



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
DERGİSİ

CUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING

Cilt/Vol: 38

Sayı/Issue: 3

Eylül/September 2023

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)
Hacı Murat ARSLAN (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)
Belgin BAYAT (Çukurova Üniversitesi)
Ali KESKİN (Çukurova Üniversitesi)
R. Tuğrul OĞULATA (Çukurova Üniversitesi)
Onur ERMAN (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 gelişimlerine 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”** yayımlanmaktadır.

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

Silindir Art İzindeki Daimi Olmayan Girdapların Kılavuz Plakalar Yardımı ile Bastırılması	593
<i>Vortex Suppression Downstream of a Cylinder via Guide Vanes</i>	
Fırat EKİNCİ, Tahir DURHASAN ve Hüseyin AKILLI	
Diospyros kaki L. Kabukları Sulu Ekstraktı Kullanılarak Çinko Oksit Nanopartiküllerinin Yeşil Sentezi ve Karakterizasyonu	603
<i>Green Synthesis and Characterization of Zinc Oxide Nanoparticles Using Diospyros kaki L. Bark Aqueous Extract</i>	
Sultan TÜRKÖĞLU, Remziye Aysun KEPEKÇİ ve Olcayto KESKİNKAN	
Investigation of Crash Performance of Multi-Cell Crash-Boxes	613
<i>Çok Hücreli Çarpışma Kutularının Çarpışma Performansının İncelenmesi</i>	
Mustafa CEYHAN ve Betül Sultan YILDIZ	
Sera Tipi Bir Kurutucunun Tasarımı, İmalatı ve İlk Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	623
<i>Design, Manufacturing and Evaluation of First Measurement Results of a Greenhouse Type Dryer</i>	
Doğan Burak SAYDAM, Kamil Neyfel ÇERÇİ ve Ertaç HÜRDOĞAN	
Suriye Mülteci Kamplarının ve İnsani Yardım Depo Konumlarının Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Doğrusal Programlama ile Modellenmesi	633
<i>Modeling of Syrian Refugee Camps and Humanitarian Aid Warehouse Locations with Geographic Information System (GIS) and Linear Programming</i>	
Metehan ATAY, Mohamad ALHAMAD, Cihan ÇETİNKAYA ve Serap ULUSAM SEÇKİNER	
Ranking and Evaluation of G7 Countries and Turkey by GGGI Indicators Using ENTROPY, CRITIC and EDAS Methods	647
<i>G7 Ülkeleri ve Türkiye'nin ENTROPY, CRITIC ve EDAS Yöntemleriyle GGGI Göstergelerine Göre Sıralaması ve Değerlendirilmesi</i>	
Sevgi EŞİYOK, Erhan ARIŞ ve Z. Figen ANTMEN	
Dikdörtgensel Engellerin Dairesel Oluklu bir Kanallın Isıl-Hidrolik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi	661
<i>Numerical Investigation of the Effects of Rectangular Obstacles on the Thermal-Hydraulic Properties of a Circular Corrugated Channel</i>	
Ferhat KOCA ve Cahit GÜRLEK	

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Analysis of Current Limiting Algorithm with Anti-Windup Control for Transient Stability of Grid-Forming Converters..... 671**
Şebeke-Şekillendirici Dönüştürücülerin Geçici Durum Kararlılığı için Anti-Windup Kontrollü Akım Sınırlama Algoritmasının Analizi
Özgür ÇELİK
- Combination of Conventional Ball Mill and Stirred Mill to Obtain Ultra-Fine Talc..... 683**
Bilyeli Değirmen ve Karıştırmalı Değirmen Kombinasyonu ile Çok İnce Talk Üretimi
Ömer GÜLEÇ, Ö. Yusuf TORAMAN ve Metin UÇURUM
- The Effects of Repeated Laundering and Structural Parameters on the Terry Fabric Preference of Japanese Consumers and Comparison with Turkish Consumers 695**
Tekrarlı Yıkamaların ve Yapısal Parametrelerin Japon Tüketicilerin Havlu Kumaş Tercihine Etkisi ve Türk Tüketicilerle Karşılaştırılması
Ece KALAYCI, Deniz Mutlu ALA, Hüseyin TOPÇU, Tetsuya SATO ve Yüksel İKİZ
- Sitrik Asit ve TiO₂ Nanoparçacık Karışımlarının Yünlü Kumaşların Sararma ve Katlanma Açısına Etkisinin İncelenmesi 705**
Investigation of the Effect of Citric Acid and TiO₂ Nanoparticle Mixtures on Yellowing and Folding Angle of Wool Fabrics
Sabiha SEZGİN BOZOK ve R. Tuğrul OĞULATA
- Panoramik Diş Görüntülerinde Derin Evrişimsel Sinir Ağına Dayalı Gömülü Diş Tespiti ve Segmentasyonu..... 713**
Impacted Tooth Detection and Segmentation Based on Deep Convolutional Neural Network in Panoramic Dental Images
Meryem DURMUŞ, Burhan ERGEN, Adalet ÇELEBİ ve Muammer TÜRKOĞLU
- Comparison of a Dynamic Model of Electric Arc Furnace with Actual Operation Data for Voltage Flicker Analysis in Electrical Power Network 725**
Elektrik Güç Şebekesi'nde Gerilim Titreşim Analizi için Elektrik Ark Ocağının Dinamik Modeli ile Gerçek Çalışma Verilerinin Karşılaştırılması
Tahsin KÖROĞLU
- Music Genre Recognition Based on Hybrid Feature Vector with Machine Learning Methods..... 739**
Makine Öğrenimi Yöntemleriyle Hibrit Özellik Vektörüne Dayalı Müzik Türü Tanıma
Serhat HIZLISOY, Recep Sinan ARSLAN ve Emel ÇOLAKOĞLU

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Measuring Customer Purchasing Behavior based on Apriori Algorithm for Creating an Efficient Marketing Strategy	751
<i>Etkin Bir Pazarlama Stratejisi Oluşturmak için Apriori Algoritması Temelinde Müşteri Satın Alma Davranışının Ölçülmesi</i>	
Murat AKCIL ve Serap AKCAN	
Adana İli İçme Suyu Kalite İndeksinin Belirlenmesi.....	765
<i>Determination of the Drinking Water Quality Index of Adana Province</i>	
Ebubekir GÜLOĞLU, Mesut BAŞIBÜYÜK, Behzat BALCI ve Fatma Elçin ERKURT	
Çözelti Konsantrasyonu ile Nanolif Çapı Arasındaki İlişki	775
<i>Relationship Between Solution Concentration and Nanofiber Diameter</i>	
Gonca ŞİMŞEK GÜNDÜZ	
Skin Cancer Recognition Using Compact Deep Convolutional Neural Network.....	787
<i>Özel Derin Konvolüsyonel Sinir Ağı Kullanarak Cilt Kanseri Tanıma</i>	
Alhaji Balla FOFANAH, Emre ÖZBİLGE ve Yönel KIRSAL	
Yağmur ve Rüzgar Dayanımı Yüksek Kumaşlarda Ultrasonik Dikişin Fiziksel Özelliklere Etkisinin İncelenmesi	799
<i>Investigation of the Effect of Ultrasonic Bonding on Physical Properties in Fabrics with High Rain and Wind Resistance</i>	
Mehmet KÜÇÜK ve Serkan BOZ	
Derin Öğrenme Modelleri ve Veri Ön İşleme Yöntemleri ile Çeltik Yaprak Hastalıklarının Erken Teşhisi	807
<i>Early Diagnosis of Paddy Leaf Diseases using Deep Learning Models and Data Preprocessing Techniques</i>	
Cüneyt ÖZDEMİR	
İki İplik Örme Kumaşlarda Farklı Astar İpliği Oranlarının Kumaş Özelliklerine Etkileri.....	819
<i>The Effects of Backed Yarn Ratio on Fabric Properties in Two-Fleece Fabrics</i>	
Seval UYANIK	
Titanyum Nanoparçacık Katkılı Polyamid Kumaşların Fiziksel, Elektromanyetik ve Optik Özelliklerinin Araştırılması.....	827
<i>Investigation on Physical, Electromagnetic and Optical Properties of Titanium Nanoparticles Doped Polyamide Fabrics</i>	
Banu YILMAZ AKYÜREK, İlhami İLHAN ve Ali MARALCAN	

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Strength Investigation of Slag-Based Geopolymer Composites Incorporating Different Amounts of Colemanite Waste and Silica Fume Under Different Exposure Conditions** 841
Farklı Miktarlarda Kolemanit Atığı ve Silika Dumani İçeren Cüruf Esaslı Geopolimer Kompozitlerin Farklı Maruz Kalma Koşullarında Dayanımlarının İncelenmesi
Metin MEHMETOĞLU
- EYM ile Üretilen YMK Yapılı Numunelerde Kenar Genişliğinin Basma Dayanımı Üzerine Etkisinin Araştırılması** 851
Investigation of the Effect of Edge Width on Compressive Strength of FCC Structured Specimens Produced with FDM
Oğuz TUNÇEL ve Mümin TUTAR
- Eşit Kanallı Açısal Presleme Yönteminde Kanal Açılarının ve İç Köşe Kavisinin Deformasyona Etkisinin Sonlu Elemanlar Metodu ile İncelenmesi** 859
Investigation of the Effect of Channel Angles and Corner Radius on Deformation in Equal Channel Angular Pressing Method by Finite Element Method
Erhan BAYSAL, Oğuz KOÇAR, Nergizhan ANAÇ ve Ferudun DARICI

Silindir Art İzindeki Daimi Olmayan Girdapların Kılavuz Plakalar Yardımı ile Bastırılması

Fırat EKİNCİ*¹ ORCID 0000-0002-4888-7881

Tahir DURHASAN² ORCID 0000-0001-5212-9170

Hüseyin AKILLI³ ORCID 0000-0002-5342-7046

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

²Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Adana

³Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 24.05.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: EKİNCİ, F., DURHASAN, T., AKILLI, H., (2023). Silindir Art İzindeki Daimi Olmayan Girdapların Kılavuz Plakalar Yardımı ile Bastırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 593-601.

Öz

Dairesel kesitli silindirin art izindeki daimi olmayan girdapların kılavuz plakalar kullanılarak bastırılması deneysel olarak araştırılmıştır. Kılavuz plakalar yay şeklinde imal edilmiş ve üç farklı açıklık oranı ($G/D=0,1, 0,3$ ve $0,5$) ve plaka açısı değerleri $60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında incelenmiştir. Silindir art izindeki akış yapıları PIV ölçümü ile Reynolds sayısının 7500 değerinde elde edilmiştir. Akış ölçümünden elde edilen Reynolds kayma gerilmeleri, girdap konturları, hız bileşenleri ve girdap kopması frekans sonuçları yalnız silindir durumu ile kıyaslanarak açıklanmıştır. Düşük plaka açısı değerlerinin girdap kopma frekansları üzerinde daha etkin olduğu, yüksek plaka açısı değerlerinin ise girdap sönümlemede daha etkin olduğu gözlemlenmiştir. Reynolds kayma gerilmelerinin bastırılmasında açıklık oranı $G/D=0,1$ değerinin diğer açıklık oranları ile kıyaslandığında daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pasif akış kontrol, Girdapların bastırılması, PIV, Silindir

Vortex Suppression Downstream of a Cylinder via Guide Vanes

Abstract

It is experimentally investigated that vortex suppression of the circular cylinder in the wake region by guide vanes. Three distinct gap ratios ($G/D=0.1, 0.3$, and 0.5) and plate angle values in the range of $60^\circ-90^\circ$ were examined for the guide vanes, which were fabricated in arc form. Flow structures of the cylinder in the wake region were obtained by PIV measurement at Reynolds number of $Re=7500$. The obtained results such as Reynolds shear stress, velocity components, vortex contours, and vortex shedding frequency are explained in comparison with the bare cylinder. It was observed that low plate angle values are more effective on the vortex shedding frequencies, and higher plate angle values are more effective on vortex

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Fırat EKİNCİ, fekinci@atu.edu.tr

suppression. It was observed that the gap ratio of $G/D=0.1$ is more effective on suppression of Reynolds shear stresses when compared to the other gap ratios.

Keywords: Passive flow control, Suppression of vortex, PIV, Cylinder

1. GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında sürekli akışa maruz kalan yapılar veya küt cisimler etrafında meydana gelen daimi olmayan girdap yapılarının incelenmesi ve bastırılması uzun zamandır araştırmacıların ilgisini çeken bir konudur. Bu yapılara örnek olarak açık deniz platformları, yüksek binalar, bacalar, köprü ayakları, rüzgar türbin kuleleri ve ısı eşanjörleri verilebilir. Daimi olmayan girdapların bastırılması, özellikle açık deniz platformları üzerinde yapısal hasarlara yol açabilecek akış kaynaklı daimi olmayan yüklerin ve girdap kaynaklı titreşimlerin engellenmesi veya azaltılması için önem arz etmektedir. Bu bağlamda, sınır tabakanın veya cismin art izindeki akış yapısının değiştirilmesi için çeşitli akış kontrol yöntemleri uygulanmaktadır.

Dong ve arkadaşları [1] silindire gelen akış bölgesinden akış emmesi ve art izi bölgesinden ise akış üfleme yapma sureti ile Karman girdap caddesini ve girdap kaynaklı titreşimlerin engellenebileceğini göstermişlerdir. Lee ve Feng [2] yapmış oldukları çalışma ile silindirin sınır tabaka ayrılma noktalarına konumlandırılan yapay jet akışı yardımı ile taşıma kuvveti sapınçlarının bastırıldığını ispatlamışlardır. Literatürde pek çok aktif akış kontrol yöntemi [3-6] önerilmesine rağmen aktif akış kontrol yöntemlerinin aksine pasif akış yöntemlerinin harici enerji gerektirmemesi nedeni ile uygulamada pasif akış yöntemlerine olan ilgiyi arttırmaktadır.

Pasif akış kontrol yöntemi olarak art izinde ayırıcı plaka kullanımı en bilenen tekniklerden bir tanesidir. Kwon ve Choi [7] plaka uzunluğu ve Reynolds sayısına bağlı olarak silindir art izindeki girdap kopmalarının tamamen bastırıldığını gözlemlemişlerdir. Hwang ve arkadaşları [8] silindir çapı ile aynı uzunluktaki ayırıcı plakayı silindir art izinde farklı konumlara yerleştirmenin sürüklenme katsayısı ve taşıma kuvveti sapınçları

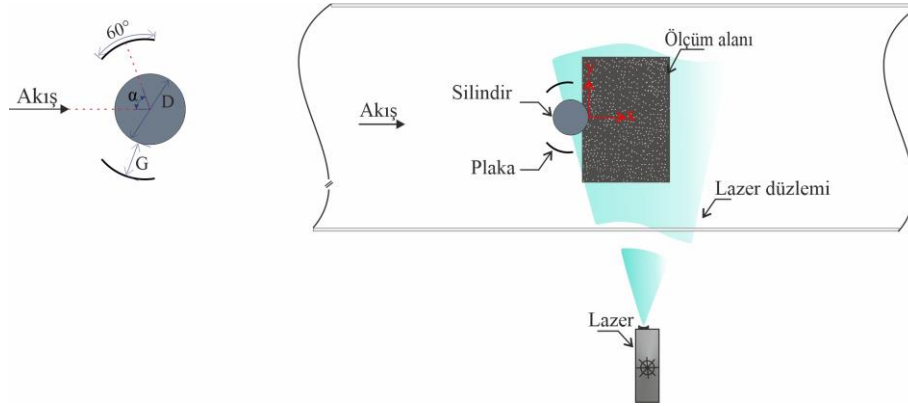
üzerine etkilerini araştırmışlardır. Elde ettikleri bulgular uygun seçilen konum ile silindirin sürüklenme katsayısının ve taşıma kuvveti sapınçlarının azaldığını göstermiştir. Akıllı ve ark. [9] sığ suda gerçekleştirmiş oldukları deneysel çalışmada ayırıcı plakanın art izinde silindir çapının iki katı değerindeki mesafeye kadar konumlandırılması girdap bastırılmasında etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca literatürde yapılan çalışmalar ile farklı geometriye sahip ayırıcı plakaların silindir art izindeki girdapları bastırılması üzerine etkinliği ortaya koyulmuştur [10-12]. Gao ve arkadaşları [13] yapmış oldukları deneysel çalışmada silindir üzerine açılan yarıkların art izindeki girdap etkileşimlerini aşağı akımın uzak bölgelerine ötelediğini ve silindirin sürüklenme katsayısını önemli ölçüde azalttığını göstermişlerdir. Trim ve arkadaşları [14] silindir yüzeyinde helis biçiminde sarmal çıkıntı oluşturulmasının girdap kaynaklı titreşimlerin bastırılmasında etkili olduğunu ispatlamışlardır. Zhou ve arkadaşları [15] silindir üzerine açılan yivlerin silindir sürüklenme katsayısını, art izindeki Reynolds kayma gerilmeleri ve türbülans kinetik enerji değerlerini azalttığını deneysel çalışma ile gözlemlemişlerdir. Fırat ve arkadaşları [16] içi boş silindir üzerine açılan deliklerin art izindeki akış yapısı üzerine etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Elde ettikleri bulgular silindir art izindeki girdap oluşum uzunluğunun arttığını, taşıma kuvveti sapınçlarının ve sürüklenme katsayısının azaldığını göstermiştir. Durhasan ve arkadaşları [17] silindir etrafının delikli silindir ile çevrelenmesinin silindir art izindeki daimi olmayan girdapların bastırılmasında etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Lee ve arkadaşları [18] gelen akış bölgesine konumlandırılan kontrol çubuğunun silindir art izindeki akış yapısı ve sürüklenme katsayısı üzerine etkisini deneysel olarak çalışmışlardır. Elde ettikleri bulgular art izindeki akış yapısının kontrol çubuğu tarafından önemli ölçüde etkilendiği ve silindir sürüklenme katsayısının %29'a kadar azaldığını göstermiştir.

Deneyssel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada mühendislik uygulamalarında yaygınca kullanılan dairesel kesitli silindirin art izindeki daimi olmayan girdapların kılavuz plakalar yardımı ile bastırılması hedeflenmiştir. Kılavuz plaka olarak iki adet çember yayı geometrisi kullanılmıştır. Deneylerde kılavuz plakaların konumlanma açısı, α ve plaka ile silindir arasındaki dik mesafenin silindir çapına oranı (G/D) temel araştırma parametreleri olarak belirlenmiştir. Deneyler Reynolds sayısının $Re=7500$ değerinde parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular kılavuz plakaların silindirin art izindeki girdapları önemli ölçüde bastırıldığını ortaya koymuştur.

2. YÖNTEM

Deneyler Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda kurulu $1000\text{mm}\times 750\text{mm}$ kesit ölçülerine sahip su kanalında gerçekleştirilmiştir. Deneyler süresince kanalın su derinliği 500 ± 0.2 mm'de sabit tutulmuştur. Serbest akım hızı santrifüj pompa ile bağlantılı frekans konvektörü yardımı ile

Reynolds sayısının 7500 değerine karşılık gelen 140 mm/s değerine sabitlenmiştir. Reynolds sayısı $Re=\rho UD/\mu$ formülü ile hesaplanmış olup formülde ρ suyun yoğunluğunu (kg/m^3), U serbest akım hızını (m/s), D silindir çapını (m) ve μ suyun dinamik viskozitesini (kg/m.s) ifade etmektedir. Test modeli olarak dış çapı, $D=50\pm 0.1$ mm ve et kalınlığı 2 mm değerine sahip dairesel kesitli silindir kullanılmıştır. Kılavuz plakalar dış çap değeri 80 mm ve et kalınlığı 2 mm değerine sahip şeffaf pleksiglas dairesel kesitli silindirden 60° yay ölçüsüne sahip plakaların kesilmesi ile elde edilmiştir. Deneylerde kılavuz plakaların konumlanma açısının, α ve plaka ile silindir arasındaki dik mesafenin, G silindir art izindeki girdap yapıları üzerine etkileri incelenmiştir. Konumlanma açısı, serbest akım hızı doğrultusu ile plaka arasındaki açı değeri olarak belirlenmiş ve konumlanma açısının $\alpha=60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$ ve 90° değerleri test edilmiştir. Plaka ile silindir arasındaki dik mesafe silindir çapı ile boyutsuzlandırılmış (açıklık oranı) ve $G/D=0,1, 0,3$ ve $0,5$ değerleri incelenmiştir. Test modelinin ve deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Kılavuz plakaların ve deney düzeneğinin şematik gösterimi

Deneylerde kılavuz plakaların silindir art izindeki akış karakteristikleri ve türbülans istatistikleri iki-boyutlu, parçacık görüntülemeli hızölçer (PIV) ile elde edilmiştir. PIV tekniği akışkan içerisinde akış ile aynı hızda hareket eden parçacık hareketlerinin takip edilmesi suretiyle ölçüm yapılan bölgenin hız

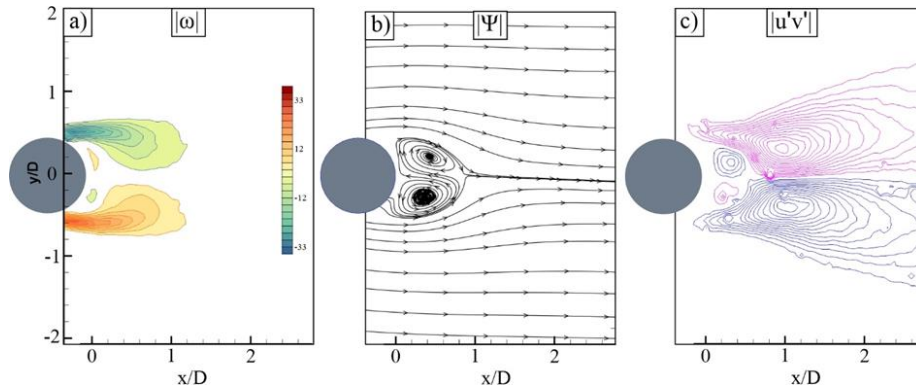
alanının elde edilmesine olanak vermektedir. Bunu gerçekleştirebilmek için ilk olarak kanal içerisinde nominal boyutu $10\ \mu\text{m}$ olan gümüş kaplı, içi boş cam küreler bırakılmıştır. Ölçüm yapılan bölgenin aydınlatılması amacı ile kanal tabanına paralel ve tabandan 25 cm yukarıdan geçen, 2 mm kalınlığa

sahip ışık düzlemi oluşturulmuştur. Işık kaynağı olarak 120 mJ maksimum çıkış gücüne sahip, çift darbeli bir Nd:YAG lazer ünitesi kullanılmıştır. Her bir deney için ölçüm alanı 8-bit CCD kamera aracılığıyla 1000 adet çift fotoğraf ile kayıt altına alınmıştır. Deneylerde örnekleme oranı 10 Hz seçilmiş ve buna bağlı olarak her bir deney için kayıt süresi 100 saniyedir. Her bir çift fotoğraf ticari yazılım (Dantec DynamicStudio) yardımı ile analiz edilerek 7326 adet anlık hız vektörleri içeren hız vektör alanına dönüştürülmüştür. Her bir test için silindirin art izindeki akış yapısı ve türbülans istatistikleri 1000 adet hız vektör alanının analizi ile elde edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kılavuz plakasının silindirin art izindeki akış yapısı üzerindeki etkinliğini ortaya koyabilmek için

deneyler öncelikle yalın silindir (plakasız) için gerçekleştirilmiştir. Şekil 2, yalın silindir için art izi bölgesinde elde edilen zaman ortalamalı girdap ($|\omega|$) konturlarını, akım çizgilerini ($|\Psi|$) ve Reynolds kayma gerilmesi konturlarını ($|u'v'|$) göstermektedir. Elde edilen girdap konturları dağılımlarından silindirin alt ve üst bölgelerinde oluşan kayma tabakalarının aşağı akım doğrultusunda uzayarak birbiri ile etkileşime girdiği gözlemlenmiştir. Bu etkileşimin silindirin aşağı akımında von-Karman girdap caddesine neden olduğu bilinmektedir. Akım çizgileri incelendiğinde iki adet odak noktasının (ters akış bölgesinin) olduğu ve durma noktasının aşağı akım bölgesinin $x/D=1$ değerinde konumlandığı gözlemlenmiştir. Kayma tabakalarının birbiri ile etkileşimi sonucunda Reynolds kayma gerilmelerinin silindirin art izinde kümelenmesi ve maksimum büyüklüğünün 0,156 değerine ulaştığı tespit edilmiştir.



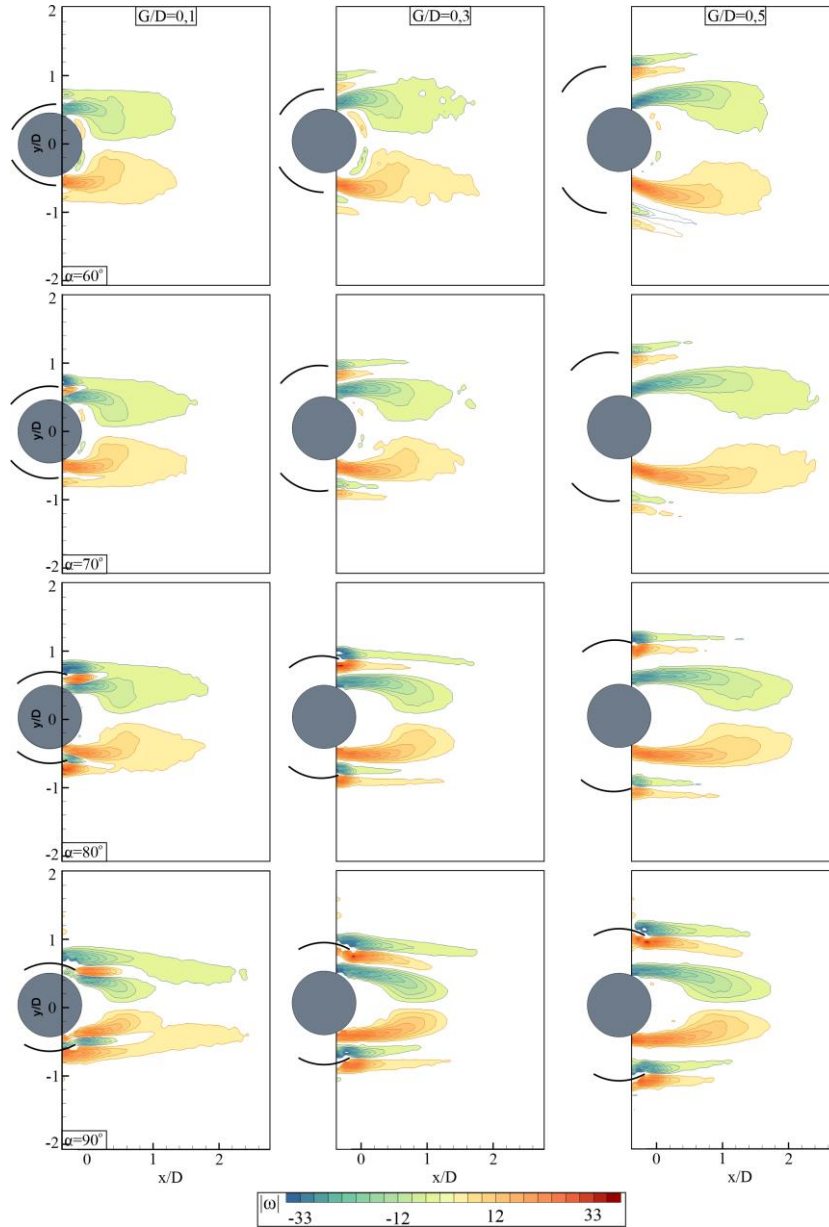
Şekil 2. Yalın silindir art izindeki zaman ortalamalı a) girdap konturları b) akım çizgileri c) Reynolds kayma gerilmesi konturları

Şekil 3'de kılavuz plakaların $G/D=0, 1, 0,3$ ve $0,5$ ve açı değerlerinin $60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığı için elde edilen zaman ortalamalı girdap kontur dağılımları sunulmuştur. Konturların çizdirilmesinde en düşük ve en yüksek değer ± 36 ve artırım değeri 3 seçilmiştir. $G/D=0,1$ durumu için özellikle plaka açısı $\alpha=60^\circ$ ve 70° değerlerinde plakaların gelen akışı önemli ölçüde etkilediği ve silindirin alt ve üst bölgelerinde oluşan kayma tabakalarının uzunluğunun yalın silindire kıyasla kısalttığı gözlemlenmiştir. Artan plaka açısı ile silindir ve kılavuz plakalar arasındaki ters işaretli girdap konturlarının kümelenmesi gözlemlenmiştir. Bu

durum silindirden kaynaklı oluşan kayma tabakalarının yanı sıra kılavuz plakaların da bir çift kayma tabakası oluşumuna neden olduğunu göstermektedir. Özellikle plaka açısının $\alpha=90^\circ$ değerinde plakalarının dış bölgesindeki kayma tabakalarının aşağı akım yönünde uzayarak silindirden kaynaklı kayma tabakalarından bağımsız bir yapı oluşturduğu gözlemlenmiştir. Açıklık oranının $G/D=0,3$ değerlerinde, silindir ile plaka arasındaki mesafenin artmasına bağlı olarak bu bölgeden gerçekleşen momentum transferinin arttığı ve kılavuz plakaların silindirden bağımsız kendi kayma tabakalarını oluşturduğu açıkça

gözlenmektedir. Kılavuz plaklardan kaynaklı oluşan pozitif ve negatif değerlere sahip girdap yapılarının neredeyse simetrik bir yapı oluşturduğu ve artan plaka açısı ile aşağı akım yönünde uzadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kılavuz plakaların artan plaka açısı ile silindir art izindeki akış yapısı

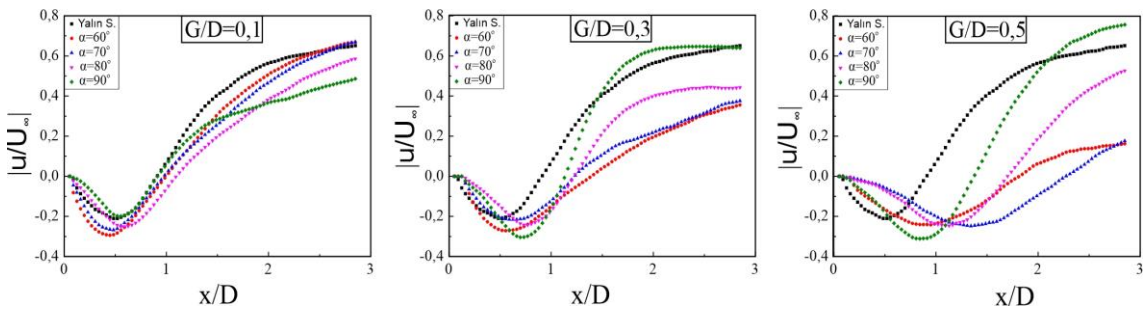
üzerinde daha etkin olan gözlemlenmiştir. Açıklık oranının $G/D=0,5$ ve plaka açısının $\alpha \geq 70^\circ$ değerlerinde kılavuz plakaların silindirden kaynaklı kayma tabakalarının yalnız silindir durumuna kıyasla aşağı akım yönünde uzamasına neden olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Farklı kılavuz plaka durumları için silindir art izinde elde edilen zaman ortalamalı girdap kontur dağılımları

Şekil 4’de silindir merkezinden art izi boyunca elde edilen boyutsuz aşağı akım yönündeki hız değişimleri sunulmuştur. Hız değişimlerinde negatif değerler ters akışın oluştuğunu, aşağı akım yönünde tekrar sıfır değerine ulaştığı konum ise girdap oluşum uzunluğunun değerini işaret etmektedir. $G/D=0,1$ ve plaka açısının $\alpha=60^\circ$ ve 70° değerlerinde yalnız silindire kıyasla negatif hız değerlerin daha küçük değerler aldığı artan plaka açısı ile yalnız silindir değerlerine ulaştığı gözlemlenmiştir. $G/D=0,3$ değerinde kılavuz

plakaların silindir art izinde ters akış bölgesinin uzamasına neden olduğu açıkça görülmektedir. Diğer taraftan plaka açısının $\alpha=90^\circ$ değerinde hız değerlerinin $x/D=1$ ’den itibaren önemli ölçüde artması art izinin hızlı bir biçimde toparlandığını göstermektedir. Kılavuz plakaların ters akış bölgesi üzerindeki etkisi $G/D=0,5$ ’de daha belirgin biçimde gözlemlenmiştir. Ters akış bölgesinin uzaması kayma tabakalarının birbiri ile etkileşiminin dolayısıyla periyodik girdap dökülmelerinin silindirin art izinde uzak bölgelere taşındığını göstermektedir.



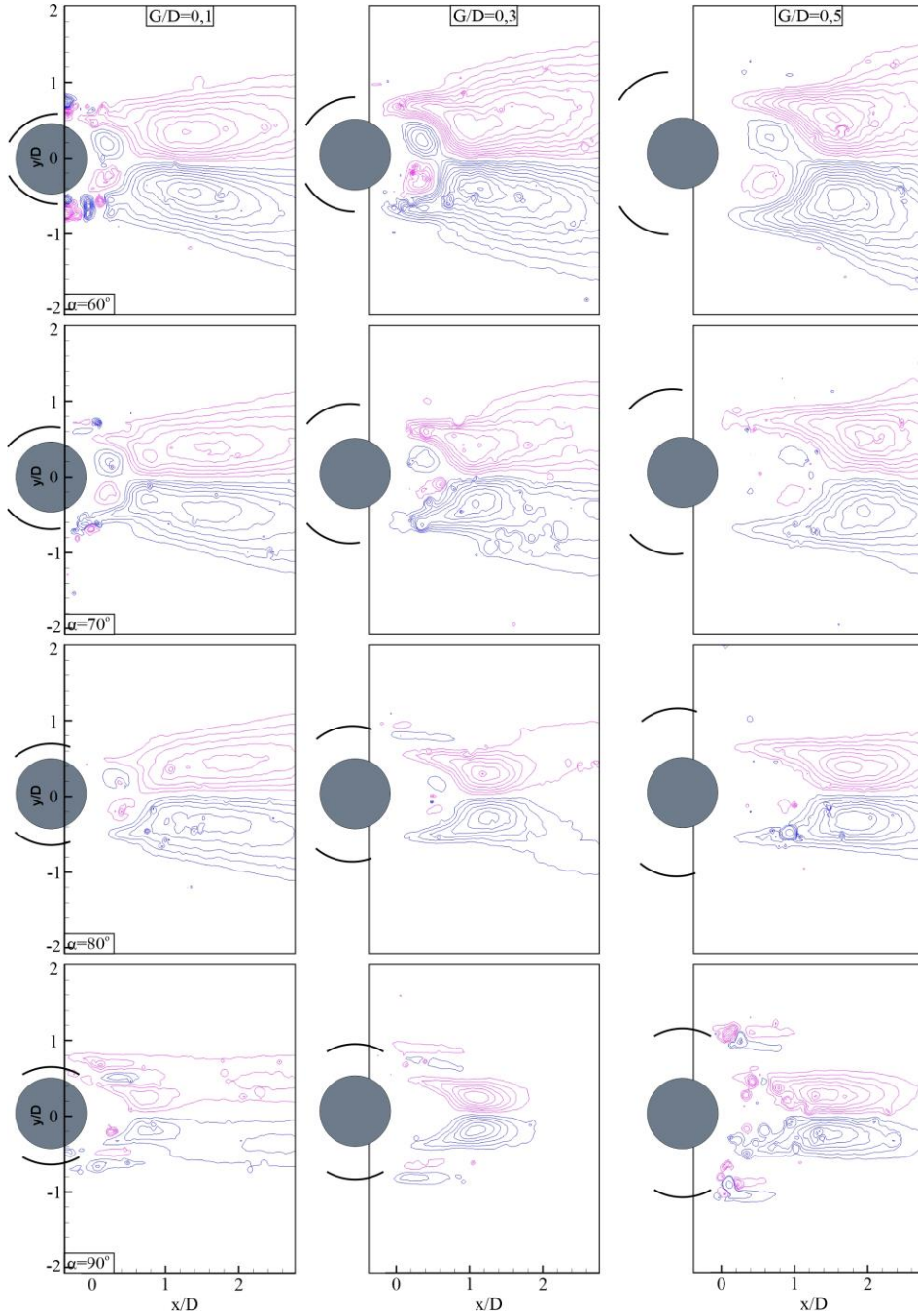
Şekil 4. Farklı kılavuz plaka durumları için art izi boyunca elde edilen boyutsuz aşağı akım yönündeki hız değişimleri

Şekil 5’de farklı açıklık oranı ve plaka açı durumları için silindir art izinde elde edilen Reynolds kayma gerilmesi konturları sunulmuştur. Konturların çizilmesinde en düşük ve en yüksek değer $\pm 0,18$ ve artırım değeri $0,01$ seçilmiştir. Plaka açısının $\alpha=60^\circ$ değerinde Reynolds kayma gerilmelerinin silindirin yakın art izinde kümelendiği en yüksek değerlerinin açıklık oranı $G/D=0,1$, $G/D=0,3$ ve $G/D=0,5$ için sırası ile $0,09$, $0,1$ ve $0,11$ olarak elde edilmiştir. Yalnız silindir durumu ile kıyaslandığında Reynolds kayma gerilmelerinin en yüksek değerinin $\%30$ ’kadar azaldığı gözlemlenmiştir. Artan plaka açısı ile Reynolds kayma gerilmesinin en yüksek değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Plaka açısının $\alpha=90^\circ$ değerinde Reynolds kayma gerilmelerinin en yüksek değerlerinin açıklık oranı $G/D=0,1$, $G/D=0,3$ ve $G/D=0,5$ için sırası ile $0,03$, $0,07$ ve $0,08$ olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler kılavuz plakaların kullanımının silindir art izinde girdap etkileşimlerini bastırmada etkili olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

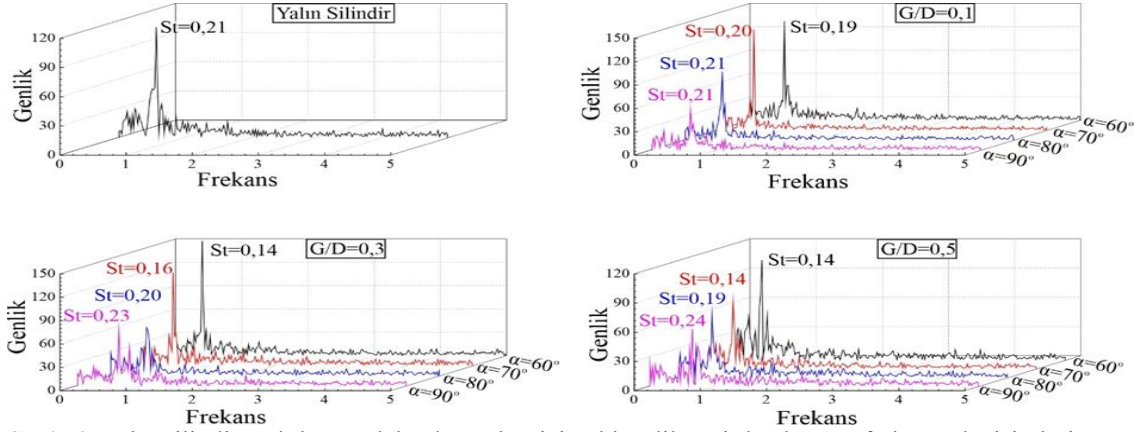
Kılavuz plakaların girdap kopma frekansları üzerine etkisini ortaya çıkarabilmek için yalnız

silindir ve kılavuz plaka durumları için art izi bölgesinde elde edilen girdap kopma frekansları Şekil 6’da sunulmuştur. Girdap kopma frekanslar Strouhal sayısı ile boyutsuz olarak ifade edilmiş ve Strouhal sayısı $St=fD/U$ formülü ile hesaplanmıştır. (f girdap kopma frekansını, D silindir çapını ve U serbest akım hızını ifade etmektedir.) Yalnız silindir için girdap kopma frekansının karşılık geldiği Strouhal sayısı $0,21$ olarak elde edilmiştir ve bu değer literatürdeki çalışmalar ile uyumludur. Bütün açıklık oranlarında plaka açısının $\alpha=60^\circ$ ve 70° değerinde Strouhal sayısının yalnız silindire kıyasla azaldığı gözlemlenmiştir. Artan plaka açısı ile Strouhal sayısının arttığı hatta açıklık oranı $G/D=0,3$ ve $G/D=0,5$ değerlerinde yalnız silindire kıyas ile daha yüksek Strouhal sayısı elde edilmiştir. Ancak elde edilen verilen dikkat ile incelendiğinde plaka açısının $\alpha=80^\circ$ ve 90° değerlerinde Strouhal sayısının artmasına rağmen genlik büyüklüklerinin yalnız silindire kıyasla önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Bu durum yüksek plaka açılarında meydana gelen girdapların daha küçük ölçekli olduğunu ve girdap şiddetlerinin sönümlendiğini ortaya koymaktadır. Bu neden ile

silindir art izinde türbülans şiddetleri azalmaktadır. Reynolds kayma gerilmesi konturları ile Elde edilen bu bulgular Şekil 5’de sunulan uyumludur.



Şekil 5. Farklı kılavuz plaka durumları için elde edilen zaman ortalamalı Reynolds kayma gerilmesi konturları



Şekil 6. Yalın silindir ve kılavuz plaka durumları için elde edilen girdap kopma frekansı değişimleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada mühendislik uygulamalarında yaygınca kullanılan dairesel kesitli silindir art izindeki daimi olmayan girdapların kılavuz plakalar yardımıyla bastırılması deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular kılavuz plakaların silindir art izindeki akış karakteristiğini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Yalın silindir durumu ile kıyaslandığında girdap kopma frekansının %33'e kadar ve Reynolds kayma gerilmesi değerlerinin %80'kadar azaldığı gözlemlenmiştir. Artan plaka açısı ile büyük ölçekli girdapların küçük ölçekli girdaplara dönüştüğü ve şiddetlerinin sönmüldüğü gözlemlenmiştir. Yalın silindir ile kıyaslandığında Reynolds kayma gerilmelerini bastırmada en etkili plaka açısının $\alpha=90^\circ$ olduğu elde edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda kılavuz plakalar kullanımı silindir art izindeki girdapların bastırılmasında başarılı bir pasif akış kontrol yöntemi olduğu ortaya konulmuştur. Elde edilen bu bulguların mühendislik uygulamalarında kullanılan diğer küt cisimler etrafındaki akış kontrolü çalışmaları için referans oluşturacağı beklenmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Dong, S., Triantafyllou, G.S., Karniadakis, G.E., 2008. Elimination of Vortex Streets in Bluff-Body Flows. *Physical Review Letters*, 100(20), 204501.

2. Feng, L.H., Wang, J.J., 2010. Circular Cylinder Vortex-Synchronization Control with a Synthetic Jet Positioned at the Rear Stagnation Point. *Journal of Fluid Mechanics*, 662, 232-259.
3. Corke, T.C., Enloe, C.L., Wilkinson, S.P., 2010. Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuators for Flow Control. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 42(1), 505-529.
4. Chan, A.S., Dewey, P.A., Jameson, A., Liang, C., Smits, A.J., 2011. Vortex Suppression and Drag Reduction in the Wake of Counter-Rotating Cylinders. *Journal of Fluid Mechanics*, 679, 343-382.
5. Lecordier, J.C., Hamma, L., Paranthoen, P., 1991. The Control of Vortex Shedding Behind Heated Circular Cylinders at Low Reynolds Numbers. *Experiments in Fluids*, 10, 224-229.
6. Posdziech, O., Grundmann, R., 2001. Electromagnetic Control of Seawater Flow Around Circular Cylinders. *European Journal of Mechanics - B/Fluids*, 20, 255-274.
7. Kwon, K., Choi, H., 1996. Control of Laminar Vortex Shedding Behind a Circular Cylinder Using Splitter Plates. *Physics of Fluids*, 8(2), 479-486.
8. Hwang, J.Y., Yang, K.S., Sun, S.H., 2003. Reduction of Flow-Induced Forces on a Circular Cylinder Using a Detached Splitter Plate. *Physics of Fluids*, 15(8), 2433-2436.
9. Akıllı, H., Şahin B., Filiz Tümen, N., 2005. Suppression of Vortex Shedding of Circular Cylinder in Shallow Water by a Splitter Plate.

- Flow Measurement and Instrumentation, 16(4), 211-219.
10. Zhu, H., Liu, W., 2020. Flow Control and Vibration Response of a Circular Cylinder Attached with a Wavy Plate. Ocean Engineering, 212.
 11. Özkan, G.M., Fırat, E., Akıllı, H., 2017. Passive Flow Control in the Near Wake of a Circular Cylinder Using Attached Permeable and Inclined Short Plates. Ocean Engineering, 134, 35-49.
 12. Şahin, S., Durhasan, T., Pınar, E., Akıllı, H., 2021. Experimental Study on Passive Flow Control of Circular Cylinder via Perforated Splitter Plate. Wind and Structures, 32(6), 613-621.
 13. Gao, D.L., Chen, W.L., Li, H., Hu, H., 2017. Flow Around a Circular Cylinder with Slit. Experimental Thermal and Fluid Science, 82, 287-301.
 14. Trim, A.D., Braaten, H., Lie, H., Tognarelli, M.A., 2005. Experimental Investigation of Vortex-Induced Vibration of Long Marine Risers. Journal of Fluids and Structures, 21(3), 335-361.
 15. Zhou, B., Wang, X., Guo, W., Zheng, J., Tan, S.K., 2015. Experimental Measurements of the Drag Force and the Near-Wake Flow Patterns of a Longitudinally Grooved Cylinder. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 145, 30-41.
 16. Fırat, E., Özkan, G.M., Akıllı, H., 2017. PIV Measurements in the Near Wakes of Hollow Cylinders with Holes. Experiments in Fluids, 58(5).
 17. Durhasan, T., Pınar, E., Özkan, G.M., Akıllı, H., Şahin, B., 2019. The Effect of Shroud on Vortex Shedding Mechanism of Cylinder. Applied Ocean Research, 84, 51-61.
 18. Lee, S.J., Lee, S.I., Park, C.W., 2004. Reducing the Drag on a Circular Cylinder by Upstream Installation of a Small Control Rod. Fluid Dynamics Research, 34(4), 233-250.

***Diospyros kaki* L. Kabukları Sulu Ekstraktı Kullanılarak Çinko Oksit Nanopartiküllerinin Yeşil Sentezi ve Karakterizasyonu**

Sultan TÜRKOĞLU*¹ ORCID 0000-0002-5204-5003

Remziye Aysun KEPEKÇİ² ORCID 0000-0002-7156-5741

Olcayto KESKİNKAN¹ ORCID 0000-0001-8995-756X

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana

²Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep

Geliş tarihi: 01.06.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: TÜRKOĞLU, S., KEPEKÇİ, R.A., KESKİNKAN, O., (2023). Diospyros kaki L. Kabukları Sulu Ekstraktı Kullanılarak Çinko Oksit Nanopartiküllerinin Yeşil Sentezi ve Karakterizasyonu. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 603-611.

