile doğruluk artsa da, derin öğrenme mimarileri yüksek performanslı bir donanıma ve büyük verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu noktada makine öğrenmesi yöntemleri, derin öğrenme yöntemlerinden çok az bir farkla doğruluk üreterek, daha düşük donanım ve veri ile kıyı sınırlarının ayrılmasına olanak sağlamaktadır.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında ilgili çalışma bölgesi üzerinde Sentinel-2A uydu görüntüsü kullanılarak RO, DVM ve Mean-Shift makine öğrenmesi yöntemleriyle kıyı çizgisi belirlenmiştir. Elde edilen genel doğruluklar RO, DVM ve Mean-Shift için sırasıyla %99.15, %98.65 ve %97.23'tür. RO ile en yüksek genel doğruluk elde edilse de sonuçlar görsel olarak incelediğinde kara sınıfını yer yer deniz olarak bölütlemediği görülmüştür. DVM, kıyı çizgisi üzerindeki obje detaylarının çıkarılmasında RO ve Mean-Shift'e nazaran daha iyidir. Sonuç olarak, RO, DVM ve Mean-Shift makine öğrenmesi yöntemleri %95'in üzerinde bir genel doğruluk ürettikleri için kıyı çizgisinin belirlenmesinde başarılı oldukları tespit edilmiştir.

7. KAYNAKLAR

- Doğan, E., Burak, S., Akkaya, M.A., 2005. Türkiye Kıyıları; Kavramsal Tanımlama, Planlama, Kullanım. Beta Basım Dağ. Şti., İstanbul. 238. ISBN 978-975-295-495-3.
- Akengin, H., Dölek, İ., Özdemir, Y., 2016. Türkiye'nin Denizleri ve Kıyıları. 345. ISBN: 975-295-495-2.
- Şatıroğlu, E., Yıldızcı, A.C., 2015. İstanbul'un Doğu Karadeniz Kıyı Alanları Kullanımlarındaki Değişimin Saptanması. Akademik Ziraat Dergisi, 3(1), 33-40.
- Ünel, B.F., Kuşak, L., Çelik, M., Alptekin, A. Yakar, M., 2020. Kıyı Çizgisinin Belirlenerek Mülkiyet Durumunun İncelenmesi. Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi, 2(1), 33-40.
- Erdem, F., Derinpınar, M. A., Nasırzadehdıza, R., Oy, S., Şeker, D.Z.,

- Bayram, B., 2018. Rastgele Orman Yöntemi Kullanılarak Kıyı Çizgisi Çıkarımı İstanbul Örneği. *Geomatik*, 3(2), 100-107. DOI: 10.29128/geomatik.362179.
6. Çoban, H., Koç, Ş., Kale, M.M., 2020. Çoruh Deltası (Gürcistan/Batum) Kıyı Çizgisi Değişimi (1984-2019). *International Journal of Geography and Geography Education*, (42), 589-601. DOI: 10.32003/igge.741573.
7. Aykut, N.O., 2019. İnsansız Hava Araçlarının Kıyı Çizgisinin Belirlenmesinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Geomatik*, 4(2), 141-146. DOI: 10.29128/geomatik.503055.
8. Kılar, H. Çiçek, İ., 2019. Kıyı Çizgisinin Gelecekteki Konumunun Belirlenmesinin Önemi: Göksu Deltası Örneği, Mersin (Türkiye). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 17(1), 193-216. DOI: 10.33688/aucbd.559328.
9. Kaplan, G., Avdan, U., 2017. Object-based Water Body Extraction Using Sentinel-2 Satellite Imagery, *European Journal of Remote Sensing*, 50(1), 137-143. DOI:10.1080/22797254.2017.1297540.
10. Comaniciu D., Meer, P., Mean Shift: A Robust Approach Toward Feature Space Analysis, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(5), 603-619, May 2002. DOI: 10.1109/34.1000236.
11. Breiman, L., 2001. Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5-32.
12. Cortes, C., Vapnik, V., 1995. Support-vector Networks. *Machine Learning*, 20(3), 273-297.
13. Demirci M., 2019. Destek Vektör Makineleri ve M5 Karar Ağacı Yöntemleri Kullanılarak Yağış Akış İlişkisinin Tahmini, *Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 10(3), 1113-1124.
14. Uslu E., Bilgin, G., 2008. Classification of Heart Arrhythmias by Using Wavelet and Merged Wavelet Packet Transforms, 2008 IEEE 16th Signal Processing, Communication and Applications Conference, 2008, 1-4. DOI: 10.1109/SIU.2008.4632600.
15. Congalton, R.G., Green, K., 1999. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data Principles and Practices*. Lewis Publishers, Boca Raton, 348.
16. Van Beers, F., Lindström, A., Okafor, E., Wiering, M.A., 2019. February. Deep Neural Networks with Intersection over Union Loss for Binary Image Segmentation. In *ICPRAM* (438-445).
17. Di, K., Wang, J., Ma, R., Li, R. 2003. May. Automatic Shoreline Extraction From High-Resolution IKONOS Satellite Imagery. In *Proceeding of ASPRS 2003 Annual Conference*, 3.
18. Bamdadinejad, M., Ketabdari, M.J., Chavooshi, S.M.H., 2021. Shoreline Extraction Using Image Processing of Satellite Imageries. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(10), 2365-2375.
19. Billa, L., Pradhan, B., 2011. Semi-automated Procedures for Shoreline Extraction Using Single RADARSAT-1 SAR Image. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95(4), 395-400.
20. Rishikeshan, C.A., Ramesh, H., 2017. A Novel Mathematical Morphology Based Algorithm for Shoreline Extraction from Satellite Images. *Geo-spatial Information Science*, 20(4), 345-352.
21. El Kafrawy, S.B., Basiouny, M.E., Ghanem, E.A., Taha, A.S., 2017. Performance Evaluation of Shoreline Extraction Methods Based on Remote Sensing Data. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 11(4), 1-18.
22. Kumar, L., Afzal, M.S., Afzal, M.M., 2020. Mapping Shoreline Change Using Machine Learning: A Case Study from the Eastern Indian Coast. *Acta Geophysica*, 68(4), 1127-1143.
23. Erdem, F., Bayram, B., Bakirman, T., Bayrak, O.C., Akpınar, B., 2021. An Ensemble Deep Learning Based Shoreline Segmentation Approach (WaterNet) from Landsat 8 OLI Images. *Advances in Space Research*, 67(3), 964-974.
24. Dang, K.B., Vu, K.C., Nguyen, H., Nguyen, D.A., Nguyen, T.D.L., Pham, T.P.N., Do, T.H., 2022. Application of Deep Learning Models to Detect Coastlines and Shorelines. *Journal of Environmental Management*, 320, 115732.