Öz

Son yıllarda insan sağlığına ve çevreye en az etkisinden dolayı yeşil sentez oldukça dikkat çekmektedir. Yeşil sentez ile nanopartikül üretiminde mantarlar, bitkiler ve mikroorganizmalar kullanılır. Diğer yöntemlere alternatif olarak bitkileri kullanarak nanoparçacık sentezi, sentezinin kolaylığı, düşük maliyeti ve çevre dostu olması ile oldukça önemlidir. Bu teknikle üretilen metal oksit nanopartikülleri birçok alanda kullanılmaktadır. Bu çalışma ile *Diospyros kaki* (Trabzon hurması) meyvesinin kurutulmuş kabukları ile yeşil sentez yolu ile nanopartikül sentezlenmiş ve optimum koşulları belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda farklı pH (2, 6, 8, 10) ve sıcaklık (40 °C, 60 °C ve 80 °C) koşullarında çinko nanopartiküllerin üretimi deneyleri yapılmış ve elde edilen nanopartiküller karakterize edilmiştir. UV-görünür spektrofotometre, SEM, Zetasizer ve EDAX analizlerinden elde edilen sonuçlar nanopartikül sentezindeki optimal koşulları belirlemek için kullanılmıştır. Optimum nanoparçacık üretimi için uygun pH değerinin 10 ve reaksiyon sıcaklığının 60 °C olduğu kanıtlanmıştır. Üretilen nanoparçacık boyutu 168 nm olarak belirlenmiştir. Elde edilen nanoparçacıklar nanotıp uygulamaları için uygun bir malzeme olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Nanopartiküller, Metal nanopartiküller, Yeşil kimya teknolojisi

Green Synthesis and Characterization of Zinc Oxide Nanoparticles Using *Diospyros kaki* L. Bark Aqueous Extract

Abstract

In recent years, green synthesis has attracted a lot of attention due to its minimal impact on human health and the environment. Fungi, plants and microorganisms, are used in the production of nanoparticles by green synthesis. Nanoparticle synthesis using plants as an alternative to other methods is very important because of its ease of synthesis, low cost and environmental friendliness. Metal oxide nanoparticles produced by this technique are used in many fields. In this study, nanoparticles were synthesized from the dried peels of *Diospyros kaki* (Persimmon) by green synthesis and their optimum conditions were

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Sultan TÜRKOĞLU, sultanturkoglu@gmail.com

determined. For this purpose, zinc nanoparticles production experiments were carried out under different pH (2, 6, 8, 10) and temperature (40 °C, 60 °C and 80 °C) conditions and the obtained nanoparticles were characterized. The obtained results of UV-visible spectrophotometry, SEM, Zetasizer and EDAX analyzes were used to determine optimal conditions in nanoparticle synthesis. It has been proven that the appropriate pH value for optimal nanoparticle production is 10 and the reaction temperature is 60 °C. The produced nanoparticle size was determined as 168 nm. The obtained nanoparticles can be used as a suitable material for nanomedicine applications.

Keywords: Nanoparticle, Metal nanoparticles, Green chemistry technology

1. GİRİŞ

Nanoteknoloji, nano ölçekte malzeme ve cihazların sentezi, karakterizasyonu ve uygulamasına odaklanmış uygulamalı bir bilim alanıdır. Nano kelimesi Yunanca bir kelime kökünden gelip çüce anlamına gelmektedir. Nanometre metrenin milyarda birine eşit bir uzunluktur. Nanoteknoloji, 1 ila 100 nanometre skalasında maddenin atomik ve moleküler sıralamasının değiştirmesi ile maddeye yeni özellikler kazanılması işlemidir [1].

Nanoteknoloji kelimesi çok güncel bir konu olmasına rağmen tarihi çok eskilere dayanmaktadır. Ünlü fizikçi Richard Feynman Amerikan Teknoloji Enstitüsü'ndeki o ünlü konuşması ile "There is plenty of rooms at the bottom" (Alt kısımda birçok oda var) diyerek nanoteknolojinin geleceğin teknolojisi olacağına atıfta bulunmuştur [2].

Nanopartikül işlemlerinde madde çeşitli işlemlerle nano boyuta geldiğinde bambaşka bir formasyona dönüşür. Maddenin mekanik, elektromanyetik, fiziksel ve kimyasal özellikleri değişerek atomlar arası kuantum etkiler devreye girer [3].

Nanometre boyut aralığı 1-1000 nm arasındadır. Ama 1-100 nm arasındaki boyut nanoteknoloji açısından esastır. Maddenin bu boyut aralığında yüzey alanı genişler ve yüzeydeki birim alana düşen atom sayısı artar. Parçacık boyutu azaldığı için kuantum mekaniğinin alanına girmesi maddeye bambaşka özellikler kazandırır [4]. Örneğin altın metali nano hale geldiği zaman renk değişir, mavi ya da kırmızı hale dönebilir.

Maddenin özelliğinin değişmesinden ve boyutundan ötürü birçok alanda nano maddeler kullanılmaya başlanmıştır. Savunma, havacılık,

uzay, sanayi, kimya, tıp, biyoloji gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Temel olarak nanopartikül (NP) sentezlenmesinde iki başlık halinde incelemek mümkündür. Bunlardan birincisi "aşağıdan yukarıya," ikincisi "yukarıdan aşağıya" adı verilen yöntemlerdir. Yukarıdan aşağıya yöntemi daha çok fiziksel müdahaleler sonucu maddenin büyük halinden küçük (nano) haline getirilmesidir. Aşağıdan yukarıya metodunda ise moleküller, atomlar bir takım kimyasal tepkimler yolu ile büyütülmesi işlemidir. Aşağıdan yukarıya olan metot işlemleri daha çok kimyasal olup, yukarıdan aşağıya olan metot işlemleri fizikseldir. Yukarıdan aşağıya olan metotlar: Mekanik öğütme, kimyasal aşındırma, sıcaklık/lazer uzaklaştırma, püskürtme olarak örneklendirilir. Aşağıdan yukarıya olan metotlar: Buhar biriktirme, kimyasal çöktürme, atomik/moleküler yoğunlaştırma, sol-jel metodu, sprey proliz, lazer piroliz, aerosol prosesler ve yeşil sentez metodudur [5]. Yukarıda sıralanan tüm metotlar yeşil sentez hariç hem maliyet açısından hem de toksik yan madde oluşumu açısından dezavantajlıdır. Yeşil sentez metodu diğer kimyasal ve fiziksel metotlarda üretilen nanopartiküllere göre çevreye uyumlu, toksik maddesi olmayan, maliyeti az olan bir metottur [6].

Nanopartiküllerin yeşil sentezinde mikroorganizmalar, bitkiler, bitki yaprakları, bitki gövdeleri, meyveleri ve deniz algleri kullanılmaktadır.

Yeşil sentez metodu, organizmaların içeriğinde bulunan vitaminler, proteinler, enzimler, fitokimyasallar (alkolidler, fenolikler, glikosidler vb.) gibi çeşitli biyomoleküllerin metalleri indirgemesine dayanır [7,8]. Bu iyonları

İndirgemek için bitki ekstraktının kullanılması 1900'lü yıllardan beri bilinen bir metottur. Ama prosesteki indirgeyici ajanların doğası hala tartışmalı ve belirsizdir.

Trabzon hurması şu an ülkemizde birçok iklim koşullarına uyum sağlamış olan bir bitki olup, ticari olarak ülkemize Trabzon'dan girmiş olmasından dolayı ismi "Trabzon Hurması"dır. Çoğu bölgelerde cennet meyvesi adı ile adlandırılır. Bu türün en yaygın olduğu yer Karadeniz'dir.

Bu meyve türleri çok farklılık göstermesinden dolayı tüketimin artırılması planlanmaktadır [9].

Trabzon hurması birçok vitamin, polifenol, karotenoidler bakımından yoğun olduğu için eski zamanlarda da şimdi de hem kurutulmuş hem de taze olarak tüketilir [10]. Ayrıca gıda sanayisinde de çok kullanılır, bununla beraber yaprakları kurutulmuş ya da yaş bir şekilde çay olarak da kullanılır [11].

Ülkemize ne zaman getirildiği kesin olarak bilinmemekle birlikte çok eskiden beri yetiştiriciliği yapılmaktadır.

Dünyada hızlı sanayileşme ve nüfusun artması ile çok ciddi bir atık problemi sorunu ile karşılaşmıştır. Bu atık miktarı içinde bitkisel atıklar olarak tanımlanan çiçekler, ağaçlar v.b mevcuttur. Artan bitkisel atıkları yeni teknolojik ürünlere dönüştürülmesi önemlidir [12,13]. Birçok bitkide Kabuk-meyve oranının %15-10 arasında olduğu bilinmektedir [14]. Trabzon Hurması Türkiye'de ortalama 2019 yılında üretimi 51 bin ton civarındadır. Buna göre çöpe giden hurma kabuğu miktarı yıllık ortalama 5 bin tondur [14].

Hurma kabuğunun içerdiği önemli fenolik ve diğer değerli bileşenlerden dolayı değerlendirilmesi ve yapılan literatür çalışmalarında hurma kabuğu ile ilgili bir çalışma olmaması çalışmanın özgünlüğü açısından oldukça önem arz etmektedir. Daha önce Trabzon hurması kabukları yoluyla nanopartikül sentezlenmesi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma ile ilk kez bu atık materyalden katma değeri yüksek nano boyutta bir ürün üretilmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. *Diospyros kaki* Ekstraktının Hazırlanması

Çalışma kapsamında kullanılacak olan *Diospyros kaki* L. (Trabzon Hurması) bitkisi, Gaziantep il sınırları içerisinde çeşitli manav ve marketlerden temin edildi. Trabzon Hurması kabuklarından Rao ve diğ., tarafından önerilen yöntemle göre özüt hazırlandı [15]. İlk olarak hurma kabukları soyulmuş saf su ile iyice yıkandı. Yıkandıktan sonra oda sıcaklığında 7 gün kurutuldu ve mekanik parçalayıcıda küçük parçalara ayrılması sağlandı. Kurutulan kabuklardan 20 gram tartıldı ve üzerine 100 mL su ve 25 mL %70'lik etil alkol ilave edildi. Manyetik karıştırıcı üzerinde 65 °C'de 1 saat hem ısıtma hem de karıştırma işlemi uygulanarak sabit sıcaklıkta özüt hazırlandı. Elde edilen özüt 1 saat boyunca oda sıcaklığında bekletildi, sonrasında süzgeçten geçirildikten sonra 3 defa oda sıcaklığında 1500 rpm'de 15'er dk. santrifuj uygulandı (Şekil 1). Elde edilen süpernatant +4 °C'de koyu renkli cam şişelerde muhafaza edildi [15].



Şekil 1. *Diospyros kaki* kabuklarından özüt hazırlanması A: *Diospyros kaki* (Trabzon hurması) B: Meyve kabuklarının kurutulması C:Kurutulmuş kabukların küçük parçacıklara ayrılması D: NP üretimi için hazırlanan özüt

2.2. Yeşil Sentez Yolu ile Çinko Oksit Nanopartikülünün Sentezlenmesi

ZnONP'lerin sentez reaksiyonunda, Trabzon Hurması kabuklarından elde edilen sulu ekstrakt indirgeyici-stabilize ajan olarak kullanıldı. NP üretiminin optimum koşullarının belirlenmesi için

farklı pH koşulları ve farklı sıcaklıklarda üretim yapıldı. Öncelikle sentezin ilk aşamasında, sabit konsantrasyondaki (%1 (m/m)) ZnCl₂ (Çinko Klorür) çözeltisine bitki özütü (20 ml) damla damla ilave edildi. Sonrasında pH (pH:2, pH:6, pH:8 ve pH:10) ayarlaması HCl ve NaOH ile yapılmış olup optimizasyon için belirlenen reaksiyon sıcaklığında (40 °C, 60 °C ve 80 °C) manyetik karıştırıcıda hem ısıtma (2 saat) hem karıştırma (250 rpm) işlemleri uygulandı. Bu işlemde elde edilen ürünler (ZnO NP'ler) oda sıcaklığında karanlıkta 12-15 saat muhafaza edildi [16].

12-15 saat bekletilen ürünler iki sefer saf su ile bir kerede etil alkol kullanılarak santrifüj edildi (4000 rpm-15'er dk). Bu şekilde üretilen NP'ler saf bir hale getirildi. Santrifüj işleminden sonra biyosentezlenen Çinko Nanopartikülleri etüvde 24 saat 80-90°C'de sıcaklık altında kurutuldu. Elde edilen nanopartiküller analiz edilene kadar desikatörde karakterizasyon işlemleri yapılarak saklandı.

2.3 Optimizasyon Çalışmaları

Optimizasyon kapsamında şu çalışmalar yapılmıştır;

- 40 °C inkübasyon şartlarında pH:2, pH:6, pH:8 ve pH:10 NP üretimi
- 60 °C inkübasyon şartlarında pH:2, pH:6, pH:8 ve pH:10 NP üretimi
- 80 °C inkübasyon şartlarında pH:2, pH:6, pH:8 ve pH:10 NP üretimi

2.4 Çinko Oksit Nanopartiküllerinin Karakterizasyonu

Çinko Nanopartiküllerinin 200-800 nm dalga boyu arasındaki absorpsiyon değerleri UV-visible spektrofotometrede (WTW PhotoLab® 7600 UV-VIS, Xylem Analytics, Germany) analiz edildi. Partikül şekli ve boyutu Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) (Quanta 400F Field Emission, Thermo Scientific, ABD) ile ölçüldü. Biyosentezlenen nanopartiküllerin elemental bileşimini görmek için Enerji Dağılımı X-ray Analizi (EDAX) (Zeiss Leo 1430 VP, Carl Zeiss AG, Germany) kullanıldı. Sentezlenen ZnONPs'nin

boyut dağılımları ZetaSizer cihazı (Malvern ZetaSizer Nano ZEN3600, Carl Zeiss, Germany) ile ölçüldü.

3. BULGULAR

3.1. UV-VIS Spektroskopisi

Bu çalışmada yeşil sentez metodu ile ZnONP sentezinde optimum koşulların saptanması amacıyla pH ve sıcaklık parametreleri incelenmiş ve bunlar arasından optimum koşulu sağlayan değerler seçilmiştir.

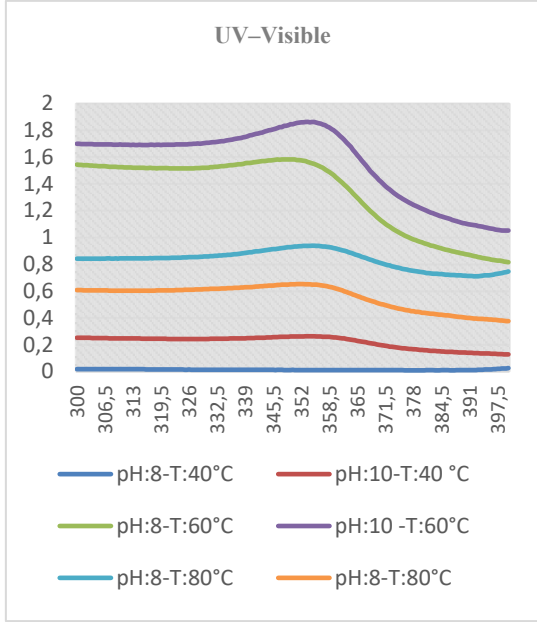
Çizelge 1. Optimizasyon Çalışmaları

pH	Sıcaklık		
	40 °C	60 °C	80 °C
pH:2	NP Oluşumu gözlenmedi	NP Oluşumu gözlenmedi	NP Oluşumu gözlenmedi
pH:6	NP Oluşumu gözlenmedi	NP Oluşumu gözlenmedi	NP Oluşumu gözlenmedi
pH:8	NP Gözlendi	NP Gözlendi	NP Gözlendi
pH:10	NP Gözlendi	NP Gözlendi	NP Gözlendi

Tüm bu çalışmalarda reaksiyon takibi, reaksiyon ortamından alınan örneklerin UV-VIS spektrofotometre'de distile suya karşı baz alınarak 300-400 nm dalga boyu aralığında verdikleri absorpsiyon değerlerinin incelenmesiyle yapılmıştır. pH:2 ve pH:6 koşullarında NP üretimi olmadığından (Çizelge 1). pH:8 ve üzerindeki koşullarda üretilen NP'lerin spektrofotometre cihazında (WTW PhotoLab® 7600 UV-VIS) maksimum absorpsiyonunun olduğu dalga boyları belirlenmiştir (Şekil 2).

Literatürdeki diğer çalışmalar Çinko nanopartiküllerinin sentezinin doğruluğunu 330-380 nm arasındaki dalga boyları arasında maksimum absorpsiyon değerinin tespit edilmesiyle doğrulanacağını ifade etmektedir [17,18]. Şekil 2 incelendiği zaman farklı koşullarda üretilen NP'nin ortalama 350-366 nm arası maksimum absorpsiyon verdiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte pH:10-T:60 °C ve pH:8-T:60 °C koşullarında

biyosentezlenen NP'lerin 358-360 nm aralığında en yüksek absorbanı vererek grafikte keskin ve net bir pik oluşturduğu görülmektedir.

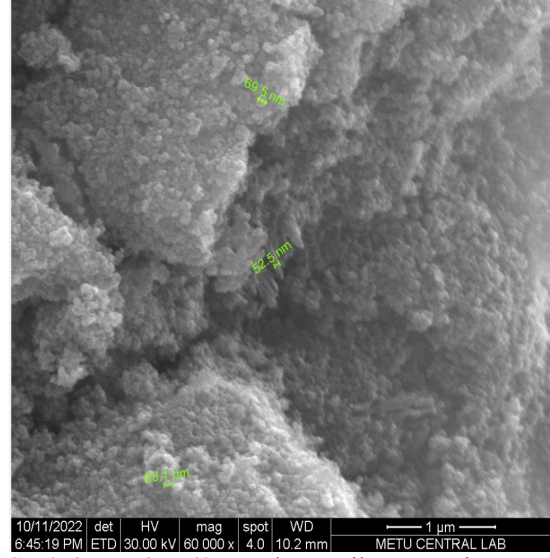


Şekil 2. Farklı koşullarda üretilen ZnONP'lerin farklı dalga boylarında UV visible spektrofotometrede elde edilen absorbanı değerleri

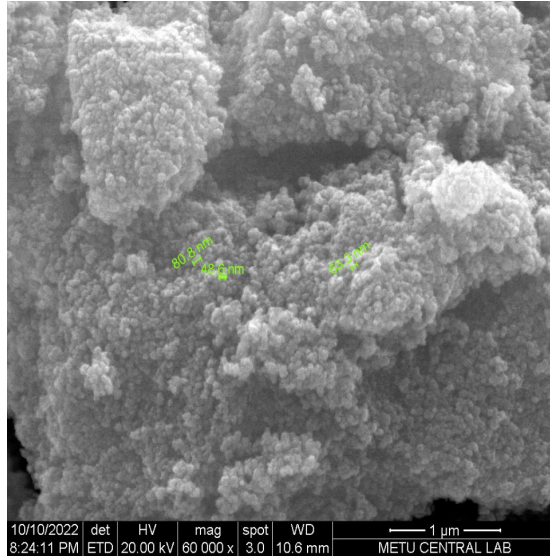
3.2. SEM ve EDAX Analizi

UV sonuçları ile pH:10-T:60°C ve pH:8-T:60°C de koşullarının dışında sentezlenen NP'ler elenmiş olup bu iki koşulda üretilen NP'lerin SEM ve EDAX analizi yapılmıştır.

SEM cihazı ile görüntülenen çinko Nanopartiküllerin sıkı bir şekilde homojen bir dağılım sergilediği ve literatür ile değerlendirildiğinde de küresel şekilde olduğu görülmüştür (Şekil 3 ve 4). Literatürde örneğin *Saponaria officinalis* (*S. officinalis*) otu tarafından üretilen ZnONP'nin SEM görüntüleri için küresel formda, pürüzlü örtü ile kaplı ve partikül boyutu 20–80 nm aralığında belirlendi [19]. Bir çalışmada da *Aloe vera* yapraklarından elde edilen ZnONP'lerin SEM görüntüsü küresel formda ve partikül boyutu 25-65 nm aralığında olduğu tespit edildi [20].



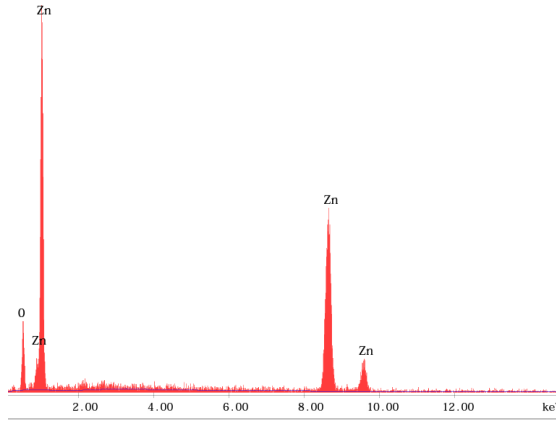
Şekil 3. pH:8,T:60 °C'da üretilen NP'nin SEM görüntüsü



Şekil 4. pH:10, T:60 °C'da üretilen NP'nin SEM görüntüsü

Biyosentezlenen nanopartiküllerin kimyasal yapısını aydınlatmak amacıyla yapılan EDAX mikrograflarına bakıldığında, numunede Zn ve O dışında başka element için pik çıkmaması biyosentezlenen nanopartiküllerin saflığını göstermektedir (Şekil 5 ve 6). Ayrıca bu analize ait verilerden, sentezlenen ZnO NP'lerin % bileşiminin

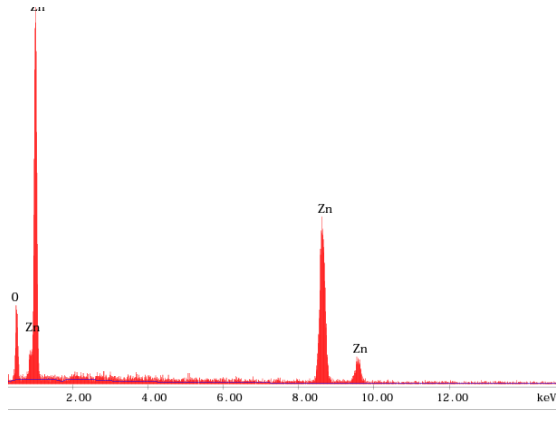
yaklaşık olarak ZnO molekülünün teorik bileşimi (%75 Zn, %25 O) ile aynı olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte 0,5 KeV’de tanımlanan bir O tepe noktası ve 1,8 -8,4 ve 9,8 KeV ‘de tanımlanan üç adet Zn tepe noktasının ZnONP olduğunu doğrulamaktadır [21].



EDAX ZAF Quantification (Standardless)
Element Normalized
SEC Table : Default

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	20.15	50.76	0.0597	1.1247	0.2628	1.0022
ZnK	79.85	49.24	0.7712	0.9592	1.0069	1.0000
Total	100.00	100.00				

Şekil 5. pH:8, T:60 °C da üretilen NP'nin EDAX görüntüsü



EDAX ZAF Quantification (Standardless)
Element Normalized
SEC Table : Default

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	24.17	56.57	0.0736	1.1168	0.2720	1.0020
ZnK	75.83	43.43	0.7277	0.9517	1.0083	1.0000
Total	100.00	100.00				

Şekil 6. pH:10, T:60 °C’da üretilen NP’nin EDAX görüntüsü

3.3 Parçacık Boyut Dağılımı

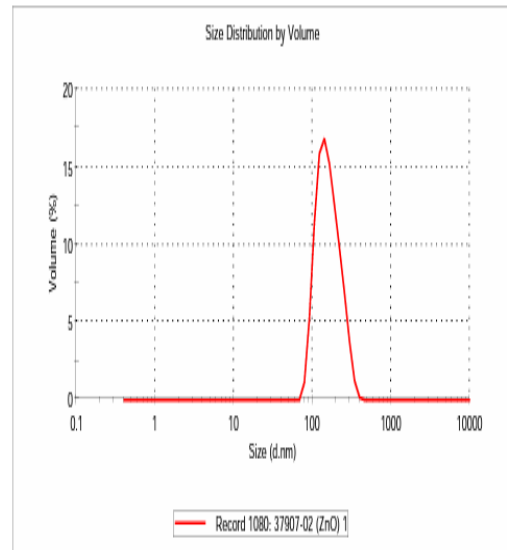
UV sonuçları ile pH:10-T:60 °C ve pH:8-T: 60 °C’ de koşullarının dışında sentezlenen NP’ler elenmiş olup bu iki koşulda üretilen NP’lerin Zetasizer ile boyut analizi yapılmıştır.

Zetasizer sonuçlarında PDI (Polidisperse) değerinin 0,4’den düşük olması oldukça önem arz etmektedir. Bu değer 0,4’den küçük olması boyut verilerinin homojen olduğunu, 0,7’den büyük olması ise geniş partikül boyut dağılımına sahip olduğunu göstermektedir [16]. pH:8-T:60 °C biyosentezlenen NP’lerin Zetasizer sonuçlarında boyut analizi 203 nm olup PDI değeri 0,4’den düşüktür (Şekil 7). pH:10-T:60 °C biyosentezlenen NP’lerin Zetasizer sonuçlarında boyut analizi 168 nm olup PDI değeri 0,4’den düşüktür (Şekil 8).

Results

	Diam. (nm)	% Volume	Width (nm)
Z-Average (d.nm): 203,5	Peak 1: 164,8	100,0	56,52
Pdi: 0,343	Peak 2: 0,000	0,0	0,000
Intercept: 0,951	Peak 3: 0,000	0,0	0,000

Result quality Good

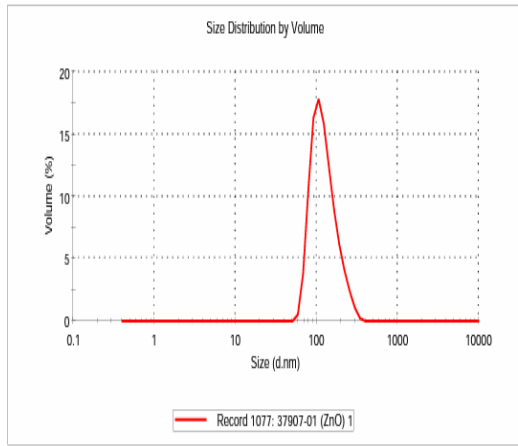


Şekil 7. pH:8, T:60 °C’da üretilen NP’nin Boyut analizi

Results

	Diam. (nm)	% Volume	Width (nm)
Z-Average (d.nm): 168,6	Peak 1: 127,2	100,0	47,35
Pdi: 0,345	Peak 2: 0,000	0,0	0,000
Intercept: 0,971	Peak 3: 0,000	0,0	0,000

Result quality Good



Şekil 8. pH:10, T:60°C'da üretilen NP'nin Boyut analizi

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan çalışmada biyosentezlenen ZnONP, karakterizasyonu ve yapısal özellikleri UV-VIS spektroskopisi, SEM, EDAX ve boyut analizi ile incelenmiştir.

Bu kapsamda çinko nanopartiküllerin biyosentezi için ilk olarak çeşitli parametrelere dair farklı ortam koşulları denenerek optimal üretim koşulları saptanması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda

- 40 °C inkübasyon şartlarında pH:2, pH:6, pH:8 ve pH:10 NP üretimi
- 60 °C inkübasyon şartlarında pH:2, pH:6, pH:8 ve pH:10 NP üretimi
- 80 °C inkübasyon şartlarında pH:2, pH:6, pH:8 ve pH:10 NP üretimi yapılmıştır

Önce pH denemeleri yapılmış olup pH:8'den küçük değerlerde NP oluşumundaki ilk kanıt olan NP oluşumuna özgü renk değişimi gözlenmemiştir.

Dolayısı ile de NP oluşumu da olmamıştır. pH:8'de NP'nin oluşumun ilk aşaması olan beyaz renk çözeltisinin oluşması reaksiyonun başlamasının tipik bir örneğidir. Asidik ortamdan bazik ortama gidildikçe biyosentezlenen nanopartikül oranı artmıştır. pH:8'den NP'nin oluşumu kalitatif olarak renk değişiminin gözlenmesi ile tespit edilmiş, sonrasında ise yapılan UV, EDAX, SEM, boyut analizi ile de bu durum kanıtlanmıştır. Bazik ortamda gözlenen bu olumlu gelişme, bitki ekstraktı bünyesindeki fenolik yapıların iyonizasyonuna bağlanmıştır [22].

UV-VIS spektrofotometrede ZnONPs'nin maksimum absorbans verdikleri dalga boyu literatürde 330 ve 370 nm olarak belirtilmiştir [23]. Çinko nanopartiküllerin 330 ile 380 nm arasındaki absorbans değerleri partiküllerin sentezlerinin gerçekleştirildiğini göstermektedir [17]. Bununla birlikte literatür spektrofotometre sonuçlarında absorsiyon piklerinin simetrik keskin ve net olmasını baz almaktadır [16].

Farklı üretim koşullarında üretilen NP'lerin spektrofotometre sonuçlarına göre (Şekil 2) pH:10-T:60 °C ve pH:8-T:60 °C'de koşullarında sentezlenen NP'lerin absorbans aralığı 358-360 nm arasında keskin ve net bir pik verdiği görülmüştür. Diğer üretim şartlarında üretilen NP'lerin bu kriterlere uymadığından optimal koşulların dışında kalmıştır.

pH:8-T:60 °C biyosentezlenen NP boyutu da 203 nm olduğu görülmüştür (Şekil 8). pH:10-T:60 °C ve biyosentezlenen NP'lerin Zetasizer sonuçlarında boyut analizi 168 nm (Şekil 7) olup PDI değeri 0,4 den düşüktür. Literatürdeki birçok çalışma 200 nm'den daha küçük boyutta olan nanopartiküllerin nanotıp uygulamaları için uygun olduğunu bildirmektedir [23]. Yapılan optimal koşul denemelerinde yukarıdaki deney sonuçlarında da görüldüğü gibi pH:10-T:60 °C reaksiyon koşulları *Diospyros kaki* kabukları kullanılarak yapılan NP üretiminde en optimal koşul seçilmiş olup yeşil sentez yolu ile optimal koşullarda üretilen bu çinko nanopartikülün nanotıp uygulamalarında kullanılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Çıracı, S., Özbay, E., Gülseren, O., Demir, H. V., Bayındır, M., Oral, A., Senger, T., Aydın, A., Dana, A., 2005. Türkiye’de Nanoteknoloji: TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, 4-23.
2. Feynman, R.P., 1999. The Relation of Science and Religion. The Pleasure of Finding Things Out. Helix Books. Perseus, Cambridge, Massachusetts, 245-257.
3. Ayas, O., 2015. Nanobilim ve Nanoteknoloji Yöntemleri ile Tekstil Yüzeylerine Kazandırılan Çoklu Fonksiyonel Özelliklerinin, Karakterizasyon Yöntemlerinin ve Kullanım Alanlarının Araştırılması Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 95.
4. Pande, M., Bhaskarwar, A.N., 2016. Nanoparticles. Preparation and Characterization. Momentum Press, 72.
5. Bilgili, B., 2014. Gümüş Nanopartiküllerin (AgNP) Sentezi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Kimya Anabilim Dalı, Muğla, 58.
6. Sepeur, S., 2008. Nanotechnology Technical Basics and Applications: Vincentz Network GmbH, Co KG, Germany, 122.
7. Mittal, A.K., Chisti, Y., Banerjee, U.C., 2013. Synthesis of Metallic Nanoparticles Using Plant Extracts. Biotechnology Advances, 31, 346-356.
8. Dahl, J.A., Maddux, B.L., Hutchison, J.E., 2007. Toward Greener Nanosynthesis. Chemical Reviews, 107, 2228-2269.
9. Tuzcu, Ö., Yıldırım, B., 2000. Trabzon Hurması (*Diospyros kaki* L.) ve Yetiştiriciliği: TÜBİTAK Tarım Yayınları, Adana, 24.
10. Luo, Z., 2006. Extending Shelf-Life of Persimmon (*Diospyros kaki* L.) Fruit By Hot Air Treatment. European Food Research and Technology, 222, 149-154.
11. Matsumoto, T., Mochida, K., Itamura, H. Sakai, A., 2001. Cryopreservation of Persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) By Vitrification of Dormant Shoot Tips. Plant Cell Reports, 20, 398-402.
12. Türkay, F., 2010. Fındık Zurufu ve Arıtma Çamurunun Solucanlar ile Kompostlanması ve Elde Edilen Verim Kompostun Sera ve Tarla Koşullarında Toprakların Biyolojik Özelliklerinde Meydana Getirdiği Etkilerin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Ondokuzmayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Ana Bilim Dalı, 86.
13. Yaman, K., 2012. Bitkisel Atıkların Değerlendirilmesi ve Ekonomik Önemi: Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 12(2), 339-348.
14. Deveci, E.Ü., 2008. Portakal Atıklarından *Aspergillus niger* Filamentli Fungusu Kullanılarak Sitrik Asit Üretiminde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Mersin, 35.
15. Rao, G., Ashok. H., Rao. V, Chakra.S., Akshaykranth. A., 2000 Eco-Friendly Synthesis of MgO Nanoparticles From Orange Fruit Waste. International Journal of Applied Physics, 2(3):1-6.
16. Ortadoğulu, E., 2021. Yeşil Sentez ile Çinko Oksit ve Katkılı Çinko Magnezyum Oksit Nanopartiküllerin Sentezi Fotokatalitik ve Antibakteriyel Özelliklerin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 68.
17. Varghese. E., George. M., 2015. Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles. International Journal of Advance Research in Science and Engineering, 4(1), 307-314.
18. Yedurkar. S., Maurya. C., Mahanwar P., 2016. Biosynthesis of Zinc Oxide Nanoparticles using *Ixora Coccinea* Leaf Extract-A Green Approach. Journal of Synthesis Theory and Applications, 5(1), 1-14.
19. Aalami, A., Mesgari, M., Sahebkar, A., 2020. Synthesis and Characterization of Green Zinc Oxide Nanoparticles with Antiproliferative Effects Through Apoptosis Induction and MicroRNA Modulation in Breast Cancer Cells. Bioinorganic Chemistry and Applications, 5.
20. Kumar, P., Nene, A. G., Sood, S., Kaur, G., Punia, S., Kumar, M., Tuli, H.S., 2020. Synthesis and Evaluation of Antibacterial

- Activity of Zinc Oxide Nanoparticles. International Journal of Pharmaceutical Research, 12(1), 878-881.
21. Pai, S., Sridevi, H., Varadavenkatesan, T., Vinayagam, R., Selvaraj, R., 2019. Photocatalytic Zinc Oxide Nanoparticles Synthesis using Peltophorum Pterocarpum Leaf Extract and Their Characterization. Journal of Optic, 185, 248-255.
 22. Singh, A.K., Pal, P., Gupta, V., Yadav, T.P., Gupta, V., Singh, S.P., 2018. Green Synthesis, Characterization and Antimicrobial Activity of Zinc Oxide Quantum Dots using Eclipta Alba. Material. Chemistry and Physics, 203, 40-48.
 23. Rizvi, S.A., Saleh. M., 2018. Applications of Nanoparticle Systems in Drug Delivery Technology. Saudi Pharmaceutical Journal. 26(1), 64-70.

Investigation of Crash Performance of Multi-Cell Crash-Boxes

Mustafa CEYHAN¹ ORCID 0000-0001-5215-0383

Betül Sultan YILDIZ^{*2} ORCID 0000-0002-7493-2068

¹Bursa Uludag University, Engineering Faculty, Department of Automotive Engineering, Bursa, Türkiye

²Bursa Uludag University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Bursa, Türkiye

Geliş tarihi: 24.04.2023

Kabul tarihi: 31.07.2023

Atıf şekli/ How to cite: CEYHAN, M., YILDIZ, B.S., (2023). Investigation of Crash Performance of Multi-Cell Crash-Boxes. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(3), 613-621.

Abstract

Highway transportation is the most used type of transportation and logistics way of the 20th century. Today, the increasing need for transportation and logistics has caused a great interest in the number of vehicles in traffic. In this direction, automotive manufacturers continue their efforts to develop new designs and production methods in order to make vehicles safer, reduce the damage they cause to the environment, and increase their comfort. This article examines crash boxes within the scope of vehicle security systems. Multi-cell crash boxes, which are innovative crash box designs, are investigated for the effects of the cross-sectional area on energy dissipation performance. Within the scope of the study, four groups of crash boxes with circular, square, hexagonal, and octagonal outer sections with different inner and outer wall variations were designed. Then, the crash performances of the designed crash boxes were determined. As a result of the studies, the developed O6 model is the best crash performance as developed 23 model. The specific energy absorption(SEA) and energy absorption (EA)of the O6 model are 20.37 kJ/kg and 9.98 kJ respectively. The results of the O6 are the best value compared with the other 23 designs developed in this research.

Keywords: Crashworthiness, Multi-cell crash box, Thin-walled structures, Energy absorption

Çok Hücreli Çarpışma Kutularının Çarpışma Performansının İncelenmesi

Öz

Karayolu taşımacılığı 20. yüzyılın en çok kullanılan ulaşım ve lojistik yoludur. Günümüzde artan ulaşım ve lojistik ihtiyacı, trafikteki araç sayısında büyük bir artışa neden olmuştur. Bu doğrultuda otomotiv üreticileri, araçları daha güvenli hale getirmek, çevreye verdikleri zararı azaltmak ve konforlarını artırmak amacıyla yeni tasarım ve üretim yöntemleri geliştirmek için çalışmalarını sürdürmektedir. Bu makalede araç güvenlik sistemleri kapsamında yer alan çarpışma kutuları incelenmiştir. Yenilikçi çarpışma kutusu tasarımları olan çok hücreli çarpışma kutuları, kesit alanının enerji yayılım performansı üzerindeki etkileri açısından incelenmiştir. Çalışma kapsamında, farklı iç ve dış duvar varyasyonları ile dairesel, kare, altıgen ve sekizgen dış kesitli dört grup çarpışma kutusu tasarlanmıştır. Daha sonra tasarlanan çarpışma kutularının

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Betül Sultan YILDIZ, betulyildiz@uludag.edu.tr

çarpışma performansları belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonunda geliştirilen 24 farklı çarpışma kutusundan en iyi çarpışma performansına sahip yeni bir çok hücreli çarpışma kutusu geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda O6 modelinin 20.37 kJ/kg ile diğer 23 tasarımdan daha iyi spesifik enerji sönümleme değerine sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Çarpışma dayanımı, Çok hücreli çarpışma kutusu, İnce cidarlı yapılar, Enerji emilimi

1. INTRODUCTION

Today, road transportation is preferred more than other types of transportation, and therefore the number of vehicles used is increasing daily. Due to the increase in the number of vehicles, traffic accidents are more common, and this causes many injuries and deaths. According to the Turkish Statistical Institute (TUIK) and the General Directorate of Security (EGM) data, there were 1.168.144 traffic accidents in Turkey in 2019, resulting in 5.473 deaths and 283.234 injuries. Due to the increase in traffic-related deaths and injuries, automotive designers give more importance and make efforts to develop new safety systems in vehicles and improve existing safety systems. These security systems can be examined under two headings active and passive security systems. Active safety systems are designed to prevent accidents before they happen. Passive safety systems aim to reduce the effects of accidents on human health and to minimize the material damage that may occur when active safety systems are insufficient to prevent accidents. In this study, crash boxes under the heading of passive safety systems will be examined. The positions of the crash boxes on the vehicle are shown in Figure 1.

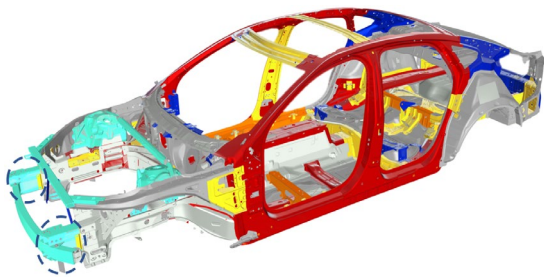


Figure 1. Positions of the energy absorbers

Recent research in the development of shock-absorbing structures is more about multicellular thin-walled tubes. Ahmad and Thambiratnam

examined the effects of the geometry and loading angles of the tubes on the behavior of these structures in their study, in which they examined the energy absorption ability of conical tubes. According to their results, adding foam filling to the structures increased energy absorption by stabilizing the crushing process [1]. Mehdi et. al. applied crush tests to square and rectangular hollow and polyurethane foam-filled pipes to develop analytical formulas to be used to predict folding load and examined the interactions between model walls and polyurethane foam [2]. Meran investigated the crash resistance of thin-walled pipes by designing them in different geometric sections and examined the effects of the section geometry of these structures on the crash resistance parameters [3]. Eyvazyan et. al. examined the square-shaped pipes with vertical grooves in the axial loading condition [4]. They concluded that the vertical wave height affects the maximum load. Taghipoor et. al. examined the crash resistance properties of different crash boxes at low-speed loading [5]. Then, they continued their experiments by creating deformations on the model surfaces to reduce the models' weight and the maximum crushing force. They observed that the square-shaped tube filled with aluminum foam showed better crash resistance performance in different configurations. Alavi Nia et. al. and Vimal et. al. examined multi-cell crash boxes of different cross-sections in their study [6,7]. They concluded that hexagonal and octagonal multi-cell crash boxes had better crash resistance performance than square-shaped multi-cell crash boxes. Xu et al. investigated the factors affecting the energy absorption parameters with the crash strength analysis they conducted on hexagonal pipes with a hierarchical structure [8]. In general, it has been examined multi-cell tubes [9]. El-Hage et. al. studied the load-displacement properties of square aluminum tubes subjected to quasi-static axial crushing and the effects of the trigger mechanism on the folding

pattern [10]. They preferred chamfering, drilling triangular holes, creating geometric imperfections in the model, and combining these as the triggering mechanism. The study showed that the trigger mechanism could significantly control the maximum crush force but did not cause significant effects on the average crush force. Alkhatib et. al., in their study examining the impact of corrugation on the crash resistance behavior of corrugated conical pipes, concluded that reducing the maximum crushing force during the crushing of corrugations is possible with corrugations with long wavelengths [11]. Arnold et. al. studied the crash resistance in the presence of circular discontinuities in pipes and concluded that an increase in hole diameter could reduce the maximum crushing force but can cause cracks in the pipe walls during axial crushing if the hole diameter is larger than 32 mm. [12]. Bodlani et. al., in their study examining the effect of circular perforated pipes on crash resistance under axial loading, concluded that drilling holes in the side walls of shock absorbers could reduce the maximum pick force but found that if the number of holes exceeded two, the maximum pick force did not decrease reasonably [13,14].

Marzbanrad et. al. investigated the crash performance of a circular pipe [15]. Yamashita et. al. examined hollow cylindrical pipes in different polygonal sections and showed that the increase in the number of corners in the sections increases the breaking strength, while it almost maximizes it beyond the 11 corners [16]. Yang et. al. examined the design optimization of multi-cell crash boxes and proposed three models with origami patterns to reduce the maximum pick force and increase the average pick force [17]. According to the results they obtained, it was seen that the five-cell origami crash boxes met the intended values. Bigdeli et. al. used DoE and multi-lens particle swarm optimization (MOPSO) algorithm for the optimization of multi-cell crash boxes [18].

Albak has worked on twenty-four different models and modeled the inner wall and connection walls to be shorter than the length of the outer wall in the round, square, and hexagonal cross-section multi-cell crash boxes he designed [19]. Li et. al. proposed a new design method combining multi-slot and

multi-cell configurations and designed multi-cell shock absorbers with triangular, circular, and square flutes [20]. Based on the results, they determined that the three-row and three-cell model was the best model. They stated that due to the multi-objective optimization study on the best model, the specific energy absorption value increased by 2.39%, and the crush force efficiency increased by 7.69%. The study confirms that multi-groove and multi-cell energy absorber designs positively affect energy absorption parameters and can be used in the automotive industry. Ma et. al. propose a multi-cell corrugated energy absorber model inspired by nature [21]. The model includes two parts, the first part is a skeleton structure located inside, and the second part is a corrugated tube into which the skeleton structure is placed. Kim modeled multi-cell crash boxes with square sections and trigger mechanisms at each corner [22]. It was observed that these models performed much better than flat rectangular crash boxes regarding the amount of energy dissipated and specific energy absorption. It was made optimization studies to maximize the specific energy absorption and addressed this process's gradual folding problem. As a result, it has been shown that multi-cell crash boxes are more advantageous than traditional single-cell energy absorbers. Sun et. al. aim to examine the effects of axial configurations of multi-cell crash boxes as hollow and foam-filled on the energy absorption parameters and optimize wall thickness and foam density [23]. As a result of the study, it was seen that the model with five cells and four cells at the corners filled with foam had the best values when compared to other topological configurations. Finally, optimization studies were carried out on the five-cell model with four foam-filled cells in the corners, keeping the wall thickness and foam density parameters variable. The specific energy absorption value of the new model designed as a result of the optimization study is 6.15% higher than the model designed before the optimization. Gao et al. proposed a foam-filled shock absorber model with an elliptical cross-section and compared this model with foam-filled crash boxes by applying different load directions [24]. Their analysis concluded that the foam-filled tube gave better results in different load directions. In the

continuation of the study, the experimental design method was preferred to examine the radial ratio, wall thickness, and foam density values. Finally, optimization studies were carried out to maximize the specific energy absorption value and minimize the maximum crushing force under different load directions with the NSGA-II method. After the optimization studies, it was observed that the specific energy absorption value of the optimized foam-filled ellipse-section energy absorber was increased by 35%, and the maximum crushing force value decreased by 20% compared to the model before the optimization. Albak worked on multi-cell, polygonal, and vertex-coupled energy absorbers [25]. In his study, he examined the energy absorption parameters of twenty-one different crash boxes containing these three configurations under axial and angular loads.

2. ANALYSIS OF THE MULTI-CELL CRASH BOXES

Within the scope of the study, crash box models with 24 different cross-section geometries were created, and the crash strength parameters of these models were examined. The developed models were examined in four primary categories: circle, square, hexagonal, and octagonal cross-sectional, according to the outer wall section geometries. The cross-sectional configurations of models are shown in Figure 2.

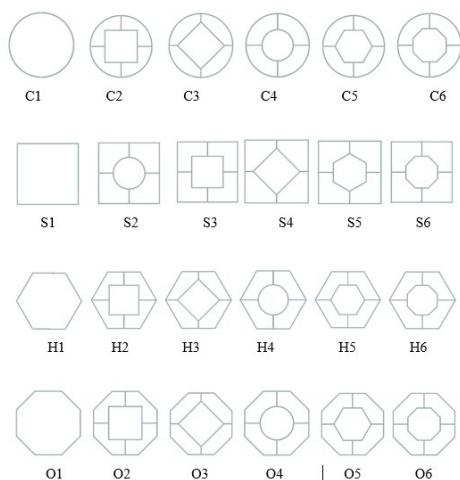


Figure 2. Cross-sectional configurations of models

Various parameters are mentioned in the literature to examine the performance of energy absorbers. In this study, the performance of crash boxes was investigated by examining parameters such as energy absorption (EA), specific energy absorption (SEA), peak crushing force (PCF), average crushing force (MCF), and crushing force efficiency (CFE).