Investigation of Shelf Life for Door Seal Mixture in Automotive Industry

Bariş KANTOĞLU¹ ORCID 0000-0002-7832-1619

İrem DÜZDAR ARGUN^{*1} ORCID 0000-0002-7642-8121

Ahmet CİHAN¹ ORCID 0000-0001-9110-2368

Yusuf GÜNER² ORCID 0000-0003-1786-5599

¹Düzce University Engineering Faculty Industrial Engineering, Düzce

²Standart Profil A.Ş., Düzce

Geliş tarihi: 10.02.2022 Kabul tarihi: 23.09.2022

Atıf şekli/ How to cite: KANTOĞLU, B., DÜZDAR ARGUN, İ., CİHAN, A., GÜNER, Y., (2022). Investigation of Shelf Life for Door Seal Mixture in Automotive Industry. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(3), 843-852.

Abstract

The door seals for vehicles in automotive industry, which are one of the most important components, provide insulation and damping. Quality of the product highly depends on the shelf life of the seal compound under required temperature. The most important parameters of the compound are its viscosity and scorch values. The aim of this study is to determine the most suitable shelf life in manufacturing and storage processes for seal compound. For stating the important factors affecting shelf life of frequently used main two types of seal compound, interviews are made with the producing firm. Then for both types of compound, series of controlled experiments are performed, and linear estimation models are developed with the help of the results of these experiments. In this study, the results of generated multi variable regression models are presented. It is seen that the generated estimation models can be employed by the producers, and the results of the experiments are overlapping with the results of studies performed in the literature.

Keywords: Seal compound, Viscosity, Scorch, Shelf life, Regression analysis

Otomotiv Endüstrisinde Kapı Fitol Hamuru için Raf Ömrünün Araştırılması

Öz

Otomotiv endüstrisindeki araçlar için en önemli parçalardan birisi olan kapı fitili, yalıtım ve sönümleme sağlar. Ürünün kalitesi, gerekli sıcaklıktaki sızdırmazlık karışımının raf ömrüne büyük ölçüde bağlıdır. Karışımın en önemli parametreleri, viskozitesi ve kavrulma değerleridir. Sıklıkla kullanılan ana iki tip

* Sorumlu yazar (Corresponding author): İrem DÜZDAR ARGUN, iremduzdar@duzce.edu.tr

sızdırmazlık karışımının olgunlaşma sürelerini etkileyen önemli faktörleri belirlemek için üretici firma ile görüşmeler yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, sızdırmazlık maddesi için üretim ve depolama süreçlerinde en uygun raf ömrünü belirlemektir. Daha sonra, her iki karışım tipi için kontrol altında bir dizi deney gerçekleştirilmiştir ve bu deneylerin sonuçları yardımıyla doğrusal tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada, geliştirilen çok değişkenli regresyon modellerin sonuçları sunulmaktadır. Geliştirilen tahmin modellerinin üreticiler tarafından kullanılabilmesi ve deney sonuçlarının literatürde yapılan çalışma sonuçlarıyla örtüştüğü görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Profil hamuru, Akışkanlık, Kavrulma, Raf ömrü, Regresyon analizi

1. INTRODUCTION

The door seals for vehicles in automotive industry, which are one of the most important components, provide insulation and damping [1]. In this context, sealing systems for automotive industry are a developing sector in Turkey. The aim of this study is to determine the most suitable shelf life in manufacturing and storage processes for seal compound in place of Standard Profil A.Ş. established in Düzce.