Specific energy absorption can be calculated from Equation 1 [26].

$$SEA = \frac{EA}{m} \tag{1}$$

Where EA represents the energy absorption and m represents the total mass of the energy absorber.

The ratio of the absorbed energy to the total crushing length in the axial direction is expressed as the average crushing force. The mean crushing force is obtained using Equation 2 [27].

$$MCF = \frac{EA}{d} \tag{2}$$

Here, given by EA is the energy absorption, and d is the total length of the energy absorber.

Peak crushing force (PCF) is the name given to the highest value force that occurs due to the axial loads on the crash absorber at the time of the crash. It is calculated by Equation 3 [28].

$$PCF = \max[F(x)] \tag{3}$$

It is a value that automotive designers want to keep at low values, as the peak crushing force can cause the crash absorber to transmit the axial force directly to the other components of the vehicle without functioning.

The crush force efficiency (CFE) is expressed as the ratio of the average crush force to the maximum crush force and is calculated by Equation 4.

$$CFE = \frac{MCF}{PCF} \tag{4}$$

A high value of crush force efficiency in an energy absorber design does not indicate that the amount of

absorbed energy will be high under all conditions. The desired feature of crash boxes is to have a high average crushing force and a low maximum crushing force value.

The material of the crash boxes was determined as Al 6063-T5 by using the studies on this subject in the literature. Wu et al. (2016) tested the Al 6063-T5 specimen in MTS 322 material testing device according to ASTM E8M-04 standard in their study and reached the material's stress-strain curve. The stress-strain curve is given in Figure 3. The poison ratio, density, elastic modulus, initial yield stress, and final stress values of the material are given in Table 1.

Table 1. The material properties of Al 6063-T5 [34]

Material	AA6063-T5
Density [g/cm³]	2.70
Elastic Modulus [GPa]	68.2
Poisson's Ratio	0.3
Initial Yield Stress [MPa]	180
Ultimate Stress [MPa]	206

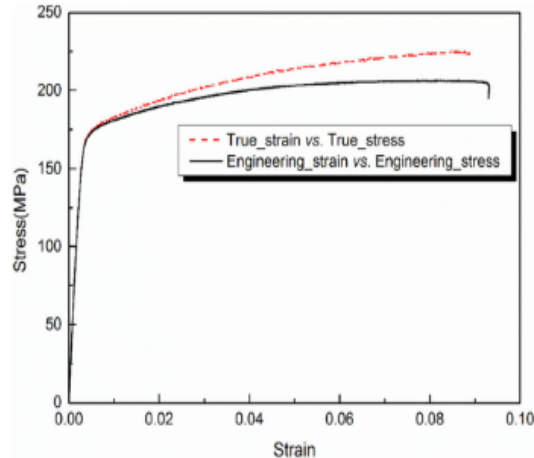


Figure 3. The stress-strain graph of Al 6063-T5 [29]

2.1. Analysis Method

In the study, non-linear explicit analyzes of crash boxes were made. The formulation type of the models was defined as 'QEPH Shell Formulation' in the software library. In the finite element structure, quad elements are used.

The integration number was determined as '5' along the thickness and was modeled to 1.5 mm thickness by using 2mmx2mm surface elements. The length of the crash boxes used in this paper is 200 mm, and the diameter is 98.5 mm. 24 crash boxes developed in this paper have the same length and diameter as given in Figure 4. The speed of the rigid wall is defined as 10 m/s, and its mass is defined as 263 kg, as shown in Figure 4. The "Type7" contact card has been used for contact situations of crash boxes and rigid walls. The research studies in the literature were considered to determine the speed and weight of the rigid wall [8,28].

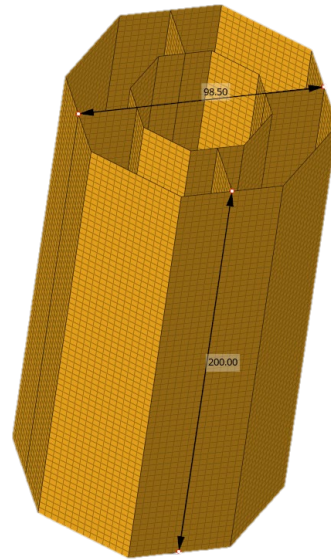


Figure 4. Dimension of the O6 crash boxes

In order to prove the accuracy of the analysis, we considered Wu et. al. [29]. They developed the crash boxes and performed physical crash tests and compared the results, and confirmed the analysis studies. Based on the test study performed in this study, the physical test was modeled and solved in the analysis software.

Wu et. al. [29] determined the amount of energy absorbed as 9.55 kJ in their second physical test study with the C5 design. Analysis results in this study were compared, and it was observed that the results were close to each other. The amount of absorbed energy obtained in the verification study

carried out within the scope of this study is 9.75 kJ. The comparison of the verification

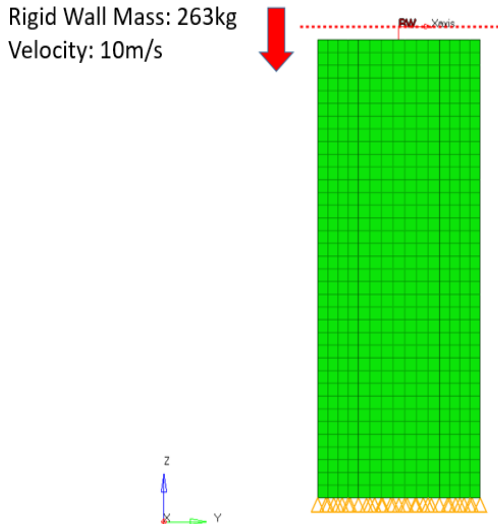


Figure 5. Symbolic representation of the FEA model

Table 2. Comparison of FE analysis and physical test results

	MCF [kN]	PCF [kN]	CFE	SEA [kJ/kg]	EA [kJ]
C5 Model Psychical Test 2	79.64	181.99	0.44	22.98	9.55
Validation Analysis	81.25	137.52	0.59	25	9.75
Failure Rate [%]	-2.02	24.41	-34.97	-8.79	-2.09

Work performed with the physical test and the energy dissipation parameters values are shown in Table 2.

As seen in Table 2, there are differences in the PCF parameter between the analysis and physical test results. The reason for this difference is that the initiators modeled to keep the starting point of the buckling under control in the analysis model. In Figure 6, the crash behavior of the energy absorber in the finite element analysis results and the crash behaviour in the test results in the literature study are shown. The analysis results and the test results confirm each other.

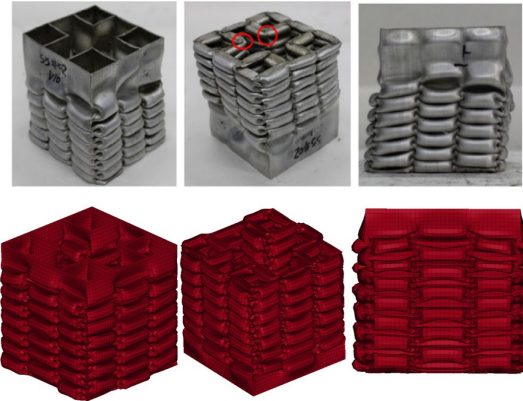


Figure 6. The comparison of FE analysis and test results

The analysis results of the models with circular, square, hexagonal, and octagonal sections on the outer wall are shown in Table 3. It is concluded that all multi-cell crash box models with an inner wall and connecting walls outperform single-cell models. When comparing the analysis results, the best models of all groups were compared. When the graph shown in Figure 7 is examined, the maximum crushing force values of the S6 and H6 models are at higher levels than other models. When the performance parameters in Table 3 and the crash force-displacement graph in Figure 7 are examined, it is seen that the model with the highest amount of absorbed energy is the O6 model. The absorbed energy amounts of other models are also exceptionally high. However, the crush force efficiencies are lower than the O6 model due to the high crushing force level.

At the same time, the mass of the S6 model is more than other models, which is a significant disadvantage for this model. It can be said that the O6 model is the most efficient. The crash behavior of this model is shown in Figure 8. It is seen that the multi-cell energy absorbers are more efficient than the classical single-cell energy absorber models, regardless of the cross-section geometry. In all four groups investigated throughout this research, the models with an octagonal inner wall were selected as the best models. Based on this, it can be concluded that crash boxes with octagonal inner wall geometry are more efficient than crash boxes with circular, square, and hexagonal inner walls.

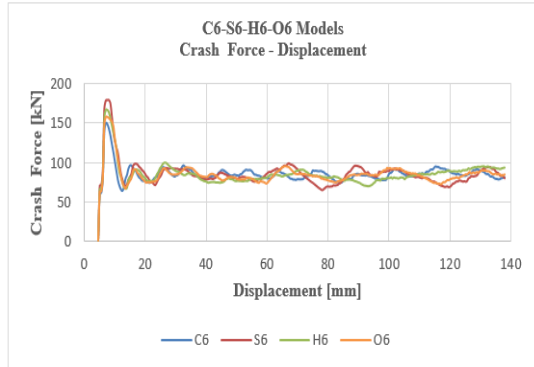


Figure 7. Crash force - displacement of C6-S6-H6-O6 models

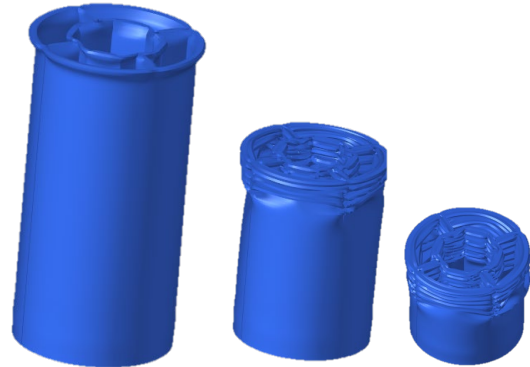


Figure 8. The crash behavior of the O6 model

Table 3. Performance parameters of energy absorbers

	Model Name	Mass [kg]	MCF [kN]	PCF [kN]	CFE	% CFE Gain	SEA [kJ/kg]	% SEA Gain	EA [kJ]
Circular Models	C1	0.25	28.44	77.4	0.37	-15.02	15.36	-12.17	3.84
	C2	0.49	69.19	160.6	0.43	-1.24	19.06	8.98	9.34
	C3	0.46	70.33	150.04	0.47	7.94	18.35	4.92	8.44
	C4	0.55	75.92	147.33	0.52	19.43	16.56	-5.31	9.11
	C5	0.46	76.75	150.87	0.51	17.13	20.02	14.47	9.21
	C6	0.47	79.08	150.47	0.53	21.72	20.19	15.44	9.49
Square Models	S1	0.39	23.63	107.09	0.22	-49.47	8.18	-53.23	3.19
	S2	0.53	78.17	176.13	0.44	1.05	17.7	1.21	9.38
	S3	0.56	78.75	189.07	0.42	-3.54	16.88	-3.48	9.45
	S4	0.52	70.92	176	0.4	-8.13	16.37	-6.40	8.51
	S5	0.53	78.83	178.74	0.44	1.05	17.85	2.06	9.46
	S6	0.52	78.75	178.64	0.44	1.05	18.17	3.89	9.45
Hexagon Models	H1	0.28	28	91.84	0.3	-31.10	13.5	-22.81	3.78
	H2	0.53	69.04	177.33	0.39	-10.43	17.58	0.52	9.32
	H3	0.49	70.42	165.34	0.43	-1.24	17.24	-1.42	8.45
	H4	0.52	71.58	176	0.41	-5.84	17.62	0.75	8.59
	H5	0.5	75.75	167.63	0.45	3.35	18.18	3.95	9.09
	H6	0.5	79	167.49	0.47	7.94	18.9600	8.41	9.48
Octogon Models	O1	0.26	28	86.66	0.32	-26.51	14.54	-16.86	3.78
	O2	0.51	80	168.19	0.48	10.24	18.82	7.61	9.6
	O3	0.47	73.42	175.11	0.47	7.94	18.74	7.15	8.81
	O4	0.47	79.17	156.23	0.51	17.13	20.21	15.56	9.5
	O5	0.49	78.75	158.32	0.5	14.83	19.29	10.30	9.45
	O6	0.49	83.17	158.32	0.53	21.72	20.37	16.47	9.98

3. CONCLUSION

In this paper, the crash performance of 24 different multi-cell crash boxes is investigated. For this aim, firstly, the C5 model taken from the literature is investigated. After correcting the C5 model with

experimental results, we have developed 23 different multi-cell crash box designs, which have different cross-sections. We investigated the crash performance of the mentioned models considering mass, the amount of energy absorption, and specific energy absorption values. The results given in Table 3 show that the O6 model has the best performance

with 20.37 kJ/kg specific energy absorption and 9.98 kJ energy absorption. We concluded that multi-cell crash boxes are better than single-cell crash boxes, and the cross-section of the multi-cell crash boxes is important to improve the performance of the crash boxes. As future work, optimization of the multi-cell crash boxes can be made.

4. REFERENCES

1. Ahmad, Z., Thambiratnam, D.P., 2009. Dynamic Computer Simulation and Energy Absorption of Foam-Filled Conical Tubes Under Axial Impact Loading. *Computers and Structures*, 87(3-4), 186-197.
2. Mahdi Abedi, M., Niknejad, A., Hossein Liaghat, G., Zamani Nejad, M., 2012. Theoretical and Experimental Study on Empty and Foam-Filled Columns with Square and Rectangular Cross Section Under Axial Compression. *International Journal of Mechanical Sciences*, 65(1), 134-146.
3. Meran, A.P., 2016. Solidity Effect on Crashworthiness Characteristics of Thin-Walled Tubes Having Various Cross-Sectional Shapes. *International Journal of Crashworthiness*, 21(2), 135-147.
4. Eyvazian, A., Eltai, E., Musharavati, F., Taghipoor, H., Sebaey, T.A., Talebizadehsardari, P., 2020. Experimental and Numerical Investigations on Axial Crushing of Square Cross-Sections Tube with Vertical Wave. *Steel and Composite Structures*, 36(2), 119-141.
5. Taghipoor, H., Eyvazian, A., Ghiaskar, A., Praveen Kumar, A., Hamouda, A. M., Gobbi, M., 2020. Experimental Investigation of the Thin-Walled Energy Absorbers with Different Sections Including Surface Imperfections Under Low-Speed Impact Test. *Materials Today: Proceedings*, 27(2), 1498-1504.
6. Alavi Nia, A., Parsapour, M., 2014. Comparative Analysis of Energy Absorption Capacity of Simple and Multi-Cell Thin-Walled Tubes with Triangular, Square, Hexagonal and Octagonal Sections. *Thin-Walled Structures*, 74, 155-165.
7. Vimal Kannan, I., Rajkumar, R., 2020. Crashworthiness and Comparative Analysis of Polygonal Single and Bi-Tubular Structures Under Axial Loading-Experiments and FE Modelling. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 81-94.
8. Xu, X., Zhang, Y., Wang, J., Jiang, F., Wang, C. H., 2018. Crashworthiness Design of Novel Hierarchical Hexagonal Columns. *Composite Structures*, 194(March), 36-48.
9. Chen, W., Wierzbicki, T., 2001. Relative Merits of Single-Cell, Multi-Cell and Foam-Filled Thin-Walled Structures in Energy Absorption. *Thin-Walled Structures*, 39(4), 287-306.
10. El-Hage, H., Mallick, P. K., Zamani, N., 2005. A Numerical Study on the Quasi-Static Axial Crush Characteristics of Square Aluminum Tubes with Chamfering and Other Triggering Mechanisms. *International Journal of Crashworthiness*, 10(2), 183-196.
11. Alkhatib, S.E., Tarlochan, F., Hashem, A., Sassi, S., 2018. Collapse Behavior of Thin-Walled Corrugated Tapered Tubes Under Oblique Impact. *Thin-Walled Structures*, 122, 510-528.
12. Arnold, B., Altenhof, W., 2004. Experimental Observations on the Crush Characteristics of AA6061 T4 and T6 Structural Square Tubes with and Without Circular Discontinuities. *International Journal of Crashworthiness*, 9(1), 73-87.
13. Bodlani, S.B., Yuen, S.C.K., Nurick, G.N., 2009. The Energy Absorption Characteristics of Square Mild Steel Tubes with Multiple Induced Circular Hole Discontinuities-Part I: Experiments. *Journal of Applied Mechanics*, 76(1), 1-11.
14. Bodlani, S.B., Yuen, S.C.K., Nurick, G.N., 2014. The Energy Absorption Characteristics of Square Mild Steel Tubes with Multiple Induced Circular Hole Discontinuities-Part II. *Journal of Applied Mechanics*, 76, 1-10.
15. Marzbanrad, J., Abdollahpoor, A., Mashadi, B., 2009. Effects of the Triggering of Circular Aluminium Tubes on Crashworthiness. *International Journal of Crashworthiness*, 14(6), 591-599.
16. Yamashita, M., Gotoh, M., Sawairi, Y., 2003. Axial Crush of Hollow Cylindrical Structures with Various Polygonal Cross-Sections: Numerical Simulation and Experiment, *Journal*

- of Materials Processing Technology, 140(1-3 SPEC.), 59-64.
17. Yang, K., Xu, S., Zhou, S., Xie, Y.M., 2018. Multi-Objective Optimization of Multi-Cell Tubes with Origami Patterns for Energy Absorption. *Thin-Walled Structures*, 123, 100-113.
 18. Bigdeli, A., Nouri, M.D., 2019. A Crushing Analysis and Multi-Objective Optimization of Thin-Walled Five-Cell Structures. *Thin-Walled Structures*, 137, 1-18.
 19. Albak, E.I., 2020. Multi-Objective Crashworthiness Optimization of Thin-Walled Multi-Cell Tubes with Different Wall Lengths, *International Journal of Crashworthiness*, 8265.
 20. Li, Z., Ma, W., Yao, S., Xu, P., 2021. Crashworthiness Performance of Corrugation-Reinforced Multicell Tubular Structures, *International Journal of Mechanical Sciences*, 190, 106038.
 21. Ma, W., Li, Z., Xie, S., 2020. Crashworthiness Analysis of Thin-Walled Bio-Inspired Multi-Cell Corrugated Tubes Under Quasi-Static Axial Loading, *Engineering Structures*, 204, 110069.
 22. Kim, H.S., 2002. New Extruded Multi-Cell Aluminium Profile for Maximum Crash Energy Absorption and Weight Efficiency. *Thin-Walled Structures*, 40(4), 311-327.
 23. Sun, G., Liu, T., Huang, X., Zhen, G., Li, Q., 2018. Topological Configuration Analysis and Design for Foam Filled Multi-Cell Tubes. *Engineering Structures*, 155, 235-250.
 24. Gao, Q., Wang, L., Wang, Y., Wang, C., 2016. Thin-Walled Structures Crushing Analysis and Multiobjective Crashworthiness Optimization of Foam-Filled Ellipse Tubes Under Oblique Impact Loading. *Thin Walled Structures*, 100, 105-112.
 25. Albak, E.İ., 2021. Crashworthiness Design for Multi-Cell Circumferentially Corrugated Thin-Walled Tubes with Sub-Sections Under Multiple Loading Conditions. *Thin-Walled Structures*, 164, 107886.
 26. Tancogne-Dejean, T., Spierings, A.B., Mohr, D., 2016. Additively-Manufactured Metallic Micro-Lattice Materials for High Specific Energy Absorption Under Static and Dynamic Loading. *Acta Materialia*, 116, 14-28.
 27. Song, J., Chen, Y., Lu, G., 2012. Axial Crushing of Thin-Walled Structures with Origami Patterns, *Thin-Walled Structures*, 54, 65-71.
 28. Li, Z., Ma, W., Xu, P., Yao, S., 2019. Crushing Behavior of Circumferentially Corrugated Square Tube with Different Cross Inner Ribs. *Thin-Walled Structures*, 144, 106370.
 29. Wu, S., Zheng, G., Sun, G., Liu, Q., Li, G., Li, Q., 2016. On Design of Multi-Cell Thin-Wall Structures for Crashworthiness. *International Journal of Impact Engineering*, 88, 102-117.

Sera Tipi Bir Kurutucunun Tasarımı, İmalatı ve İlk Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Doğan Burak SAYDAM^{1,2} ORCID 0000-0001-8453-2917

Kamil Neyfel ÇERÇİ³ ORCID 0000-0002-3126-707X

Ertaç HÜRDOĞAN^{*1,2} ORCID 0000-0003-1054-9964

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Enerji Eğitim-Etüt Uygulama ve Araştırma Merkezi, Osmaniye

³Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus

Geliş tarihi: 27.03.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: SAYDAM, D.B., ÇERÇİ, K.N., HÜRDOĞAN, E., (2023). Sera Tipi Bir Kurutucunun Tasarımı, İmalatı ve İlk Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 623-632.

Öz

Gıda kurutma, ürünlerden güvenli bir sınıra kadar nem alma işlemi olarak tanımlanmakta ve çok uzun yıllardan beri farklı yöntemler ile gerçekleştirilebilmektedir. En yaygın kullanılan açık sergi yönteminin (direk güneş altına serilerek) yanı sıra vakum kurutma, dondurarak kurutma, sera tipi kurutucu, mikrodalga kurutucu vb. gibi farklı yöntem ve teknolojileri içeren kurutucular da gıda kurutulması için kullanılabilir. Bu çalışmada, zorlanmış taşınımı tünel tipi bir sera kurutucu ve iç bölmelere ayrılmış havalı bir güneş kolektöre sahip hibrit bir kurutucu tasarlanarak imal edilmiş ve ilk ölçümlerin değerlendirilebilmesi amacıyla Osmaniye iklim şartlarında bir gün boyunca üzüm kurutma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sistemde hava hızı, sıcaklık, nem, ışınım ve ürün ağırlığı gibi farklı parametreler ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Çalışma sonunda, tasarlanıp kurulan sera tipi kurutma sisteminin sorunsuz bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Sistemde yer alan farklı noktalardaki sıcaklık ve nem değerlerinin güneş ışınımına bağlı olarak deney süresince değişim gösterdiği, kolektör çıkışında yaklaşık 60 °C kurutma havası sıcaklığı elde edilebildiği ayrıca kurutulan üzümlerin toplam ağırlığından yaklaşık 200 g kaybetmiş olduğu tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirmelerden, tasarlanan sera tipi kurutucunun gıda kurutma uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, Sera tipi kurutucu, Havalı güneş kolektörü, Osmaniye

Design, Manufacturing and Evaluation of First Measurement Results of a Greenhouse Type Dryer

Abstract

Food drying is defined as the dehumidification process from products to a safe limit and has been carried out with different methods for many years. In addition to the most widely used open sun method (under the

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Ertaç HÜRDOĞAN, ehurdogan@osmaniye.edu.tr

direct sun), dryers with different method and technologies such as vacuum drying, freeze drying, greenhouse type dryer, microwave dryer, etc.) can be used for food drying. In this study, a hybrid dryer, which have an internally divided air solar collector to a forced convection and tunnel type greenhouse dryer, was designed and manufactured. To evaluate the first measurements in the study, grape drying experiments were carried out for one day in Osmaniye climatic conditions. Different parameters, such as air velocity, temperature, humidity, radiation, and product weight, were measured and recorded in the system. At the end of the study, it was seen that the greenhouse type drying system works without any problems. It has been determined that the temperature and humidity values at different points in the system vary during the experiment depending on solar radiation and can obtain a drying air temperature of about 60 °C at the collector outlet. In addition, it was determined that the dried grapes lost about 200 g of their total weight. It has been seen from the evaluations that the designed greenhouse type dryer can be used effectively in food drying applications.

Keywords: Dryer, Greenhouse type dryer, Solar air collector, Osmaniye

1. GİRİŞ

Kurutma, mevsiminde tüketilemeyen meyve veya sebzelerin raf ömrünün uzatılması ve ürün kayıplarının önüne geçilebilmesi için yapılan bir ısı ve kütle transferi işlemidir. Kurutma, gıda üretim zincirinde önemli bir faaliyet alanıdır [1]. Kurutma işlemleri için birçok farklı yöntem mevcuttur. Ucuz, kolay ve kullanışlı olduğu için en yaygın olan yöntem, geleneksel açık güneş altında (açık sergi) kurutma yöntemidir [2]. Kuruma süresi, ürünün nem içeriğine, ısıya veya ışınımına maruz kalma süresine, ilk ürün yüküne ve meteorolojik koşullara bağlıdır [3]. Güneş altında direk kurutmada, girdiler (uzmanlık, maliyet vb.) daha düşük olsa da bu yöntemin kullanılmasıyla gıda ürünlerinin kalitesinde istenmeyen değişiklikler meydana gelebilmektedir. Açık sergi ile kurutma hava şartlarına bağlı olduğu için doğrudan güneş ışığından kaynaklanan aroma ve vitamin kaybı gibi farklı sorunlar meydana gelebilmektedir [4]. Bu sorunların önüne geçebilmek için araştırmacılar farklı yöntemler (katı sıvı yakıtlı kurutucular, elektrikli kurutucular, güneş enerjili kurutucular) ile ürünlerin kurutulmasını araştırmışlardır [5]. Bu yöntemler içerisinde güneş enerjili kurutucular çevreci, kurulum maliyetlerinin düşük olması ve kurutma sırasında ürünü yağmura, toza, böceklere ve hayvanlara karşı koruduğu için özellikle iyi güneş ışığı alan yerlerde tercih edilmektedir. Ürüne ısı enerjisi vererek ürünün kalitesini bozmadan üründen nem almak için tasarlanan güneş enerjili kurutucular, pasif (doğal taşınım) ve aktif

(zorlanmış taşınım) olmak üzere iki farklı çalışma şekline sahiptir [6-9].

Güneş enerjili kurutuculara gibi ışınım etkisiyle kurutmanın gerçekleştirilebileceği sera tipi kurutucular da ürün kalitesi, tat ve renk bakımından kurutma işlemlerinde farklı avantajlara sahiptir [5]. Sera teknolojisi, farklı iklim koşullarında mahsul yetiştirmek için uygun bir mikro iklim oluşturmak için gelişmiştir. Bir sera, kısa dalga boylu güneş radyasyonunu hapseden ve daha yüksek verimlilik ve uygun bir mikro iklim oluşturmak için uzun dalga boyu termal radyasyonunu depolayan kapalı bir yapıya sahiptir [10,11]. Seralar başlangıçta sadece tarım uygulamalarında bitki yetiştiriciliği için kullanılırsalar da araştırmacılar seraların kurutma amacı ile de kullanılabilmesini tespit etmişlerdir [12]. Farklı iklim koşullarında seralar içerisinde hem bitki yetiştirilmesi hem de kurutma işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için yılın daha sıcak aylarında yüksek dış ortam sıcaklıklarına ihtiyaç vardır. Bu durum da seraları, tarım ürünlerinin kurutulması için yaz aylarında daha etkili bir hale getirmektedir [13]. Sera tipi kurutucuların kurutma verimliliğini artırmak için, güneş enerjisi destekli, biyokütle destekli veya katı yakıt destekli yardımcı sistemler kullanılabilir [14-18].

Literatürde farklı tipte ve özellikle tasarlanan sera tipi kurutucular ile ilgili birçok çalışma görmek mümkündür. Condori ve Saravia [19], tek ve çift hazneye sahip iki eşdeğer zorlanmış konveksiyonlu

sera tipi kurutucuda, buharlaşma hızının analitik bir çalışmasını yapmışlardır. Çalışma sonucunda araştırmacılar, kırmızı biber için, çift hazneli kurutucu kullanımının verimliliği neredeyse %90 oranında artırdığını göstermişlerdir. Kumar ve Tiwari [20], konvektif kütle transfer katsayısının farklı ağırlıktaki soğan dilimlerinin güneşte ve serada kurutulmasını incelemişlerdir. Yazarlar, sera içerisinde depolanmış enerji nedeniyle, serada kurutma durumunda nem buharlaşma oranının, güneşin kapalı olduğu saatlerde açık güneşte kurutmaya göre daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Chaun ve Kumar [21], doğal ve zorlanmış taşınımına sahip sera tipi bir kurutucuda ve açık sergi yöntemiyle bektaşi üzümünün (gooseberry) kurutulmasını incelemişlerdir. Yazarlar, pasif modda çalıştırılan sera tipi kurutucunun diğer kurutuculardan daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca yazarlar çalışmada, regresyon analizi için en iyi eğri yakınsamanın Prakash ve Kumar modellerinin kullanılması durumunda elde edileceğini göstermişlerdir. Janjai ve arkadaşları [22], büyük ölçekli parabolik bir serada farklı ürünlerin kurutulmasını incelemişlerdir. Kurutucunun deneysel performanslarını incelemek için yazarlar, sıcaklık, hava bağıl nem ve ürün nem içerikleri gibi farklı parametrelerin ölçümünü gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, kurutucuda farklı ürünler ısı ve nem transferini tanımlayan kısmi diferansiyel denklem geliştirmişler ve bu denklemi sonlu fark yöntemi kullanılarak çözümlenmişlerdir. Çalışma sonucunda yazarlar, elde edilen sonuçlar ile deneysel verilerin birbiri ile uyumlu olduğu göstermişlerdir.

Bu çalışmada, iç bölmelere ayrılmış havalı güneş kolektörü destekli tünel tipi bir sera kurutucu tasarlanmıştır. Literatür taramasında da görüldüğü gibi sera tipi ve güneş enerji destekli kurutucular ile ilgili literatürde farklı birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmada ise verimliliği artırılan bir havalı güneş kolektörü tünel tipi sera kurutucusuyla birleştirilmiştir. Bu sayede sera giriş sıcaklığının sera tipi kurutuculara göre daha yüksek sıcaklıklara ulaşması sağlanmıştır. Böylece arzu edilen kurutma havası sıcaklıklarının elde edilmesi planlanmıştır.

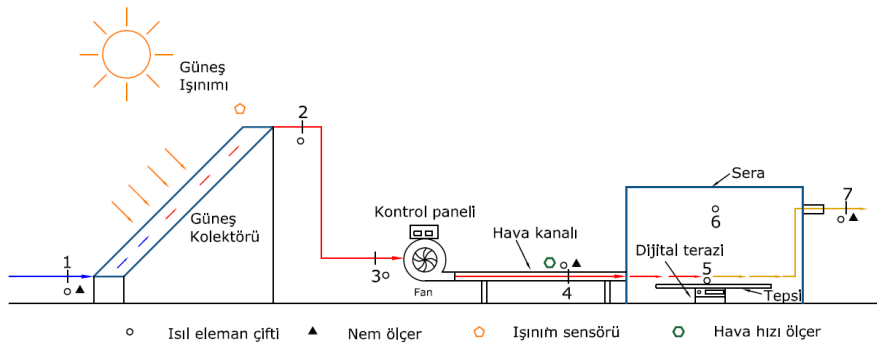
Çalışma kapsamında, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Atölyelerinde imalatı gerçekleştirilen sistemin, sorunsuz bir şekilde çalışıp çalışmadığı ayrıca ölçülen parametrelerin doğruluğu gerçekleştirilen testlerden elde edilen ilk ölçüm sonuçları kullanılarak değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

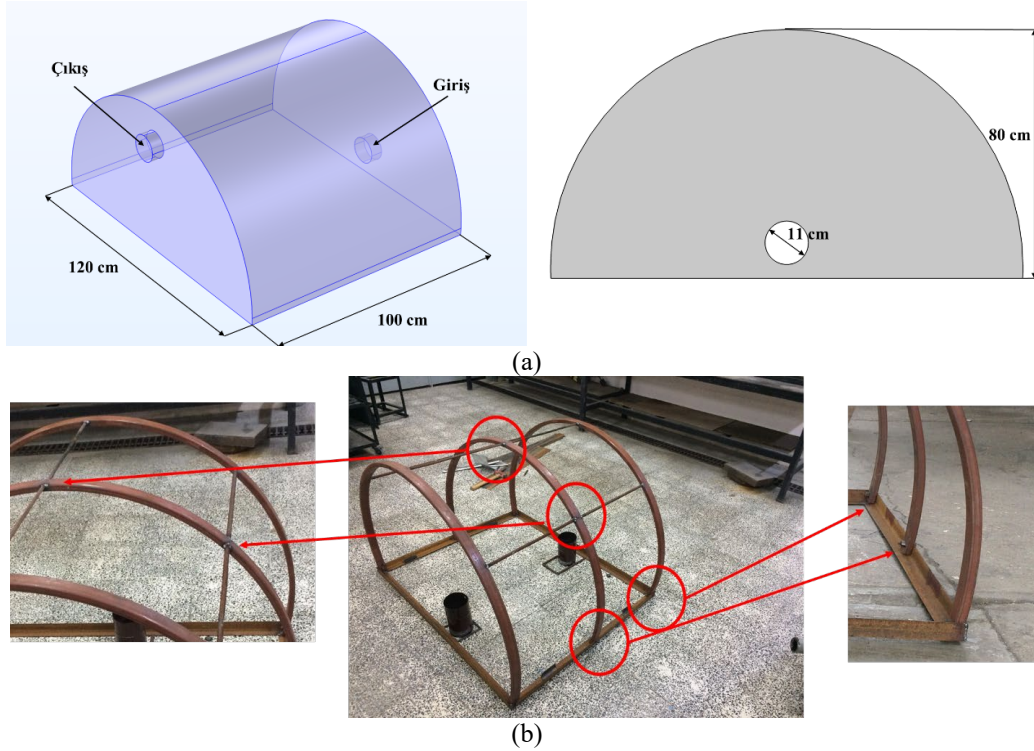
Şekil 1’de tasarlanan sistemin şematik resmi yer almaktadır. Şekilden görüldüğü gibi sistem, havalı güneş kolektörü [23] ve sera kısmı olarak iki bölümden oluşmakta ayrıca sistemde hava sirkülasyonu için bir fan yer almaktadır. Dış ortamdan fan vasıtasıyla alınan hava (1 noktası), kolektör içerisinden geçerken ısınmakta (2 noktası) ve seraya gönderilerek (4 noktası) sera içerisinde bulunan ürünler bünyesinde bulunan nemi kendi bünyesine alarak sistemden dışarıya (7 noktası) atılmaktadır. Şekil 2’de sistemdeki önemli elemanlardan biri olan seranın imalat aşamalarına ve tüm sisteme ait görseller verilmiştir. Sistemde yer alan sera öncelikle katı modelleme programları ile boyutlandırılarak modellenmiş (Şekil 2-a) ve sonrasında imalatına geçilmiştir. Metal profiller öncelikle bir profil makinasında bükme işlemine tabi tutulmuş sonrasında tabla içerisine yerleştirilerek her bir profilin üst bölgelerinden birbiri ile bağlantısı kaynak işlemiyle yapılmıştır. Profiller tabla içerisine taşıma kolaylığı ve kurulumda kolaylık sağlaması için somunlu vida ile sabitlenmiştir (Şekil 2-b). Sera giriş ve çıkış ağızları kolektörden çekilen havanın bir hava kanalı ile sera içerisine iletilmesinde kolaylık sağlaması açısından iki adet metal boru kullanılarak oluşturulmuş ve sera giriş ve çıkış noktalarına kaynaklanarak seranın iskelet yapısı tamamlanmıştır (Şekil 2-c). İskelet yapısı tamamlanan sera sonrasında örtü malzemesi ile kaplanmıştır (Şekil 2-d). Sera örtü malzemesi olarak Akdeniz bölgesi iklim şartları göz önüne alınarak 36 aylık 8mm polietilen sera naylonu kullanılmıştır. Metal profil üzerine sabitlenen örtü levhasının birleşim noktaları su ve güneş ışınımına karşı dirençli bir bant vasıtasıyla çevrilmiştir. Bu sayede sera içerisinde dış ortama olabilecek sızıntıların engellenmesi hedeflenmiştir.

Kolektörden çıkan sıcak hava, sera içerisine, ısı yalıtımlı esnek bir hava kanalı ve devir kontrol ünitesine sahip bir fan kullanılarak gönderilmektedir. Kolektörden çekilen hava sera içerisine gönderilmeden önce ısı yalıtımı uygulaması yapılan sabit bir hava kanalından geçmektedir. Burada sabit hava kanalı kullanılmasının temel nedeni doğru hız ölçümü yapabilmek amacıyla fan çıkışında havanın tam

gelişmiş bir akış rejimine sahip olmasını sağlamaktır. Hava kanalı üzerinde hız, sıcaklık ve nem ölçümleri yapılmaktadır. Ölçüm noktaları için hazırlanan ve sera tipi kurutucu içerisine konumlandırılacak olan ısıtım eleman çiftleri (sarı renkli) ve hassas terazi Şekil 2-e’de yer almaktadır. Tasarımı tamamlanıp kurulumu yapılan sera tipi kurutucu deney düzeneğinin son hali Şekil 2-f’de verilmiştir.



Şekil 1. Güneş enerji destekli sera tipi kurutma sisteminin şematik resmi





(c)



(d)



(e)



(f)

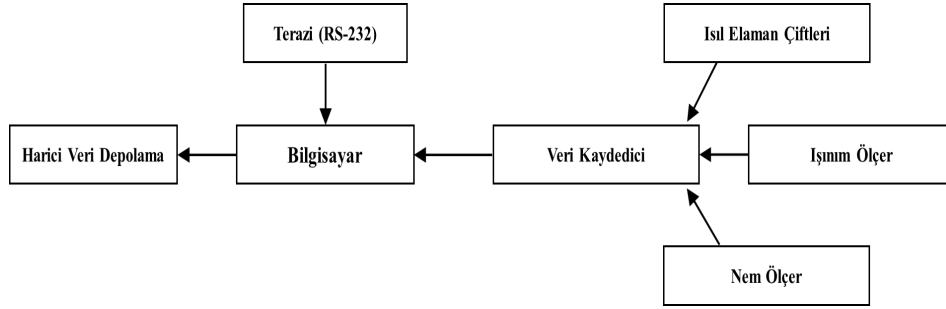
Şekil 2. Sera tipi kurutucunun imalat aşamalarına ait görseller

Tasarımı ve kurulumu yapılan sera tipi kurutucunun performansını ve kurutulacak ürünlerin kuruma karakteristiklerini belirleyebilmek amacıyla sistem üzerinde farklı noktalarda (Şekil 1) hız, sıcaklık, nem, ışınım ve ağırlık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sistemde, hava hızını belirlenmesinde TESTO 435 ($\pm 0,1$ m/s hassasiyet) hava hızı ölçüm cihazı, farklı noktalardan sıcaklık ölçümünün gerçekleştirilebilmesi için COLE PARMER ısı eleman çiftleri ($\pm 0,1$ °C hassasiyet),

yine sistem üzerinde farklı noktalarda havanın rölatif nemini ölçmek için EPLUSE nem ölçer (%2-3 hassasiyet), ışınımın ölçülmesi için FRONIUS marka ışınım ölçer (± 5 hassasiyet), kurutucu içerisinde ürünlerin anlık olarak ağırlık değişiminin izlenebilmesi için DİKOMSAN elektronik terazi (0,1 g hassasiyet) ve tüm bu verilerin ölçülerek kayıt altına alınıp kontrol bilgisayarına aktarılması için IOTECH PD3001 (16 bit) veri kaydedici kullanılmıştır. Sistemin enerji

tüketiminin belirlenebilmesi ve anlık olarak izlenebilmesi için $\pm 0,04\%$ hassasiyete sahip HIOKI enerji analizörü kullanılmıştır. Şebekeye doğrudan bağlanan enerji analizörü ile fanın anlık akım

gerilim değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerlerle de fanın güç tüketimi hesaplanmıştır. Şekil 3'te ölçüm sistemine ait donanım yapısının akış şeması yer almaktadır.



Şekil 3. Ölçüm sistemine ait donanım yapısının akış şeması

Kurutucu performansının değerlendirilmesinde kullanılan iki önemli performans göstergesi olan spesifik enerji tüketimi (SEC, kWsaat/kg) ve spesifik nem çekme oranı (SMER, kg/kWsaat) Eşitlik 1 ve Eşitlik 2'de verilmiştir [24,25].

$$SMER = \frac{\text{kurutma süresince uzaklaştırılan nem miktarı}}{\text{kurutma işlemi sırasında tüketilen enerji miktarı}} \quad (1)$$

$$SEC = \frac{\text{kurutma işlemi sırasında tüketilen enerji miktarı}}{\text{kurutma süresince uzaklaştırılan nem miktarı}} \quad (2)$$

Çizelge 1'de, hesaplanan SMER ve SEC değerleri için belirsizlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 1. SMER ve SEC için hesaplanan belirsizlikler (%)

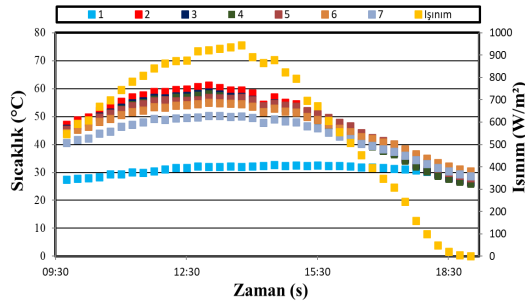
Parametre	Belirsizlik (%)
SMER	3,24
SEC	2,78

3. BULGULAR

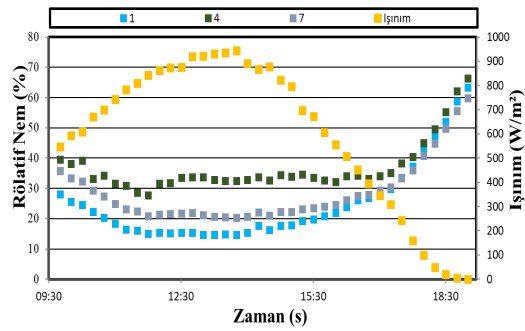
Bu çalışmada, güneş enerji destekli sera tipi bir kurutucu tasarımı ve imalatı yapılarak sistemin ilk ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan deneylerde, sistem üzerinde dış ortam sıcaklığı ve nemi, kurutma havası sıcaklığı ve nemi, ürün sıcaklıkları, sera içerisinde farklı noktalardaki sıcaklıklar ve ürün ağırlığı gibi parametrelerin değişimi anlık olarak gözlemlenmiştir. Deneylere

başlanmadan önce sistem çalıştırılarak denge haline gelmesi beklenmiş ve sonrasında veri kaydı alınmaya başlanmıştır. Her bir ölçüm noktasında anlık olarak kaydedilen verilerin on beş dakikalık ortalaması alınmış ve değişim grafikleri oluşturulmuştur. Tasarlanıp kurulan sistemin ilk testleri için üzüm kurutulacak ürün olarak belirlenmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5'te bir gün boyunca gerçekleştirilen deneylerle elde edilen ilk ölçüm sonuçları sunulmuştur. Şekil 4'te sistemde farklı noktalarda ölçülen sıcaklıkların ve güneş ışınımının zaman ile değişimi yer almaktadır. Şekilden, sistemde ölçülen sıcaklıkların ışınımına bağlı olarak gün içerisinde değişim gösterdiği ve kolektör girişi (dış ortam) sıcaklığının deney süresince yaklaşık 30 °C olduğu görülmektedir. Kolektöre dış ortamdan giren hava ışınımına bağlı olarak ısınmakta ve saat 13:00'da 61,09 °C ile maksimum değerine ulaşmaktadır. Seraya giren havanın sıcaklığı, ürün üzerindeki nemin alınmasından dolayı sera çıkışında düşmektedir. Şekilden ayrıca sera içerisindeki farklı noktalarda ölçülen sıcaklıklarda önemli bir değişim olmadığı görülmektedir. Şekil 5'te sistemde farklı noktalarda ölçülen rölatif nem ve güneş ışınımının zaman ile değişimi verilmiştir. Dış ortamdan çekilen havanın rölatif nemi, havanın kolektör içerisinden geçerken ısınmasından dolayı kolektör çıkışında düşmektedir. Kolektör çıkışında (sera girişi) ölçülen nem değerinin minimum %14,64'e kadar düştüğü görülmektedir. Şekilden

ayrıca seraya giren havanın, ürünler üzerindeki nemi absorbe etmesinden dolayı sera çıkışındaki rölatif nemin giriş havası nemine göre arttığı görülmektedir.



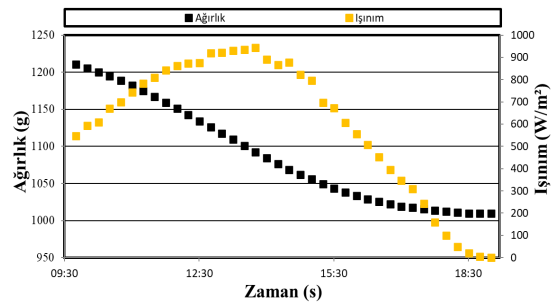
Şekil 4. Kolektör sıcaklık ve ışınım değerlerinin zaman ile değişimi



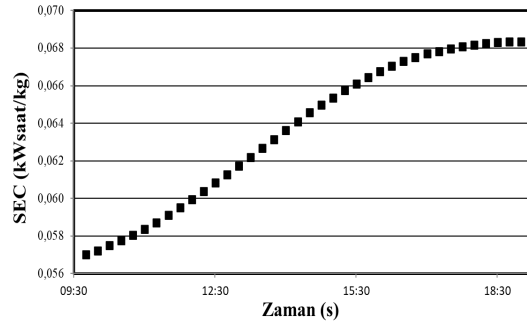
Şekil 5. Sera tipi kurutucu rölatif nem ve ışınım değerlerinin zaman ile değişimi

Şekil 6'de ürün ağırlığı ve ışınımın zaman ile değişimi yer almaktadır. Tepsi üzerine 1210,59 g olarak yerleştirilen üzümler yapılan bir günlük deney sonucunda toplam ağırlığından 192,36 g kaybederek 1018,23 g ağırlığa kadar düşmüştür. Şekil 7-a ve 7-b'de sırasıyla sera tipi kurutucu da kurutulan ürünlerin, SEC ve SMER değerlerinin zamanla değişimi yer almaktadır. Şekilden görüldüğü gibi gün içerisinde ürün üzerinden nemin uzaklaştırılması ile birlikte SEC değerinin zamanla arttığı, SMER değerinin ise tam tersi olarak zamanla azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi sisteme giren toplam enerji (tüketilen enerji) sabit kalırken üründen çekilen serbest haldeki su miktarının azalmasıdır. SEC değerinin deney süresince maksimum ve minimum değerleri sırasıyla 0,068 kWsaat/kg ve 0,057 kWsaat/kg

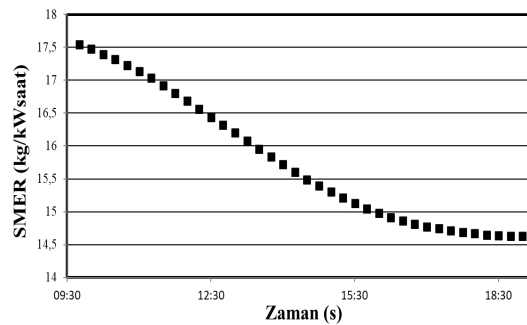
olarak hesaplanmıştır. Kurutma prosesi boyunca ortalama SEC ve SMER değeri sırasıyla 0,064 kWsaat/kg 15,537 kg/kWsaat'dır. Şekil 8'de çalışmada yapılan test kapsamında üzümlerin sera içerisine yerleştirildiği ilk ve son hallerinin gerçek görselleri yer almaktadır. Deney sonucunda üzümlerin içerisindeki nemin büyük bir kısmının tasarlanan sistem ile uzaklaştırılabildiği ayrıca ürünlerde renk kaybının oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 6. Ürün ağırlığı ve ışınım değerlerinin zaman ile değişimi



(a)



(b)

Şekil 7. Sera tipi kurutucuya ait (a) SEC ve (b) SMER değerinin zamana göre değişimi



(a)



(b)

Şekil 8. Sera tipi kurutucu içerisine yerleştirilen ürünlerin (a) ilk ve (b) son hallerinin gerçek görünüşü

Çalışma kapsamında tasarlanan güneş kolektörü destekli sera tipi kurutma sisteminin bir günlük ölçüm sonuçları incelenmiştir. Tasarlanan sistemde kurutma havası sıcaklığı için literatürdeki farklı kurutma sistemleri karşılaştırmalar yapılmıştır (Çizelge 2). Tasarlanan sistem ile literatürde elde edilen kurutma havası sıcaklıklarına yakın değerlerde kurutma havası sıcaklıkları elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu da çalışmada tasarlanan kurutma sisteminin ilk ölçüm sonuçlarının kabul edilebilirliğini göstermektedir.