Seal compound is used as raw material in the production of door seals. The quality of seal compound can decrease because of structural distortions through manufacturing or post manufacturing processes. Defects of the seal compound cause production and quality problems on the final product. Quality of the compound also highly depends on preparation methodology and conditions of the holding and storing periods. Because of this reason the storage conditions and periods are important for the quality and efficiency of final product. Quality measures of the compound are described by its scorch and viscosity parameters. These viscosity and scorch parameters are highly affected from the climatic conditions of storage area and the preparation place.

Generally, in the recent studies there are some researches testing the reactions of elastomers stretch-stress context related to temperature and lose as the time passed. Besides, in automotive industry the importance of seal compound shelf life conditions is emphasized in some studies, but there is no experimental design study. In this

study, after preparation of seal compound viscosity and scorch are analysed, through the shelf life before the extrusion, within different storage conditions (temperature, humidity, and air pressure).

This study is distributed into sections as follows: In the first section, similar studies in the literature are provided, in the second section, the specifications of seal compound are identified and the procedures employed in this study are described. In the third section of this study, the collected data, performed analyses, and the created empirical models are explained. In the fourth section, the obtained results are discussed and suggestions are proposed to the business for their future production processes.

2. LITERATURE REVIEW

In the literature it is seen that, the manufacturing process of seals have different operations at various phases. It has been said that there is a lack of studies on the effects of factors other than pressure, temperature, time and certain material properties on seal quality in the literature presented in this study [2]. Çağlayan et al. (2015) proposed a method determine the performance of noise isolation depending on the seal material and the design types, in a study analysing the effect of door seals on sound loss of a taxicab [3]. Launay et al. (2018) analyzed the thermal reactions of rubber experimentally to measure the viscosity of rubber at entry and exit of extrusion by putting a cylindrical measuring tool at both ends of extrusion press [4]. It is seen that the level of viscosity is depending on the thermal factors from

the analysis of experimental results. The results of experiments performed for this study to detect the thermal reactions of rubber compound to various temperature levels, are evaluated by employing the comparative assumption model. Choi (2002) performed a study analysing the effects of time and temperature on the rubber storage. The initial storage temperature of silane, a component of the rubber, is important because of the bonding attribute of it. Since the high percentage of silane in the rubber compound, rubber can be stored more than 20 days under proper conditions. In this study an experimental design is done to determine the storage periods of rubber having various percentages of silane at various times and temperatures [5]. Choi and Ko (2014) performed a new study to measure with new experiment procedures, the bonded rubber generation under various temperatures. The temperatures are 900 °C and 1800 °C; the procedures are the ammonia synthesis and sanitation. Their experiments show that the rubber formation occurs in three forms. Those are nucleus form, clogged and tight at initial phase, and the binding wire form at second phase. The measurements of each form are derived with the applied temperatures and new test methods [6]. Cheheb et al. (2012), in their study to search the thermal conductivity of rubber in storage presented a device calculating and controlling the vulcanization ratios. The hot disk method is used to measure the thermal conductivity. They concluded that the thermal conductivity is a function of vulcanization ratio [7]. The rubber elastomers are used frequently in automotive industry because of their effects on driving performance and comfort. The application of temperature-viscosity model is important to test them under various temperatures at different times [8]. In another study, under compression-displacement stress, each of the stresses is smaller if the structure is controlled by density; indicates that if the structure is controlled by displacement, each of its displacements is smaller [9].

Sahinoglu et al. (2019) analysed how affected are the surface unevenness, noise level, and current vibrations of motor from the cutting setups in

operating on AISI 1040 (American Iron and Steel Institute) steel by employing the ANOVA (ANalysis Of VAriance) and regression [10]. Akgün and Dere (2007) looked at the possibility of recycling the used frying oils in the industry with experimental design to observe the change of reactions behaviour in different conditions [11]. Nnanwube et al. (2020) tried to find the optimal parameters to separate the pigments by using hydrochloric acid activated Ogbunike kaolinite ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) from the palm oil. ANOVA is employed to prove the statistically significance of operation parameters [12].

3. METHODOLOGY

3.1. Material

It is observed through the research that the cooking process is triggered. The heat affects the shelf life of the compound. It is thought that the basic reason of this is the Sulphur content of the compound. The heat is catalyzing the cross bonding of Sulphur. In these uncertainties, various experiments are performed to define the relation between the compound and the heat. To detect the change of compound under heat, various studies are done and data is recorded. The examples of both compounds are kept in the refrigerator first. It is seen that most of the various compounds can be stored in the limit values for 40-45 days. Then examples are detected under the room temperature and the shelf life is found between 15-30 days. Some variances are detected at shelf life of the examples stored in the cold room. It is thought that the reason for these variances is the difficulties to keep constant the temperature of cold room. Besides, some detection is performed at 40 °C and 70 °C in the incubator. It is detected that the shelf lives of these examples are less than a day and varying with the hours. Research and publication ethics were complied with in this study.