Çizelge 2. Mevcut çalışmanın literatür ile kıyaslanması

Referans	Kurutma sistemi	Kurutma havası sıcaklığı
Bala ve arkadaşları [26]	Güneş enerjisi destekli tünel tip kurutucu	34.1-64 °C
Zomorodian ve arkadaşları [27]	Güneş enerjisi destekli kurutucu	55 °C
Janjai ve arkadaşları [28]	Güneş enerjisi destekli sera tipi kurutucu	31-58 °C
Rathore ve Panwar [29]	Tünel tipi kurutucu	55-70 °C
Mevcut çalışma	Güneş enerji destekli sera tipi kurutucu	24-59 °C

4. SONUÇ

Bu çalışmada iç bölmelere ayrılmış havalı güneş kolektörü destekli tünel tipi bir sera kurutucu tasarlanmış, imal edilmiş ve üzüm kurularak elde edilen ilk ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmanın odak noktası sistemin kurulumu ve ilk ölçümlerin gerçekleştirilmesi olmuştur. Çalışma sonucunda sistemdeki farklı noktalarda ölçülen sıcaklık ve rölatif nem değerlerinin gün içerisinde ışıma bağlı olarak değişim gösterdiği ayrıca kolektör çıkışında havanın yaklaşık 60°C sıcaklığa kadar ısınabileceği görülmüştür. Tepsi üzerine yerleştirilen üzümlerin yapılan bir günlük deney sonucunda toplam ağırlığından yaklaşık 200g kaybettiği tespit edilmiştir. Çalışmada ortalama SEC değeri 0,064 kWsaat/kg olarak, SMER değerinde ise 15,537 kg/kWsaat olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada deneysel kurulumu tamamlanan kurutma sisteminin çalışmasında ve deneysel verilerin elde edilmesinde herhangi bir problem ile karşılaşmadığı görülmüştür. Tasarlanan sera tipi kurutma sisteminin düşük ve orta sıcaklıkta kurutma havası gerektiren gıda ürünleri için daha uygun olduğu belirlenmiştir. Sistemdeki en büyük problemin kurutma sisteminin performansının güneşe bağlı olması sebebiyle özellikle uzun süre kurutulan ürünlere yönelik süreklilik sağlayamamasıdır. Gelecekteki çalışmalarda bu

eksikliğin giderilebilmesi amacıyla enerji depolama malzemelerinin veya PV panel/akü ekipmanlarının sisteme montajı gibi teknolojilerden faydalanılabilir ve sistemin sürekliliğini ne ölçüde geliştirdikleri gözlemlenebilir.

5. KAYNAKLAR

1. Boroze, T., Desmorieux, H., Méot, J.M., Marouzé, C., Azouma, Y., Napo, K., 2014. Inventory and Comparative Characteristics of Dryers Used in the Sub-Saharan Zone: Criteria Influencing Dryer Choice. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 1240-1259.
2. Adenitan, A.A., Awoyale, W., Akinwande, B.A., Busie, M.D., Michael, S., 2011. Mycotoxin Profiles of Solar Tent-Dried and Open Sun-Dried Plantain Chips. *Food Control*, 119, 107467.
3. Condori, M., Saravia, L., 2003. Analytical Model for the Performance of the Tunnel-Type Greenhouse Drier. *Renewable Energy*, 28(3), 467-485.
4. Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S., Madadlou, A., 2013. A Review on Exergy Analysis of Drying Processes and Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 1-22.
5. Sethi, V.P., Dhiman, M., 2020. Design, Space Optimization and Modelling of Solar-Cum-Biomass Hybrid Greenhouse Crop Dryer using Flue Gas Heat Transfer Pipe Network. *Solar Energy*, 206, 120-135.
6. El Hage, H., Herez, A., Ramadan, M., Bazzi, H., Khaled, M., 2018. An Investigation on Solar Drying: A Review with Economic and Environmental Assessment. *Energy*, 157, 815-829.
7. VijayaVenkataRaman, S., Iniyar, S., Goic, R., 2012. A Review of Solar Drying Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2652-2670.
8. ELkhadraoui, A., Kooli, S., Hamdi, I., Farhat, A., 2015. Experimental Investigation and Economic Evaluation of a New Mixed-Mode Solar Greenhouse Dryer for Drying of Red Pepper and Grape. *Renewable Energy*, 77, 1-8.
9. Tiwari, S., Tiwari, G.N., 2016. Exergoeconomic Analysis of Photovoltaic-Thermal (PVT) Mixed Mode Greenhouse Solar Dryer. *Energy*, 114, 155-164.
10. Jain, D., 2005. Modeling The Performance of Greenhouse with Packed Bed Thermal Storage on Crop Drying Application. *Journal of Food Engineering*, 71(2), 170-178.
11. Chauhan, P.S., Kumar, A., Gupta, B., 2017. A Review on Thermal Models for Greenhouse Dryers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 548-558.
12. Badaoui, O., Hanini, S., Djebli, A., Haddad, B., Benhamou, A., 2019. Experimental and Modelling Study of Tomato Pomace Waste Drying in a New Solar Greenhouse: Evaluation of New Drying Models. *Renewable Energy*, 133, 144-155.
13. Aymen, E.L., Hamdi, I., Kooli, S., Guizani, A., 2019. Drying of Red Pepper Slices in a Solar Greenhouse Dryer and Under Open Sun: Experimental and Mathematical Investigations. *Innovative Food Science&Emerging Technologies*, 52, 262-270.
14. Saini, V., Tiwari, S., Jain, V.K., Tiwari, G.N., 2020. Performance Evaluation of Different Types PV Materials for PVTAC with Solar Drying System. *Materials Today: Proceedings*, 25, 544-550.
15. Tiwari, S., Tiwari, G.N. 2016. Thermal Analysis of Photovoltaic-Thermal (PVT) Single Slope Roof Integrated Greenhouse Solar Dryer. *Solar Energy*, 138, 128-136.
16. Kiburi, F.G., Kanali, C.L., Kituu, G.M., Ajwang, P.O., Ronoh, E.K., 2020. Performance Evaluation and Economic Feasibility of a Solar-Biomass Hybrid Greenhouse Dryer for Drying Banana Slices. *Renewable Energy Focus*, 34, 60-68.
17. Udomkun, P., Romuli, S., Schock, S., Mahayothee, B., Sartas, M., Wossen, T., Njukwe, E., Vanlauwe, B., Müller, J., 2020. Review of Solar Dryers for Agricultural Products in Asia and Africa: An Innovation Landscape Approach. *Journal of Environmental Management*, 268, 110730.

18. Rizal, T.A., Muhammad, Z., 2018. Fabrication and Testing of Hybrid Solar-Biomass Dryer for Drying Fish. *Case Studies in Thermal Engineering*, 12, 489-496.
19. Condori, M., Saravia, L., 1998. The Performance of Forced Convection Greenhouse Driers. *Renewable Energy*, 13(4), 453-469.
20. Kumar, A., Tiwari, G.N. 2007. Effect of Mass on Convective Mass Transfer Coefficient During Open Sun and Greenhouse Drying of Onion Flakes. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1337-1350.
21. Chauhan, P.S., Kumar, A., 2018. Thermal Modeling and Drying Kinetics of Gooseberry Drying Inside North Wall Insulated Greenhouse Dryer. *Applied Thermal Engineering*, 130, 587-597.
22. Janjai, S., Intawee, P., Kaewkiew, J., Sritus, C., Khamvongsa, V., 2011. A Large-Scale Solar Greenhouse Dryer using Polycarbonate Cover: Modeling and Testing in a Tropical Environment of Lao People's Democratic Republic. *Renewable Energy*, 36(3), 1053-1062.
23. Saydam, D.B., Çerçi, K.N., Hürdoğan, E., Özalp, C., 2021. İç Bölmelere Sahip Havalı Bir Güneş Kolektörünün Deneysel Olarak İncelenmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 46-54, 184.
24. Jindarat, W., Rattanadecho, P., Vongpradubchai, S., 2011. Analysis of Energy Consumption in Microwave and Convective Drying Process of Multi-Layered Porous Material Inside a Rectangular Wave Guide. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35(4), 728-737.
25. Bergman, T.L., Lavine, A.S., Incropera, F.P., DeWitt, D.P. 2011. *Introduction to Heat Transfer*. John Wiley&Sons. USA, 122, 697-705.
26. Bala, B.K., Mondol, M.R.A., Biswas, B.K., Chowdury, B.L.D., Janjai, S., 2003. Solar Drying of Pineapple using Solar Tunnel Drier. *Renew Energy*, 28, 183-190.
27. Zomorodian A., Zare, D., Ghasemkhani, H., 2007. Optimization and Evaluation of a Semicontinuous Solar Dryer For Cereals (Rice, etc.). *Desalination*, 209, 129-135.
28. Janjai, S., Lamlert, N., Intawee, P., Mahayothee, B., Bala, B.K., Nagle, M., 2009. Experimental and Simulated Performance of a PV-Ventilated Solar Greenhouse Dryer for Drying of Peeled Longan and Banana. *Sol Energy*, 83, 1550-1565.
29. Rathore, N.S., Panwar, N.L., 2010. Experimental Studies on Hemi Cylindrical Walk-In Type Solar Tunnel Dryer for Grape Drying. *Appl Energy*, 87, 2764-2767.

Suriye Mülteci Kamplarının ve İnsani Yardım Depo Konumlarının Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Doğrusal Programlama ile Modellenmesi

Metehan ATAY^{*1} ORCID 0000-0003-2025-9899

Mohamad ALHAMAD² ORCID 0000-0002-8111-8574

Cihan ÇETİNKAYA³ ORCID 0000-0002-5899-8438

Serap ULUSAM SEÇKİNER² ORCID 0000-0002-1612-6033

¹Hasan Kalyoncu Üniversitesi, İnsansız Hava Araçları Teknolojisi ve Operatörlüğü Programı,
Gaziantep

²Gaziantep Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

³Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi. Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü,
Adana

Geliş tarihi: 15.03.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: ATAY, M., ALHAMAD, M., ÇETİNKAYA, C., ULUSAM SEÇKİNER, S., (2023).
Suriye Mülteci Kamplarının ve İnsani Yardım Depo Konumlarının Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Doğrusal
Programlama ile Modellenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 633-645.

Öz

Tüm dünyada yüzlerce sivil toplum kuruluşu, savaşlar ve afetler nedeniyle ülkelerinden göç etmek zorunda kalan ve kamplarda yaşayan mültecilere destek olmak için çaba göstermektedir. Suriye bu konuda bir örnektir. Suriye'de bulunan sivil toplum kuruluşlarının insani yardım depolarından kamplara gidecek olan malzemelerin lojistiği ise bilinen ve çözümlenebilen bir insani yardım lojistiği problemidir. Bu makalenin amacı, Sivil Toplum Kuruluşlarının (STK) depo alanları için uygun yerleri araştırmaktır. Her insani yardım lojistiği probleminde olduğu gibi belirlenen depo lokasyonlarından nihai kullanıcı ve ihtiyaç sahiplerine ulaştırılması gereken malzemelerin taşıma işlemleri gerçekleştirilirken minimum miktarda maliyet ile maksimum miktarda ürün dağıtımı amaçlanmıştır. Bu çalışma, Doğrusal Programlama (LP) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak tanımlanmış, çözülmüş ve her bir çözüm yönteminin sonuçları arasında bir karşılaştırma gösterilerek maliyet analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tesis konumu, Coğrafi bilgi sistemi, Sivil toplum kuruluşları, Envanter

Modeling of Syrian Refugee Camps and Humanitarian Aid Warehouse Locations with Geographic Information System (GIS) and Linear Programming

Abstract

Hundreds of non-governmental organizations all over the world strive to support refugees who have had to migrate from their countries due to wars and disasters and live in camps. Syria is an example in this regard.

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Metehan ATAY, metehan.atay@hku.edu.tr

The logistics of the materials that will go to the camps from the humanitarian aid depots of the non-governmental organizations in Syria is a known and solvable humanitarian aid logistics problem. The purpose of this article is to research suitable places for non-governmental organizations (NGOs) warehouse areas. As in every humanitarian aid logistics problem, it is aimed to distribute the maximum amount of products with minimum cost while carrying out the transportation of the materials that need to be delivered to the end users and the needers from the designated warehouse locations. This study was defined and solved using Linear Programming (LP) and Geographic Information System (GIS), and cost analyzes were performed by showing a comparison between the results of each solution method.

Keywords: Facility location, Geographic information system, Non-governmental organizations, Inventory

1. GİRİŞ

Son on yılda dünya, savaşlar, terörizm ve doğal afetler nedeniyle birçok felakete tanık olmuştur. Bu felaketler binlerce insanın ölümüne, milyonlarca insanın yerinden olmasına ve milyonlarca insanın mülteci olarak ülkelerinden ayrılmasına yol açmıştır. Çeşitli siyasi, çevresel ve çatışma durumları nedeniyle dünya mülteci sayıları artmaya devam ederken, ülkelerini terk ettikten sonra, birçok mülteci komşu ülkelerdeki kamplara yerleşmiş ve ev sahibi ülkede mülteciler için temel ihtiyaçları karşılanması çözülmesi gereken bir problem haline gelmiştir. İnsanların ülkelerini terk etmelerine neden olan ister insan kaynaklı ister doğal bir afet olsun, bu afetlerden etkilenen kişilere afet dönemlerinde ve sonrasında hemen insani yardım sağlanmalıdır. Acil durum malzemeleri arasında yiyecek, su, temizlik, ilaç, barınak vb. yer alır. İnsani yardımın tedarikçilerden yararlanıcılara ulaştırılması mümkün olan en kısa sürede gerçekleştirilmelidir. Yararlanıcılar arasında kişisel hijyen, yiyecek hazırlama ve sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesine yardımcı olmak için herhangi bir topluluğa yeterli miktarda temiz su sağlamak hayati bir ihtiyaçtır. Özellikle insanlara sürekli olarak yüksek kalitede ve insan sağlığına en az riskle içme suyu ve yiyecek sağlamak son derece önemlidir ve onların özel, sosyal, ekonomik ve politik özelliklerini dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada, gerçek bir ulaştırma problemi coğrafi bilgi sistemi (CBS) desteğiyle p-medyan ve küme kapsama problemi olarak ele alınarak çözümlenmeye çalışılmıştır. Ulaşım sistemleri problemini çözmek için genellikle bir ulaşım biçimini temsil eden demiryolları, karayolları, yaya ve bisiklet yolları, nehir/deniz ve hava ağlarına

bakmamız gerekir. Her ağ diğerlerine transfer terminaleri (otobüs/tren istasyonları, eşler/limanlar, havaalanları) aracılığıyla bağlıdır. Günümüzde bu ağlar üzerinden hem yük hem de yolcu için iki tür hizmet bulunmaktadır: ilki isteğe bağlı hizmettir. Oldukça kolay bir örnek taksi hizmetidir. Bu hizmet maksimum esneklik sunar, ancak daha yüksek maliyetler ve çevresel etkilere neden olur. İkinci tür hizmet ise, konsolidasyonlu hizmettir. Servisler düzenli aralıklarla planlanmakta ve yük veya yolcu akışları ana dağıtım üsleri aracılığıyla konsolide edilmektedir. Bu hizmet türü zamanlama açısından isteğe bağlı hizmetten daha az esnek olsa da, araç ve konteyner gibi ulaşım kaynaklarını daha iyi doldurma avantajına sahiptir. Böylece, daha az kaynak harcayarak, taşıyıcılar daha düşük fiyatlar önerebilir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Tesis Yeri Seçim Problemi

Malzemeleri ve bitmiş ürünleri bir noktadan diğerine taşımak için gereken tesislerin sayısının, kapasitelerinin ve konumlarının belirlenmesi genellikle Endüstri Mühendisliğinin geleneksel rollerinden biri olarak kabul edilir. Bölgesel dağıtım merkezi konumlarının kullanılması ve yerel bir terminalin hizmet verdiği bölgenin belirlenmesi, ulaşım sistemi tasarım sürecinin bir parçasıdır. Ayrıca her müşteriye nasıl hizmet verilmesi gerektiğinin belirlenmesine de tahsis problemi denir. Buna ek olarak, endüstri mühendisleri, bir tesisin otomatikleştirilmiş "Endüstri 4.0" mı yoksa manuel ayırma sistemleri kullanılarak mı inşa edilmesi gerektiğine karar verme sürecinde genellikle yardımcı olacaktır. Mevcut ve potansiyel

depoların kapsama kapasitesini belirlemek ve yapılacak depo sayısını en aza indirmek için bir set-covering matematiksel modeli ele alınmaktadır. Ayrıca, potansiyel depoları açmak ve açılan depolara tesis atamak için P-merkezi ve P-medyan matematiksel modeller uygulanarak toplam mesafe ve talebin kaynağa olan en uzun mesafesi en aza indirilmiştir. Geliştirilen tamsayı programlama (IP) modelleri ve Coğrafik Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımları bir vaka çalışması ile karşılaştırılmıştır. Hesaplamalı deneyler, yaklaşımımızın mevcut depolardan daha geniş alanları kapsayan yeni potansiyel tesis depolarından şehirdeki hizmet tesislerine kadar bulabileceğini kanıtlıyor. Desteğin konumlandırılması ve dağıtılması, özellikle mevcut veriler olduğunda CBS kullanımından yararlanabilir. İstenilen yol ve mevkilerin tespiti için çalışma alanını bölgelere, sayımlara, ilçelere vb. ayırmak gerekir [1].

İnsani lojistik bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmış ve özellikle afet müdahalesine tahsis edilen fonların yaklaşık %75'inin tedarik zinciri ile ilgili olduğu gerçeği göz önüne alındığında, son on yılda önemli ilgi görmüştür [2]. Alan ve arkadaşlarının (2006) ve Van Wassenhove'un (2006) ilk eserlerine dayanmaktadır ve o zamandan beri zengin bir araştırma alanına dönüşmüştür [3]. İnsani yardım lojistiğine ilişkin araştırmalar için okuyucuya, Çelik ve arkadaşları (2012), Galindo ve Batta (2013), Özdamar ve Ertem, (2015), Kara ve Savaşer (2017) ve Besiou ve Van Wassenhove (2019) eserleri kaynak olarak gösterilebilir [4-8]. Afet operasyonları genel olarak dört aşamada sınıflandırılır: azaltma, hazırlık, müdahale ve geliştirme [4]. Besiou ve Van Wassenhove (2019), insani lojistik tarihini geçmiş, bugünü ve geleceği araştırarak üç aşamada tasvir etmektedir [8]. Alanın geleceğinin, çalışmamızın merkezinde yer alan çok sayıda mültecinin yönetimi de dahil olmak üzere birçok faktör tarafından yönlendirildiğini belirtmektedirler. Yer seçim problemleri, taktik ve operasyonel seviyelerden alınan kararları birleştirir. Son yapılan çalışmalar arasında Prodhon ve Prins (2014), Albareda-Sambola (2015) ve Drexl ve Schneider (2017) araştırmalarıdır [9-11]. İnsani yardım lojistiğinde, yerleşim sorunları tipik olarak azaltma ve hazırlık aşamalarında çözülürken [12,13], yönlendirme sorunları müdahale

aşamasında ortaya çıkar [14-19]. Örnekler, bozulabilir gıdaları refah kurumlarına adil ve verimli bir şekilde dağıtmaya yönelik sosyal yardım operasyonlarını [20,21] ve bir depremden sonra ambulanslar için dinamik ulaşım planlamasını [22] içerir. Lokasyon ve yönlendirme entegrasyonu, insani lojistik literatürde nadiren görülmektedir. İlk çalışmalardan biri, afet müdahale aşamasında entegre bir lojistik destek ve tahliye operasyonlarını düşünen Yi ve Özdamar'a (2007) aittir [23]. Balcık (2017), afet sonrası hızlı ihtiyaç değerlendirmesi için yer seçimi ve araç rotalama için bir tabu arama algoritması geliştirmiştir [24]. Cherkesly ve arkadaşları (2019) yakın zamanda Liberya'da bir toplum sağlık bakım ağının tasarımında ortaya çıkan bir konum, kapsama ve yönlendirme sorununu çözmüştür [25].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Tesis Yeri ve STK Envanterlerinin Tahsisi

Kamp hizmetlerinde lojistiğin sağlanması önemli bir konudur [30]. Bu nedenle kampların ve kamp depolarının yerlerinin belirlenmesi stratejik bir karardır [31]. Bu bölümde, depoların ilgili kamplara optimal dağılımını sağlamak için yer tahsis modelleri kullanılmıştır. Küme kapsama ve P-medyan problemleri olarak adlandırılan iki farklı yer tahsis modeli iki farklı senaryoya uygulanmıştır. Kullanılan mesafeler iz düşünüm mesafesidir. Organizasyon depolarının konumlarına göre önerilen senaryolar aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır;

- Senaryo 1: Mevcut üç depoyu dikkate alan durumdur.
- Senaryo 2: Üç mevcut ve üç potansiyel ambarın birlikte ele alındığı durumdur.

3.1.1. Küme Kapsama Probleminin STK Depolarına Uygulanması

Küme kapsama problemi, önceden belirlenmiş bir zaman diliminde her kümeye en az bir kez ulaşacak şekilde tesis yer seçimi problemi olarak tanımlanır [32]. Problemi kapsayan kümenin formülasyonu aşağıdaki gibidir;

$$\text{Min} \sum f_j X_j \quad j \in J \quad (1)$$

Kısıtlar;

$$\sum a_{ij} X_j \geq 1 \quad j \in J \quad (2)$$

$$X_j \in [0,1] \quad (3)$$

Notasyonlar;

I	Kamp noktaları kümesi; $i \in I$
J	Depo noktaları kümesi; $j \in J$
h_i	I noktasındaki kamp
f_j	J alanında bir deponun sabit maliyeti
TC	1 km taşımanın sabit maliyeti
a_{ij}	$\begin{cases} 1 & \text{Eğer } I \text{ noktasındaki kamp } j \\ & \text{noktasındaki depo tarafından} \\ & \text{kapsanıyorsa} \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$
X_j	$\begin{cases} 1 & \text{Eğer aday depo } j \text{ lokasyonuna} \\ & \text{kuruluyorsa} \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$
Z_{ij}	$\begin{cases} 1 & \text{Eğer } I \text{ noktasındaki kamp } j \\ & \text{noktasındaki depo tarafından tedarik} \\ & \text{ediliyorsa} \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases}$

Burada; Eşitlik 2, modelin amaç fonksiyonlarına karşılık gelir. Açılacak depo sayısını minimize etmektir. Eşitlik 1, en az bir açık depodan tüm kamplara belirlenen süre içerisinde hizmet vermektir. Eşitlik 3, karar değişkeninin bütünlük kısıtıdır. Sonuçlar, LP modelinin 10 km, 20 km ve 30 km kapsama alanları için optimal bir çözüm bulamadığını göstermiştir. Başka bir deyişle, kapsama alanı olmayan bazı kamplar olduğu için optimal senaryolar yoktur.

3.1.2. STK Envanterleri İçin P-Medyan Problemi

Önceki bölümde tanımlanan ağda, yüksek olarak tanımlanan kamplar ve TC olarak tanımlanan tüm müşteriler arasında birim başına taşıma maliyetleri dikkate alınır [33]. P-medyan problemi, açılacak olan P miktarı aday deposunu ve her bir depoya

hangi kampların atanacağını belirlemeye çalışır. P-medyan probleminin formülasyonları aşağıdaki gibidir;

$$\text{Min} \sum \sum a_{ij} Z_{ij} h_i \quad (4)$$

$$\text{Min} \sum f_j X_j + \sum \sum Z_{ij} h_i + TC \sum \sum Z_{ij} h_i \quad (5)$$

Kısıtlar;

$$\sum X_j \leq P \quad (6)$$

$$\sum Z_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$Z_{ij} \leq a_{ij} X_j \quad \forall i \in I, j \in J \quad (8)$$

$$X_j Z_{ij} \in [0,1] \quad (9)$$

Burada; Eşitlik 4, hizmet verilen kamplar için en az miktardaki kamp ile çok hizmet götürmeyi hedefler. Eşitlik 5, üç faktörü kapsayan toplam maliyeti minimize eder: bir depo kurma ve açma maliyeti olan sabit bir maliyet; bir depo işletmek için değişken bir maliyet ve ilgili kampa desteği ulaştırmak için bir nakliye maliyetidir. Eşitlik 6, bulunan depoların sayısını izin verilen depo sayısı olan belirli bir değerden (P=3) ve veya ona eşit olacak şekilde sınırlar ki açılabilir. Eşitlik 7, her kampın çoğunlukla bir kez kapsanabileceğini garanti eder. Eşitlik 8, $i \in I$ düğümündeki kampın, i düğümünü kapsayan depo alanlarından en az biri bulunmadıkça kapatılamayacağını ifade eder. Yerleşik depolar ve kapsanan düğümler için ikili değişkenler Eşitlik 9'da sunulmuştur.

3.2. CBS Kullanarak STK Envanterlerinin Lokasyon Tahsis Probleminin Optimize Edilmesi

CBS, mekansal ve coğrafi verileri yakalama ve analiz etme yeteneği sağlayan kavramsallaştırılmış bir çerçevedir. CBS uygulamaları, kullanıcının etkileşimli sorgular oluşturmaya (kullanıcı

tarafından oluşturulan aramalar), mekansal ve mekansal olmayan verileri depolamasına ve düzenlemesine, mekansal bilgi çıktısını analiz etmesine ve bu işlemlerin sonuçlarını haritalar halinde sunarak görsel olarak paylaşmasına olanak tanıyan bilgisayar tabanlı araçlardır [26]. Coğrafi bilgi sistemleri birden fazla teknoloji, süreç, teknik ve yöntemde kullanılmaktadır. Mühendislik, planlama, yönetim, nakliye/lojistik, sigorta, telekomünikasyon ve işletme ile ilgili çeşitli operasyonlara ve sayısız uygulamaya bağlıdır. Bu nedenle, coğrafi analiz ve görselleştirmeye dayanan konum destekli hizmetlerin temelinde CBS ve konum istihbaratı uygulamaları yer almaktadır. CBS, "anahtar indeks değişkeni" olarak konumun kullanılması yoluyla, daha önce ilgisiz bilgileri ilişkilendirme yeteneği sağlar. Dünya'nın uzay-zamanında bulunan konumlar ve kapsamlar, x, y ve z koordinatlarıyla birlikte meydana gelme tarihi ve saati aracılığıyla kaydedilebilir; temsil eden boylam (x), enlem (y) ve yükseklik (z). Tüm Dünya tabanlı, uzamsal-zamansal, konum ve kapsam referansları, birbirleriyle ve nihayetinde "gerçek" bir fiziksel konum veya kapsama ilişkilendirilebilir olmalıdır. CBS'nin bu temel özelliği, bilimsel araştırma ve araştırmaların yeni yollarını açmaya başlamıştır [27].

3.2.1. CBS Teknikleri ve Teknolojisi

Modern CBS teknolojileri, çeşitli sayısallaştırılmış veri oluşturma yöntemlerinin kullanıldığı sayısal bilgileri kullanır. En yaygın veri oluşturma yöntemi, basılı bir haritanın veya anket planının bir CAD programı ve coğrafi referanslama yetenekleri kullanılarak dijital bir ortama aktarıldığı dijitalleştirilmiştir. Orto-rektifiyeli görüntülerin (uydular, uçaklardan, Helikopterlerden ve İHA'lardan) geniş bir şekilde mevcudiyeti ile birlikte, baş üstü sayısallaştırma, coğrafi verilerin çıkarıldığı ana metot haline gelmiştir [28]. Head-up sayısallaştırma, coğrafi biçimin ayrı bir sayısallaştırma tabletinde izlenmesinin geleneksel yöntemi (baş aşağı sayısallaştırma) yerine coğrafi verilerin doğrudan havadan alınan görüntülerin üzerinde izlenmesini içerir. Baş aşağı sayısallaştırma veya manuel sayısallaştırma, özdeş, dijital bir harita oluşturmak için bilgileri bilgisayara besleyen özel bir manyetik kalem veya ekran

kalemi kullanır. Bazı tabletler, ekran kalemi yerine disk adı verilen fare benzeri bir araç kullanır [29].

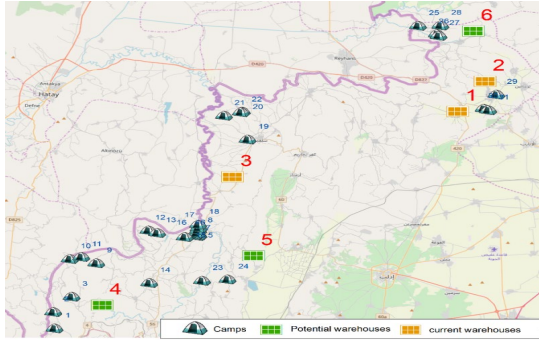
Disk, daha fazla hassasiyete ve harita özelliklerini tam olarak belirlemeye izin veren artı işaretli küçük bir pencereye sahiptir. Head-up sayısallaştırma daha yaygın olarak kullanılsa da, head-down sayısallaştırma düşük kaliteli haritaları sayısallaştırmak için hala kullanışlıdır. Geoprocessing, mekansal verileri işlemek için kullanılan bir CBS işlemidir. Tipik bir coğrafi işleme işlemi, bir girdi veri kümesini alır, bu veri kümesi üzerinde bir işlem gerçekleştirir ve işlemin sonucunu bir çıktı veri kümesi olarak döndürür. Yaygın coğrafi işleme işlemleri, coğrafi özellik yerleşimi, özellik seçimi ve analizi, topoloji işleme, raster işleme ve veri dönüştürmeyi içerir. Coğrafi işleme, kararları oluşturmak için kullanılan bilgilerin tanımlanmasına, yönetilmesine ve analizine izin verir.

3.2.2. Problemin CBS ile Optimize Edilmesi

Bu bölüm, depo problemleri için GIS tarafından lokasyon tahsis probleminin kısa bir incelemesini ve ardından doğrusal programlama modeli için aynı adımları sunmaktadır. Bu çalışmada öncelikle mevcut ve potansiyel depoların dağılımını incelemek gerekir, 3 mevcut ve 3 potansiyel depo deposunun coğrafi bilgileri, CBS kullanılarak toplamda 31 depo olarak toplanmıştır. İkinci olarak, mevcut ve potansiyel depoların kapsama kapasitesini belirlemek ve açılacak depo sayısını en aza indirmek için küme kapsama matematiksel modeli ele alınmaktadır. Son olarak, potansiyel depoları açmak ve açılan depolara depo atamak için P-medyan matematiksel modeller uygulanmakta, böylece toplam mesafe ve talebin kaynağa olan en uzun mesafesi en aza indirilmektedir.

Çalışma alanı İdlib'de olup, önce coğrafi bilgi sistemi GBS ile 31 depo (BALAD'ın kapsadığı), 3 mevcut depo ve 3 potansiyel depo ambarını belirledik, ardından mesafeleri hesapladık. Potansiyel depoların depo yerleri İdlib'deki Depo Yönetim Ofisi tarafından belirlenir. Her tesisin (kamplar, mevcut ve potansiyel depolar) mekansal konumları, coğrafi koordinatlar (enlem ve boylam)

ile belirlenir. ESRI ArcGIS 10.4, bir ağdaki kuruluşlar arasındaki gerçek mesafeleri hesaplamak için bir CBS aracı olarak kullanılır. 31 kamp, 3 mevcut depo ve 3 potansiyel depo aşağıdaki Şekil 1'de gösterilmektedir;



Şekil 1. Kamp ve depoların dağılımı

Aşağıdaki Çizelge 1 ve 2, sırasıyla çalışmada analiz edilen kampları ve depoların güncel durumunu göstermektedir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan kamplara ait bilgiler

#	Bulunduğu yer	Bölge	Kamp Adı	Kapasitesi (kişi)
1	Idleb	Jisir ashugur	Al Hanbushiyeh	2125
2	Idleb	Jisir ashugur	Alziyara	1381
3	Idleb	Jisir ashugur	Badama 2	277
4	Idleb	Jisir ashugur	Salah Alden (Kherbet Eljoz)	3557
5	Idleb	Jisir ashugur	Omar	2356
6	Idleb	Jisir ashugur	Ein Albayda	5841
7	Idleb	Jisir ashugur	Ataa Alkheir	3252
8	Idleb	Jisir ashugur	Alfateha	677
9	Idleb	Jisir ashugur	Az-zawf 1 (Sham)	4723
10	Idleb	Jisir ashugur	Az-zawf 2 (Sadaka)	1266
11	Idleb	Jisir ashugur	Az-zawf 3 (Alikhaa)	2583
12	Idleb	Jisir ashugur	Ali Bin Abitaleb	909
13	Idleb	Jisir ashugur	Albonyan	413
14	Idleb	Jisir ashugur	Alkaderiye	129
15	Idleb	Salqin	Alfarouk (Darkosh)	2027
16	Idleb	Salqin	Aleppo 1	614

17	Idleb	Salqin	Aleppo 2	365
18	Idleb	Salqin	Aleppo 3	3739
19	Idleb	Salqin	Ghouta Sharkiye	2818
20	Idleb	Salqin	Ayidoun 1	491
21	Idleb	Salqin	Samidoon	266
22	Idleb	Salqin	Ayidoun 2	75965
23	Idleb	Salqin	Sheikh Essa	1485
24	Idleb	Salqin	Meriamen	1167
25	Idleb	Al-dana	Atmeh	2439
26	Idleb	Al-dana	Sahl Alghab	649
27	Idleb	Al-dana	Shuhada sahl alghab	5321
28	Idleb	Al-dana	Nasaem Alkhayr	237
29	Idleb	Al-dana	Alnahda	569
30	Idleb	Al-dana	Tal Alkarama	749
31	Idleb	Al-dana	Algharbal	325

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan depolara ait bilgiler

#	Yer	Depo	Durumu
1	Idleb	Sarmada	Mevcut
2	Idleb	Al-dana	Mevcut
3	Idleb	Azmareen	Mevcut
4	Idleb	Zeyniyh	Potansiyel
5	Idleb	Sheikh essa	Potansiyel
6	Idleb	Kaah	Potansiyel

3.3. Tesis Yeri ve Tahsis Problemi İçin Matematiksel Modelleme

Bu bölümde, İdlib'deki iki senaryo için küme kapsama ve P-medyan problemleri olmak üzere iki farklı lokasyon tahsis modeli uygulanmıştır;

- Senaryo 1: Mevcut üç deponun ele alındığı durum,
- Senaryo 2: İdlib'de üç mevcut ve üç potansiyel antreponun birlikte ele alındığı durum.

3.3.1. Problemin Küme Kaplama Problemi Olarak Modellenmesi ve Çözümü

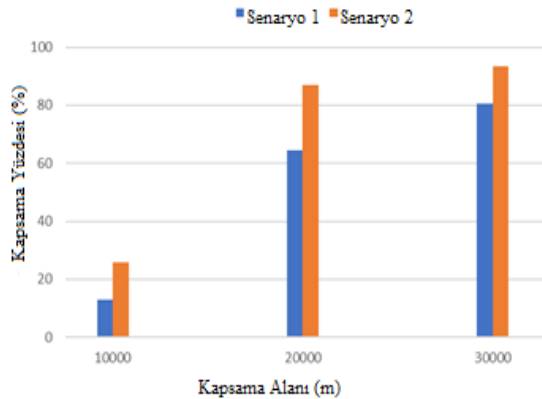
Küme kaplama modeli öncelikle iki senaryonun kapsama kabiliyetini araştırmak için CBS'ye dayalı olarak elde edilen verilerle çözülmüştür. 10km, 20km ve 30km olmak üzere 3 farklı kapsama alanı incelenmiş ve sonuçlar sunulmuştur. Çizelge 3, ArcGIS Network Analysis aracı ile elde edilen

modeli kapsayan setin sayısal sonuçlarını aşağıda göstermektedir;

Çizelge 3. CBS kullanarak küme kapsama modelinin sayısal sonuçları

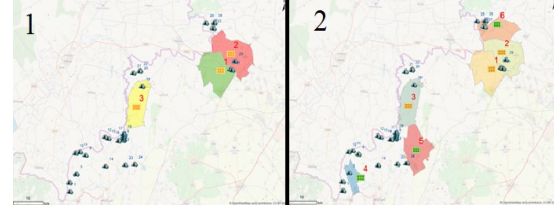
Kapsama Alanı (km ²)	Senaryo	Kapsanan Kamplar	Kapsanmayan Kamplar	Açılan Depolar	Toplam açılan depo sayısı
10	1	4	27	1, 3	2
	2	8	23	2, 3, 4, 5, 6	5
20	1	20	11	1, 2, 3	3
	2	27	4	2, 3, 4, 5	4
30	1	25	6	1, 3	2
	2	29	2	2,3, 4	3

Sonuçlara göre aşağıdaki sonuçlar gözlemlenebilir; Senaryo 2, tüm kapsama alanında Senaryo 1'den daha geniş bir kapsama kabiliyetine sahiptir. Örneğin, kamp depoları (Senaryo 1) 20 kampı kapsayabilirken, Senaryo 2, 20 km'lik bir kapsama alanında 27 kampı kapsayabilir. Bu sonuç, mevcut depoların beklendiği gibi mevcut kampları tedarik etmek için yeterli olmadığını göstermektedir. Artan kapsama alanı, kapsanan talep noktalarını da artırmaktadır. 10km, 20km ve 30km'lik kapsama alanının artırılması, mevcut depolar için kapsama yüzdesinin %13'ten %80'e yükselmesine neden oluyor. Şekil 2, iki farklı senaryo arasındaki kapsama alanını m² cinsinden kapsama yüzdesini göstermektedir;



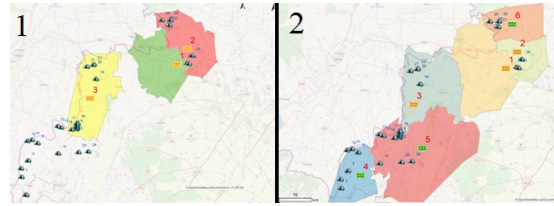
Şekil 2. İki farklı senaryoya göre % kapsama alanı

10000 m² için CBS ile elde edilen iki senaryo için set kapsayan çözümler sırasıyla Şekil 3'te gösterilmiştir;



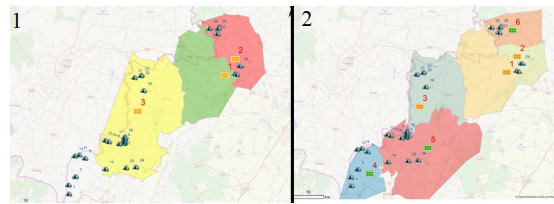
Şekil 3. Senaryolara göre 10 km² için kapsama alanları

İlk senaryoda sadece 4 kampın kapsanabileceği, 2. senaryoda ise 31 kamptan 8 kampın kapsanabileceği görülmektedir. 20000 m² için CBS ile elde edilen iki senaryo için set kapsayan çözümler sırasıyla Şekil 4'te gösterilmiştir;



Şekil 4. Senaryolara göre 20 km² için kapsama alanları

İlk senaryoda 20 kampın kapsanabileceği, 2. senaryoda ise 31 kamptan 27 kampın kapsanabileceği görülmektedir. 30000 m² için CBS ile elde edilen iki senaryo için problem çözümlerini kapsayan set sırasıyla aşağıdaki Şekil 5'te gösterilmektedir;



Şekil 5. Senaryolara göre 30 km² için kapsama alanları

İlk senaryoda 25 kampın kapsanabileceği, 2. senaryoda ise 31 kamptan 29 kampın kapsanabileceği görülmektedir.

3.3.2. Problemin P-Medyan Olarak Modellenmesi ve Çözümü

Potansiyel depoların faydalı olduğuna dair alınan sonuçları takiben, toplam taşıma mesafesini en aza indirmek için mevcut ve potansiyel depoları talep noktalarına atamak için P-medyan modelleri uygulanmıştır. P için 1 ila 6 değerleri seçilerek talep noktaları için P-medyan modelini uygulanmış, sonuçlar da sorunu kapsayan bir küme olarak iki senaryoya göre sınıflandırılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4, aşağıdaki ESRI ArcGIS yazılımı kullanılarak elde edilen P-medyan probleminin sayısal sonuçlarını göstermektedir;

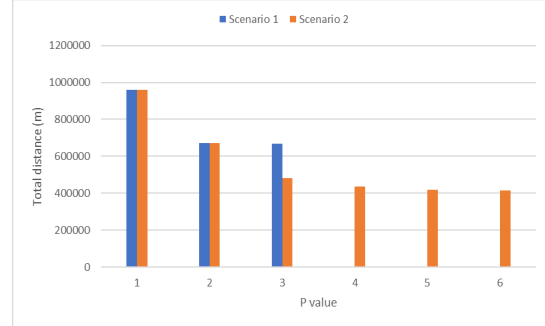
Çizelge 4. ArcGIS yazılımı kullanılarak elde edilen P-medyan probleminin sayısal sonuçları

P	Senaryo 1		Senaryo 2	
	Toplam mesafe (m)	Açık depolar	Toplam mesafe (m)	Açık depolar
1	960501	3	960501	3
2	669930	2, 3	669930	2, 3
3	667274	1, 2, 3	481234	2, 3, 4
4	-	-	435825	2, 3, 4, 5
5	-	-	416963	2, 3, 4, 5, 6
6	-	-	414307	1, 2, 3, 4, 5, 6

Beklendiği gibi, P sayısını artırmak, tüm çözümlerde depolar ve talep noktaları arasındaki toplam mesafeyi azaltır. Şekildeki sonuçlar, kamp depolarının sayısını 1'den 3'e çıkarmanın, toplam seyahat mesafesini Senaryo 1 ve 2 için sırasıyla %30.52 ve %49.89 azalttığını göstermektedir.

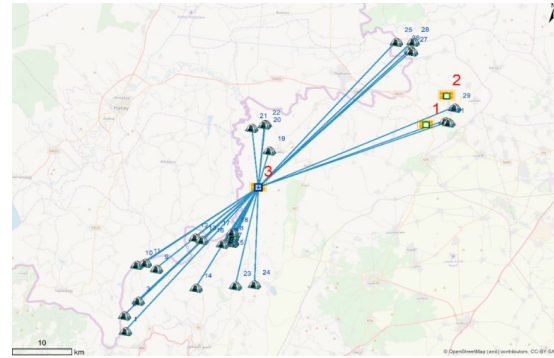
- Kamp depolarının sayısını 3'ten 6'ya çıkarmak, Senaryo 2 için toplam seyahat mesafesini %13,9 azaltır.
- Kamp depolarının sayısını 4'ten 6'ya çıkarmak, Senaryo 2 için toplam seyahat mesafesini %4,9 azaltır.
- P (1 ve 2) olduğunda iki senaryo 1 ve 2'nin eşit toplam mesafesine dikkate alınmalıdır.

Aşağıdaki Şekil 6, aşağıdaki iki senaryo için sayısal toplam mesafenin P değerini göstermektedir;



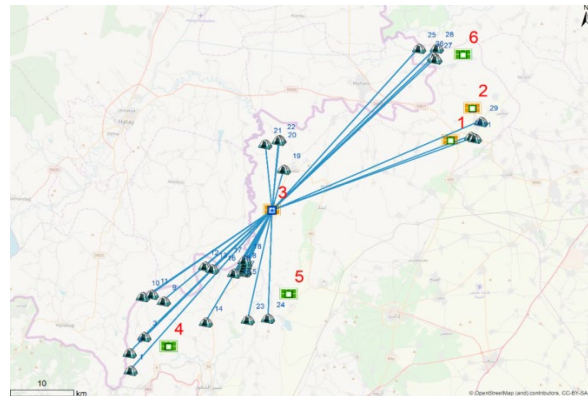
Şekil 6. P-değeri ve toplam mesafe ilişkisi

Şekil 7, aşağıda CBS ile elde edilen 1. senaryoda Aracın sadece bir envanter açık olduğu durumda geçtiği toplam mesafe için P-Median çözümünü göstermektedir;



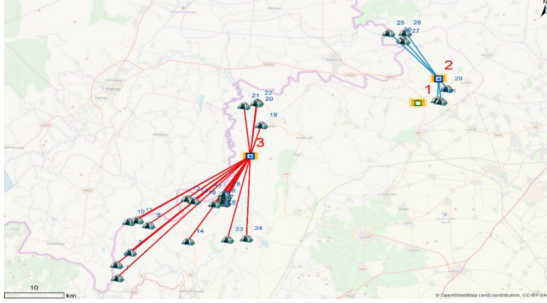
Şekil 7. 1.Senaryo (P=1) Toplam Mesafe 960501 m

Aynı envanter için açık (P3) ancak 2. senaryoda, aşağıdaki Şekil 7' de gösterildiği gibi toplam mesafede herhangi bir fark yoktur;



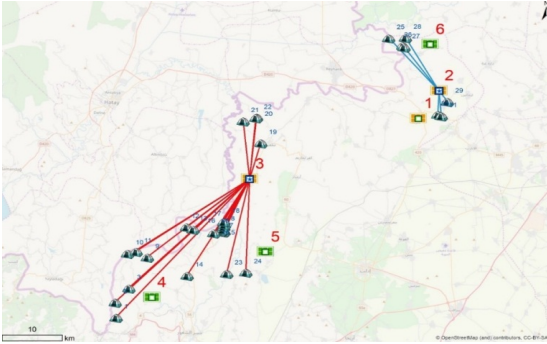
Şekil 8. 2. Senaryo (P=1) Toplam Mesafe 960501 m

Şekil 8, GIS ile elde edilen 1. senaryoda iki envanterin açık olması durumunda aracın geçtiği toplam mesafe için P-Ortancasının çözümünü göstermektedir;



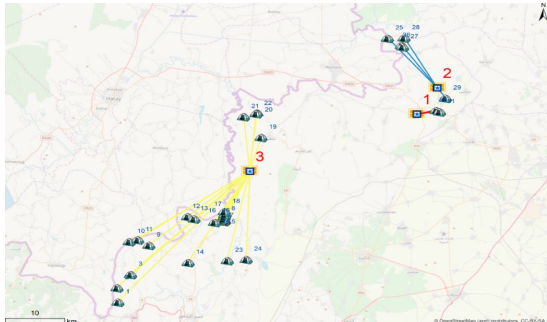
Şekil 9. 1. Senaryo (P=2) Toplam Mesafe 669930 m

Aynı envanterler için (P2 ve P3) ancak 2. senaryoda aşağıdaki Şekil 9'da gösterildiği gibi toplam mesafede bir fark yoktur;



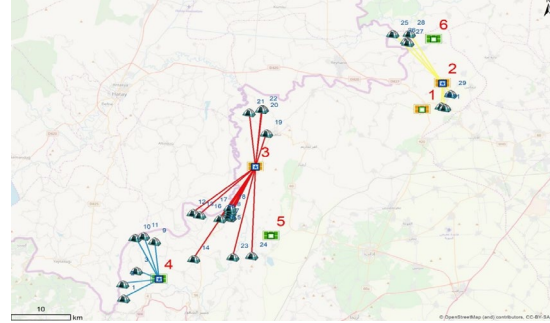
Şekil 10. 2. Senaryo (P=2) Toplam Mesafe 669930 m

Açık olan üç depo (P1, P2 ve P3) için toplam mesafe aşağıdaki Şekil 10'da gösterilmektedir;



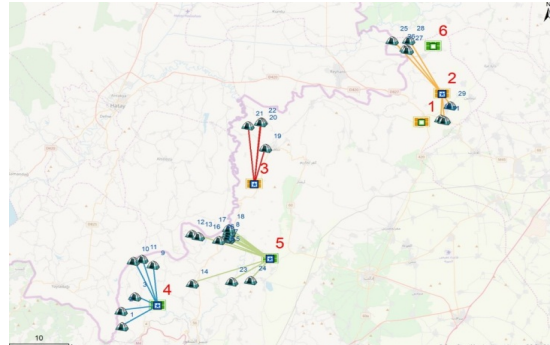
Şekil 11. 1. Senaryo (P=3) Toplam Mesafe 667274 m

Aynı depoların açık olduğu 2. senaryo için, aşağıdaki Şekil 11'te gösterildiği gibi 1. senaryoya göre %27.8 daha kısa mesafede iyileşme var;

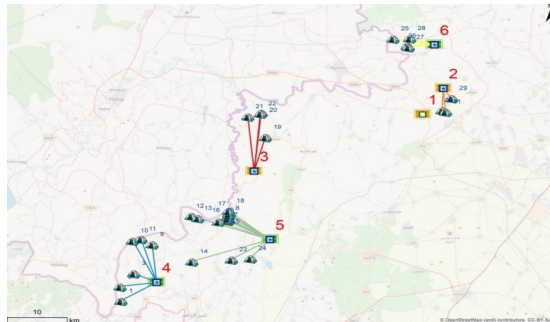


Şekil 12. 2. Senaryo (P=3) toplam mesafe 481234 m

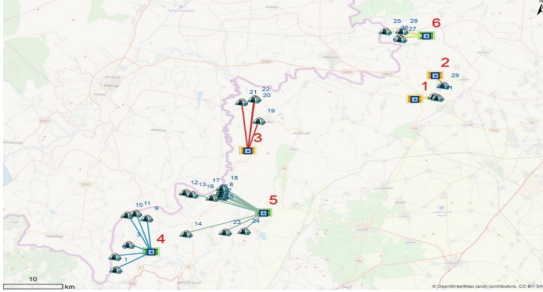
Açılacak 4, 5 ve 6 numaralı depolar için 2. senaryo mesafeleri iyileşme gösteriyor. Ancak, STK'nın sadece 3 envanter ve açık olan üç envantere kıyasla daha küçük bir iyileştirme aralığı seçmesi gerekiyor, bu mesafeler aşağıdaki Şekiller 12, 13 ve 14'te gösterilmektedir;



Şekil 13. 2. Senaryo (P=4) toplam mesafe 435825 m



Şekil 14. 2. Senaryo (P=5) toplam mesafe 416963 m



Şekil 15.2. Senaryo (P=6) toplam mesafe 414307 m

Aşağıdaki Çizelge 5, LP'ye göre P-medyan probleminin sonuçlarını göstermektedir;

Çizelge 5. P-medyan probleminin sonuçları

P	Senaryo 1		Senaryo 2	
	Toplam mesafe (m)	Açık depolar	Toplam mesafe (m)	Açık depolar
1	960501	3	960501	3
2	669930	2,3	669930	2, 3
3	667274	1, 2, 3	481234	2, 3, 4
4	-	-	414633	2, 3, 4, 5
5	-	-	416963	2, 3, 4, 5, 6
6	-	-	411519	1, 2, 3, 4, 5, 6

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE KARŞILAŞTIRMA

Bu bölüm, hem CBS hem de Doğrusal Programlama (DP) kullanan Küme Örtüsü ve P medyan çalışmalarının sonuçlarını sunar. Bu sonuçlar arasında karşılaştırma yapılmamaktadır, çünkü doğrusal programlama yöntemi ilkesi, bir veya birden fazla kampın kapsanmaması durumunda soruna çözüm vermemektedir. Sonuçlar Çizelge 6 ve 7'de gösterilmektedir;

Çizelge 6. CBS kullanılarak küme kapsama probleminde elde edilen sonuçlar

Kapsama alanı (km ²)	Senaryo	Kapsanan kamp sayısı	Kapsanmayan kamp sayısı	Açık depolar	Açık depo sayısı
10	1	4	27	1, 3	2
	2	8	23	2, 3, 4, 5, 6	5
20	1	20	11	1, 2, 3	3
	2	27	4	2, 3, 4, 5	4
30	1	25	6	1, 3	2
	2	29	2	2, 3, 4	3

CBS ile elde edilen sonuçlar, aşağıdaki Çizelge 7 ve 8'de gösterildiği gibi DP ile elde edilen sonuçlara benzer görünmektedir;

Çizelge 7. GIS kullanılarak P-medyan probleminde elde edilen sonuçlar

P	Senaryo 1		Senaryo 2	
	Toplam Mesafe (m)	Açık depolar	Toplam mesafe (m)	Açık depolar
1	960501	3	960501	3
2	669930	2, 3	669930	2, 3
3	667274	1, 2, 3	481234	2, 3, 4
4	-	-	435825	2, 3, 4, 5
5	-	-	416963	2, 3, 4, 5, 6
6	-	-	414307	1, 2, 3, 4, 5, 6

Çizelge 8. LP kullanılarak P-medyan probleminde elde edilen sonuçlar

P	Senaryo 1		Senaryo 2	
	Toplam Mesafe (m)	Açık depolar	Toplam mesafe (m)	Açık depolar
1	960501	3	960501	3
2	669930	2, 3	669930	2, 3
3	667274	1, 2, 3	481234	2, 3, 4
4	-	-	414633	2, 3, 4, 5
5	-	-	416963	2, 3, 4, 5, 6
6	-	-	411519	1, 2, 3, 4, 5, 6

Çizelge 9'da koyu renkle gösterilen sonuçlar daha iyi görünüyor ancak bu sonuçlar optimum değil, bunun nedeni DP'nin harita veri tabanına sahip CBS programından farklı olarak şekli dikkate almadan doğrudan mesafe ile ilgilenmesidir. Bu bölümde ayrıca, hangi depoları seçmemiz gerektiğini görmek için CBS kullanılarak elde edilen 1. ve 2. depo seçimi senaryolarının sonuçlarının maliyeti karşılaştırılmıştır. Çizelge 9, mevcut ve potansiyel depoların her birini çalıştırmanın sabit maliyetini göstermektedir ve Çizelge 10 ve 11, sırasıyla 1. ve 2. senaryolar için toplam maliyet analizi hesaplamasını gösterir.

Çizelge 9. Ambar sabit maliyeti

Depo sabit maliyeti					
1	2	3	4	5	6
\$2,303	\$2,100	\$1,250	\$1,500	\$3,480	\$2,220

Çizelge 10. İlk senaryonun maliyet analizi

Depo sayısı	Depo	Sabit maliyet	Taşıma maliyeti	Aylık toplam maliyet
1	3	\$1,250	\$960.50	\$2210.501
2	2, 3	\$3,350	\$669.93	\$4,019.93
3	1, 2, 3	\$5,653	\$667.27	\$6,320.27

Çizelge 11. İkinci senaryonun maliyet analizi

#	Depo	Sabit Maliyet	Değişken Maliyet	Toplam maliyet
1	3	\$1250	\$960.50	\$2,210.60
2	2, 3	\$3350	\$669.93	\$4,019.93
3	2, 3, 4	\$4850	\$481.23	\$5,331.23
4	2, 3, 4, 5	\$8330	\$435.83	\$8,765.83
5	2, 3, 4, 5, 6	\$10504	\$416.96	\$10,956.94
6	1, 2, 3, 4, 5, 6	\$12843	\$414.30	\$13,257.30

2., 3. ve 4. depolar için sabit maliyetlerin 5653 dolardan 4850 dolara (% 14,2) düşürüldüğü görülmektedir. Ayrıca, değişken maliyet 667.274 dolardan 481.234 dolara (%27,9) düşmüştür. Toplam maliyet \$6320.274'dan \$5331.234'a düşmüştür.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, kamp hizmeti kullanımını teşvik etmek için bir araç olarak CBS'nin faydası gösterilmiştir. Potansiyel düğümleri, noktaları ve konum veri kümelerini birlikte atama yeteneği, erişimin coğrafi yönünü içeren kamuya açık birçok başka konuya çevrilebilir. Ayrıca, harita erişimi ve hizmet kullanım oranları coğrafi bölgelerin belirlenmesine yardımcı olabilir. Suriye'deki insani acil durum ortamında insanlar mülteci kamplarında yaşamakta ve sığınma talep etmekte ve hatta yiyecek, su, battaniye vb. temel ihtiyaç maddelerine ihtiyaç duymaktadırlar. Kampların yönetimine ilişkin yer tahsisi sorunu ile ilgili herhangi bir

çalışma bulunmamaktadır. Buna göre, Suriye bağlamında depo yeri tahsisi sorununu ele alan bir çalışma bulunmamaktadır, bu da bu alana akademik ve bilimsel ilginin hala yetersiz olduğu anlamına gelmektedir. Bu katkılar, alandan gerçek veriler kullanılarak çok amaçlı matematiksel modelin CBS ile birleştirilmesiyle en uygun çözüme ulaşılarak elde edilebilir.

Bu çalışmada, BALAD ile birlikte İdlib ilinde kamp sağlayan depolara dağıtım için optimal bir çözüm bulmaya çalışılmıştır. Mevcut tüzükte üç antrepo bulunmaktadır ve BALAD'ın 30 km'lik bir kapsama alanında kapsadığı 31 kampı GIS ve DP kullanarak kapsamak ve açılan depoları kurmak ve atamak için küme kaplama ve p-medyan problem modellerini kullanmayı amaçlayan üç potansiyel depo önerilmiştir. Kamplar, en uygun çözüm, 1 mevcut deponun (p1) ortadan kaldırdığını ve yeni potansiyel depoda (p4) ikame etmesini sağlamıştır. Projenin artan verimliliğini anlayabilmek için (p=1, 2, 3)'ün mevcut maliyeti için maliyet analizi oluşturulmuş ve ulaşım maliyetini bulduğumuz (p=2, 3, 4) potansiyel maliyeti ile karşılaştırılmıştır. (%27,9) ve toplam maliyet (%15,65) azaltılmalıdır.

Gerçek dünyadaki bir problemde esinlenerek mülteci kampı yeri ve kamu hizmeti planlama problemi tanımlanmış, modellenmiş ve çözülmüştür. Problem, kullanıcı lokasyonlarını optimize ederek lokasyon seçimi ve rotalama literatürüne yeni bir uygulama örneği kazandırmaktadır. Bu özellik, planlama yetkilileri hem hizmet sağlayıcıların hem de hizmetten yararlananların konumlarına karar verme olanağına sahip olduğunda, kamu sektörü hizmet planlamasını modelleme potansiyeline sahiptir. Bu tür uygulamalar, büyük bir nüfus bir bölgeyi tahliye ettiğinde ve tahliye edilenler için temel hizmetlerin sağlanması gerektiğinde kamu hizmeti planlamasını içerir. Bu sorun modellenmiş ve modelin özelliklerinden yararlanarak verimli bir CBS uygulamasıyla doğrulanmıştır. Gelecekteki araştırmalar potansiyel olarak diğerlerinin yanı sıra şehirlerarasındaki eşitliği, mültecilerin kökenlerini ve mültecilerin kentsel konumlarını hesaba katabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Farahani, R.Z., Asgari, N., Heidari, N., Hosseini, M., Goh, M., 2012. Covering Problems in Facility Location: A Review. *Computers & Industrial Engineering*, 62 (1), 368-407.
2. Van Wassenhove, L.N., 2006. Humanitarian Aid Logistics: Supply Chain Management in High Gear. *Journal of the Operational Research Society*, 57(5), 475-489.
3. Altay, N., Green, W.G., 2006. OR/MS Research in Disaster Operations Management. *Eur. J. Oper. Res.*, 175, 475-493.
4. Çelik, M., Ergun, Ö., Johnson, B., Keskinocak, P., Lorca, A., Pekkün, P., Swann, J., 2012. Humanitarian Logistics. *New Directions in Informatics, Optimization, Logistics, and Production*, 18-49.
5. Galindo, G., Batta, R., 2013. Review of Recent Developments in OR/MS Research in Disaster Operations Management. *Eur. J. Oper. Res.*, 230, 201-211.
6. Özdamar, L., Ertem, M.A., 2015. Models, Solutions and Enabling Technologies in Humanitarian Logistics. *Eur. J. Oper. Res.*, 244(1), 55-65.
7. Kara, B.Y., Savaş, Er, S., 2017. Humanitarian Logistics. In: *Leading Developments From INFORMS Communities*, 263-303.
8. Besiou, M., Van Wassenhove, L.N., 2019. Humanitarian Operations: A World of Opportunity for Relevant and Impactful Research. *Manufacturing & Service Operations Management* 22(1), 135-145.
9. Prodhon, C., Prins, C., 2014. A Survey of Recent Research on Location-Routing Problems. *Eur. J. Oper. Res.*, 238, 1-17.
10. Albareda-Sambola, M., 2015. *Location-Routing and Location-Arc Routing*. Springer, Cham, 399-418.
11. Drexler, M., Schneider, M., 2017. A Survey of the Standard Location-Routing Problem. *Ann. Oper. Res.*, 259, 389-414.
12. Balcik, B., Beamon, B.M., Smilowitz, K.R., 2008. Last Mile Distribution in Humanitarian Relief. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(2), 51-63.
13. Paul, J.A., Wang, X., 2019. Robust Location-Allocation Network Design for Earthquake Preparedness. *Transportation Research Part B: Methodological*, 119, 139-155.
14. Balcik, B., Beamon, B.M., 2008. Facility Location in Humanitarian Relief. *International Journal of Logistics*, 11(2), 101-121.
15. Campbell, A.M., Vandenbussche, D., Hermann, W., 2008. Routing for Relief Efforts. *Transportation Science*, 42(2), 127-145.
16. Huang, M., Smilowitz, K.R., Balcik, B., 2012. Models for Relief Routing: Equity, Efficiency and Efficacy. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 2-18.
17. Huang, M., Smilowitz, K.R., Balcik, B., 2013. A Continuous Approximation Approach for Assessment Routing in Disaster Relief. *Transportation Research Part B: Methodological*, 50, 20-41.
18. Sheu, J.B., 2014. Post-Disaster Relief-Service Centralized Logistics Distribution with Survivor Resilience Maximization. *Transportation Research Part B: Methodological*, 68, 288-314.
19. Oruc, B.E., Kara, B.Y., 2018. Post-Disaster Assessment Routing Problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 116, 76-102.
20. Eisenhandler, O., Tzur, M., 2019. The Humanitarian Pickup and Distribution Problem. *Oper. Res.*, 67(1), 10-32.
21. Eisenhandler, O., Tzur, M., 2019. A Segment-Based Formulation and A Heuristic for the Humanitarian Pickup and Distribution Problem. *Transportation Science*, 53(5), 1389-1408.
22. Mills, A.F., Argon, N.T., Ziya, S., 2018. Dynamic Distribution of Patients to Medical Facilities in the Aftermath of a Disaster. *Oper. Res.*, 66(3), 716-732.
23. Yi, W., Özdamar, L., 2007. A Dynamic Logistics Coordination Model for Evacuation and Support in Disaster Response Activities. *Eur J Oper Res*, 179, 1177-1193.
24. Balcik, B., 2017. Site Selection and Vehicle Routing for Post-Disaster Rapid Needs Assessment. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 101, 30-58.

25. Cherklesly, M., Rancourt, M.È., Smilowitz, K.R., 2019. Community Healthcare Network in Underserved Areas: Design, Mathematical Models, and Analysis. *Production and Operations Management*, 28(7), 1716-1734.
26. Maliene, V., Grigonis, V., Palevičius, V., Griffiths, S., 2011. Geographic Information System: Old Principles with New Capabilities. *Urban Design International*, 16(1), 1-6.
27. Li, X., Zhao, Z., Zhu, X., Wyatt, T., 2011. Covering Models and Optimization Techniques for Emergency Response Facility Location and Planning a Review. *Mathematical Methods of Operations Research*, 74(3), 281-310.
28. Caprara, A., Toth, P., Fischetti, M., 2000. Algorithms for the Set Covering Problem. *Annals of Operations Research*, 98(1-4), 353-371.
29. Puotinen, M., 2009. A Primer of GIS: Fundamental Geographic and Cartographic Concepts - by Francis Harvey. *Geographical Research*, 47(2), 219-221.
30. Ye, M., Zhou, G. 2007. A Local Genetic Approach to Multi-Objective, Facility Layout Problems with Fixed Aisles. *Int. J. Prod. Res.*, 45, 5243-5264.
31. Singh, S.P., Singh, V.K., 2011. Three-Level AHP-Based Heuristic Approach for a Multi-Objective Facility Layout Problem. *Int. J. Prod. Res.*, 49, 1105-1125.
32. Teixeira, J.C., Antunes, A.P., 2008. A Hierarchical Location Model for Public Facility Planning. *European Journal of Operational Research*, 185(1), 92-104.
33. Lovett, A., Haynes, R., Sünnerberg, G., Gale, S., 2002. Car Travel Time and Accessibility by Bus to General Practitioner Services: A Study Using Patient Registers and GIS. *Social Science & Medicine*, 55(1), 97-111.

Ranking and Evaluation of G7 Countries and Turkey by GGGI Indicators Using ENTROPY, CRITIC and EDAS Methods

Sevgi EŞİYOK*¹ ORCID 0000-0003-0208-6242

Erhan ARIŞ¹ ORCID 0000-0002-9055-7317

Z. Figen ANTMEN² ORCID 0000-0001-8475-1300

¹Cukurova University, Institute of Social Sciences, Adana, Türkiye

²Cukurova University, Engineering Faculty, Department of Industrial Engineering, Adana, Türkiye

Geliş tarihi: 09.06.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atf şekli/ How to cite: EŞİYOK, S., ARIŞ, E., ANTMEN, Z.F., (2023). Ranking and Evaluation of G7 Countries and Turkey by GGGI Indicators Using ENTROPY, CRITIC and EDAS Methods. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(3), 647-660.

Abstract

The rapid increase in industrialization in societies causes environmental problems to emerge as an important problem. In all societies, the approach to the environment is becoming more sensitive and it is observed that studies on environmental performance have started to increase. The Global Green Growth Index (GGGI), an important measure of environmental performance, has been publishing reports comparing countries' performance scores since 2005. This study examines the changes in the rankings in the post-2010 period by using the Global Green Growth Index data to determine the environmental performance rankings of G7 countries and Turkey. The main objective of the study is to contribute to the realization of sustainable development by determining the position of G7 countries and Turkey according to GGGI. In the study, the performance ranking of the countries for the years 2010-2020 was made by using the ENTROPY and CRITIC weighting methods, which are among the Multi-Criteria Decision Making methods (MCDM), and the EDAS ranking method. In addition, sensitivity analysis was performed to determine the importance of criterion weights affecting performance rankings. While Germany exhibits the best performance in general, it is observed that Turkey performs lower than developed countries. It has been determined that the indicator of efficient and sustainable resource use has a significant impact on the environmental performance of countries.

Keywords: Global green growth index, Sustainability, CRITIC, ENTROPY, EDAS

G7 Ülkeleri ve Türkiye'nin ENTROPY, CRITIC ve EDAS Yöntemleriyle GGGI Göstergelerine Göre Sıralaması ve Değerlendirilmesi

Öz

Toplumlarda endüstrileşmenin hızla artması, çevre ile ilgili sorunların önemli bir problem olarak karşımıza çıkmasına neden olmaktadır. Tüm toplumlarda çevreye olan yaklaşım oldukça duyarlı hale gelmekte ve

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Sevgi EŞİYOK, sevgiesiyok@gmail.com

bununla ilgili çevre performansına yönelik çalışmaların da artmaya başladığı gözlenmektedir. Önemli bir çevresel performans ölçüğü olan Küresel Yeşil Büyüme Endeksi (KYBE), 2005'ten bu yana ülkelerin performans puanlarını karşılaştıran raporlar yayınlamaktadır. Bu çalışmada, G7 ülkeleri ve Türkiye'nin çevre performans sıralamalarını belirlemek için Küresel Yeşil Büyüme Endeksi verileri kullanılarak 2010 sonrası dönemde sıralamadaki değişimler incelenmektedir. Çalışmanın temel amacı, KYBE'ne göre G7 ülkeleri ve Türkiye'nin geldiği noktayı belirleyerek sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleşmesine katkıda bulunmaktır. Çalışmada Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden (ÇKKV) ENTROPİ ve CRITIC ağırlıklandırma yöntemleri ile EDAS sıralama yöntemi kullanılarak 2010-2020 yıllarına ait ülkelerin performans sıralaması yapılmıştır. Ayrıca performans sıralamalarını etkileyen kriter ağırlıklarının önemini belirlemek için duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Almanya genel olarak en iyi performansı sergilerken, Türkiye'nin gelişmiş ülkelere göre daha düşük performans sergilediği gözlenmektedir. Verimli ve sürdürülebilir kaynak kullanımını göstergesinin, ülkelerin çevresel performansları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Küresel yeşil büyüme endeksi, Sürdürülebilirlik, CRITIC, ENTROPİ, EDAS

1. INTRODUCTION

Parallel to the increase in human population and production, the growth of the world economy has brought about environmental problems. The recent rapid increase in environmental problems and the risks of global warming have prompted industrialized countries to take environmental protection measures. For this purpose, national and international institutions for the protection of the environment have been created, numerous international meetings have been held, treaties and agreements have been concluded, and various environmental performance indices have been established.

In the global world where access to resources is limited, the understanding of sustainable development has gained importance, especially in the last decade, to ensure effective use of resources and balanced economic growth. Recent economic crises, climate change, resource depletion, and health problems such as the pandemic COVID-19 have put the concepts of green economy, low carbon economy, sustainable production and consumption on the sustainable development agenda.

Green Development offers clear insights into the challenges of environmental sustainability, social and economic development. It provides a clear and coherent analysis of sustainable development in theory and practice [1]. Based on green

development, green reordering is a comprehensive strategy to overcome the crises affecting our economy, climate, environment and social justice [2]. In this context, international organizations such as the United Nations and country governments have developed various measurement and tracking indices. These include Climate Change Performance Index (CCPI), Environmental Performance Index (EPI), Global Green Economy Index (GGEI) and Global Green Growth Index (GGGI).

GGGI was established as an international organization with 18 founding members who signed the founding agreement in 2012, and has 43 members, according to the list of members published on GGGI's official website in 2022. The group of G7 countries (USA, Germany, United Kingdom, Italy, France, Japan and Canada) was formed after the 1973 oil crisis by the seven most developed countries of the time. According to 2018 data, it generates 46% of the world's GDP, owns 58% of the world's wealth, and occupies 15% of the world's land area with 20 million square kilometers [3]. Except for the United Kingdom, there are no G7 countries that are members of the GGGI. Turkey is also not a member of GGGI.

GGGI consists of four green growth dimensions: efficient and sustainable resource use, natural capital protection, green economic opportunities and social inclusion. It aims to measure performance with these criteria and provide policy

makers with a system to measure and improve green growth performance. In 2019, GGGI introduced the first comparative Green Growth Index, a composite index that measures a country's performance in meeting sustainability goals across these four dimensions, including United Nations Sustainable Development Goals, Paris Climate Agreement, and Aichi Biodiversity targets. The indicator for green economy opportunities has the lowest performance value among the index values. According to GGGI data, GGGI levels increased by more than 10% in 48 countries, between 1% and 10% in 43 countries, and between 0% and 1% in 6 countries. The decrease in GGGI was between 1% and 10% in 13 countries and more than 10% in 7 countries. Although the values are not very high, the GGGI values of the countries for the year 2019 have increased compared to 2005. According to the GGGI report published in 2020, there are 119 countries that have achieved the Green Growth Index. (25 countries in Africa, 20 countries in the Americas, 35 countries in Asia, 36 countries in Europe and only 3 countries in Oceania). According to the same report, almost half of the countries have scores between 40 and 60, and these countries occupy about 77 million km² of the global land area. There are 41 countries with high scores, between 60 and 80, most of which are in Europe. The 6 countries with low scores, between 20 and 40, are predominantly from Africa and Asia. There are no countries with very low scores, below 20. Sweden, located in Northern Europe, has the highest green growth index with 78.72 points [4].

In our country, the "Green Growth" and "Sustainable Development" approaches are based on climate action in the 10th Development Plan. In addition, the National Climate Change Strategy Document covering the years 2010-2020 within the scope of combating climate change determines the basic policies, while another complementary basic document is the 2011-2023 National Climate Change Action Plan. These documents include measures related to energy, buildings, industry, transportation, agriculture, land use and forestry, waste sectors under the headings of climate change mitigation, adaptation, technology transfer, financing and capacity building [5].

To understand the performance of countries, it is very important to review the trends in the past years disaggregated by region and size. Understanding the causes and extent of upward and downward trends in the index will allow policymakers to gain insights into which areas of green growth require more attention. As more countries become members of GGGI, there is an opportunity to have a stronger global voice and reach, and to leverage lessons learned from the green growth pool. In this sense, the participation of the G7 countries and Turkey in the GGGI will be of great benefit to both sides. In this study, the environment and sustainability-oriented data of the G7 countries, which are the 7 largest countries in the world in terms of economy and industrialization, and our country are listed with MCDM techniques. Performance ranking was performed using the longest available data set instead of a one-year assessment.

This study consists of four parts. In the first part of the study, literature studies that examine the environmental performance of countries in the world and Turkey were reviewed. In the next section, based on the relevant literature studies, the methods to be used in the study were determined and explained. In the research part of the study, the data obtained from the GGGI report and the performance of the G7 countries and Turkey were analyzed using the weighting methods CRITIC and ENTROPY and the EDAS ranking method. Efficient and sustainable resource use, natural capital protection, green economic opportunities and social inclusion indicators, which are the four main indicators of GGGI, were taken into consideration as ranking criteria. In weighting these criteria, sensitivity analyzes were performed for 2019 and 2020 and the findings obtained from the study were evaluated. In the conclusion part of the study, suggestions are presented based on the research findings.

2. LITERATURE RESEARCH

GGGI has initiated a very important sustainability study on a global scale. The aim of this study is to create several scenarios that correspond to the situation of the countries of the world and the situation of other countries. An examination of the

situation of Turkey in GGGI, which it is not yet a member of regarding the available data, will provide important data for monitoring its place in the ranking over the years and for making a membership decision. Monitoring the GGGI ranking of G7 countries (with the exception of England, which is a GGGI member), which take important positions in setting social and economic policy at the global level, can also contribute to membership decisions. In this way, GGGI's global green development practices can be more widely disseminated and global action can be taken more quickly. For this purpose, environmental performance studies conducted in Turkey and in other countries which play an important role in the countries' achieving their sustainability goals have been investigated. In the discussed framework, the relevant literature studies have been summarized.

Alkaya utilized DEA to determine the efficiency of OECD countries based on their environmental performance in 2022 [6]. As a result of the study, Denmark, Finland, Sweden, Iceland, Colombia, Latvia, Lithuania and Luxembourg were classified as efficient countries based on their environmental performance, while other OECD countries were classified as inefficient. Korea and Turkey were found to be the two least efficient countries in terms of environmental performance.

Altıntaş conducted a study for the 2020 Environmental Performance Index scores of 19 countries in the G20 countries [7]. The criteria weights of the EPI components of the countries were determined using the ENTROPY method. Countries' environmental performance was ranked using ROV, ARAS, and COPRAS methods. As a result of the research, it was found that the most important component that determines environmental performance of each country is water resources. In another study in Altıntaş assessed the environmental performance of the countries in the G7 group using the 2018 EPI components [8]. The ranking of countries was conducted using the CODAS and TOPSIS methods, which are part of the MCDM methods. As a result of the study, the ranking of environmental performance of countries which was made using the CODAS method was identified to be in the

following order: England, France, Japan, Germany, Canada, Italy and the USA. According to the TOPSIS method, this ranking was determined as England, France, Germany, Japan, Canada, Italy and USA.

Liu et. al. used one of the MCDM methods, BWM (Best Worst Method), to evaluate the environmental performance of 30 provincial administrative regions in China in 2021. A linear programming model was developed to determine the weights of the criteria used in the analysis [9].

Ok et.al. classified EU countries and Turkey based on the most important indicators of green growth in 2021 [10]. Turkey and EU countries were classified into groups considering the 5 most important indicators of green growth. As a result of the analysis, countries that were homogeneous in terms of the main indicators of green growth and had similarities among themselves were divided into groups, and it was investigated whether Turkey had similar characteristics to the other countries in the same group, and the statistical results were evaluated.

Akhanova et. al. made use of the SWARA method to determine the weighting of categories and indicators in Kazakhstan's Building Sustainability Assessment in 2020, and the results of the research are expected to provide a useful reference for green building decision makers in the country [11].

Dang et. al. used MCDM methods to assess the environmental quality of OECD countries in 2020. The ENTROPY method was utilized to weight the criteria, and the VIKOR method was used to rank OECD countries according to their environmental quality [12].

Matsumoto et. al. used DEA to measure the environmental performance of European countries in 2020 [13]. As a result of the study, it was found that environmental performance was negatively affected by the 2007-2008 financial crisis and that both economic and environmental variables significantly affected the overall productivity of countries.

In the 2019 study by Wu et. al., a quantitative environmental performance assessment model was developed based on the hybrid MCDM approach, with key environmental indicators based on ISO 14031 environmental performance assessment (EPE) dimensions [14]. As a result of the study, it was found that the three most important environmental indicators are factory sewage discharge, greenhouse gas emissions and the rate of green product designs in reducing CO₂.

In 2017, Cucchiella et. al. conducted a study with MCDM methods using Eurostat data to assess the current sustainability performance of European countries from an environmental and energy perspective [15].

Eğilmez et. al. contacted experts from academia, government, and industry to determine the environmental sustainability performance of 27 U.S. and Canadian metropolitan areas, and a methodology was developed in 2015 [16]. A hierarchical fuzzy MCDM approach was developed by establishing criteria in accordance with sustainability performance evaluation forms prepared with experts and proposals were put forward.

Guo et. al. developed the ENTROPY-based DEMATEL model to promote the green development of China's economy and evaluate sustainability indicators, in 2015 [17]. To show that development will be the main driving force, they concluded that energy is not only the most influential factor, but also a causal factor.

Halkos et. al. examined the environmental performance of 110 countries in 2014 and used DEA to examine countries' mandated emission-reduction percentages [18].

3. METHOD AND MATERIALS

The application of MCDM techniques based on GGGI data and 4 basic performance indicators in monitoring countries' green growth rankings will make significant contributions in identifying strengths and weaknesses relative to member

countries, as well as development opportunities and sustainability risks.

In assessing the green growth performance of 8 countries, the Green Growth Index, which is composed of four criteria, including efficient and sustainable resource use, natural capital protection, green economic opportunity, and social inclusion indicators was utilized. Dang used the ENTROPY method for criterion weighting while evaluating OECD countries in terms of environmental performance in 2019 [12]. Arsu et.al. used the CRITIC method for criterion weighting while evaluating the economic, social and environmental performances of OECD countries in 2021 [19]. In assessing the climate change performance of G7 countries in [8], Altıntaş applied the EDAS method to rank the countries' performance. In reviewing the literature related to the study, it was found that CRITIC and ENTROPY methods were used for criteria weighting and EDAS method was used for performance ranking. For this reason, the CRITIC and ENTROPY methods were used to weight the 4 criteria, and the EDAS method was used to rank the countries.

• CRITIC Method

The CRITIC method first entered the literature in 1995 with a study conducted by Diakoulaki et. al. [20]. The CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) method aims to determine objective weights of relative importance in MCDM problems. The resulting weights include both contrast intensity and conflict, which are inherent in the structure of the decision problem. The developed method is based on analytical study of the evaluation matrix to extract all the information contained in the evaluation criteria [20].

The most important feature that distinguishes the CRITIC method from other methods is that it is an objective weighting, using the standard deviations of the criteria and the correlation between the criteria together, rather than subjective results derived from expert opinions [21].

The CRITIC method consists of five steps as follows [20]:

Step 1: Creating the Decision Matrix

The decision matrix contains the criteria values corresponding to different alternatives. It is created as in Equation (1):

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

x_{ij} , i. alternative j. Indicates the criterion value.

Step 2: Normalization of Decision Matrix

In the normalization process, Equation (2) is used for maximization-oriented criteria and Equation (3) is used for minimization-oriented criteria (Equation 2, Equation 3):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{min}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{max} - x_{ij}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad (3)$$

Step 3: Creating the Relationship Coefficient Matrix

The correlation coefficients (ρ_{jk}) used to measure the degree of relations between the evaluation criteria are calculated as in Equation (4):

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j) \cdot (r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \cdot \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}} \quad (4)$$

$j, k = 1, 2 \dots \dots \dots n$

Step 4: Calculating C_j Values

C_j , which combines both features and expresses the total information found in j criteria, is calculated using the standard deviation σ_j of the column values of the normalized decision matrix. Equation 5 and Equation 6 can be used for these operations (Equation 5, Equation 6):

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}) \quad j = 1, 2 \dots \dots n \quad (5)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2}{m - 1}} \quad (6)$$

Step 5: Calculating Criterion Weights

The objective weights of the criteria can be calculated with the help of Equation (7):

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^n C_k} \quad j, k = 1, 2 \dots \dots n \quad (7)$$

Objective weight values are ordered from the largest to the smallest. It is concluded that the criterion with the highest weight is more important.

• ENTROPY Method

The term entropy, first defined by Rudolph Clausius in 1865, entered the literature as a measure of disorder and uncertainty and is used in thermodynamics [22]. Information entropy is a measure of uncertainty first introduced by Shannon in his 1948 article *A Mathematical Theory of Communication* and has since been widely used in engineering, management, and many other fields. According to the concept of information entropy, the number or quality of information obtained from the decision-making environment is one of the determinants of the accuracy and reliability of the decision-making problem. For this reason, entropy is a very good measure when applied with different considerations in different decision-making processes [23].

ENTROPY method consists of 5 stages [24].

Step 1: Creating the decision matrix

As shown in Equation (8), a decision matrix with m decision options and n evaluation criteria is created (Equation 8):

$$X_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Step 2: Normalizing the decision matrix

The criteria are normalized with the help of Equation (9):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (9)$$

Step 3: Calculating the entropy value

The entropy variable (E_j) is calculated with the help of the formula in Equation (10):

$$E_j = -k \sum_{i=1}^n r_{ij} \ln(r_{ij}) \quad (10)$$

$$k = (\ln(n))^{-1}$$

Step 4: Finding the degrees of differentiation

The differentiation measure of the entropy variable (d_j) is found with the help of Equation (11).

$$d_j = 1 - E_j \quad (11)$$

Step 5: Finding the entropy weight

The objective weight of each criterion is found by using Equation (12).

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (12)$$

• EDAS Method

EDAS method (Evaluation based on Distance from Average Solution), a new MCDM method, was first introduced in 2015 by [25] and has been reported in the literature. The EDAS method is similar to MCDM methods COPRAS, MOORA, TOPSIS and VIKOR in terms of trying to find a solution based on distance. However, in the EDAS method, it is not necessary to calculate the best and the worst values.

In the method, the best alternative is found by calculating the average solution distances of the alternatives according to each criterion.

For a case with n alternatives and m criteria, the steps are as follows [25]:

Step 1: Select the most important criteria that determine the alternatives.

Step 2: The decision matrix (X) is created as shown in Equation (13).

$$X = [x_{ij}]_{n \times m} \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Here,

X_{ij} shows the performance value of the alternative i according to the jth criterion.

Step 3: The average solution is determined according to all criteria as shown in Equations (14) and Equations (15).

$$AV = [AV_j]_{1 \times m} \quad (14)$$

$$AV_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} \quad (15)$$

Step 4: According to equations (16) and (17), positive distance from the mean (PDA) and negative distance from the mean (NDA) are calculated according to the type of criteria (benefit and cost) (Equation 16 and Equation 17):

$$PDA = [PDA_{ij}]_{n \times m} \quad (16)$$

$$NDA = [NDA_{ij}]_{n \times m} \quad (17)$$

If the criterion j is benefit-based (Equation 18, Equation 19):

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (18)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j} \quad (19)$$

If the criterion j is cost-based (Equation 20 and Equation 21):

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j} \quad (20)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (21)$$

In Figure 1, PDA_{ij} and NDA_{ij} show the positive and negative distance of the i. alternative from the mean solution, respectively, in terms of the jth criterion.

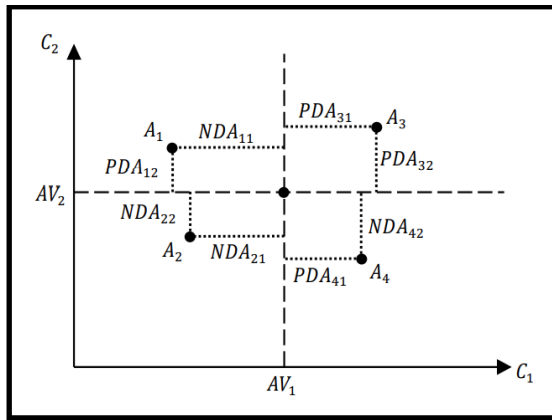


Figure 1. PDA and NDA values in a simple case [25]

Step 5: The weighted sum of PDA and NDA for all alternatives is determined (Equation 22 and Equation 23):

$$SP_i = \sum_{j=1}^m w_j PDA_{ij} \quad (22)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^m w_j NDA_{ij} \quad (23)$$

w_j , is the weight of the jth criterion.

Step 6: the SP and SN values for all alternatives as shown in Equations below are normalized. (Equation 24 and Equation 25).

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max_i SP_i} \quad (24)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max_i SN_i} \quad (25)$$

Step 7: As in Equation (26), the evaluation score (AS) is calculated for all alternatives (Equation 26).

$$AS_i = \frac{1}{2} (NSP_i + NSN_i) \quad (26)$$

It is between $0 \leq AS_i \leq 1$

Step 8: The alternatives are ranked according to the decreasing values of the evaluation score (AS). Among the alternatives under consideration, the alternative with the highest AS value is the best choice.

4. RESEARCH AND FINDINGS

GGGI performance indicators and country data published on the official GGGI website were used for the study. According to country performance data of G7 countries and Turkey, criteria weights were calculated annually using ENTROPY and CRITIC methods, which are criteria weighting methods from MCDM techniques and allow objective weighting. According to the data from the report published by the Global Green Growth Institute, the descriptive statistics of G7 and GGGI performance indicators of Turkey are shown in Table 1.

Table 1. Descriptive statistics of GGGI data of countries between 2010-2020

Country	Descriptive Statistics	Social Inclusion	Natural Capital Protection	Efficient and Sustainable Resource Use	Green Economic Opportunities
USA	Min	79.91	59.93	51.19	29.48
	Average	82.12	61.18	51.84	32.88
	Max	83.64	61.65	52.19	35.88
	Std.D.	1.61	0.55	0.34	2.26
Germany	Min	87.77	81.10	54.86	50.82
	Average	89.67	81.75	60.53	52.41
	Max	91.39	82.39	62.91	54.23
	Std.D.	1.49	0.47	2.50	1.20
UK	Min	87.31	76.29	61.95	31.87
	Average	89.11	77.76	63.11	36.87
	Max	90.49	78.89	63.74	38.64
	Std.D.	1.18	0.92	0.68	1.94
France	Min	87.01	75.61	57.68	36.93
	Average	88.89	76.83	60.08	39.98
	Max	91.03	78.09	62.08	41.86
	Std.D.	1.51	0.88	1.61	2.05
Italy	Min	83.29	77.91	60.92	41.23
	Average	84.97	79.51	62.79	42.41
	Max	86.24	80.40	63.74	44.11
	Std.D.	1.33	0.98	1.14	1.04
Japan	Min	79.76	62.29	54.93	33.75
	Average	80.32	65.62	56.86	36.71
	Max	80.77	70.97	58.05	41.95
	Std.D.	0.33	4.18	1.10	2.84
Canada	Min	84.54	56.60	56.22	32.45
	Average	85.99	56.91	56.59	33.86
	Max	86.91	57.08	56.98	35.01
	Std. D.	0.90	0.15	0.26	0.91
Turkey	Min	71.34	52.98	54.68	28.89
	Average	75.38	53.13	57.01	29.83
	Max	76.93	53.44	59.06	30.62
	Std.D.	2.08	0.14	1.96	0.60

As shown in Table 1, Germany compares favorably with other countries on indicators of social inclusion, natural capital protection, and green economy opportunities. On the indicator of efficient and sustainable use of resources, the United Kingdom showed the best performance. While Turkey outperformed other countries in social inclusion, natural capital protection and green

economy opportunities indicators, the USA ranked lower than other countries in terms of effective and sustainable resource use performance.

Annual performance criteria weights between 2010 and 2020 calculated using GGGI data and an MCDM technique, ENTROPY, are shown in Table 2.

Table 2. “ENTROPY” weighting coefficients of criteria according to GGGI data between 2010-2020

ENTROPY	Social Inclusion	Natural Capital Protection	Efficient and Sustainable Resource Use	Green Economic Opportunities
2010	0.06	0.36	0.05	0.53
2011	0.07	0.39	0.05	0.50
2012	0.05	0.39	0.05	0.51
2013	0.05	0.40	0.06	0.49
2014	0.05	0.41	0.07	0.47
2015	0.05	0.42	0.07	0.47
2016	0.05	0.41	0.07	0.48
2017	0.05	0.40	0.08	0.48
2018	0.05	0.38	0.08	0.49
2019	0.05	0.38	0.08	0.49
2020	0.05	0.38	0.08	0.49

As shown in Table 2, the sum of the weighting coefficients of the performance indicators of natural capital protection and green economy opportunities is between 0.87 and 0.90. The sum of the weighting coefficient of the social inclusion indicator and the weighting coefficient of the efficient and sustainable resource use indicator is between 0.10 and 0.13. The lowest and highest performance weight coefficients calculated between 2010 and 2020 according to the ENTROPY method are between 0.42 and 0.47, and it is observed that there are significant differences between the criteria weights.

Like the ENTROPY method, the CRITIC method is one of the most widely used MCDM methods in research for criterion weighting due to its advantages such as considering quantitative data and not requiring the opinions of decision makers [26]. For this reason, the criteria weighting in the study was also repeated using the CRITIC method. Annual performance criteria weights calculated using data from GGGI and CRITIC, a MCDM technique, for the period 2010 to 2020 were realized as shown in Table 3.

Table 3. “CRITIC” weight coefficients of criteria according to GGGI data between 2010-2020

CRITIC	Social Inclusion	Natural Capital Protection	Efficient and Sustainable Resource Use	Green Economic Opportunities
2010	0.27	0.23	0.19	0.31
2011	0.26	0.20	0.23	0.31
2012	0.26	0.18	0.26	0.30
2013	0.26	0.18	0.27	0.28
2014	0.26	0.17	0.28	0.29
2015	0.28	0.16	0.29	0.28
2016	0.28	0.18	0.29	0.25
2017	0.27	0.23	0.27	0.23
2018	0.27	0.23	0.24	0.26
2019	0.27	0.23	0.24	0.27
2020	0.27	0.23	0.24	0.26

As shown in Table 3, the difference between the lowest and highest performance weighting coefficients calculated annually between 2010 and 2020 using the CRITIC method for the performance indicators identified by GGGI ranges from 0.03 to 0.13. In addition, the weighting coefficients of the performance indicators calculated with CRITIC are

more evenly distributed.

The ranking of country performance calculated with the EDAS method according to the criteria weights determined with ENTROPY method from the data of the study period used was realized as shown in Figure 2.

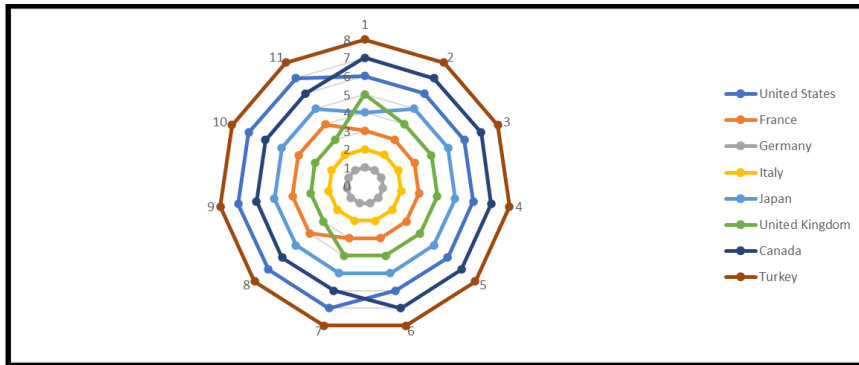


Figure 2. GGGI ENTROPY-EDAS country ranking

Based on GGGI data published regularly by the Global Green Growth Institute for the period 2010 to 2020, country performance rankings were calculated using ENTROPY criteria weighting and EDAS ranking methods. While Germany ranked first throughout the whole study period, Turkey performed worse than the other countries. According to the data of the GGGI index, which is based on the assessment within the framework of the criteria of efficient and sustainable resource use, natural resource protection, green economic opportunities and social inclusion, the United

Kingdom moved from the fourth to the third place, displacing France from its position after 2016. According to the data of the report published by the Global Green Growth Institute, Canada moved from the seventh to the sixth rank, replacing the ranking of the USA after 2015. In the next stage of the study, the data of the study period and the criteria weights were recalculated using the CRITIC method. As a result, the ranking of country performance calculated using the EDAS MCDM method was produced according to the criteria weights obtained (see Figure 3).