In this study, mostly used raw materials Compound 1 and Compound 2 in the production of seal at Standard Profil A.Ş. are analysed. The viscosity and scorch parameters are shown on

Table 1 for Compound 1, the sponge type, and on Table 2 for Compound 2, compact type.

Table 1. Technical requirements for compound 1

| Parameter | Lower Limit | Upper Limit |
|-----------|-------------|-------------|
| Viscosity | 38.00 | 44.00 |
| Scorch | 3.80 | 5.30 |

Table 2. Technical requirements for compound 2

| Parameter | Lower Limit | Upper Limit |
|-----------|-------------|-------------|
| Viscosity | 78.00 | 88.00 |
| Scorch | 3.70 | 5.20 |

In the first experiments, temperature, humidity, time, and pressure are used as independent variables. The measure of molding ability, viscosity, scorch and the measure of storage period before molding are used as the response variables of experiments.

3.2. Experimental Design

Experimental design is systematically changing the values of variables under control, which directly

affects the performance values of the process to see the effects of these changes. The experimental design for determining the variable parameters of processes, to minimize the variability of them, and process practicing is one of the most frequently used techniques [13]. It can be defined as searching the effects on/over response variables when the input parameters are changed, and getting results by evaluating them. The searched input variables and their levels, output variables, the experiment application process and the procedure for evaluating the results have to be determined before the experimental design process is started.

The general model of a system or a process is given by Figure 1. According to the Figure 1, process variables $X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$ are the controllable process variables, and $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_q$ are the uncontrollable process variables. The experiment design has a very important role in developing a new process and improving a process to increase the productivity. The aim is to develop a healthy process. It means to minimize the effect of uncontrollable process variables (Z_i 's) which are the reason of variation at output [14].

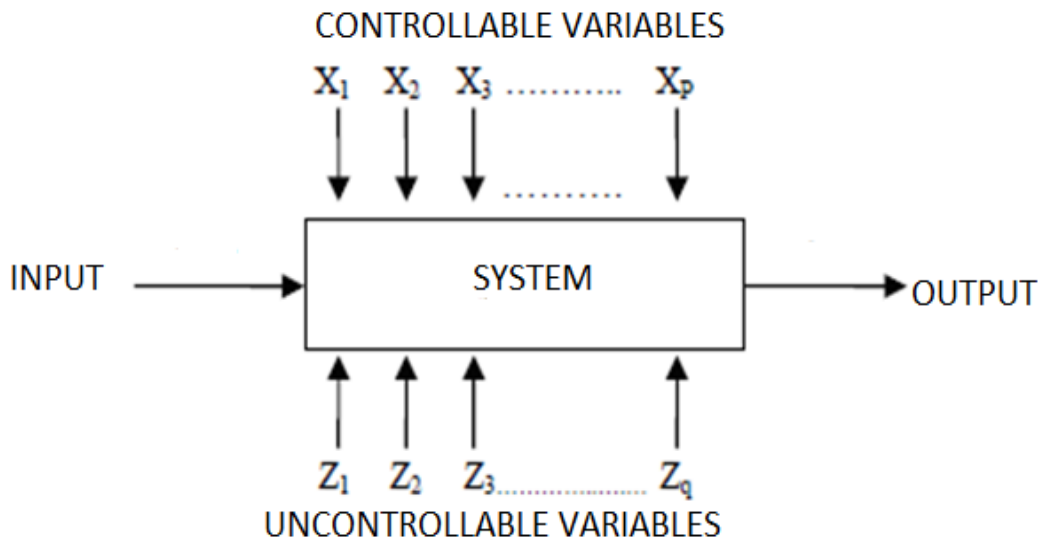


Figure 1. The general illustration of a system or process [14]

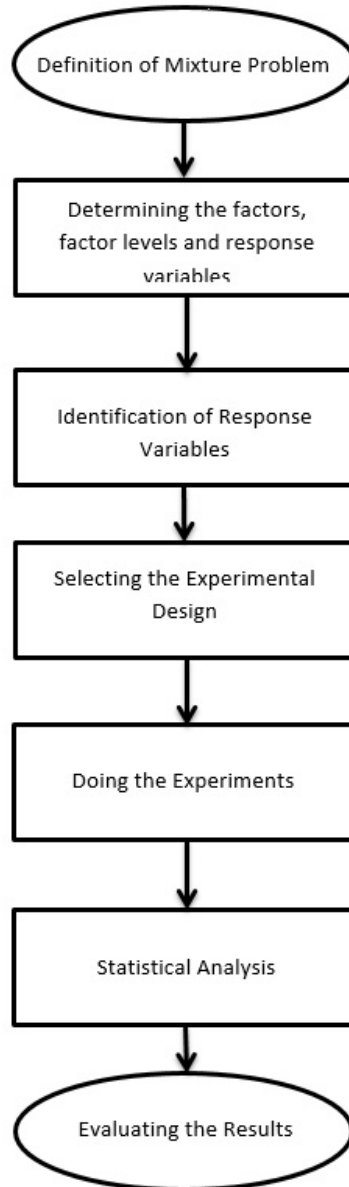


Figure 2. The flow-chart of followed procedure

The planning, application, and analysis steps of this study are seen on Figure 2.

One of the basic goals of experiment design is to minimize the experimental errors [15]. Full factorial experiment design offers important easiness to researchers at analysing phase when it

is combined with the statistical techniques. Variance Analysis and Regression Analysis are used to analyse full factorial experiment design. The Variance Analysis defines the relationships between the processes and affecting factors statistically [16]. The Regression Analysis is used to state a mathematical relation with reason

(independent input variables) and the response variable (dependent output variables) [17]. The effect of an element on the designed experiment can be calculated.

3.3. Multivariable Regression

In most of the practical applications, it is nearly impossible to achieve excellent information. The obtained data may deviate at many times. These deviations are caused by the immeasurable external effects and from the nature of measurement tools basically. The most frequently used method to derive information from the measured values is the regression analysis and the deviations from the regression model are referred as error term or measurement noise [18, 19].

The basic regression analysis depends on the idea of describing a dependent variable, with the help of independent variable. Where the dependent variable that will be described is denoted by y , and the describing independent variable by x ; the model function is expressed mathematically as Equation (1).

$$y = a + bx \tag{1}$$

In some cases, to explain the dependent variable, more than one independent variable may require in regression analysis. Multivariable regression model assumes that the dependent variable can be explained by more than one independent variable and the measurement errors have a normal distribution. Multivariable regression model function is given in Equation (2), where y is the dependent variable, and values of x_1, x_2, \dots, x_n are independent variables.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \tag{2}$$

Coefficient of determination (R^2) can be used as a goodness-of fit statistics [20], and indicates the explanation level of the dependent variable by independent variables. Thus R^2 is used in the consistency analysis of the results of multivariable regression analysis.

4. RESULTS

It is recognized that the storage time of the compound before production is directly affecting the quality of final product in automotive isolation seals industry. In this study for this aim, initially the controllable parameters are determined. Those are the temperature, time, pressure, and humidity in the production area. It is concluded together with producers that taking pressure and humidity constant is suitable.

The compound specimens which will be used in experiments are hold under similar to the factory conditions in refrigerators, cold rooms, normal room temperature, and incubator for various periods, and examined. The data of performed experiences on Compound 1 and 2.

The aim of this study is to determine the most suitable shelf life in manufacturing and storage processes for seal compound in place of Standard Profil A.Ş. established in Düzce. For this reason, the searches are performed on two different types of compound. The constructed multi variable regression model is formulated at Equation (3).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Temperature}_i + \beta_2 \text{Time}_i + \varepsilon_i \tag{3}$$

y_i is response variable in the regression model. The results of the model are summarized in Table 3.

Table 3. The results of regression model non-considering the multi-interactions

| Type of compound | y | β_0 | β_1 | β_2 | R^2 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| Compound 2 | Viscosity | 78.69 | 0.18 | 0.33 | 0.34 |
| Compound 2 | Scorch | 5.03 | -0.02 | -0.02 | 0.37 |
| Compound 1 | Viscosity | 40.85 | 0.27 | 0.06 | 0.22 |
| Compound 1 | Scorch | 4.81 | -0.03 | -0.01 | 0.59 |

In analysis of the outputs at the non-considering the multi-interaction regression model, the coefficient of determination (R^2) of viscosity is 0.34, constant term (β_0) is 78.69 and regression coefficients are 0.18 and 0.33 for Compound 2. For Compound 2 the Scorch estimation R^2 value is 0.37, constant term is 5.03 and regression coefficients are -0.02 and -0.02. The coefficient of

determination of viscosity is 0.22, constant term is 40.85 and regression coefficients are 0.27 and 0.06 for Compound 1. For Compound 1 the scorch estimation R^2 value is 0.59, constant term is 4.81 and regression coefficients are -0.03 and -0.01. Another model is constructed considering the relations between the temperature and time. The

mathematical representation of this model is given by Equation (4).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Temperature}_i + \beta_2 \text{Time}_i + \beta_3 \text{Temperature}_i \text{Time}_i + \varepsilon_i \quad (4)$$

Table 4. The results of model considering the dual interactions

| Type of compound | y | β_0 | β_1 | β_2 | β_3 | R2 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| Compound 2 | Viscosity | 80.90 | 0.11 | 0.12 | 0.01 | 0.43 |
| Compound 2 | Scorch | 4.89 | -0.02 | -0.00 | -0.00 | 0.42 |
| Compound 1 | Viscosity | 40.17 | 0.30 | 0.10 | -0.00 | 0.22 |
| Compound 1 | Scorch | 4.69 | -0.02 | -0.00 | -0.00 | 0.62 |

The results of this model considering the dual interactions are shown on Table 4.