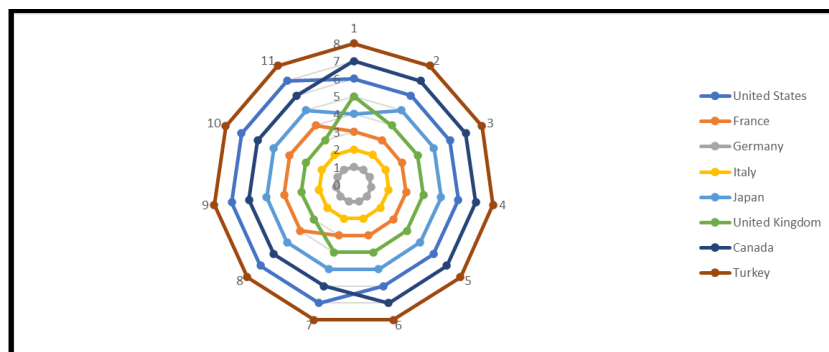


Figure 3. GGGI CRITIC-EDAS country ranking

According to GGGI data for the period 2010-2020, Germany ranks first in the country rankings calculated according to the CRITIC criteria weighting and the EDAS ranking method during the study period, while Turkey performs worse than the other countries. The United Kingdom, which is a member of GGGI, replaced France in the ranking after 2016, rising from the fourth to third place, similar to the results of the ENTROPY method. The ranking of other countries remained the same in all years, in contrast to the results obtained with the ENTROPY method.

• **Sensitivity Analysis**

MCDM assumes defining criteria by which selection results can be evaluated effectively. It also allows for comparison of relevant methods and selection of the most suitable one. The results of MCDM methods mostly depend on the values of the coefficients of the weighting criteria, that is, on the relative importance given to certain criteria. Sometimes the final selections display differences with minor changes in the weighting criteria

coefficients. Therefore, the results of MCDM methods can be compared with an analysis of their sensitivity to these changes [27]. In this study, a sensitivity analysis was performed to control the effects of criterion weights on country performance. The weighting of the sensitivity analysis criteria is shown in Table 4. Here, combinations of 10 percent and 70 percent weighting of the criteria are considered separately. For example, in the case of “1117”, the criteria for social inclusion, natural capital protection, and efficient and sustainable use of resources are assigned 10 percent weight, while the green economy opportunities criteria are assigned 70 percent weight. Similarly, the calculations were continued for four different situations according to the four criteria. With the sensitivity analysis carried out, it is aimed to reveal which of the criteria of social inclusion, natural capital protection, efficient and sustainable resource use and green economy opportunities for a green economy used in the evaluation of country performance plays a greater role in overall performance.

Table 4. Weight coefficients of criteria for sensitivity analysis between 2010-2020

Weight Code	Social Inclusion	Natural Capital Protection	Efficient and Sustainable Resource Use	Green Economic Opportunities
Equal Weight	0.25	0.25	0.25	0.25
1117	0.10	0.10	0.10	0.70
1171	0.10	0.10	0.70	0.10
1711	0.10	0.70	0.10	0.10
7111	0.70	0.10	0.10	0.10

As a result of the sensitivity analysis, it was found that there were no significant changes in the ranking of country performance according to the weighting coefficients ENTROPY and CRITIC. It has been observed that the most change was observed in the calculation conducted with the weighting coded “1171” in which social inclusion, natural capital protection and green economy opportunities indicators were found to have a significance level of 0.10, and the indicator of effective and sustainable resource use had a significance level of 0.70.

5. CONCLUSION

Environmental management has become an international issue in recent decades. Many researchers have highlighted the importance of using and managing natural resources [28-30]. Public concern about environmental pollution and degradation, as well as climate change, has led to global awareness of the need to reduce greenhouse gas emissions and protect the environment. Environmental quality has a significant impact on

human health, comfort and well-being. It also affects economic and social development. For this reason, government agencies, businesses, and social institutions have proposed a number of policies, procedures, and guidelines to promote environmentally conscious behavior.

Measuring environmental quality is critical since it provides evidence for creating and improving the quality of the environment, which improves the quality of people's lives [12]. For this purpose, in this study, annual country performance rankings were calculated for G7 countries and Turkey with GGGI's data between the years 2010-2020, using ENTROPY and CRITIC weighting and EDAS ranking methods. While Germany showed the best performance overall, Turkey performed lower than developed countries such as USA, UK, Germany, France, Japan, Italy and Canada.

The study also conducted sensitivity analyzes for the weighting coefficients of the country performance rankings based on performance indicators. In the calculation made with the criteria weights coded as "1171", it was observed that the indicator of effective and sustainable resource use is more effective in the ranking than the other criteria in the GGGI performance ranking for the G7 and Turkey. If Turkey improves its performance in terms of efficient and sustainable resource use in particular, it can achieve better results in the country rankings.

Consequently, it is considered that it would be beneficial to be taken into account by academic and political circles in the assessments to be made in Turkey and the G7.

6. REFERENCES

1. Adams, W., M., 2009. Green Development (3rd ed.). Taylor & Francis Group, 478.
2. Özcan, Y.K., 2019. Yeşil Yeni Düzen ve Yeşil Büyüme Bağlamında Kayseri, Sakarya, Hatay ve Samsun Örnekleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23(3), 1013-1031.
3. Gülmez, A., Özdilek, E., Karakaş, D. N., 2021. Ekonomik Büyüme, Ticari Açıklık ve Enerji Tüketiminin Ekolojik Ayak İzine Etkileri: G7 Ülkeleri İçin Panel Eşbütünleşme Analizi. Econdor International Academic Journal, 5(2), 329-342.
4. Green Growth Index, 2020. <https://greengrowthindex.gggi.org/wp-content/uploads/2021/03/2020-Green-Growth-Index.pdf>. Erişim Tarihi: 10.05.2022
5. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Değerlendirme Raporu, 2019. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/03/Surdurulebilir-Kalkinma-Amaclari-Değerlendirme-Raporu_13_12_2019-WEB.pdf Erişim Tarihi: 10.05.2022
6. Alkaya, A., 2022. OECD Ülkelerinin Çevresel Performans Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi. Ekonomi, Finans ve İktisadi Bilimler Alanında Akademik Çalışmalar-I, 9-30.
7. Altıntaş, F., 2021a. Çevre Performanslarının ENTROPİ tabanlı ROV, ARAS ve COPRAS Yöntemleri ile Ölçülmesi: G20 Grubu Ülkeleri Örneği. Social Sciences Research Journal, 10(1), 55-78.
8. Altıntaş, F., 2021b. Ülkelerin Çevre Performanslarının CODAS ve TOPSIS Yöntemleri ile Ölçülmesi: G7 Grubu Örneği. Ulakbilge Dergisi, 9(59), 544-559.
9. Liu, P., Zhu, B., Wang, P., 2021. A Weighting Model Based on Best–Worst Method And Its Application For Environmental Performance Evaluation. Applied Soft Computing, 103.
10. Ok, Y., Yılmaz Kaya, B., 2021. Clustering Analysis of Turkey and EU Countries on the Axis Of Green Growth Headline Indicators. SYM-OP-IS 2021, 483-488.
11. Akhanova, G., Nadeem, A., Kim, J. R., Azhar, S., 2020. A Multi-Criteria Decision-Making Framework for Building Sustainability Assessment in Kazakhstan. Sustainable Cities and Society, 52.
12. Dang, V. T., Dang, W.V.T., 2020. Multi-Criteria Decision-Making in the Evaluation of Environmental Quality of OECD Countries:

- The ENTROPY Weight and VIKOR Methods. *International Journal of Ethics and Systems*, 36(1), 119-130.
13. Matsumoto, K., Makridou, G., Doumpos, M., 2020. Evaluating Environmental Performance Using Data Envelopment Analysis: The Case of European Countries. *Journal of Cleaner Production*, 272.
 14. Wu, H.-Y., Tsai, A., Wu, H.-S., 2019. A Hybrid Multi-Criteria Decision Analysis Approach for Environmental Performance Evaluation: An Example of the Tft-Lcd Manufacturers in Taiwan. *Environmental Engineering and Management Journal*, 18(3), 597-616.
 15. Cucchiella, F., D'Adamo, I., Gastaldi, M., Koh, S.L., Rosa, P., 2017. A Comparison of Environmental and Energetic Performance of European Countries: A Sustainability Index. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 401-413.
 16. Eğilmez, G., Gümüş, S., Küçükvar, M., 2015. Environmental Sustainability Benchmarking of the U.S. and Canada Metropolises: An Expert Judgment-Based Multi-Criteria Decision Making Approach. *Cities*, 42(PA), 31-41.
 17. Guo, L., Wu, C., Yu, J., 2015. Influencing Factors Identification of Green Growth In China Based on Entropy-DEMATEL Model. *AASRI International Conference on Industrial Electronics and Applications (IEA 2015)*, 568-571.
 18. Halkos, G.E., Tzeremes, N.G., 2014. Measuring the Effect of Kyoto Protocol Agreement On Countries' Environmental Efficiency in CO2 Emissions: An Application of Conditional Full Frontiers. *Journal of Productivity Analysis*, 41(3), 367-382.
 19. Arsu, T., Ayçin, E., 2021. Evaluation of OECD Countries with Multicriteria Decision-Making Methods in Terms of Economic, Social and Environmental Aspects. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 4(2), 55-78.
 20. Diakoulaki, D., Mavrotas, G., Papayannakis, L., 1995. Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems: The Critic Method. *Computers Ops Res*, 22.
 21. Ayçin, E., 2020. Personel Seçim Sürecinde CRITIC ve MAIRCA Yöntemlerinin Kullanılması. *The Business Journal*, 2020(1), 1-12.
 22. Zhang, H., Gu, C.-L, Gu, L.-W., Zhang, Y., 2011. The Evaluation of Tourism Destination Competitiveness by TOPSIS & Information Entropy - A Case in the Yangtze River Delta of China. *Tourism Management*, 32(2), 443-451.
 23. Wu, J., Sun, J., Liang, L., Zha, Y., 2011. Determination of Weights for Ultimate Cross Efficiency Using Shannon ENTROPY. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5162-5165.
 24. Čereska, A., Podvezko, V., Zavadskas, E.K., 2016. Operating Characteristics Analysis of Rotor Systems using MCDM Methods. *Studies in Informatics and Control*, 25(1), 59-68.
 25. Ghorabae, M.K., Zavadskas, E.K., Olfat, L., Turskis, Z., 2015. Multi-Criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS). *Informatica (Netherlands)*, 26(3), 435-451.
 26. Çetin, B., Kuvat, Ö., 2022. Türkiye'de Ekonomik Göstergeler Açısından Düzey 2 Bölgelerinin Geliştirilmiş ENTROPİ ve CRITIC Temelli COPRAS Yöntemi ile Sıralanması. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1), 11-36.
 27. Pamucar, D.S., Božanic, D., Randelovic, A., 2017. Multi-Criteria Decision Making: An Example of Sensitivity Analysis. *Serbian Journal of Management*, 12(1), 1-27.
 28. Muralikrishna V.I., Manickam V. 2017. *Environmental Management*. Elsevier Inc, 664.
 29. Sarkar, S., 2010. *Biodiversity and Environmental Philosophy and Biology: An Introduction*. Cambridge University Press, 280.
 30. Mushtaq B., Bandh S.A., Shafi S. 2020. *Environmental Management: Environmental Issues, Awareness and Abatement*. Springer, 218.

Dikdörtgensel Engellerin Dairesel Oluklu bir Kanalin Isıl-Hidrolik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Ferhat KOCA*¹ ORCID 0000-0001-8849-5295

Cahit GÜRLEK² ORCID 0000-0002-0273-2999

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sivas

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sivas

Geliş tarihi: 14.07.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: KOCA, F., GÜRLEK, C., (2023). Dikdörtgensel Engellerin Dairesel Oluklu bir Kanalin Isıl-Hidrolik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 661-670.

Öz

Bu çalışmada dairesel oluklu bir kanalın alt yüzeyine farklı açılar ve yüksekliklerde yerleştirilen dikdörtgensel engellerin kanalın ısıl-hidrolik özelliklerine olan etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Analizler için 500x10 mm boyutlarında üç bölümden oluşan (yukarı akış, oluklu ve aşağı akış) bir kanal kullanılmıştır. Engeller kanal yüzeyine üç farklı açı ($\beta=45^\circ$, 90° ve 135°) ve üç farklı yükseklikte ($h/H=0,1$, $0,25$ ve $0,5$) yerleştirilmiştir. Süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin çözümleri k- ϵ türbülans modeli kullanılarak Ansys-Fluent sonlu hacimler yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Akış alanına ait türbülans kinetik enerji (TKE) konturları ile ortalama Nusselt sayısı (Nu), sürtünme faktörü (f), basınç düşüşü (ΔP) ve performans değerlendirme kıstas sayısı (PEC) değerleri Reynolds sayısının (Re) 5000-20000 aralığı için elde edilmiştir. En yüksek termal-hidrolik performans $h/H=0,1$, $\beta=45^\circ$ kanal modeli için elde edilmiştir. Bu durum PEC değerlerine göre en düşük performansa sahip $h/H=0,5$, $\beta=135^\circ$ modele kıyasla %26,19 daha fazladır.

Anahtar Kelimeler: Dikdörtgensel engeller, Isı transferi artırma, Oluklu kanal akışı, PEC sayısı

Numerical Investigation of the Effects of Rectangular Obstacles on the Thermal-Hydraulic Properties of a Circular Corrugated Channel

Abstract

In this study, the effect of rectangular obstacles, placed at different angles and heights on the bottom surface of a circular corrugated channel, on the channel's thermal-hydraulic properties was investigated numerically. For analysis, a 500x10 mm dimensional channel, consisting of three sections (upstream, corrugated, and downstream), was used. The obstacles were placed on the canal surface at three different angles ($\beta=45^\circ$, 90° and 135°) and at three different heights ($h/H=0,1$, $0,25$ and $0,5$). The solutions of the continuity, momentum and energy equations were performed using the k- ϵ turbulence model by means of the Ansys-Fluent finite volume method. For the flow field, the turbulent kinetic energy (TKE) contours, the average Nusselt number (Nu), friction factor (f), pressure drop (ΔP) and performance evaluation

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Ferhat KOCA, ferhatkoca@cumhuriyet.edu.tr

criterion number (PEC) values were obtained for the Reynolds number (Re) 5000-20000 range. The highest thermal-hydraulic performance was obtained for the $h/H=0.1$, $\beta=45^\circ$ channel model. This is 26.19% higher than the $h/H=0.5$, $\beta=135^\circ$ model with the lowest performance according to PEC values.

Keywords: Corrugated channel flow, Heat transfer enhancement, PEC number, Rectangular obstacles

1. GİRİŞ

Yüzeyleri çeşitli geometrilerde girinti ve çıkıntılara (engellere) sahip kanallar, katı bir yüzeyle bir akışkanın temas halinde olduğu birçok mühendislik uygulamasında pasif ısı transferi artırma yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bu tür kanallar iletimle ve taşınım ile olan ısı transferi mekanizmalarının birleşik etkisine sahip olduğu için düz yüzeyli kanallara göre daha iyi ısı transferi özellikleri göstermektedir. Bu kanallarda temel olarak yüzey geometrisi aracılığıyla etkin ısı transfer alanı ve akış boyunca karışım artırılarak ısı transferinin iyileştirilmesi sağlanmaktadır.

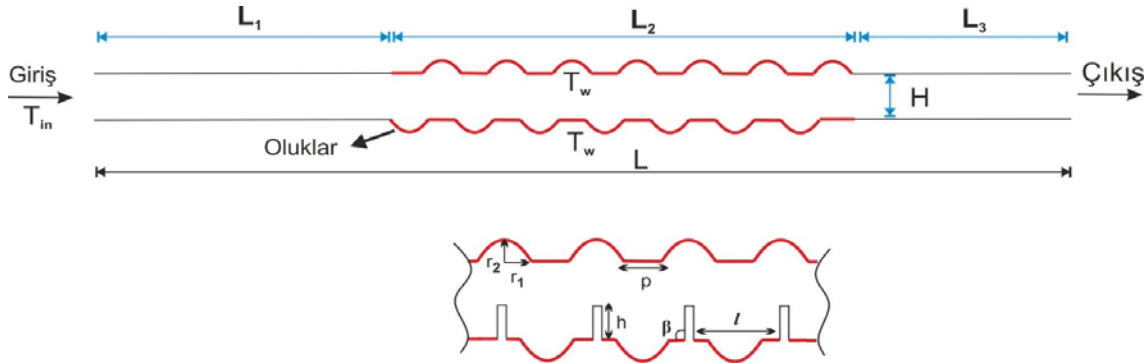
İlgili kanal akışı; ısı değiştiriciler, türbin kanatlarının ve elektronik cihazların soğutulması gibi geniş uygulama alanlarının olması ve yüzey girinti ve çıkıntılarının geometrisi, bunlar arasındaki mesafe, yükseklik oranları, dizilim açıları, akış rejimi, vb. birçok değişkeni içerdiği için literatürde yaygın olarak incelenmektedir [1-7]. Gururatana [8], alt yüzeyi dairesel oyuklarla kaplı bir mikro kanal için yaptığı sayısal çalışmada, yüzey çukurlarının Re sayısının 125'den büyük olduğunda ısı transferini iyileştirmede faydalı olduğu sonucuna varmıştır. Ajeel ve arkadaşları [9], alt ve üst yüzeyi yarı dairesel oluklu geometriye sahip bir kanal akışı için; Re sayısı, oluklar arası açıklık ve oluk yüksekliğinin ısı transferine olan etkisini sayısal olarak incelemiştir. Sonuçlar basınç düşüşündeki artışa rağmen artan Reynolds sayıları ve oluk yüksekliğiyle birlikte ortalama Nu sayısının arttığını, oluklar arası mesafenin artmasıyla birlikte ise ortalama Nu sayısının düştüğünü ve basınç düşüşünün arttığını göstermiştir. Yüzeyindeki oluklar arası engellerle donatılmış bir kanalın ısı-hidrolik performansı Hamad ve Ajeel [10] tarafından sayısal olarak incelenmiştir. Kanal performansının, girdap oluşumu ve sınır tabaka bozulması nedeniyle, yüzeyinde engellerin olmadığı benzer kanaldan daha iyi olduğu belirtilmiştir. Tokgöz ve

arkadaşları [11], dikdörtgen oluklu bir kanal ele alarak, oluk boyutlarının etkisini Re sayısının 3000 ila 6000 aralığında incelemiştir. Oluk boyutunu kanal kesitine göre $S/H=0,1-0,3$ arasında bir parametre olarak tanımlamıştır. $S/H=0,3$ konfigürasyonunun, $Re=3000$ 'de diğer konfigürasyonlardan %30 daha iyi termal performans sağladığını açıklamıştır. Dhaidan ve Al-Mousawi [12], bir kanal boyunca sıralanan girinti-çıkıntılarının yükseklik ve genişliklerinin hidro-termal etkisini belirlemek için kanal yüzeylerine sabit bir ısı akışı uygulayarak k-ε türbülans model ile nümerik sonuçlar elde etmişlerdir. $Re=5000-60000$ için yaptıkları çalışmada bütün durumlar için girinti-çıkıntılara sahip kanallar termal performansta ve ek pompalama enerjisinde düz kanallara göre önemli bir artış göstermiştir. Mohammed ve arkadaşları [13], plakalı bir ısı eşanjörünün oluklu kanalı için oluk eğim açıları, kanal ve oluk yüksekliklerinin termal ve akış alanları üzerindeki etkilerini incelemiştir. 12,5 mm, 15 ve 17,5 mm'lik farklı kanal yükseklikleri, 2,5 mm, 3,5 ve 4,5 mm'lik farklı oluk yükseklikleri ve 20° , 40° ve 60° farklı oluk eğim açısını temel değişkenler olarak test etmişlerdir. Re sayısını ve ısı akısını sırasıyla 8000-20.000 ve $0,4-6 \text{ kW/m}^2$ aralığında değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sayısal sonuçlarda, 17,5 mm kanal ve 2,5 mm oluk yüksekliği ile 60° 'lik oluk açısının optimum parametreler olduğunu ve ısı transferi üzerinde önemli bir etkisi olduğu sonucuna varmışlardır. Oluk varlığının termal performansı artırmak ve ısı eşanjörünün daha yüksek kompaktlığını elde etmek için uygun bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır. Zahran ve arkadaşları [14], Re sayısına bağlı olarak oluk geometrisinin (yükseklik ve genişlik) kanaldaki sıvı akışı ve ısı transfer performansı üzerindeki etkisini 2D simülasyonları kullanarak araştırmışlardır. Geleneksel düz plaka yerine oluklu plaka kullanıldığında ısı transferinin % 20 arttığını belirtmişlerdir. 2 mm'lik bir oluk yüksekliğinde, 10 mm genişliğinde ve 30 mm oluk uzunluğunda,

maksimum termal geliştirme faktörünün Re sayısının 15500'den 77600'e değiştiğinde 1,18'den 1,57'ye yükseldiğini raporlamışlardır. Literatürde, özellikle oluk geometrisi üzerinde değişimler uygulanarak elde edilen birçok çalışma mevcuttur. Kanal ve oluk geometrisinin sabit tutulduğu, oluklar arası akış yönlendirici engellerle ilgili çalışmalar kısıtlıdır. Bu çalışmada dairesel oluklu bir kanalın alt yüzeyine üç farklı açı ve yükseklikte yerleştirilen dikdörtgenel engellerin kanalın ısıl-hidrolik özelliklerine olan etkisi; türbülans kinetik enerji, Nusselt sayısı, sürtünme faktörü, basınç düşüşü ve performans değerlendirme kıstas sayısı değerleri aracılığıyla incelenmiştir.

2. YÖNTEM

Şekil 1'de kanal geometrisi şematik olarak sunulmuştur. Temel kanal boyutları için Hamad ve Ajell'in [15] çalışmasında kullanılan ölçüler referans alınmıştır. Kanal, yukarı akış adyabatik bölüm, oluklu ısıtılmış bölüm ve aşağı akış adyabatik bölüm olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır. Yukarı akış ve ısıtılmış bölüm uzunlukları eşit ve aşağı akış bölümünün iki katıdır ($L_1=L_2=2L_3$). Kanal geometrisine ait parametre değerleri Çizelge 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Kanalın şematik gösterimi

Çizelge 1. Kanal geometrisine ait parametre değerleri

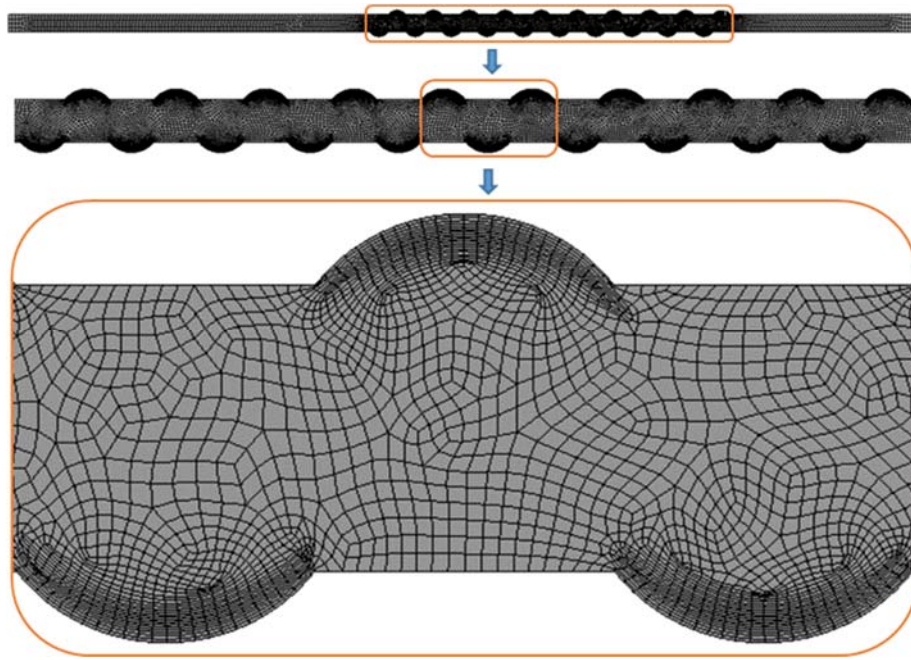
Parametreler	Değerler
H (kanal genişliği)	10 mm
L (kanal uzunluğu)	500 mm
$2r_1$ (oluk uzunluğu)	10 mm
r_2 (oluk derinliği)	5 mm
P (oluklar arası mesafe)	10 mm
l (çıkıntılar arası mesafe)	20 mm
h (çıkıntı yüksekliği)	1 mm, 2.5 mm, 5 mm
B (çıkıntı açıları)	45°, 90°, 135°
T_w (test bölümü yüzey sıcaklığı)	365 K
T_{in} (akışkan giriş sıcaklığı)	300 K
V_{in} (akışkan giriş hızı)	0,3 m/s (Re=5000)

Analizler sonucu elde edilen verilerin doğruluğu açısından ağ elemanı sayısı bağımsızlığı sayısal çalışmaların en önemli aşamalarından biridir. Bu aşamada bir çıkış parametresi belirlenerek farklı eleman ve düğüm sayıları için analizler tekrarlanmaktadır. Elde edilen sonuçların kabul edilebilir değişim aralığında olması ile kullanılması gereken en düşük ağ eleman sayısı belirlenmektedir. Bu çalışmada çıkış parametresi olarak oluklu yüzeylerdeki ortalama Nusselt sayısı (Nu) alınmış ve farklı eleman sayıları kullanarak elde edilen değerler Çizelge 2'de sunulmuştur. Buna göre 4×10^4 ve üzeri ağ eleman sayısı için Nusselt değerlerindeki değişim çok küçüktür. Bu nedenle 4×10^4 mesh eleman sayısı üzerindeki mesh yapıları kullanılarak sonuçların elde edilmesi uygun görülmüştür. Bu durum aynı şartlar altında Hamad ve Ajell'in [15] çalışmalarında elde ettikleri Nu değeri ile örtüşmektedir (Re=1000 için Nu=95).

Çizelge 2. Farklı ağ eleman sayıları için elde edilen ortalama Nusselt değerleri

Ağ Elemanı Sayısı	Ortalama Nusselt Sayısı (Nu)
10 ⁴	88,15
2x10 ⁴	91,21
4x10 ⁴	94,83
8x10 ⁴	95,05
16x10 ⁴	95,18

Şekil 2’de kullanılan ağ yapısı detaylı olarak görülmektedir. Eğrisel ve üçgenel ağ örgüsü oluşturulmuş, ayrıca oluklu yüzeylere en az 5 katman (inflation) uygulanmış ve yüzeyler üzerindeki etkileşimin daha ayrıntılı elde edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 2. Kanal ağ yapısı

İlgili kanal akışının tamamen gelişmiş, türbülanslı, sıkıştırılamaz, iki boyutlu ve daimi olduğu varsayılmıştır. Akış alanına ait; süreklilik (Eşitlik 1), momentum (Eşitlik 2,3) ve enerji (Eşitlik 4) eşitlikleri aşağıda verilmiştir:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + g\beta(T - T_o) \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (4)$$

Burada u ve v sırasıyla, akış yönündeki ve akışa dik yöndeki hız bileşenlerini, P ve T ise sırasıyla, basınç ve sıcaklığı tanımlamaktadır. Akışkan özellikleri olan ρ , k, μ ve α sırasıyla, yoğunluğu, termal iletkenliği, dinamik viskoziteyi ve ısı yayılım katsayısını tanımlamaktadır.

Isı ve akış problemlerinde önemli boyutsuz sayılardan biri olan Reynolds sayısının (Re) eşitliği aşağıda sunulmuştur (Eşitlik 5):

$$Re = \frac{\rho u H}{\mu} \quad (5)$$

Kanal girişine hız sınır koşulu ve 300 K sıcaklık, kanal çıkışına ise basınç çıkış koşulu uygulanmıştır. Oluklu test yüzeylerine T_w sıcaklık sınır koşulu tanımlanırken diğer düz yüzeyler (yukarı ve aşağı akım bölümleri) adyabatik olarak tanımlanmıştır. Akış alanına ait sınır koşulları aşağıda özetlenmiştir:

- Giriş kesiti: $u = u_{in}$, $v = w = 0$, $T_{in} = 300$ K
- Kanal yukarı ve aşağı akım duvar yüzeyleri: $u = v = w = 0$, $q = 0$ adyabatik
- Oluklu ısıtılmış bölüm duvar yüzeyleri: $T_w = 365$ K
- Çıkış kesiti:

$$\frac{\partial T_f}{\partial x} = 0, \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial x} = 0, \frac{\partial k}{\partial x} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} = 0$$

Kanalın ısı- hidrok performansının değerlendirilmesinde kullanılan boyutsuz sayılara ait eşitlikler Eşitlik 6, Eşitlik 7 ve Eşitlik 8'de sunulmuştur:

Ortalama Nu sayısı:

$$Nu_{avg} = \frac{hL_2}{k} \quad (6)$$

Sürtünme faktörü:

$$f = \frac{2 \Delta P H}{\rho L_2 (u_{in})^2} \quad (7)$$

Termal performans:

$$PEC = \frac{\left(\frac{Nu}{Nu_0}\right)}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^{1/3}} \quad (8)$$

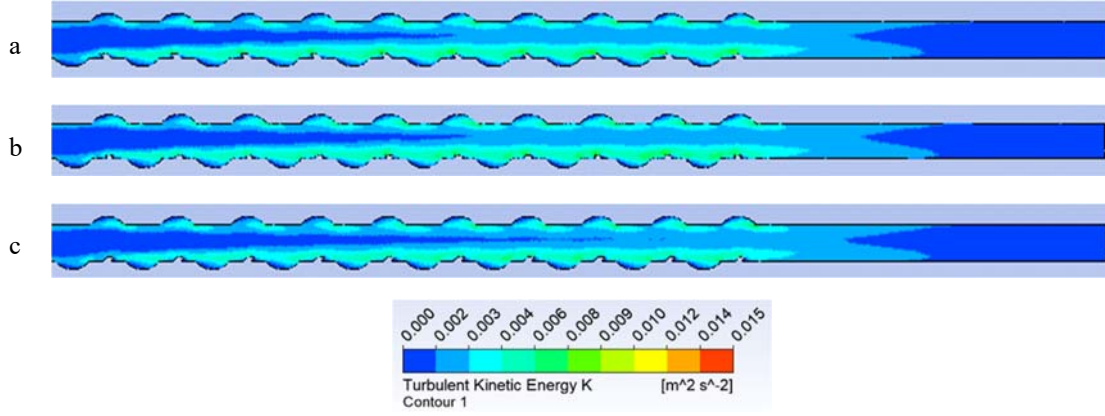
Burada; Nu ve f incelenen kanal için, Nu_0 ve f_0 ise aynı temel boyutlardaki oluksuz ve engelsiz düz kanal için elde edilen Nusselt ve sürtünme faktörü değerlerini göstermektedir.

Çalışmada akış alanına ait eşitlikleri çözümlenmek ve kanal modellerinin termal-hidrolik

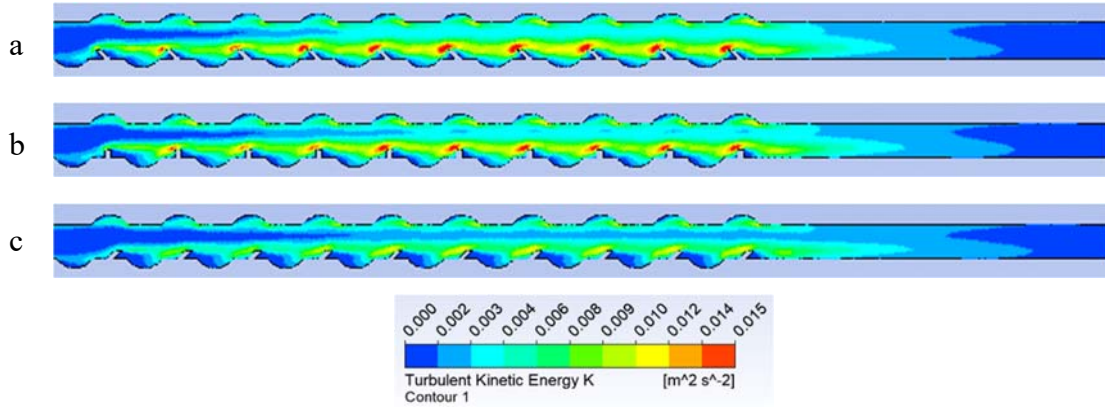
performansını belirlemede kullanılan parametre değerlerini elde etmek için bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı olan ANSYS-Fluent programı kullanılmıştır. Sonlu hacim yöntemi ile basit algoritmalar aktif edilerek konvektif terimler için ikincil yönlü bir şema düzeni benimsenmiştir. Akışkan giriş hızı ve oluklu ısıtılmış bölüm uzunluğuna bağlı olarak hesaplanan Re sayısının 5000, 10000, 15000 ve 20000 değerleri için k-ε türbülans modeli seçilmiştir. Farklı türbülans modelleri arasından k - ε türbülans modelinin bir duvardaki periyodik oluklar üzerindeki ısı transferini ve akışkan kanal akışını tahmin etmede daha uygun olduğu Eiamsa-ard ve Promvonge [16] yaptıkları çalışma ile ortaya konmuştur. Ayrıca mevcut çalışmada yapılan analizler sonucu elde edilen verilerin referans alınan Hamad ve Ajell'in [15] çalışmasıyla uyumu bu seçimi desteklemektedir. Mevcut çalışmada yakınsama kriteri; süreklilik, momentum ve türbülans eşitlikleri için 10^{-5} , enerji eşitliği için 10^{-6} olarak kabul edilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

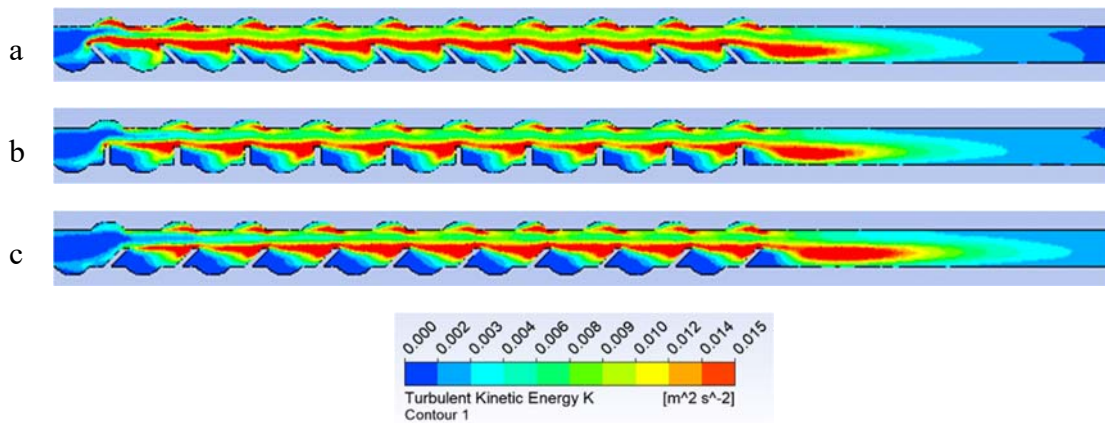
Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te sırasıyla $h/H=0,1, 0,25$ ve $0,5$ için $Re=5000$ değerindeki TKE konturları sunulmuştur. Engel yüksekliği $h/H=0,5$ için diğerlerine göre daha yüksek TKE alanlarının elde edildiği açıkça görülmektedir. Engel yüksekliği $h/H=0,1$ ve $0,25$ için kanal yüzeyleri arasındaki düşük yoğunluklu TKE alanı artan engel açılarıyla birlikte kanal içerisine doğru yayılmaktadır. Maksimum TKE değerleri $h/H=0,25$ için $\beta=90^\circ$ ve $\beta=135^\circ$ de engellerin üst yüzeyi etrafında küçük bir alanı kaplarken, $h/H=0,5$ için tüm açılarda ilk engelden başlayıp bir sonrakine doğru yayılarak kanal boyunca tüm engeller arasındaki alanı kaplamaktadır. Yine $h/H=0,5$ için kanal üst oluklarındaki maksimum TKE alanları dikkat çekicidir ve $\beta=45^\circ$ için diğerlerine göre daha büyük bir alanı kapladığı görülmektedir. Her üç engel yüksekliği için de engeller sonrası oluşan en geniş minimum TKE alanları $\beta=135^\circ$ için elde edilmiştir. Öyle ki bu alan $h/H=0,5$ için alt olukları tamamen kaplamaktadır.



Şekil 3. TKE konturları ($h/H=0,1$), (a) $\beta=45^\circ$ (b) $\beta=90^\circ$ (c) $\beta=135^\circ$



Şekil 4. TKE konturları ($h/H=0,25$), (a) $\beta=45^\circ$ (b) $\beta=90^\circ$ (c) $\beta=135^\circ$

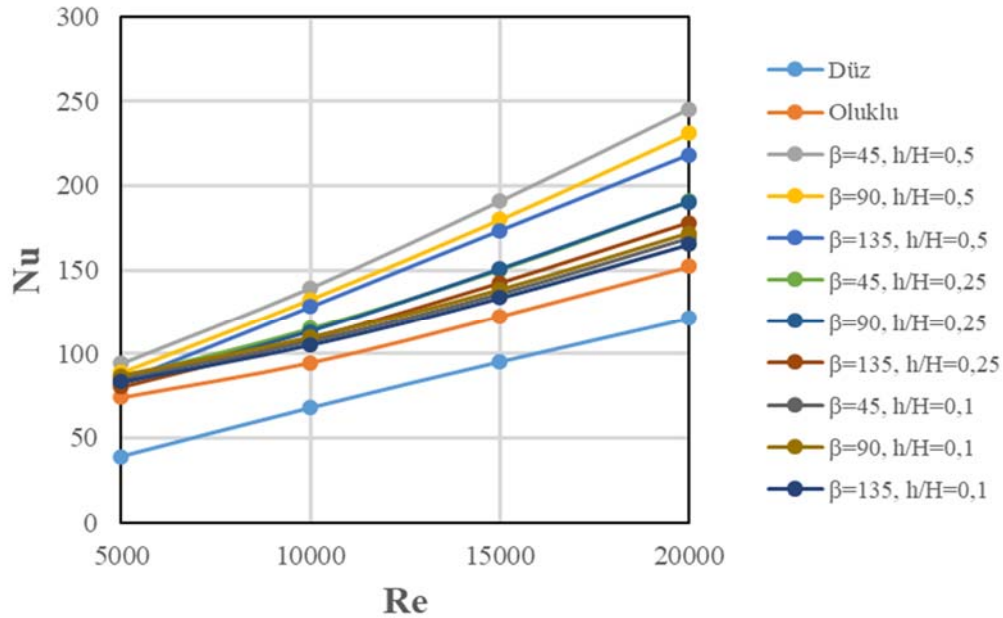


Şekil 5. TKE konturları ($h/H=0,5$), (a) $\beta=45^\circ$ (b) $\beta=90^\circ$ (c) $\beta=135^\circ$

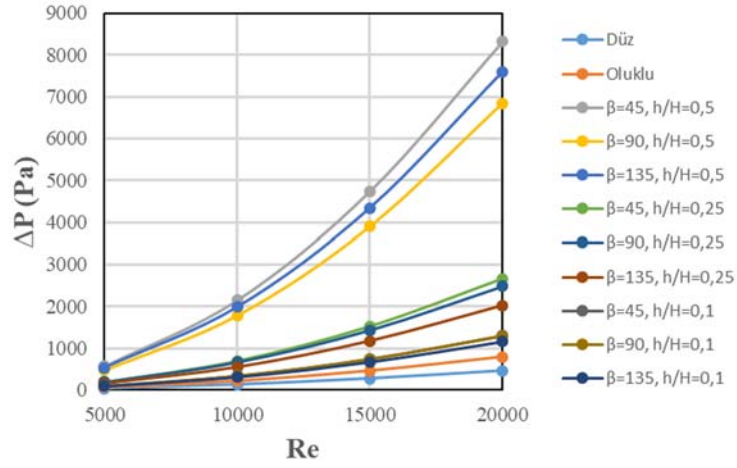
Şekil 6, 7, 8 ve 9'da düz, oluklu ve oluklu-engelli kanallar için Re sayısının 5000-20000 aralığındaki sırasıyla, Nu sayısı, ΔP , f ve PEC sayısı değişimleri sunulmuştur. Şekil 6'da Nu sayısı değerleri 38,83 ile 245,28 aralığında değişmekte olup tüm kanal modelleri için artan Re sayısı ile birlikte Nu sayılarının da arttığı görülmektedir. Tüm Re sayıları için en düşük Nu sayıları beklenildiği gibi düz kanal için elde edilmiştir. Düz kanaldan sonra en düşük Nu sayıları oluklu kanala aittir. Yine tüm Re sayıları için en yüksek Nu sayıları $h/H=0,5$, $\beta=45^\circ$ oluklu-engelli kanal modeli için elde edilirken bunu $h/H=0,5$, $\beta=90^\circ$ modeli izlemektedir. $Re=5000$ için düz kanal dışındaki diğer modellere ait Nu sayıları birbirine yakinken, $Re=10000$, 15000 ve 20000 için en yüksek değerler $h/H=0,5$ modelleri için elde edilmiştir. Şekil 7'de ΔP değerleri 44,70 kPa ile 8318,29 kPa aralığında değişmektedir. En düşük ve en yüksek ΔP değerleri sırasıyla, düz ve $h/H=0,5$, $\beta=45^\circ$ oluklu-engelli kanal için elde edilmiştir. Özellikle $Re=10000$, 15000 ve 20000 için $h/H=0,5$ modeline ait ΔP dağılımlarının diğer modellerden olan farkı oldukça dikkat çekicidir. Şekil 8'de sürtünme faktörü dağılımları görülmektedir. Azalan

Re sayılarıyla birlikte en yüksek f değerleri $h/H=0,5$ modelleri, büyükten küçüğe $\beta=45^\circ$, $\beta=90^\circ$, $\beta=135^\circ$, için elde edilmiştir. Şekil 7'deki ΔP dağılımına benzer olarak bu modele ait dağılımlar belirgin olarak diğer modellerden ayrılmaktadır. En düşük f değerleri $h/H=0,1$, $\beta=45^\circ$ modeli için elde edilmiştir. Bu durum kanalda ısıtılmış yüzey olarak değerlendirilen oluklu kısmın (L_2), engellerin sadece akış yönlendirmesi için kullanıldığı modellerde toplam engel genişliği kadar küçülmesinden kaynaklıdır. $Re=5000$ ile 10000 arasında f değerlerindeki düşüş oldukça belirgindir. $Re=10000$ den sonra bu değişim oranı gittikçe azalmaktadır.

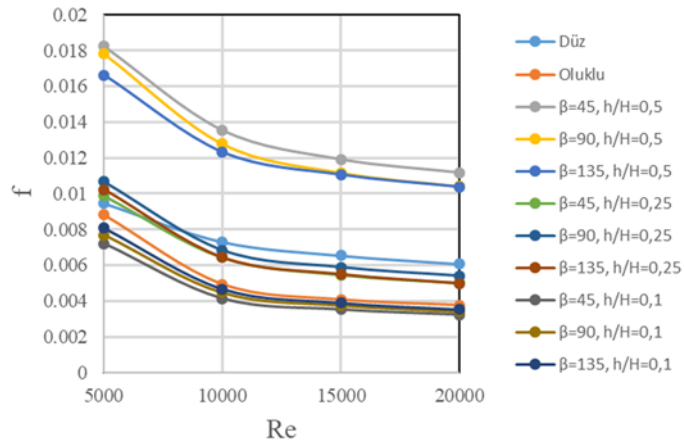
Re sayılarına bağlı olarak benzer bir dağılım Şekil 9'da sunulan PEC dağılımı için de gözlemlenmektedir. En düşük PEC değerleri $Re=5000-10000$ aralığında $h/H=0,5$, $\beta=135^\circ$ kanal modeli için, $Re=10000-20000$ aralığında ise oluklu kanal için elde edilmiştir. Tüm Re sayıları için birbirine çok yakın en yüksek değerler $h/H=0,1$, $\beta=45^\circ$ ve $h/H=0,1$, $\beta=90^\circ$ kanal modelleri için elde edilmiştir.



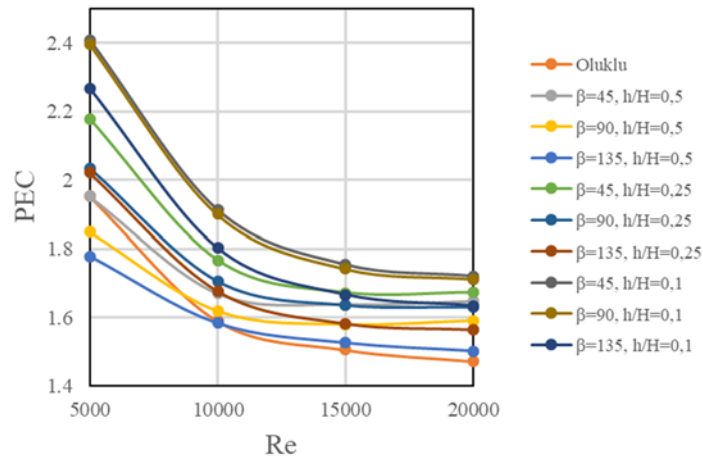
Şekil 6. Nu sayısı dağılımı



Şekil 7. Basınç düşüşü dağılımı



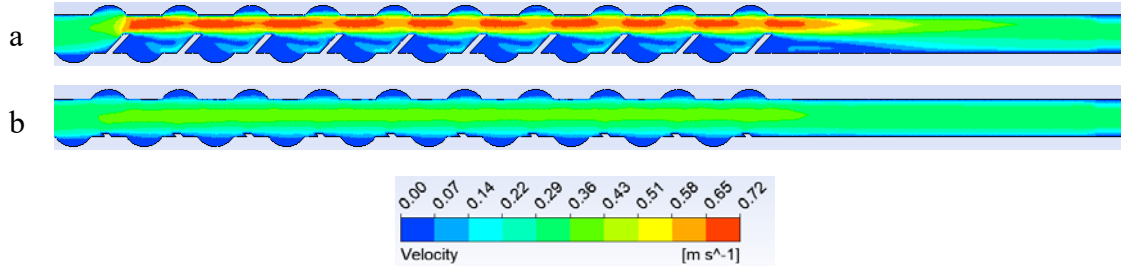
Şekil 8. Sürtünme faktörü dağılımı



Şekil 9. PEC dağılımı

Akış ayrılmasının ısı performansına etkisini vurgulamak için Şekil 10 a ve b'de sırasıyla en kötü ve en iyi ısı performansına sahip kanal modellerine ait hız konturları sunulmuştur. Şekil 10 a'da ilk engel ucundan başlayarak son engelle doğru yayılan jet akışı açıkça görülmektedir.