Compound 1.

In the analysis of outputs of the regression model considering the multi-interactions the coefficient of determination (R^2) of viscosity is 0.43, constant term is 80.90 and regression coefficients are 0.11, 0.12 and 0.01 for Compound 2.

Another model is constructed for the cases where to directly measure one of the viscosity or the scorch is impossible. In this model, when the scorch is measurable, the viscosity; if viscosity is measurable, scorch is tried to estimate. The mathematical representations of these models are given by Equations (5) and (6).

Coefficient of determination (R^2) of scorch 0.42, and constant term is 4.89, and regression coefficients are -0.02, -0.00 and -0.00 for Compound 2.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Temperature}_i + \beta_2 \text{Time}_i + \beta_3 \text{Scorch}_i + \varepsilon_i \quad (5)$$

Coefficient of determination (R^2) of viscosity for Compound 1 is 0.22, constant term is 40.17 and regression coefficients are 0.30, 0.10 and -0.00.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Temperature}_i + \beta_2 \text{Time}_i + \beta_3 \text{Viscosity}_i + \varepsilon_i \quad (6)$$

Coefficient of determination (R^2) of scorch is 0.62, and constant term is 4.69, and regression coefficients are -0.02, -0.00 and -0.00 for

The results of experiments conducted for these models are presented on Table 5.

Table 5. The results of models, estimating one of the parameters where the other is known

| Type of compound | y | β_0 | β_1 | β_2 | β_3 | R2 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| Compound 2 | Viscosity | 120.70 | -0.01 | 0.17 | -8.35 | 0.69 |
| Compound 2 | Scorch | 9.97 | -0.01 | 0.00 | -0.06 | 0.70 |
| Compound 1 | Viscosity | 110.62 | -0.11 | -0.12 | -14.50 | 0.53 |
| Compound 1 | Scorch | 5.94 | -0.02 | -0.01 | -0.03 | 0.75 |

In the analysis of outputs of the regression model for estimating one of the parameters where the other is known, the coefficient of determination (R^2) of viscosity is 0.69, constant term is 120.70

and regression coefficients are -0.01, 0.17 and -8.35 for Compound 2. For the estimation of scorch, coefficient of determination (R^2) is 0.70, constant term is 9.97, and regression coefficients

are -0.01, 0.00 and -0.06 for Compound 2. The coefficient of determination (R^2) of viscosity is 0.53, constant term is 110.62 and regression coefficients are -0.11, -0.12 and -14.50 for Compound 1. For the estimation of scorch, coefficient of determination (R^2) is 0.75, constant term is 5.94, and regression coefficients are -0.02, -0.01 and -0.03 for Compound 1.

The period estimation model, recording the initial

viscosity and scorch parameters to decide the length of storage period at an expected temperature, is the most useful model to determine the material life for the compound. The mathematical representation of period estimation model is given by Equation (7).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{StorageTemperature}_i + \beta_2 \text{Viscosity}_i + \beta_3 \text{Scorch}_i + \varepsilon_i \quad (7)$$

Table 6. The results of period estimation model

| Type of comp. | y | β_0 | β_1 | β_2 | β_3 | R2 |
|---------------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| Compound 2 | Distortion period of product | 89.69 | -0.74 | -0.68 | 4.00 | 0.74 |
| Compound 1 | Distortion period of product | 181.36 | -0.25 | -5.02 | 16.18 | 0.77 |

Table 6 shows the period estimating model results. It is seen that the R^2 is 0.74, constant term is 89.69 and regression coefficients are -0.74, -0.68 and 4.00 for Compound 2; the R^2 is 0.77, constant term is 181.36, and regression coefficients are -0.25, -5.02 and 16.18 for Compound 1.

5. CONCLUSION AND DISCUSSION

In this study in an automotive seal producing factory, the changes on the parameters of compound with the thermal conditions of storage area and storage periods of the compound under the various climatic conditions is searched.

The high R^2 value for the scorch of Compound 1 implies that the variance is explained by the model successfully. In the viewpoint of the constructed model, it is seen that all of the models are usable at certain level. But it can be seen easily that the results of multi and single interacting models are so close, and the difference between values of coefficient of determination (R^2) is maximum 9 percentage. Besides these, in the analysis of derived coefficients from the models, in the model considering the interaction between the temperature and time the dual interaction coefficient is so close to zero. This indicates that the interaction effect can be ignored. It is also seen that because of the coefficient of determination for Compound 1 is so small, it is not suitable to estimate a value for viscosity.