Engeller sonrasındaki ölü akış alanları Şekil 10 b'deki alanlara oranla oldukça büyüktür. Bu durumun PEC dağılımı grafiğinden de görüldüğü gibi Şekil 10 b'deki kanal modeline göre ısı transferi performansına olumsuz etkilediği açıktır.



Şekil 10. Hız konturları (a) $\beta=135^\circ$, $h/H=0,5$ (b) $\beta=45^\circ$, $h/H=0,1$

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada dairesel oluklu bir kanalın alt yüzeyine üç farklı açı, $\beta=45^\circ$, 90° ve $\beta=135^\circ$ ve yükseklikte, $h/H=0,1$, $0,25$ ve $0,5$ yerleştirilen dikdörtgenel engellerin kanalın ısı-hidrolik özelliklerine olan etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Dört farklı Re sayısı, $Re=5000$, 10000 , 15000 ve 20000 için Nusselt sayısı, ΔP , f ve PEC değerleri elde edilmiş, en yüksek PEC sayısının elde edildiği Re sayısı, $Re=5000$ için akış alanına ait TKE konturları sunulmuştur. Artan Re sayılarıyla birlikte Nusselt sayı ve ΔP değerlerinin arttığı, f ve PEC değerlerinin ise düştüğü görülmektedir. En yüksek Nu sayısı, ΔP ve f değerleri $h/H=0,5$ kanal modeli için elde edilmiştir. Elde edilen PEC sonuçları ışığında oluklu kanallar arasına yerleştirilen engellerin kanalın ısı-hidrolik performansını artırdığı görülmektedir. Bununla birlikte oluklu-engelli kanallar içerisinde en düşük ısı-hidrolik performans $h/H=0,5$, $\beta=135^\circ$ kanal modeli için elde edilmiştir. En yüksek ısı-hidrolik performans ise $h/H=0,1$, $\beta=45^\circ$ kanal modeli için elde edilmiştir. En yüksek ve en düşük performansa sahip bu modeller arasında %26,19'luk bir fark ortaya çıkmıştır. En iyi ısı performansı veren kanal modelinin günümüz üretim teknolojileri düşünüldüğünde kolaylıkla üretilebileceği ve özellikle elektronik cihazların soğutulmasında faydalı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca elde

edilen sonuçların gelecekte yapılacak farklı oluk ve engel geometrileri ve parametreleriyle ilgili çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Ajeel, R.K., Wan Salim, W.S-I., Hasnan, K., 2018. Impacts of Corrugation Profiles on the Flow and Heat Transfer Characteristics in Trapezoidal Corrugated Channel using Nanofluids. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 49(2), 170-179.
2. Bayrak, E., Olcay, A.B., Serincan, M.F., 2019. Numerical Investigation of the Effects of Geometric Structure of Microchannel Heat Sink on Flow Characteristics and Heat Transfer Performance. *International Journal of Thermal Sciences*, 135, 589-600.
3. Singh, P., Ji, Y., Ekkad, S.V., 2018. Experimental and Numerical Investigation of Heat and Fluid Flow in a Square Duct Featuring Criss-Cross Rib Patterns. *Applied Thermal Engineering*, 128, 415-425.
4. Soliman, A.S., Xu, L., Dong, J., Cheng, P., 2022. Numerical Investigation of the Ribs' Shape, Spacing, and Height on Heat Transfer Performance of Turbulent Flow in a Flat Plate Heat Exchanger. *Sustainability*, 14, 15143.

5. Alfarawi, S., Abdel-Moneim, S.A., Bodalal, A., 2017. Experimental Investigations of Heat Transfer Enhancement From Rectangular Duct Roughened by Hybrid Ribs. *International Journal of Thermal Sciences*, 118, 123-138.
6. Koca, F., 2022. Numerical Investigation of Corrugated Channel with Backward-Facing Step in Terms of Fluid Flow and Heat Transfer. *J. Engin. Thermophys*, 31, 187-199.
7. Koca, F., 2022. Thermo-Hydraulic Performance Analysis of an Air Heater with Different Types of Ribs Placed on the Absorber Plate 3rd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences (ICAENS'2022), 6, 20-23 Temmuz 2022, Konya.
8. Gururatana S., 2012. Numerical Simulation of Micro-Channel Heat Sink with Dimpled Surfaces. *American Journal of Applied Sciences*, 9(3), 399-404.
9. Ajeel, R.H., Salim, W.S.-I.W., Hasnan, K., 2019. Experimental and Numerical Investigations of Convection Heat Transfer in Corrugated Channels Using Alumina Nanofluid under a Turbulent Flow Regime. *Chemical Engineering Research and Design*, 148, 202-217.
10. Hamad, A.J., Ajeel, R.K., 2022. Combined Effect of Oblique Ribs and a Nanofluid on the Thermal-Hydraulic Performance of a Corrugated Channel: Numerical Study. *J Eng Phys Thermophy*, 95, 970-978.
11. Tokgoz, N., Aksoy, M.M., Sahin, B., 2017. Investigation of Flow Characteristics and Heat Transfer Enhancement of Corrugated Duct Geometries. *Appl. Therm. Eng.*, 118, 518-530.
12. Dhaidan, N.S., Al-Mousawi, F.N., 2022. Thermal-Hydraulic Features of the Turbulent Flow Through Ribbed Channels. *J Appl Mech Tech Phy.*, 63, 634-642.
13. Mohammed, H.A., Abed, A.M., Wahid, M.A., 2013. The Effects of Geometrical Parameters of a Corrugated Channel with in Out-of-Phase Arrangement. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 40, 47-57.
14. Zahran, S., Sultan, A.A., Bekheit, M., Elmarghany, M.R., 2022. Heat Transfer Augmentation Through Rectangular Cross Section Duct with One Corrugated Surface: An Experimental and Numerical Study. *Case Studies in Thermal Engineering*, 36, 102252.
15. Hamad, A.J., Ajeel, R.K., 2022. Combined Effect of Oblique Ribs and A Nanofluid on The Thermal-Hydraulic Performance of a Corrugated Channel: Numerical Study. *J. Eng. Phys. Thermophy*, 95, 970-978.
16. Eiamsa-ard, S., Promvonge, P., 2008. Numerical Study on Heat Transfer of Turbulent Channel Flow over Periodic Grooves. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35(7), 844-852.

Analysis of Current Limiting Algorithm with Anti-Windup Control for Transient Stability of Grid-Forming Converters

Özgür ÇELİK*¹ ORCID 0000-0002-7683-2415

¹Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering,
Department of Energy Systems Engineering, Adana, Türkiye

Geliş tarihi: 04.08.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: ÇELİK, Ö., (2023). Analysis of Current Limiting Algorithm with Anti-Windup Control for Transient Stability of Grid-Forming Converters. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(3), 671-681.

Abstract

In modern power grids, renewable energy sources (RESs) are integrated to the grid through voltage source converters (VSCs) with grid-forming capabilities. Grid forming VSCs' weak overcurrent capability revealed the need for current limiting techniques under large disturbances like short-circuit faults. However, current saturation algorithms induce transient instabilities due to the AC voltage controller windup issue when the current is saturated. Therefore, analyzing the transient stability of the grid-forming units in case of fault conditions is crucial for ensuring the reliable and secure operation of the grid. This paper investigates the effects of the current limiting algorithm with anti-windup control to handle transient instabilities during fault conditions. An elaborated theoretical analysis of the presented system is performed by considering different case studies. The simulations are conducted by using Matlab/Simulink software to test the validity of the presented system. The obtained results highlight the advantages of an anti-windup controller during current saturation mode.

Keywords: VSCs, Grid-forming, Current saturation, Anti-windup, Power flow control

Şebeke-Şekillendirici Dönüştürücülerin Geçici Durum Kararlılığı için Anti-Windup Kontrollü Akım Sınırlama Algoritmasının Analizi

Öz

Modern güç şebekelerinde, yenilenebilir enerji kaynakları (YEK'ler) şebeke oluşturma kabiliyetine sahip gerilim kaynağı dönüştürücüleri (VSC'ler) aracılığıyla şebekeye entegre edilmektedir. Şebeke oluşturan VSC'lerin düşük aşırı akım kapasitesi, kısa devre arızaları gibi büyük bozulmalar altında akım sınırlama tekniklerine olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Ancak, akım doyum algoritmaları, akım doyuma ulaştığında AC gerilim kontrolörünün windup sorunu nedeniyle geçici kararsızlıklara neden olur. Bu nedenle, arıza durumlarında şebeke oluşturan birimlerin geçici kararlılığının analiz edilmesi, şebekenin güvenilir ve emniyetli çalışmasını sağlamak için çok önemlidir. Bu makale, arıza koşulları sırasında geçici kararsızlıkların üstesinden gelmek için windup önleyici kontrollü akım sınırlama algoritmasının etkilerini araştırmaktadır. Sunulan sistemin ayrıntılı bir teorik analizi, farklı vaka çalışmaları dikkate alınarak

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Özgür ÇELİK, ozgurcelik@atu.edu.tr

gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar, sunulan sistemin geçerliliğini doğrulamak için Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, akım doyumluk modu sırasında bir windup önleyici kontrolörün avantajlarını vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: VSCs, Şebeke-şekillendirici, Akım doyum, Anti-windup, Güç akışı kontrolü

1. INTRODUCTION

Increasing energy demand in line with the industrial improvements and growing population paved the way for more common utilization of clean and sustainable energy sources [1,2]. In addition, the energy crisis owing to the exhaustion of fossil fuels and environmental concerns related to carbon emissions make renewable energy sources (RESs) the focus of attention [3]. To interface the RESs with the utility grid voltage source converters (VSCs) are commonly utilized in power networks [4]. Based on their operation, converters can be classified into three main types namely grid-feeding, grid-supporting, and grid-forming [5]. The grid-feeding converter can be described as a controlled current source in parallel with an impedance. On the other hand, the grid-forming converter can be introduced as a controlled voltage source in series with an impedance [6]. The idea behind the grid-feeding converter is synchronization to the grid by employing a phase-locked loop (PLL) and controlling the powers in the outer loop and current in the inner loop. It can be said that the current is limited at the outer control loop which forms reference currents for the inner control loop within the converter operating boundaries [7]. In the grid-forming control, the outer power loops generate operating voltage/phase angle and inner voltage/current loops inject generated power according to references taken from the outer loop [8]. The grid-forming concept is fundamentally proposed for islanded grid applications and uninterruptible power supply applications. Then, this concept is adopted to VSCs-based RESs in line with the increased distributed generation in power grids. It means that there is a control paradigm shift from central control to distributed control for power grids. The grid-forming VSCs have the ability to mimic the behavior of synchronous generators. They can ensure inertial response and fault current contribution to enhancing the grid stability [9]. Due

to the behavior as a voltage source, high current overshoots can be experienced during fault transients. It can be said that grid-forming converters are more prone to transient instabilities. Therefore, a current limiting algorithm for grid forming units is mandatory to protect the converter components and maintain the grid stability without having a protective fault tripping [10]. In this manner, current limitation techniques attract attention for grid-forming VSCs. VSCs are allowed to withstand overcurrent up to 20-40% of the rated operation current while the synchronous generators can cope with six-seven times of rated current [11]. There are two main current limitation techniques for grid-forming VSCs highlighted in the literature. These current limitation techniques are basically activated during transients to restrict the current and enhance the transient stability. Among current limitation techniques, the virtual impedance method is one of the more widely used current limitation techniques in the literature [12,13]. The main idea for this method is to apply the effect of impedance in case of current peaks during transients. In [11], authors compared the virtual impedance and current limiting algorithms for short-circuit fault analysis of droop-controlled VSCs. In [12], authors have focused on virtual impedance current limiters to enhance transient stability in event of overload. In [13], Xiong et. al., have revealed the effect of virtual resistance on transient stability and performed design-oriented analysis. In [14], authors have discussed the development of an adaptive virtual impedance current limitation method to ensure effective protection in case of different fault current levels.

The other current limitation technique is the current saturation algorithm [4]. In this technique, whether the d-axis or q-axis can be determined as a priority according to vector orientation and these components can be limited by adjusting a set of equations [11]. In [4], Huang et. al., have discussed the transient stability of droop-controlled VSCs by

taking the current saturation algorithm into account. In [11], authors have performed a comparison between the current limiting techniques and their effect on transient stability. In [15], the current saturation analysis for grid-forming VSC and anti-windup control design has been explained by the authors. In [16], a single-phase grid-connected droop-controlled VSC with a current limiter has been modeled by the authors. In [17], authors have utilized current limiters and investigated interactions between grid-forming converters and synchronous machines. In this paper, the current limiting algorithm with anti-windup control is applied for droop-controlled grid-forming converters. The current limiting algorithm is adopted to the inner current/voltage control loop. Then, the transient behavior of the converter is investigated under large disturbances. Conducted several case results illustrate improved stability and effective protection performance of the analyzed control scheme.

This paper is structured as follows. Droop-controlled grid-forming VSC is given in Section 2. Section 3 describes the developed system. In

Section 4, transient analysis of droop-controlled VSC with current limiting algorithm is explained. Performance analysis of the developed system based on the simulation studies is presented in Section 5. Section 6 highlights the conclusions and discussion of this study.

2. DROOP CONTROLLED GRID-FORMING VSC

2.1. Description of the System

The constructed system is illustrated in Figure 1. The system mainly includes two droop-controlled VSC with an LCL filter, two load banks (one is constant other one is controlled), a transformer, and ac grid. The grid is modeled as a three-phase ac voltage source that has equivalent grid impedance. “ V_g ” represents the grid voltage, “ L_{inv} ” is the inverter side filter inductance, “ L_g ” grid side filter inductance, and “ C_f ” is the filter capacitor. “ I_{inv} ”, “ V_{abc} ”, and “ I_{abc} ” represent inverter side current, capacitor voltage, and grid side current, respectively.

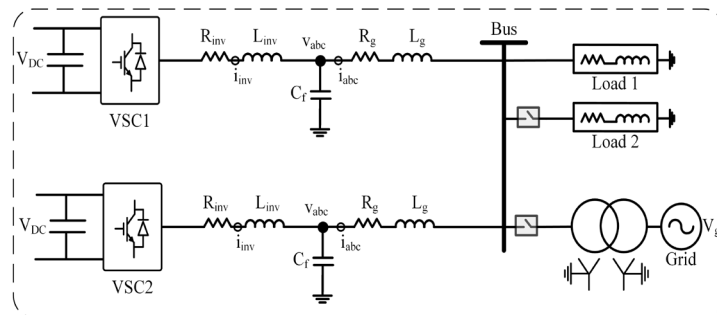


Figure 1. General diagram of the constructed system

2.2. Droop-Controlled Grid-Forming VSC

Grid-forming control acts like a voltage source connected to an impedance as demonstrated in Figure 2. Droop control basically emulates the speed droop feature of the synchronous generator governor. It is possible to mimic the relation between frequency and output power fluctuation. On the other hand, reactive power control is accountable for the voltage magnitude as a voltage regulator.

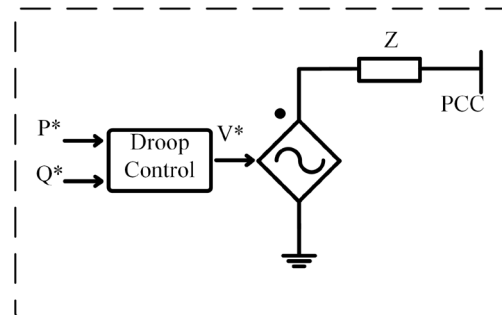


Figure 2. Grid-forming control

The control diagram of the constructed system is depicted in Figure 3. The cascaded inner current/voltage and outer power control loops are included to utilize multi-loop droop control [18].

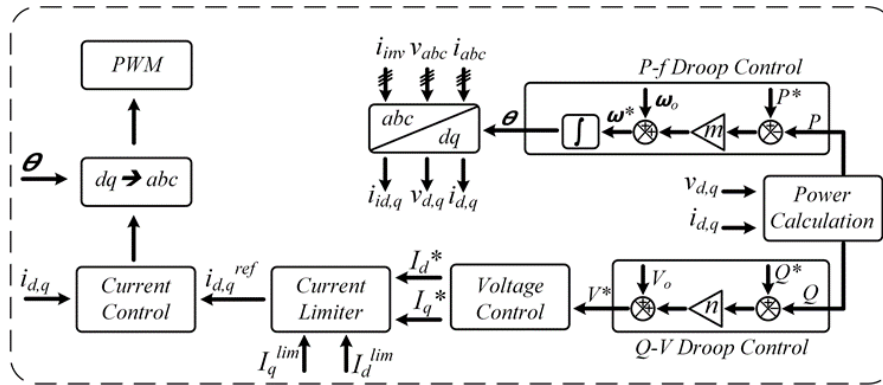


Figure 3. Control scheme of the constructed system

The angular frequency and reference voltage are attained by means of the outer droop control. The formulation of the traditional P-f and Q-V droop controls are given in Equations (1) and (2) [19].

$$\omega^* - \omega_0 = m(P^* - P) \quad (1)$$

$$V^* - V_0 = n(Q^* - Q) \quad (2)$$

where “ ω_0 ” - denotes reference angular frequency, “ m ” - is the active power droop constant, “ V_0 ” - is the reference voltage, and “ n ” - is the reactive power droop constant. The inner control structure of the VSC is performed based on the synchronous rotating frame. As depicted in Figure 3, the inverter filter capacitor voltage and output current are measured to calculate instantaneous active/reactive power by applying Park transformation as in Equations (3) and (4) [19].

$$\overline{y}_{dq} = [v_{abc} \ i_{abc}]^T \quad (3)$$

$$\begin{cases} P = v_{abc,d} * i_{abc,d} + v_{abc,q} * i_{abc,q} \\ Q = v_{abc,d} * i_{abc,q} - v_{abc,q} * i_{abc,d} \end{cases} \quad (4)$$

where “ v_{abc} ” - is the capacitor voltage, and “ i_{abc} ” - is the current injected to the grid. The inner voltage/current control loops are included to ensure rapid control of the filter capacitor voltage. Reference value for the voltage control loop is taken

from the outer Q-V droop control loop. The reference current nodes are computed by using the feedback terms that passed through the PI controller and adding feed-forward terms as in (5) and (6).

$$\dot{v}_{dq} = v_{abc,dq}^* - v_{abc,dq} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \dot{i}_{inv,dq} = G_i i_{abc,dq} + wC v_{abc,dq} + k_{pv} \dot{v}_{dq} + k_{iv} v_{dq} \end{cases} \quad (6)$$

where “ G_i ” - is the feedforward constant, “ k_{pv} ” - is the proportional gain for the voltage controller, and “ k_{iv} ” is the integral gain for the voltage controller. The computed current reference nodes in the dq -frame are then passed through the current limiting block. After that, these reference values are applied to the current control loop to generate internal voltage reference in the dq -frame for the PWM block. The current control loop is also performed by using PI controllers and feedback terms as presented in (7) and (8).

$$\dot{i}_{dq} = i_{inv,dq}^* - i_{inv,dq} \quad (7)$$

$$v_{ref,dq} = wL i_{inv,dq} + k_{pc} \dot{i}_{dq} + k_{ic} i_{dq} \quad (8)$$

where “ k_{pc} ” - is the proportional gain for the current controller and “ k_{ic} ” is the integral gain for the current controller. The main objective is to design a well-parametrized inner voltage/current loop. In

line with this, it is possible to make inverter filter capacitor voltage behavior as the controllable voltage source [18].

3. CURRENT LIMITING ALGORITHMS AND ANTI-WINDUP CONTROL

3.1. Current Limiting Algorithm

The multiloop control system presented in this paper is oriented to *d*-axis by adjusting the *q*-axis voltage to zero. Therefore, V_d is used as a reference for the required voltage magnitude. In utilized control scheme, reference currents for the current loop are generated by the voltage control loop. In case of an overload situation or short-circuit fault, the current saturation algorithm given in Equation (9) limits the current to protect the VSC from being damaged [4,11,15-17].

$$\left. \begin{aligned} I_d^{ref} &= \min(I_{max}, |I_d^{ref}|) \\ I_q^{ref} &= \min\left(\sqrt{I_{max}^2 - (I_d^{ref})^2}, |I_q^{ref}|\right) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Where “ I_{max} ” - is the maximum allowable current level, [A]; “ I_d^{ref} ” and “ I_q^{ref} ” -are the reference current values generated by the inner voltage control loop, [A].

3.2. Presented Anti-Windup Control

In grid-feeding inverters which behave as current-controlled sources, PLL is responsible to notice the grid voltage phase angle, and the detected phase angle is used for park transformation even under conditions that require current limiting. However, in grid-forming control output of the voltage control saturates and is not able to keep the voltage level at the level of grid voltage [12]. It means that in the current saturation situation, the value of V_q is no more equal to zero. Hence, the alignment of the *dq*-axis cannot be maintained. To solve this problem, an anti-windup strategy is applied for the voltage regulators. In this manner, the integral controller gains are dynamically changed to zero during the current saturation mode and alignment of *dq*-axis

voltages is ensured. The conditional integration method is applied for anti-windup protection. When the output of the controller reached the saturation limit, the integrator coefficient is adjusted to zero. The schematic of the PI controller with anti-windup protection is illustrated in Figure 4 [20].

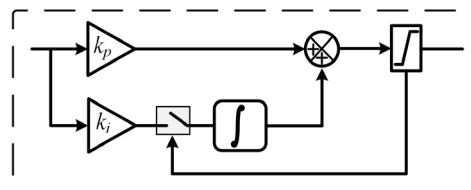


Figure 4. Block diagram of PI controller with anti-windup [20]

In case of abnormal conditions such as overload or severe voltage sags due to short-circuit fault, the current saturation algorithm is triggered. In this manner, by using the PI controller with an anti-windup, the voltage controller windup can be prevented. Thus, it is possible to achieve higher transient stability for the grid-forming VSC.

4. TRANSIENT ANALYSIS OF DROOP-CONTROLLED VSC WITH CURRENT LIMITING ALGORITHM

The transient stability of the droop-controlled grid-forming converter under large disturbances is introduced in this part. In case of large disturbances, it is easy to trigger current saturation and cause a failure at the inner voltage control loop. The applied large-signal disturbances are;

- Symmetrical three-phase short-circuit fault,
- Load variation.

In these cases, the dynamic behavior of the converter is investigated for both inner and outer control loops. When the voltage sag occurs, the droop-controlled VSC behaves like a current source which normally behaves like a voltage source because of the current limitation. This reduces the stability margin. The merits of the current limiting technique on the large-signal transient stability is tried to explain by considering variation in the output power. The active power of VSC in the

current limiting situation can be calculated as in Equation (10).

$$P_{max} = UI_{max} \cos\vartheta \tag{10}$$

The VSC can remain in a stable region if the fault is cleared prior to arriving at the power angle limit.

$$\vartheta_{limit} = \arccos(P/P_{max}) \tag{11}$$

5. RESULTS AND DISCUSSIONS

Performance analysis of the presented system in Figure 1 is conducted in Matlab/Simulink environment to illustrate the advantages of the developed control structure. The parameters for the system simulation are highlighted in Table 1.

Table 1. Parameters of the simulated system

	Parameters	Values
Base values	S_{base}	5 kVA
	V_{base}	400 V _{rms}
	ω_{base}	$2\pi f$
Grid forming unit	Rated Power	5 kW
	Rated Voltage	400 V
	L_{inv}	0.15 pu
	L_g	0.15 pu
	C_f	2.5 pu
	m	0.05 pu/s
	n	0.2 V/Q
	Load	22.4+j0.01 Ω

To test the validity of the presented control approach two case study is applied. For these case

studies the results are taken for control structure without the current limiting algorithm, with the current limiting algorithm, and with the current limiting algorithm plus anti-windup mechanism. The transient analyses of two case studies are conducted based on the load variation and three-phase short circuit fault condition.

5.1. Responses to Three-phase to Ground Short Circuit Fault

In this scenario, a zero impedance three-phase to-ground short circuit fault on the grid side is considered as a case study. Figure 5 shows the output power deviation for one grid-forming controlled VSC under 5 cycles of three-phase short circuit fault duration which correspond to 100 ms fault time. The output power of the grid-forming VSC unit without the current limiting structure that is shown with the red line instantaneously increases to 25 kW and it takes more than 1 s to achieve a steady-state value. In addition, the output power for the control mechanism with the current limiting feature instantaneously goes to 9 kW and it takes 0.5 s to reach a steady-state value. On the other hand, the output power for the unit with the current limiting algorithm plus anti-windup mechanism increases to 9 kW and it takes 0.25 s to reach a steady-state value. It can be obviously seen that without the current saturation algorithm, the maximum active power output exceeds the allowable current saturation level and keeps increasing the output power.

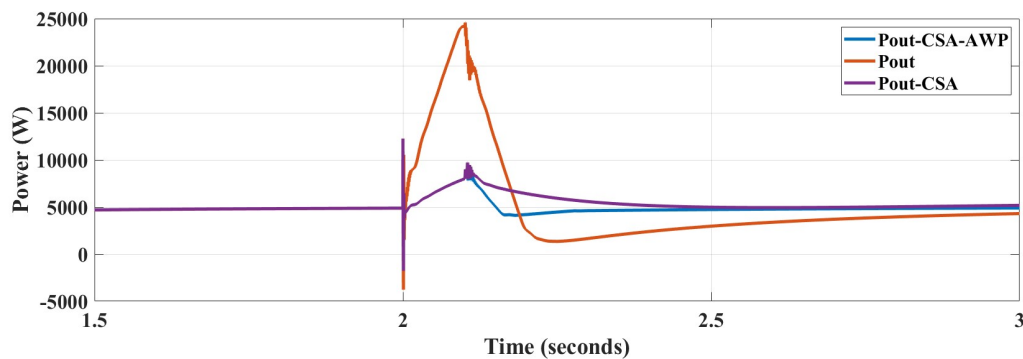


Figure 5. Output power deviation under three-phase short circuit fault

In this event, it is quite normal to lose the synchronization with the grid and not possible to reach a stable equilibrium. However, the current saturation mode helps to keep the converter output

power at an allowable rate and reach a stable equilibrium in a short time. It can be noticed also from output current waveforms. The output current waveforms are shown in Figure 6.

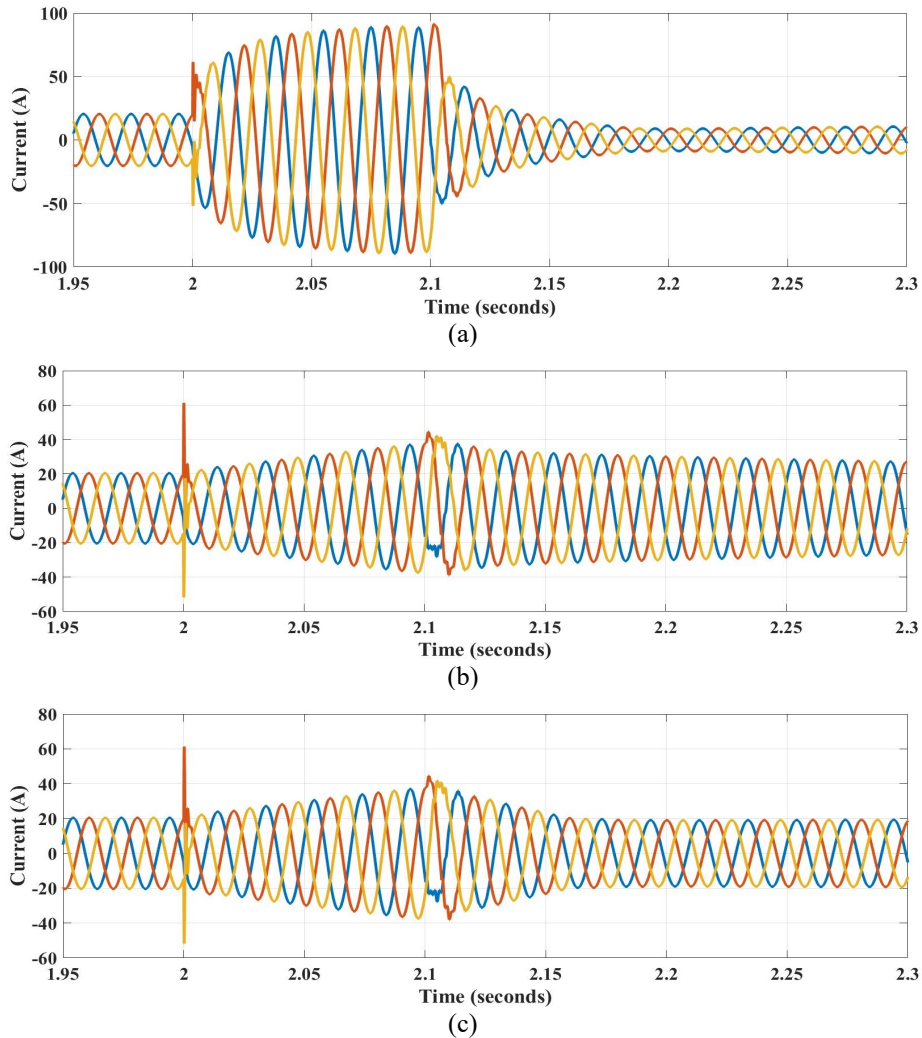


Figure 6. Output current waveforms for grid-forming VSC control structure under short-circuit fault (a) without the current limiting (b) with the current limiting algorithm (c) with the current limiting algorithm plus anti-windup mechanism

The control structure with the current limiting algorithm plus anti-windup mechanism is more robust and stable against the short-circuit fault circumstances. Fault clearing time is also improved thanks to the presented controller structure. To

highlight the promising aspects of the presented current limiting control with an anti-windup strategy, the output of the voltage controller is also illustrated in Figure 7.

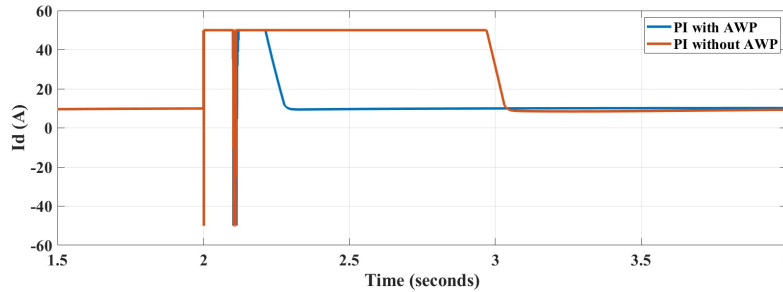


Figure 7. Output of the voltage controller with and without anti-windup protection under three-phase short-circuit fault condition

As depicted in Figure 7, the settling time of the presented current limiting control with an anti-windup control strategy is improved by more than 0.8 s. Hence, the system recovery time in the event of a three-phase short-circuit fault is substantially enhanced. Moreover, it can be concluded that the current saturation algorithm with anti-windup provides transient stability of the system for higher fault durations. The presented is more robust for returning to the normal operation point owing to controlling the integrator of the voltage controller.

5.2. Responses to Load Change

This section discusses the load increment on PCC.

It should be noted that a transient instability like in a three-phase to-ground short-circuit fault can also be possible when the grid-forming controlled VSC is subjected to this kind of large disturbance. The load level is instantaneously increased around 4 kW. The increased load level is shared between the units as 2 kW. As can be observed in Figure 8, the output power is more stable in case of the load step change for the control structure with the current saturation algorithm and anti-windup. The VSC unit can come to normal operation much faster than the unit without the current saturation algorithm. In addition, having a control for the integrator of the voltage control enhances the transient stability margin of the system.

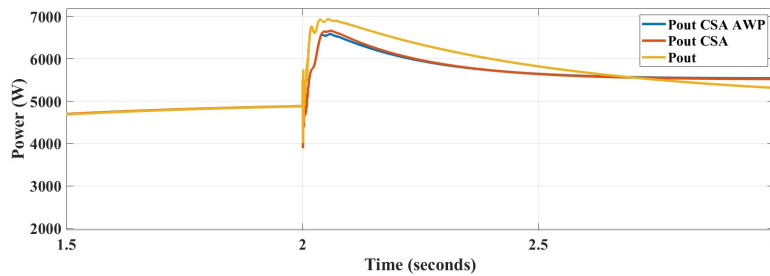


Figure 8. Output power deviation under load change

The output current waveforms are shown in Figure 9. It can be clearly observed that fault clearing time and reaching the stable operation point is remarkably improved for the presented control mechanism. The control structure with the current saturation algorithm and anti-windup maintains transient stability at reasonable operation points and

provides stable energy to load according to the demand. However, the VSC without the current saturation algorithm exceeds the stable operation limits and cannot prevent synchronous instability. It means that the VSC without the current saturation algorithm run to a saturated power curve and cannot recover to the stable operation point.

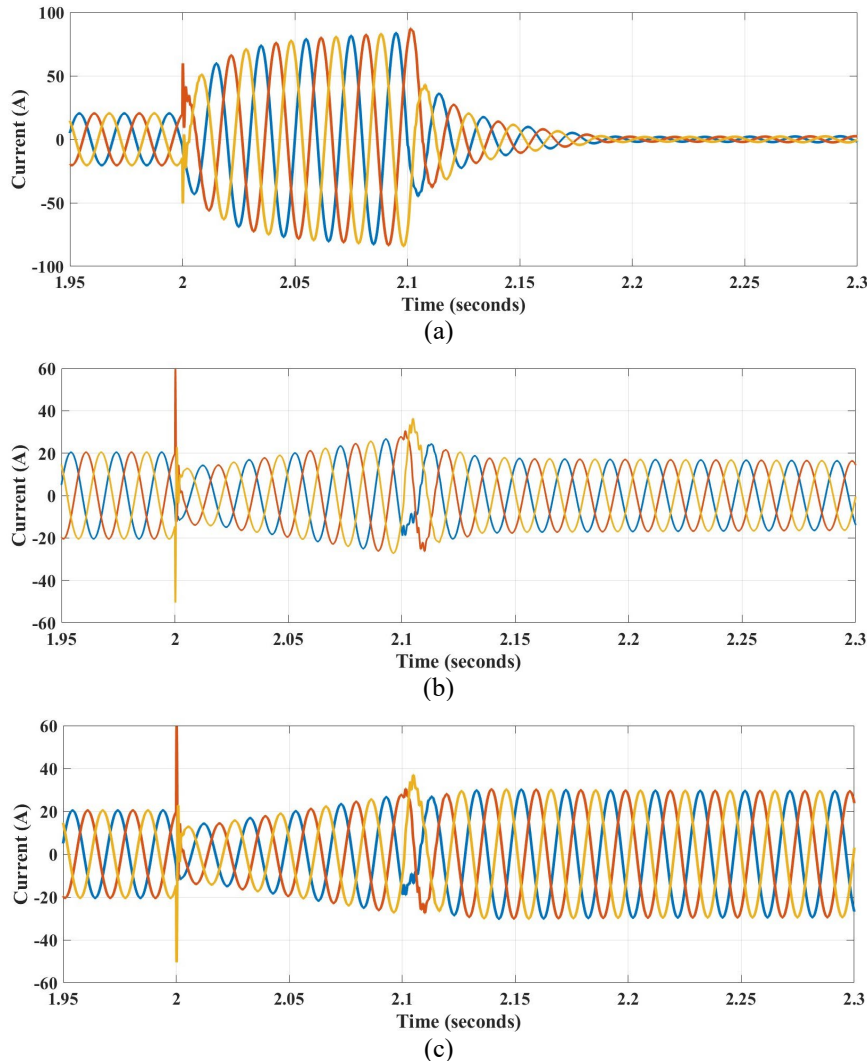


Figure 9. Output current waveforms for grid-forming VSC control structure under load change (a) without the current limiting (b) with the current limiting algorithm (c) with the current limiting algorithm plus anti-windup mechanism

The effect of the anti-windup mechanism can be observed from the output of the voltage controller as shown in Figure 10. It is more robust and stable against load variation circumstances. The controller output recovery time is notably enhanced. Controlling the integrator constant can preserve synchronous stability by preventing unexpected saturation at the output of the voltage controller. The current limiter limits current reference to 50 A.

However, without the anti-windup protection, the output of the voltage controller saturates to a defined value and it takes much more time to reach the stable operation point. It can be observed that there is no further increase in the value of integrator output for systems with anti-windup protection and recovery time to normal operation is significantly improved.

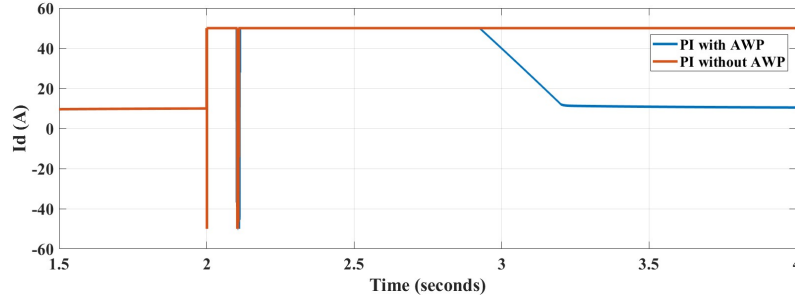


Figure 10. Output of the voltage controller with and without anti-windup protection under load variation

6. CONCLUSION

In this paper, the current saturation algorithm with an anti-windup mechanism for large signal transient stability of droop-controlled VSC is discussed and analyzed in detail. The advantages and limitations of the presented current limiting control with an anti-windup control strategy are highlighted. The presented control structure provides merits in terms of the larger stability margin when compared to the control structure without an anti-windup mechanism. According to the analyzes performed in this study, the anti-windup mechanism is required to preserve synchronous stability by preventing the unexpected saturation at the output of the voltage controller and ensuring fast recovery time to reach normal operation conditions. Otherwise, it takes much time to recover after current saturation and results in a power imbalance in case of using only the current saturation algorithm in the control structure.

6. REFERENCES

1. Çelik, Ö., Zor, K., Tan, A., Teke, A., 2022. A Novel Gene Expression Programming-Based MPPT Technique for PV Micro-Inverter Applications Under Fast-Changing Atmospheric Conditions. *Solar Energy*, 239, 268-282.
2. Çelik, Ö., Teke, A., Tan, A., 2018. Overview of Micro-Inverters as A Challenging Technology in Photovoltaic Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3191-3206.
3. Reddy, H., Sharma, S., 2021. Implementation of Adaptive Neuro Fuzzy Controller for Fuel Cell Based Electric Vehicles. *Gazi University Journal of Science*, 34(1), 112-126.
4. Huang, L., Xin, H., Wang, Z., Zhang, L., Wu, K., Hu, J., 2017. Transient Stability Analysis and Control Design of Droop-Controlled Voltage Source Converters Considering Current Limitation. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(1), 578-591.
5. Rocabert, J., Luna, A., Blaabjerg, F., Rodriguez, P., 2012. Control of Power Converters in AC Microgrids. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(11), 4734-4749.
6. Rosso, R., Wang, X., Liserre, M., Lu, X., Engelken, S., 2020. Grid-Forming Converters: An Overview of Control Approaches and Future Trends. In *2020 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 4292-4299.
7. Zarei, S.F., Mokhtari, H., Ghasemi, M.A., Peyghami, S., Davari, P., Blaabjerg, F., 2019. Control of Grid-Following Inverters Under Unbalanced Grid Conditions. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 35(1), 184-192.
8. Rosso, R., Wang, X., Liserre, M., Lu, X., Engelken, S., 2021. Grid-Forming Converters: Control Approaches, Grid-Synchronization, and Future Trends-A Review. *IEEE Open Journal of Industry Applications*, 2, 93-109.
9. Vatta Kkuni, K., 2021. Assessment and Augmentation of Power Converter Control Towards Enhanced Power System Stability. PhD Thesis, Technical University of Denmark.

10. Zhang, L., Harnefors, L., Nee, H.P., 2010. Interconnection of Two Very Weak AC Systems by VSC-HVDC Links using Power-Synchronization Control. *IEEE Transactions on Power Systems*, 26(1), 344-355.
11. Qoria, T., Gruson, F., Colas, F., Kestelyn, X., Guillaud, X., 2020. Current Limiting Algorithms and Transient Stability Analysis of Grid-Forming VSCs. *Electric Power Systems Research*, 189, 106726.
12. Paquette, A.D., Divan, D.M., 2014. Virtual Impedance Current Limiting for Inverters in Microgrids with Synchronous Generators. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(2), 1630-1638.
13. Xiong, X., Wu, C., Blaabjerg, F., 2021. Effects of Virtual Resistance on Transient Stability of Virtual Synchronous Generators under Grid Voltage Sag. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 69(5), 4754-4764.
14. Sati, T.E., Azzouz, M.A., 2022. An Adaptive Virtual Impedance Fault Current Limiter for Optimal Protection Coordination of Islanded Microgrids. *IET Renewable Power Generation*, 16(8), 1719-1732.
15. Zhuang, K., Xin, H., Hu, P., Wang, Z., 2022. Current Saturation Analysis and Anti-Windup Control Design of Grid-Forming Voltage Source Converter. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 37(4), 2790-2802.
16. Zhong, Q.C., Konstantopoulos, G.C., 2016. Current-Limiting Droop Control of Grid-Connected Inverters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64(7), 5963-5973.
17. Tayyebi, A., Groß, D., Anta, A., Kupzog, F., Dörfler, F., 2019. Interactions of Grid-Forming Power Converters and Synchronous Machines. *arXiv preprint arXiv*, 1902, 10750.
18. Du, W., Chen, Z., Schneider, K.P., Lasseter, R. H., Nandanoori, S.P., Tuffner, F.K., Kundu, S., 2019. A Comparative Study of Two Widely Used Grid-Forming Droop Controls on Microgrid Small-Signal Stability. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 8(2), 963-975.
19. Pogaku, N., Prodanovic, M., Green, T.C., 2007. Modeling, Analysis and Testing of Autonomous Operation of an Inverter-Based Microgrid. *IEEE Transactions on power electronics*, 22(2), 613-625.
20. Ghoshal, A., John, V., 2010. Anti-Windup Schemes for Proportional Integral and Proportional Resonant Controller. *National Power Electronic Conference*, 2010.

Combination of Conventional Ball Mill and Stirred Mill to Obtain Ultra-Fine Talc

Ömer GÜLEÇ¹ ORCID 0000-0003-4607-6919

Ö. Yusuf TORAMAN² ORCID 0000-0003-3585-7023

Metin UÇURUM³ ORCID 0000-0002-0725-9344

¹Niğde Ömer Halisdemir University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Niğde, Türkiye

²Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Mining Engineering Department, Niğde, Türkiye

³Bayburt University, Faculty of Engineering, Industrial Engineering Department, Bayburt, Türkiye

Geliş tarihi: 12.07.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: GÜLEÇ, Ö., TORAMAN, Ö.Y., UÇURUM, M., (2023). Combination of Conventional Ball Mill and Stirred Mill to Obtain Ultra-Fine Talc. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(3), 683-693.

Abstract

In this study, it was investigated that talc ore could ground to very fine sizes using a combination of conventional ball mill and vertical stirred mill. Firstly, the conventional ball mill parameters such as mill speed (% of critical speed), material filling ratio (J_b), ball filling ratio (f_c), ball size distribution (10-20-30-40 mm, %), grinding aid ratio (% of powder) and grinding time (min.) were optimized using classic experimental design. As a result of the optimization, fine talc product was obtained with $d_{90}=93.52 \mu\text{m}$ particle size. In the second stage, the ball mill product was re-milled using a stirred mill. As a result of study, a final ultra-fine talc powder was obtained after 60 minutes grinding time with $d_{50}=1.85 \mu\text{m}$ particle size and $14058 \text{ cm}^2/\text{g}$ total surface area. It has been seen that the conventional ball mill+stirred mill combination effective a process to obtain talc powder that suitable for industrial use.

Keywords: Talc, Conventional ball mill, Stirred ball mill, Ultra-fine product

Bilyeli Değirmen ve Karıştırmalı Değirmen Kombinasyonu ile Çok İnce Talk Üretimi

Öz

Bu çalışmada, konvansiyonel bilyeli değirmen ve dik karıştırmalı değirmen kombinasyonu kullanılarak talk cevherinin çok ince boyutlara öğütülebileceği araştırılmıştır. İlk olarak, değirmen hızı (kritik hızın %'si), malzeme doluluk oranı (J_b), bilye doluluk oranı (f_c), bilye boyut dağılımı (10-20-30-40 mm, %), öğütme yardımcısı gibi geleneksel bilyeli değirmen parametreleri klasik deneysel tasarım kullanılarak optimize

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Metin UÇURUM, mucurum@bayburt.edu.tr

edilmiştir. Optimizasyon sonucunda $d_{90}=93.52 \mu\text{m}$ partikül boyutuna sahip ince talk ürünü elde edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise bilyeli değirmen ürünü dik karıştırırmalı değirmen kullanılarak yeniden öğütülmüştür. Çalışma sonucunda, 60 dakika öğütme ile d_{50} değeri $1.85 \mu\text{m}$ olan ve $14058 \text{ cm}^2/\text{g}$ toplam yüzey alanına sahip çok ince talk ürünü elde edilmiştir. Çalışmanın sonunda konvansiyonel bilyeli değirmen+karıştırırmalı değirmen kombinasyonunun endüstriyel kullanıma uygun çok ince talk eldesi için etkili bir teknoloji olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Talk, Konvansiyonel bilyeli değirmen, Karıştırırmalı değirmen, Çok ince ürün

1. INTRODUCTION

Grinding is a very important activity in many industries such as the chemical, pharmaceutical and material industries. [1]. Grinding process is intensively used in industrial raw materials (calcite, talc, barite, kaolin, quartz etc.) in mining sector to obtain fine/ultra-fine powder products. In practice, two grinding technologies are predominantly involved in the industry. The first of these is the conventional ball mills and the second is the stirred mills. Conventional ball mills are still predominantly preferred in the fine and ultra-fine grinding sector in the world. The most important reasons for this are knowledge of its technology, making domestic production and having a high capacity. The view of a dry micronized grinding line is given in Figure 1.