It is realized that, the factories having a tool to measure only scorch or only viscosity can estimate the response variable by using the models formulated with Equation (5) and (6). In evaluating the results of models, the higher value of coefficient of determination for scorch estimation model implies the scorch parameter can be estimated more realistically.

In the period estimation model, it is tried to estimate the temperature and length of the storage period for distortion of the compound by measuring the viscosity and scorch parameters. It is seen that when scorch parameter of the compound is high, the life of the product will be longer; and it is converse for the viscosity parameter. The signs of the coefficients are also supporting this idea. The negative coefficients show that distortion of the compound will be slower if storage temperature is lower.

In one study performed on the seal compound, it is submitted that the viscosity parameter decreases depending on storage temperature and period [2-21]. The results of this study support their argument. It is seen that the time estimation model is so useful for production planning and/or cost analysis. If the compound will not be taken to production line, it can be stored in a cold place by accepting some additional costs. If the firms do not want to pay this cost, they can either sell the compound or use it by changing their production plans.

The convenient storage time is important for production planning and to decrease the rate of waste. This study showed that under the predetermined conditions, convenient storage period can be estimated. Since the importance of storage period is presented, the producers may design continuous recording systems for storage conditions and necessary tools can be designed to measure the viscosity and scorch parameters frequently. In future works, new systems can be developed to work integrated with Industry 4.0. These systems will reduce waste, improve logistics operations and product quality.

6. REFERENCES

1. Dikmen, E., Basdogan, I., 2008. Material Characteristics of a Vehicle Door Seal and its Effect on Vehicle Vibrations. *Vehicle System Dynamics*, 46(11), 975-990.
2. İlhan, I., Turan, D., Gibson, I., Ten Klooster, R., 2021. Understanding the Factors Affecting the Seal Integrity in Heat Sealed Flexible Food Packages: A Review. *Packaging Technology And Science*, 34(6), 321-337.
3. Çağlayan, A., Erdal, B., Kuntay, A., Yüksel, T., Saf, O., Araç Kapı Fitillerinin Ses İletim Kaybının Modellenmesi. *Otekon'16 8. Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Mayıs 2016, Bursa, 1-5, 23-24.
4. Launay, J., Allanic, N., Mousseau, P., Deterre, R., Plot, C., 2018. Effect of Viscous Dissipation in the Prediction of Thermal Behavior of an Elastomer Cylindrical Flow. *Journal of Materials Processing Technology*, 252, 680-687.
5. Choi, S.S., 2002. Influence of Storage Time and Temperature and Silane Coupling Agent on Bound Rubber Formation in Filled Styrene-Butadiene Rubber Compounds. *Polymer Testing*, 21(2), 201-208.
6. Choi, S.S., Ko, E., 2014. Novel Test Method to Estimate Bound Rubber Formation of Silica-filled Solution Styrene-butadiene Rubber Compounds. *Polymer testing*, 40, 170-177.
7. Cheheb, Z., Mousseau, P., Sarda, A., Deterre, R., 2012. Thermal Conductivity of Rubber Compounds Versus the State of Cure. *Macromolecular Materials and Engineering*, 297(3), 228-236.
8. Dippel, B., Johlitz, M., Lion, A., 2015. Thermo-mechanical Couplings in Elastomers-Experiments And Modelling. *ZAMM-Journal of Applied Mathematics and Mechanics/Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*, 95(11), 1117-1128.
9. Yuan, X., 2021. November. Research on Optimization of Cross-sectional Shape For Aircraft Door Rubber Seal. In *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 2133(1), 012005.
10. Şahinoğlu, A., Güllü, A., Ciftci, I., 2019. Analysis of Surface Roughness, Sound Level, Vibration and Current When Machining AISI 1040 Steel. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 37(2), 423-437.
11. Akgün, N., Dere, G., Evaluation of Biodiesel Production Using Experimental Design. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, *Sigma*, 25(3), 259-267.
12. Nnanwube, I.A., Okafor, V.N., Obibuonyi, J.I., Onukwuli, O.D., Ajemba, R.O., 2020. Optimization of Colour Pigments Removal from Palm Oil Using Activated Ogbunike Kaolinite. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 38(1), 253-262.
13. Montgomery, D.C., 1999. Experimental Design for Product and Process Design and Development. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 48(2), 159-177.
14. Montgomery, D.C., 2017. Design and Analysis of Experiments. *John Wiley and Son*, 55-62.
15. Hinkelmann, K., Kempthorne, O., 2007. Design and Analysis of Experiments, Introduction to Experimental Design, *John Wiley and Sons*, (1), 382-385.
16. Yang, W.P., Tarng, Y.S., 1998. Design Optimization of Cutting Parameters for Turning Operations Based on the Taguchi Method. *Journal of Materials Processing Technology*, 84(1-3), 122-129.
17. Hamzaçebi, C., Kutay, F., 2003. Taguchi Metodu: Bir Uygulama. *Teknoloji*, 6(3-4), 7-17.
18. Reis, M.S., Saraiva, P.M., 2004. A Comparative Study of Linear Regression

- Methods in Noisy Environments. Journal of Chemometrics, 18(12), 526-536.
19. Yavuz, S., 2009. Hatalari Ardişik Bađimli (Otokorelasyonlu) Olan Regresyon Modellerinin Tahmin Edilmesi. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 23(3), 123-140.
 20. Alexopoulos, E.C., 2010. Introduction to Multivariate Regression Analysis. Hippokratia, 14(Suppl 1), 23.
 21. Setyorini, I., Indrajati, I.N., Dewi, I.R., 2017. Influence of Storage Temperature and Time on Mooney Viscosity and Bound Rubber Formation in Natural Rubber Compounds Filled with Carbon Black and Local Silica. International Proceedings of IRC 2017, 850-858.

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Yazım Kuralları

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi mühendislik bilimlerindeki güncel bilimsel ve teknik gelişmeleri araştırmacılara ve mühendislere ulaştırmayı hedeflemektedir. Tüm mühendislik alanları ile ilgili teorik/deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar Dergi'nin ilgi alanındadır. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi daha önce başka hiçbir yerde yayımlanmamış, özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları içeren makale ve kısa bildirimleri ile Dergi'de daha önce yayımlanmış makalelerle ilgili tartışmaları kabul etmektedir. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmemektedir. Makaleler Türkçe veya İngilizce olabilir. Dergi'ye gönderilen yazılar yayınlansın veya yayınlansın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Makalenin tamamı bilgisayar ortamında hazırlanmalı baskıya hazır biçimde iki adet (birisinde yazar adları ve adresleri olmamak üzere) **Dergi web sayfasında verilen örnek şablona uygun hazırlanmış olarak elektronik ortamda veya e-posta ekinde gönderilmelidir.**

Makale, A4 (210x297 mm) boyutlu kağıda, Windows uyumlu Word ortamında, Times New Roman font kullanılarak, birer aralıkla yazılmalı, ana başlıklar 12 Punto (koyu), yazar adları 12 Punto (koyu), alt başlıklar ve metin 10 punto olmalıdır.

Çizimler ve çizelgelerle birlikte, makaleler 15 sayfadan, kısa bildirimler 4 sayfadan daha uzun olmamalıdır. Makale Türkçe ise: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Öz, Anahtar Kelimeler, Abstract (İngilizce öz), **Keywords, Metin, Semboller** (gerekliyse), **Teşekkür** (gerekliyse) ve **Kaynaklar**,

Makale İngilizce ise: İngilizce Başlık, Türkçe Başlık, Abstract, Keywords, Öz (Türkçe öz), **Anahtar Kelimeler, Text, Notations** (gerekliyse), **Acknowledgments** (gerekliyse) ve **References** sırası içinde düzenlenmelidir.

Başlık kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtılabilmelidir. **Öz** (ve **Abstract**) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 150 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç, en fazla beş tane anahtar kelime verilmelidir. Başlık, Öz ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır. **Metin** yalnız bir dil ve anlatımla yazılmalı, makale Türkçe ise Türkçe, makale İngilizce ise İngilizce yazım kurallarına uygun olmalıdır.

Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır. Denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalıdır. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir. Çizelgeler, çizimler ve fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli, her birine numara ve başlık verilmeli ve başlıklar çizim ve fotoğrafların altına, çizelgelerin üstüne yazılmalıdır.

Kaynaklar metinde köşeli parantez içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Etik kuralları gereğince, alıntılar tırnak içinde verilmeli ve bir referans numarası ile kaynak belirtilmelidir. Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir:

Makale ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., yıl. makalenin tam başlığı. derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları.

Kitap ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., yıl. kitabın tam adı. cilt numarası, varsa editörü, yayımlandığı yer, son sayfa no.

Bildiri ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., yıl. bildirim tam başlığı. konferansın adı, yapıldığı yer.

Elektronik ortamdan alınmış ise: Bildiri sadece CD/DVD'de yayımlanmış ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar, yıl, bildirim adı. konferansın adı (CD/DVD), yapıldığı yer, yıl. "Konferansın adından hemen sonra parantez içerisinde CD/DVD olduğu belirtilecektir."

Tez ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi., yıl. tezin adı. derecesi, sunulduğu kurum, son sayfa no.

Rapor ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar, yıl. raporun adı. türü, numarası, kuruluşun adı, yayımlandığı yer.

Web Sitesi ise: Yazar(lar) belli ise; yazarın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar, varsa yayımlandığı yıl. yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), Erişim Tarihi: gün.ay.yıl.

Kurum/Kuruluşlara ait ise: Kurum adı, varsa yayımlandığı yıl. yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), Erişim Tarihi: gün.ay.yıl.

Elektronik kitap/rapor ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi veya kitap/raporu yayımlayan kurum veya kuruluşun adı, varsa yayımlandığı yıl, konunun tam adı, Erişim Tarihi: gün.ay.yıl.