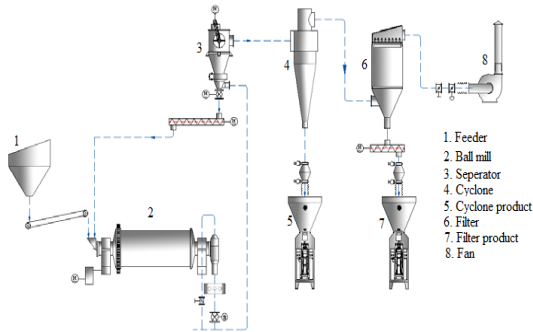


Figure 1. A simple micronize grinding flowsheet [2]

If 80 percent of the product size is below $75 \mu\text{m}$ the ball mill efficiency drops sharply. For this reason, it is accepted that the ball mill grinding limit in the range of $40\text{--}45 \mu\text{m}$. [3]. Wang and Forssberg [4] emphasize that the ball mill is used for products below $100 \mu\text{m}$ in the relationship between feed, product sizes and energy consumption of different mill types. In addition, there are many academic

studies on fine and very fine grinding in ball mills. These studies show that ball milling is still indispensable in powder production technology in the world [5-13].

In ball mill experimental studies performed using the classical or traditional experiment design. In this method, one parameter at a time is changed and one level of other independent parameters is kept constant. As seen in Figure 2, in a product development or experimental design made with the classical methodology to solve a production problem, the parameters for the experiment are determined and the experiment is started. In the experiment, the parameter X1 is changed, the result of the experiment is measured and the effect on the experiment is tried to be determined, while other parameters are kept constant. In the experimental study conducted with the classical methodology, external factors (uncontrollable) affecting the experiment are not taken into account too much [14,15].

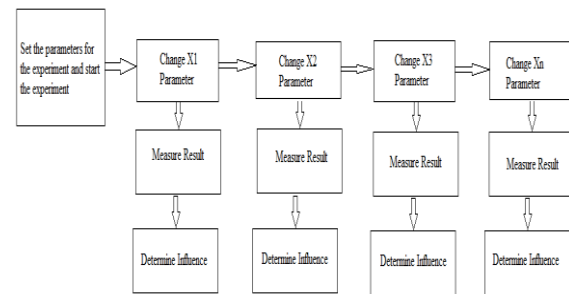


Figure 2. Experiment design and measurement with classical methodology [14].

In recent years, the use of stirred mills in various industrial branches has become increasingly widespread. In the mining sector, in parallel with the increase in the need for fine grinding and the

increase in equipment sizes, the stirred ball mills constitute an alternative to the traditional size reduction equipment used in the facilities. The most important reason for this situation that the amount of energy released in unit volume in the equipment is very high compared to traditional size reduction equipment and grinding to fine sizes can be performed economically [16]. Stirred ball mills are used for very fine and submicron grinding, especially in mining, chemistry, ceramics, pharmaceutical industries, paint, microelectronic industry etc. It is included in the literature in many academic studies about the stirred mill [17-23]. The use of stirred ball mills in the very fine grinding sector continues to increase. Although these mills have a lower capacity compared to conventional ball mills, they are preferred because of their ability to produce uniform products in very fine sizes ($d_{50}=2-3 \mu\text{m}$ and even in submicron sizes).

Talc is a raw material widely used in the industry due to its many physical and chemical properties. It is a layered, aqueous magnesium silicate with the chemical formula $[\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_2]$ and consisting of 63.5% SiO_2 , 31.7% MgO and 4.8% MgO [24]. Talc is widely used in different industries such as ceramics, chemistry, paint and food all over the world- due to its very special mineralogical and chemical structure are used in the cosmetics and pharmacology industry. The talc reserve of Türkiye is 1,158,000 tons, of which 106,000 tons are visible [25]. Grinding of talc ore to very fine sizes is one of the requirements for its use in industry. For this reason, it is clear that it is necessary to take advantage of the possibilities offered by technology in grinding the talc mineral into very fine sizes.

To obtain ultra-fine talc powder, two different grinding systems were combined in this study. For this purpose, first the dry grinding parameters of ball mill were optimized and secondly, obtained fine talc powder product was subjected to a regrinding process by vertical stirred ball mill.

2. MATERIAL AND METHOD

The talc ore used in this study was obtained from Mikron'S Co. (Niğde, Türkiye). Ore supplied from

the factory in crushed form (-2 mm). The chemical composition of the ore is given in Table 1. Due to the classical composition of talc ore, the studied ore mainly consists of SiO_2 (63.15%) and MgO (33.33%) compounds. The iron oxide content, on the other hand, is not at a very low level, but not at a very high value. Sieve analysis of the ore supplied from the factory as -2 mm is given in Figure 3. As can be understood from here, the d_{80} dimension of the ore to be used for grinding is 1.3 mm.

Table 1. Chemical composition of the ore sample

Element	%
SiO_2	63.15
MgO	33.33
CaO	0.79
Fe_2O_3	3.12
Al_2O_3	0.03

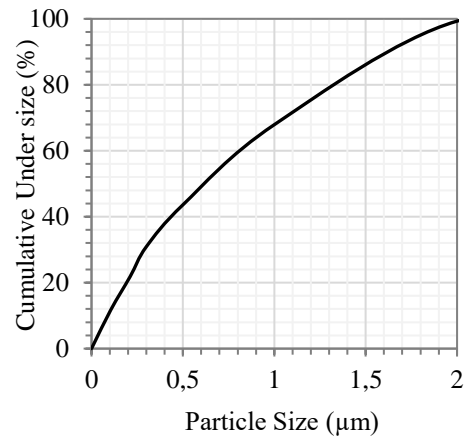


Figure 3. Particle size distribution (PSD) of the crushed sample

In the grinding tests, a 200*200 mm sized laboratory-type stainless steel ball mill was used (Figure 4a). Balls of four different diameters (10,20,30,40 mm) with a density of 8000 kg/m^3 were preferred as the grinding medium (Figure 5a). In conventional ball mill tests, grinding operation speed (% of critical speed), talc filling ratio (f_c), ball filling ratio (J_b), ball size distribution, grinding aid ratio and grinding time (min) parameters were optimized. In this optimization, the grinding products were sieved through a 106 micron (150 mesh) sieve and the under-sieve ratios were taken as basis. Critical speed (N_c), ball filling ratio (J_b),

and powder filling ratio (f_c) were calculated using Equations 1, 2, and 3, respectively. The ball mill grinding experiments were performed as a batch operation.

$$N_c = [42.3 / (D - d)^{0.5}] \text{ rpm} \quad (D = \text{mill diameter and } d = \text{ball diameter; in meters}) \quad (1)$$

$$J_b = [(\text{mass of balls} / \text{ball density}) / \text{mill volume}] \times (1 / 0.6) \quad (2)$$

$$f_c = [(\text{mass of powder} / \text{powder density}) / \text{mill volume}] \times (1 / 0.6) \quad (3)$$

In the secondary grinding process, a 170*150 mm polyethylene-based stirred mill was used (Figure 4b). $d_{Al} = 3.5\text{-}4$ mm alumina balls were used as grinding medium (Figure 5b). Dimensional analyzes of the stirred ball mill product were determined using a dry laser sizer (Sympatec GmbH Co., Germany).

The ball mill grinding test conditions are given in Table 2. The ball mill grinding experiments were performed as a batch operation. In micronized grinding plants, it was aimed that the final product has a uniform structure, that is, close to each other in size. Therefore, some calculations are made for the uniform product indicator. The most used ones are given below. As the value of the numerical results obtained from here is lowered, it is assumed that the product has a narrower particle (product) size distribution.

$$(d_{90}-d_{10})/d_{50} \quad [26, 27, 28] \quad (1)$$

$$d_{80}/d_{20} \quad [26, 29] \quad (2)$$

$$d_{50}/d_{20} \quad [30] \quad (3)$$

$$d_{90}/d_{10} \quad [31] \quad (4)$$



(a)



(b)

Figure 4. Ball mill (a) and stirred mill (b) used in the study

Table 2. Ball mill grinding test conditions

Parameter	Option
Mill speed (% of N_c)	50
	60
	70
	80
	90
Ball filling ratio (J_b)	0.20
	0.25
	0.30
	0.40
	0.45
Ball size distribution (10-20-30-40 mm, %)	Group I:0-0-50-50
	Group II:0-20-30-50
	Group III:20-20-30-30
	Group IV:30-30-20-20
	Group V:50-50-0-0
Powder filling ratio (f_c)	0.10
	0.11
	0.12
	0.15
	0.20
Grinding aid ratio (% of powder)	0
	0.025
	0.050
	0.075
	0.10
Grinding time (min.)	15
	20
	25
	30

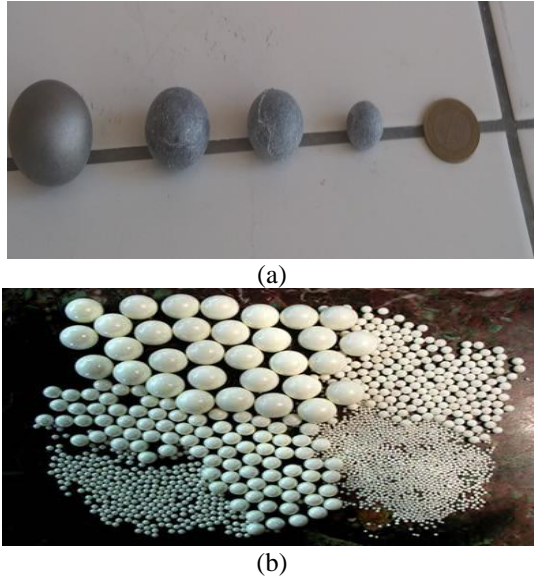


Figure 5. Balls of four different diameters using ball mill (a) and balls of stirred mill grindings (b)

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

In this study, the critical speed of 50%, 60%, 70%, 80% and 90% was used in the ball mill working speeds. The grinding test conditions of mill speed (% of N_c) are given in Table 2. As a result of the experiment, the values given in Figure 6 were reached. As it can be understood from here, the best result was obtained at 90% of the critical speed. At this value, 52.66% of the material passed through a 106 μm sieve. It is thought that the reason for the best results to be obtained at this high speed is the need for a cataract effect in the grinding of talc ore with a high silica content. The speed was high but the ore contained about 63.15% SiO_2 .

In this context, the ball fill ratio (J_b) is respectively 0.20 4.5 kg, 0.30 6 kg, 0.35 9 kg, 0.42 12 kg, respectively; 0.45 of 14 kg balls values were studied. The grinding test conditions of ball filling ratio (J_b) are given in Table 2. The results given in Figure 7. As can be understood from these results, it was determined that the best ball fill rate was $J_b=0.42$, 12 kg ball. It is seen that the rate of passing through a 106 μm sieve of the product obtained at this value is 69.40%.

The size distribution of balls for 1, 2, 3 and 4 cm balls are respectively as %; 0, 0, 50, 50 for the first group, 0, 20, 30, 50 for the second group, 20, 20, 30, 30 for the third group, 30, 30, 20, 20 for the fourth group, 50, 50, 0, 0 for the fifth group, values were used in the optimization. The test was made under Table 2 conditions. As a result of the experiment, the results given in Figure 8 were reached. According to this, the best ball size distribution was obtained in the 4th Group, namely 30% 1 cm, 30% 2 cm, 20% 3 cm, 20% 4 cm. The rate of passing through a 106 μm sieve of the product obtained as a result of grinding was found to be 73.40%.

The most important parameter affecting the capacity and grinding in ball mill grinding is the material fill rate. The operating conditions given in Table 2 were used for grinding talc in a conventional ball mill. In this context, the talc occupancy rate (f_c) is respectively; the values of 0.10 for 1 kg, 0.11 for 1.15 kg, 0.12 for 1.250 kg, 0.15 for 3 kg and 0.20 for 4 kg were studied. The results obtain can be seen in Figure 9. It showed that the best talc occupancy rate was $f_c=0.10$ that is 1.0 kg talc ore. The passing rate of the product obtained at this value through a 106 μm sieve was found to be 73.40%.

We know that one of the important parameters in studies to optimize micronized grinding is the assistance to grinding. For this reason, although the milled material has hydrophobic properties, it was desired to observe whether the grinding aid has an effect on the micronized grinding of the talc ore studied. Due to its harmless and water-soluble properties, poly-acrylic acid (CH_2CHCOOH) was used as a grinding aid chemical in this study. The test conditions are given in Table 2. As a result of the experiment, Figure 10 was obtained. According to these results, it has been seen that the grinding aid does not have a function in talc grinding.

The grinding time is a critical parameter in fine grinding because of pertaining to the residence time of the material in the mill in conventional ball mills. The grinding time should be selected and studied based on the size of the product to be taken more. The operating conditions given in Table 2 were used in the study of this parameter. In this context, the

grinding time was studied as 15, 20, 25 and 30 minutes, respectively. The results given in Figure 11 were reached. According to this, the best grinding time was determined as 30 minutes. In this result, almost all of the material, which is the purpose of grinding talc in the ball mill, is intended to pass through a 106-micron sieve. After 30 minutes of grinding, approximately 100% of the material passed through the said sieve size.

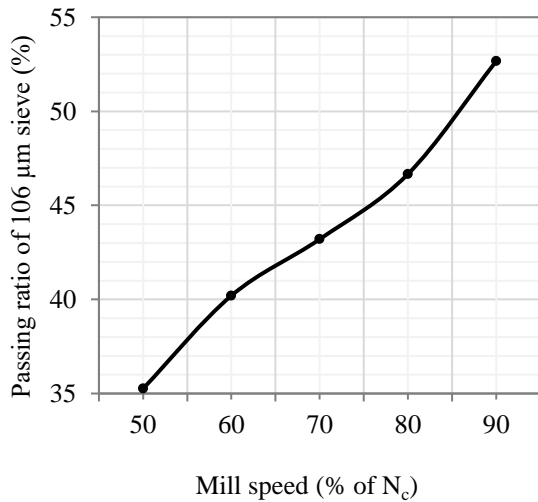


Figure 6. Passing ratios of 106-micron sieve of products obtained in different mill speed

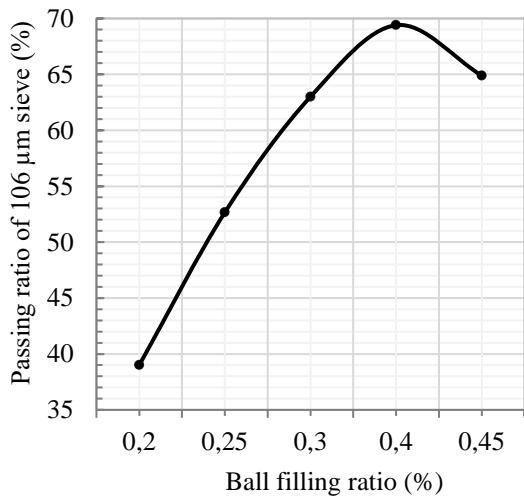


Figure 7. Passing ratios of 106 µm sieve of products obtained in different ball filling ratios

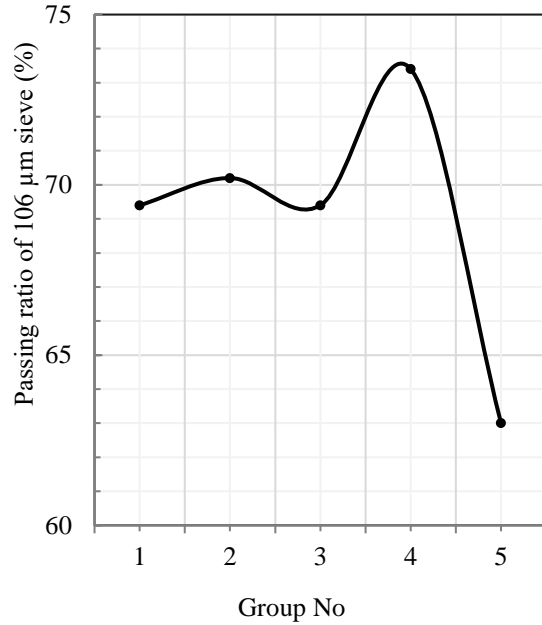


Figure 8. Passing ratios of 106 µm sieve of products obtained in different ball size distribution

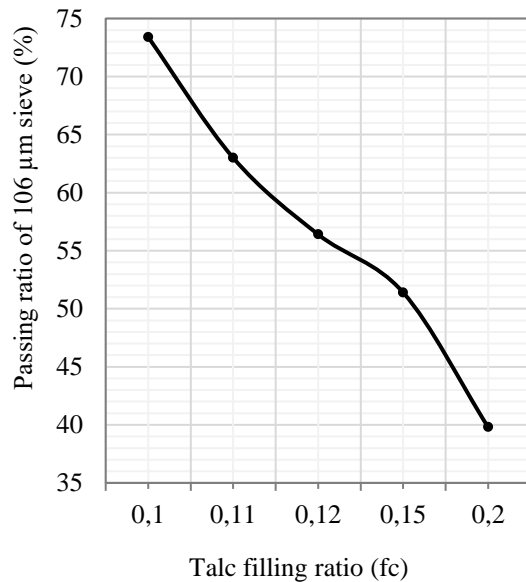


Figure 9. Passing ratios of 106 µm sieve of products obtained in different talc filling ratio

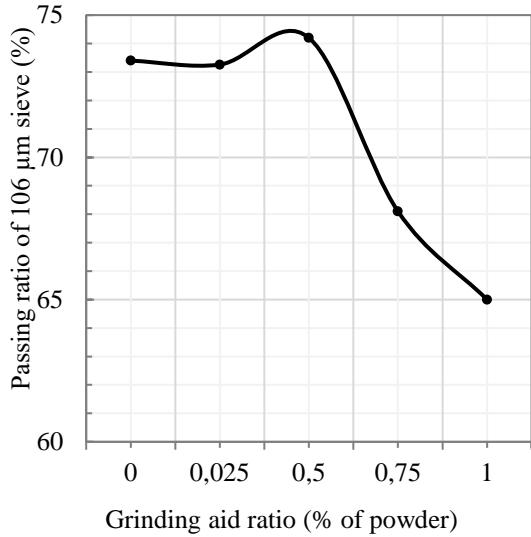


Figure 10. Passing ratios of 106 µm sieve of products obtained in different grinding aid ratio

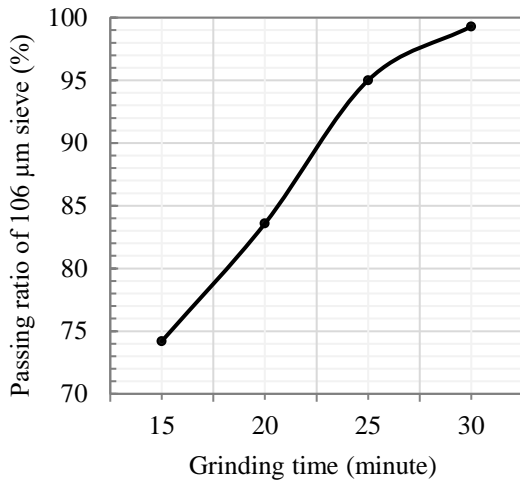


Figure 11. Passing ratios of 106 µm sieve of products obtained in different grinding time

Fine sizes (<100 µm) product obtained at conventional ball mill product was used in the stirred mill. Figure 12 shows cumulative undersize of the fine material. The product had $d_{50}=17.92$ µm and $d_{90}=93.52$ µm particle sizes. The powder was then ground in a laboratory dry stirred mill under the conditions specified in Table 3.

The d_{50} value, which is defined as the medium size of industrial raw material products ground to very fine sizes, is very important. The results are provided in Figure 13a and b based on the cumulative undersize and d_{50} values for various specified grinding times (5, 10, 15, 20, 30 and 60 min), respectively. In micronized grinding processes, the concept of d_{50} (median particle size) is commonly used in the evaluation of product fineness. In this study, after 60 minutes grinding time of the fine talc product in the vertical stirred ball mill, the product with a d_{50} value of 1.85 µm microns was reached.

It is necessary to know the total surface areas of the filler minerals used in industrial used. In this study, the total surface area values of ground six talc products are given in Figure 14a. These results were obtained from the Sympatec particle size distribution measuring instrument. Naturally, the highest surface area (14058 cm²/g) was reached after 60 minutes of grinding. The PSD values of the products milled at different times in the vertical mill are presented in Figure 14b. Table 4 shows some specific particle size, SF, and span values of feed material and final products. The PSD of the talc powder at 60 min grinding time was very narrow (span 2.62), with average particle size of 1.85 µm, while more than 90% of particles were less than 5.53 µm.

After crushing process, a flowsheet was developed that can be used in grinding of talc ore to micronize sizes (Figure 15). As can be seen from the figure, a ball mill was used in the primary grinding unit, and its product was fed to the vertical stirred mill to obtain very fine talc ore.

Filo et. al., (1994) [32] studied the grinding of talc ore using tumbling and planetary ball mills. They observed that size reduction of talc samples was observed to predominate in grinding using a moderate energy type tumbling ball mill and the resultant fine particles of ground talc were found to agglomerate with increasing grinding time. Elbendaria et al. (2013) [33] studied wet grinding of talc with a vertical attritor mill and after optimization, they achieved a product size of 12 µm

and 3.8 μm , as d_{90} and d_{50} values, after grinding for 180 minutes. Katircıglu Bayel [34] worked about modeling and optimization of some grinding parameters on dry grinding in stirred media mill using talc ore. According to the study results, the optimal conditions for maximizing the breakage rate were obtained at 599 rpm for the mixer speed, 0.07 for the solids ratio, 65.58% for the ball fill ratio, and maximum ball size distribution.

Table 3. Stirred mill grinding conditions

Parameters	Variables
Mill type	Stirred
Mill capacity	3000 ml
Mill material	Polythene
Shaft material	Stainless steel
Material of balls	Alumina
Ball density	3.65 g/cm ³
Diameter of the balls	1-3 mm
Ball mass per milling run	4500 gr
Ball to powder ratio run	9:1
Sample mass	500 gr
Rotation	750 rpm
Grinding time	5,10,15,20,30,60 min.

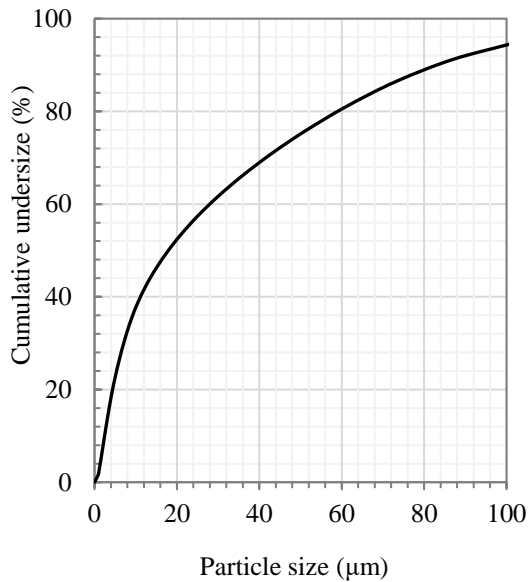


Figure 12. Particle size distribution of the feed powder of stirred mill

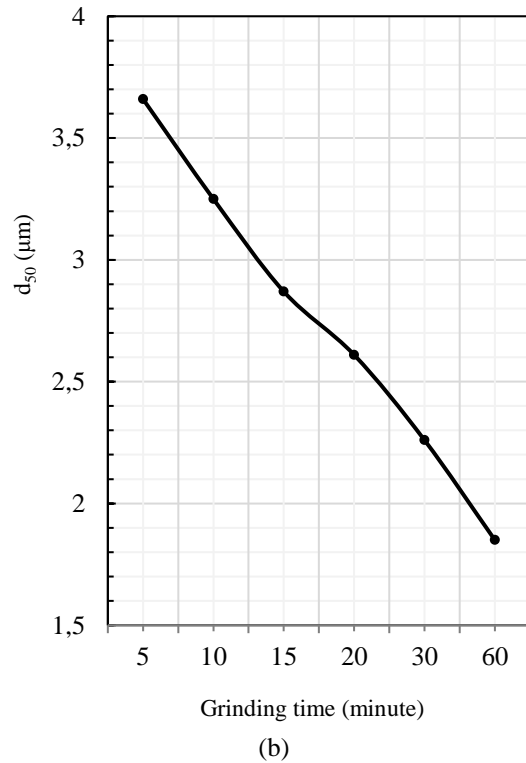
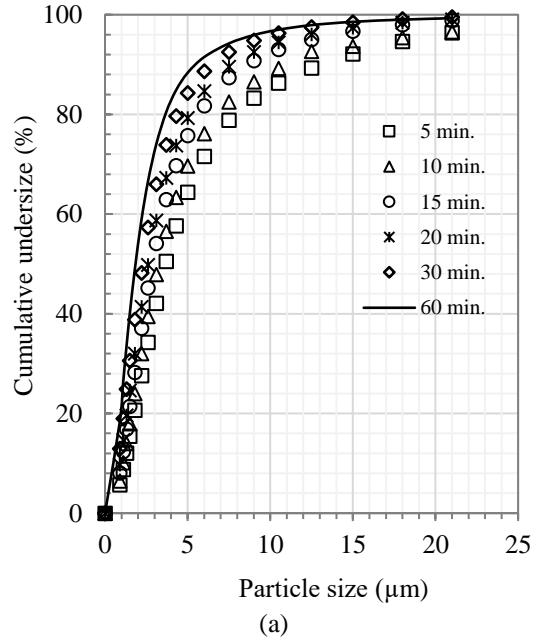


Figure 13. Particle size distribution of the ultrafine ground sample (a), d_{50} values of the ultrafine grinding sample (b)

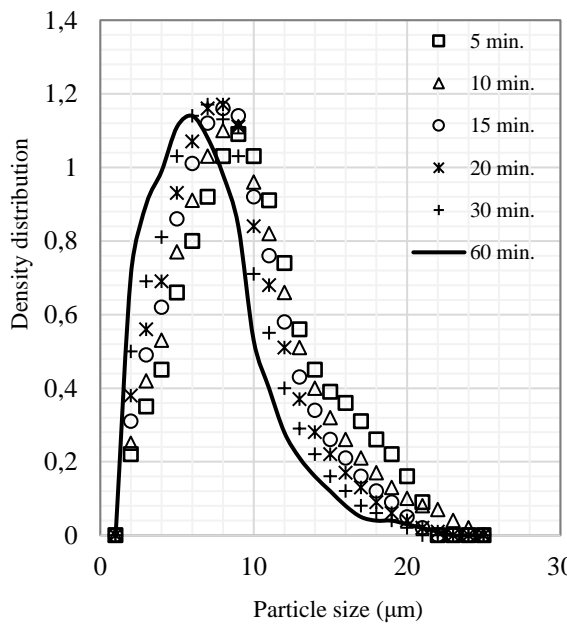
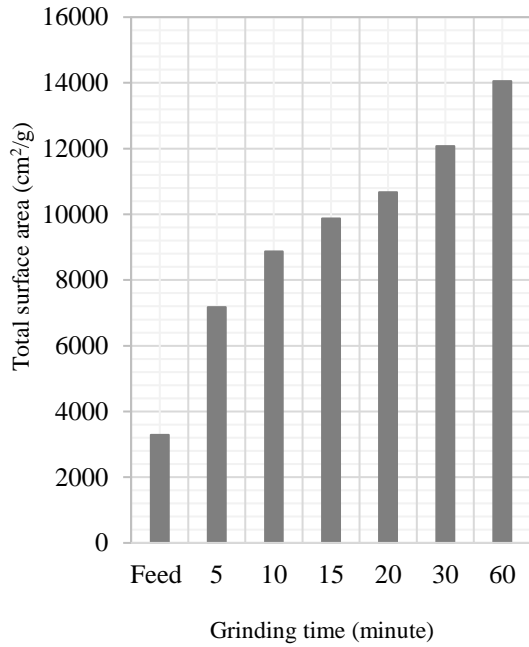


Figure 14. The total surface area values of ultrafine talc products (a) particle density distribution of ground products (b)

Table 4. Some width of PSD values of feed material and products

Grinding time (min)	SF (d ₅₀ /d ₂₀)	d ₉₀ /d ₁₀ d ₈₀ /d ₂₀ [(d ₉₀ -d ₁₀)/d ₅₀]		
		d ₉₀ /d ₁₀	d ₈₀ /d ₂₀	[(d ₉₀ -d ₁₀)/d ₅₀]
Feed powder	4.17	34.35	14.19	4.52
5	1.74	12.23	4.50	3.67
10	2.03	10.23	4.50	3.10
15	1.94	8.75	4.05	2.67
20	1.95	8.47	4.00	2.61
30	1.97	8.04	3.74	2.63
60	1.76	7.68	3.52	2.60

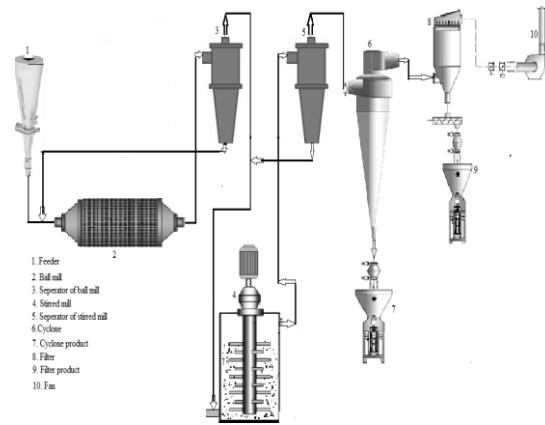


Figure 15. Recommended ultra-fine grinding processing flowsheet of talc ore

4. CONCLUSION

A laboratory scale ball mill+stirred mill combination was used for ultrafine grinding of talc ore. The experiments were carried out firstly, followed by a stirred mill study at the optimum conditions obtained from ball mill.

- The best results obtained at optimum conditions in the ball mill experiments are as follows: 90% of N_c for mill speed, 0.40 for ball filling ratio, 30-30-20-20 for ball size distribution (10-20-30-40 mm), 0.10 for powder filling ratio (f_c), 0 g/t grinding aid ratio and 30 minute for grinding time. A product was obtained with average particle size (d₅₀) of 17.92 µm.
- The fine product was subjected to a regrinding process by a stirred mill. The PSD of the talc

powder at 60 min. grinding time was very narrow (SF=1.76, span=2.60), with $d_{50}=1.85$ μm .

5. ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Micron's Co. (Nigde, Türkiye) for particle size measurements.

6. REFERENCES

1. Mio, H., Kano, J., Saito, F., 2004. Scale-up Method of Planetary Ball Mill. *Chemical Engineering Science*, 59, 5909-5916.
2. Varlık Makine, Classifiers, <http://www.varlikmakina.com/kompletesisler>, Erişim Tarihi: Mart 2010.
3. Gao, M.W., Weller, K.R., 1996. A Comparison of Tumbling Mills and Stirred Ball Mills for Wet Grinding. *The Fifth Mill Operators. Conference, AusIMM, Roxby Downs, 16-20 October, Australia*.
4. Wang, Y., Forssberg, E., 2007. Enhancement of Energy Efficiency for Mechanical Production of Fine and Ultra-Fine Particles in Comminution. *China Particuology*, 5, 193-201.
5. Austin L.G., Bagga, P., 1981. An Analysis of Fine Dry Grinding in Ball Mills. *Powder Technology*, 28(1), 83-90.
6. Kotake, N., Kuboki, M., Kiya, S., Kanda, Y., 2011. Influence of Dry and Wet Grinding Conditions on Fineness and Shape of Particle Size Distribution of Product in a Ball Mill. *Advanced Powder Technology*, 22, 86-92.
7. Qian, H.Y., Kong, Q.G., Zhang, B.L., 2013. The Effects of Grinding Media Shapes on the Grinding Kinetics of Cement Clinker in Ball Mill. *Powder Technology*, 235, 422-425.
8. Guzzo, P.L., Santos, J.B., David, R.C., 2014. Particle Size Distribution and Structural Changes in Limestone Ground in Planetary Ball Mill. *International Journal of Mineral Processing*, 126, 41-48.
9. Mulenga, F.K., 2017. Sensitivity Analysis of Austin's Scale-Up Model for Tumbling Ball Mills-Part 1. Effects of Batch Grinding Parameters. *Powder Technology*, 311, 398-407.
10. Bu, X., Chen, Y., Ma, G., Sun, Y., Ni, C., Xie, G., 2020. Wet and Dry Grinding of Coal in a Laboratory-Scale Ball Mill: Particle-Size Distributions. *Powder Technology*, 359, 305-313.
11. Ucurum, M., Gulec, O., Cingitas, M., 2015. Wet Grindability of Calcite to Ultra-Fine Sizes in Conventional Ball Mill. *Particulate Science and Technology*, 33, 342-348.
12. Öksüzöğlü, B., Uçurum, M., 2016. An Experimental Study on the Ultra-Fine Grinding of Gypsum Ore in a Dry Ball Mill. *Powder Technology*, 291, 186-192.
13. Ucurum, M., Ozdemir, A., Teke, Ç., Tekin, I., 2021. A Novel Approach to Finding Optimum Operating Conditions of Design Factors for The Grinding Experiment. *Particulate Science and Technology*, 39(2), 204-212.
14. Gökçe, B., Taşgetiren, S., 2009. Kalite İçin Deneysel Tasarımı. *Electronic Journal of Machine Technologies*, 6(1), 71-83.
15. Güngör, B.V., 2003. Genetik Algoritmalarla Optimizasyon ve Bir Örnek Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
16. Dikmen, S., Ergün, Ş.L., 2004. Stirred Ball Mills. *Madencilik*, 43(4), 3-15.
17. Stenger, F., Mende, S., Schwedes, J., Peukert, W., 2005. Nanomilling in Stirred Media Mills. *Chem. Eng. Sci.*, 60, 4557-4565.
18. Zheng, J., Harris, C.C., Somasundaran, P., 1996. A Study on Grinding and Energy Input in Stirred Media Mills. *Powder Technology*, 86, 171-178.
19. Kwade, A., 1999. Wet comminution in Stirred Media Mills: Research and Its Practical Application. *Powder Technology*, 105, 14-20.
20. Pilevneli, C.C., Kizgut, S., Toroglu, I., Çuhadaroglu, D., Yigit, E., 2004. Open and Closed Circuit Dry Grinding of Cement Mill Rejects in A Pilot Scale Vertical Stirred Mill. *Powder Technology*, 139, 165-174.
21. Choi, H., Lee, W., Kim, D.U., Kumar, S., Kim, S.S., Chung, H.S., Kim, J.H., Ahn, Y.C., 2010. Effect of Grinding Aids on the Grinding Energy Consumed During Grinding of Calcite in a Stirred Ball Mill. *Miner. Eng.*, 23, 54-57.

22. Gokcen, H.S., Cayirli, S., Ucbas, Y., Kayaci, K., 2015. The Effect of Grinding Aids on Dry Micro Fine Grinding of Feldspar. *Int. J. Miner. Process.*, 136, 42-44.
23. Kinnarinen, T., Tuunila, R., Huhtanen, M., Häkkinen, A., Kejik, P., Sverak, T., 2015. Wet Grinding of CaCO₃ with a Stirred Media Mill: Influence of Obtained Particle Size Distributions on Pressure Filtration Properties. *Powder Technology*, 273, 54-61.
24. Grim, R.E., 1968. *Clay Mineralogy*, 2nd Edition. McGraw-Hill, New York, 596.
25. Şirinoğlu, Y., Örgün, Y., Erarslan, C., Koçbulut, F., 2017. Türkiye’de Üretilen Talk Cevherlerinin Mineralojik ve Kimyasal Karakteristiklerinin Sağlık Açısından Değerlendirilmesi. 70th Geological Congress of Turkey, 10-14 Nisan 2017, Ankara, 60-67.
26. Jankovic, A., Sinclair, S., 2006. The Shape of Product Size Distributions in Stirred Mills. *Minerals Engineering*, 19, 1528-1536.
27. Karbstein, H., Mueller, F., Polke, R., 1996. Producing Suspensions with Steep Particle Size Distributions in Fines Ranges. *Aufbereitungs-Technik*, 36, 464-473.
28. Adi, H., Larson, I., Stewart, P., 2007. Use of Milling and Wet Sieving to Produce Narrow Particle Size Distributions of Lactose Monohydrate in The Sub-Sieve Range. *Powder Technology*, 179, 95-99.
29. Nasset, D.P., Radziszewski, J.A., Hardie, P., Leroux, C., 2006. Assessing the Performance and Efficiency of Fine Grinding Technologies. 38th Annu. Can. Miner. Process, Oper. Conf., Ottawa, Canada, 283-310.
30. Werner, R., 2000. Effect of Extenders with Narrow and Broad Particle Size Distributions on the Properties of Coatings. *J. Coatings Technol.*, 72, 71-76.
31. Kotake, N., Kuboki, M., Kiya, S., Kanda, Y., 2011. Influence of Dry and Wet Grinding Conditions on Fineness and Shape of Particle Size Distribution of Product in a Ball Mill. *Advanced Powder Technology*, 22, 86-92.
32. Filio, J.M., Sugiyama, K., Saito, F., Waseda, Y. 1994. A Study on Talc Ground by Tumbling and Planetary Ball Mills. *Powder Technology*, 78(2), 121-127.
33. Elbendari, A.M., El-Mofty, S.E., Abd El-Rahman, Mohamed, M.K., Abdel-Khalek A., 2016. Parameters Affecting Wet Ultra-Fine Grinding of Talc Ore. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(4), 1171-1179.
34. Bayel Katırcıoğlu, D., 2020. Karıştırılmalı Bilyalı Değirmende Kuru Öğütmede Bazı Öğütme Parametrelerinin Modellenmesi ve Optimizasyonu. *NÖHÜ Müh. Bilim. Dergisi*, 9(2), 1026-1038.

The Effects of Repeated Laundering and Structural Parameters on the Terry Fabric Preference of Japanese Consumers and Comparison with Turkish Consumers

Ece KALAYCI¹ ORCID 0000-0002-7331-7629
Deniz Mutlu ALA^{*2} ORCID 0000-0002-5864-308X
Hüseyin TOPÇU¹ ORCID 0000-0003-2156-1782
Tetsuya SATO³ ORCID 0000-0001-5356-6647
Yüksel İKİZ¹ ORCID 0000-0001-9412-8926

¹Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Textile Engineering, Denizli, Türkiye

²Çukurova University, Adana Organized Industrial Zone Vocational School of Technical Sciences, Adana, Türkiye

³School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan

Geliş tarihi: 22.05.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: KALAYCI, E., ALA, D.M., TOPÇU, H., SATO, T., İKİZ, Y., (2023). The Effects of Repeated Laundering and Structural Parameters on the Terry Fabric Preference of Japanese Consumers and Comparison with Turkish Consumers. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(3), 695-704.

Abstract

The objective of this research is to determine the effects of weft yarn count, weft density and repeated laundering effects on terry fabric preference of Japanese participants and to compare with the preferences of Turkish participants. In addition, the terry fabric samples are evaluated by Japanese panelists in order to determine the importance of characteristics related to preference. Terry samples woven with nine different constructions are subjected to 5, 10, 20 and 40 washing cycles in a household washing machine before subjective evaluations. The subjective evaluations are performed in two steps with a total of 40 Japanese volunteers consisting 20 men and 20 women at the ages of 18-25 years. Both Japanese and Turkish participants preferred terry fabric samples woven with finer weft yarns at a higher rate. The preference rate for terry fabrics decreased with increasing washings cycles among the participants of both countries. In addition, the most important characteristics related to preference of Japanese participants has been revealed.

Keywords: Terry fabric, Subjective evaluation, Softness, Laundering

Tekrarlı Yıkamaların ve Yapısal Parametrelerin Japon Tüketicilerin Havlu Kumaş Tercihine Etkisi ve Türk Tüketicilerle Karşılaştırılması

Öz

Bu çalışmada atkı ipliği numarası, atkı sıklığı ve tekrarlı yıkamaların Japon katılımcıların havlu kumaş tercihi üzerindeki etkileri araştırılmış, elde edilen sonuçlar Türk katılımcıların tercihleri ile

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Deniz Mutlu ALA, denizmutluala@hotmail.com

karşılaştırılmıştır. Ayrıca Japon katılımcılar ile yapılan ikinci aşama değerlendirmelerde, tercihi etkileyen özelliklerin önem dereceleri araştırılmıştır. Bu amaçla, üç farklı kalınlıkta atkı iplikleri ile üç farklı atkı sıklığında dokuz farklı yapıya sahip havlu kumaş numuneleri üretilmiştir. 18-25 yaş arası 20 erkek ve 20 kadın olmak üzere toplam 40 Japon gönüllü ile iki aşamada gerçekleştirilen subjektif değerlendirmeler öncesinde havlu kumaşlara ev tipi çamaşır makinesinde 5, 10, 20 ve 40 kez tekrarlı yıkama yapılmıştır. Çalışma sonucunda Japon ve Türk katılımcıların, daha ince atkı iplikleri ile dokunan havlu kumaşları daha yüksek oranda tercih ettiği ve yıkama sayısı arttıkça, her iki ülke katılımcılarının tercih oranının azaldığı görülmüştür. Ayrıca Japon katılımcıların tercihi etkileyen özelliklerin önem dereceleri ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Havlu kumaş, Subjektif değerlendirme, Yumuşaklık, Yıkama

1. INTRODUCTION

Terrycloth, believed to have come into our lives through faulty weaving, is now one of the most widely used home textiles around the World [1]. It is an indispensable material for bath and beach products such as towels and bathrobes with its excellent water absorption capacity [2]. Although traditionally made from yarns of 100% cotton fibers, in recent years it is also made from regenerated cellulose fibers such as viscose, modal, bamboo or blended yarns with synthetic fibers such as polyester/micropolyester, depending on the application [3].

A look at the global market statistics for terry products for 2019 shows that China is the world's leading exporter of towel products, with a market share of 41.6%. Pakistan, India, Turkey and Vietnam follow China with market share of 12.5%, 11.2%, 6% and 3.2% respectively, and the total exports of these five countries account for 70% of global exports. Global import statistics show that the U.S. is the world's largest importer of toweling materials, accounting for 32.2% of total imports. It is followed by Japan (8%), Germany (6.1%), France (4.7%), the United Kingdom (4.5%), the Netherlands (2.7%), Italy (2.5%) and Spain (2.4%) [4].

The basic parameters that determine the quality of terry products are the weight of the fabric, softness/hand feel, orientation of the pile, amount of lint, absorbency and dimensional stability. Absorbency is one of the most important parameters for terry fabrics. Softness/hand feel, one of the defining characteristics of terry quality, is directly related to the type of raw material used for the pile

yarn, pile orientation and finishing processes, such as the use of softeners. The strength of terry fabrics and the change in physical and structural properties of terry products after the washing process are considered to be other important parameters affecting the quality of terry fabrics [2,4,5].

In contrast to these objective evaluations that determine the quality of terry cloth, consumers in retail stores usually make a subjective decision by looking at and touching the appearance of the product. For this reason, there are many studies in the literature that aim to establish a correlation between the objective and subjective evaluation of textile products [2,5-7]. For cases where an objective evaluation of the quality of textile surfaces is not possible, subjective evaluation methods have been developed that come closest to an objective evaluation. The evaluation is done by touching, squeezing and rubbing to analyze the fabric quality by experts in the field [8-10]. When one wishes to test the softness of textile surfaces using an objective method, the softness of the fabric is usually obtained by determining its stiffness. This is possible with measurements made with a bending rigidity tester or a stiffness tester [11-13]. However, subjective evaluation of softness is done by touching the fabric and manipulating it with a finger [11-14].

Terry fabrics are textile materials that, like all products of daily use, get dirty and need to be washed frequently. These washing processes can sometimes cause changes, such as deformation of the surface of the fabric, increase in hairiness, decrease in thickness, decrease in weight, hardening, decrease in air permeability, decrease in water absorption, fading of color, etc. For this

reason, physical and structural changes in the fabric structure as a result of washing processes also have a very strong influence on the quality of terry products [15-19]. There are also studies show that different geographies, different climates and different cultures can have an impact on the results of subjective assessments [20].

As a part of the previous study the effects of weft yarn count, weft density and repeated laundering on the predictability of terry fabrics for both purchasing and servicing are evaluated. In subjective evaluations, the fabrics are assessed by Turkish participants and the statistical relationship between subjective and objective evaluations are investigated [2]. In the present study subjective evaluations are carried out to determine the effects of weft yarn count, weft density and repeated laundering effects on the terry fabric preference of Japanese participants. However the effects of target market's cultural background on consumer behaviour and preferences should also be taken into account. The important feature of this study was to investigate and compare the effects of the repeated laundering and structural parameters on the terry preference of the consumers of different countries. Therefore, the results are compared with the results obtained in the previous study by the subjective assessments conducted with Turkish participants. By this way, it is aimed to investigate and compare the effects of the repeated laundering and structural parameters on the towel preference of the consumers of two different countries and to determine whether the subjective responses would be in correlation with each other. In addition, the terry fabric samples are evaluated by Japanese panelists to determine the importance of characteristics related to preference, considering requested properties such as heaviness, thickness, softness, moisture feeling, length of pile, type of fabric, shininess, hand-feel, roughness and warmth.

2. EXPERIMENTAL

100% carded ring-spun cotton Ne 12/1, Ne 16/1 and Ne 20/1 weft yarns spun from the same cotton blend were used. In the warp direction, 100% carded ring-spun cotton Ne 20/2 ground warp and Ne 16/1 pile warp were used. To investigate the effects of

parameters such as weft yarn count, weft density and repeated laundering on the subjective ratings of terry fabrics, a total of 9 terry fabrics were woven with three different weft densities as given in Table 1. Bleaching, dyeing and washing processes are applied to terry fabrics in the same bath in order to produce comparable samples. The dyed fabrics were subjected to 5, 10, 20, and 40 washing cycles before subjective evaluations. Laundering operations performed in a domestic washing machine at 40 °C together with commercial detergents and fabric softeners readily available and commonly used in the market, as performed in daily life. Terry fabrics were dried by laying on a flat surface for 24 hours after each washing cycle. Terry fabrics were cut into dimensions of 10×10 cm to be used in subjective evaluations.

Before conducting the subjective assessments, terry samples were conditioned for a minimum of 24 hours under standard atmospheric conditions (20 ± 2 °C temperature, $65 \pm 2\%$ relative humidity) and assessments were completely performed under these conditions. A total of 40 volunteers consisting 20 men and 20 women at the age of 18-25 years from Japan participated in the survey as panelists. The participants were informed about the aim of the research and the properties like fiber content, construction and finishing method. Subjective assessment was performed in two steps.

In the first step of the subjective evaluations, each of the unwashed fabric samples were randomly compared in pairs with other fabric samples. The structures of the fabrics were not explained to the participants. Each panelist performed the subjective assessment by holding the sample pairs with hands. The fabric samples were evaluated by handling, rubbing and squeezing them with hands for about 1-2 minutes and comparing the two samples with each other in terms of primary handle impressions and appearance. After each evaluation the participants made a decision and chosen one of the samples as preferred (Figure 1). By this way all fabric samples were compared with each other. To determine the effect of laundering on panelists' preference, all 45 types of unwashed and washed samples were evaluated by panelists by handling, rubbing and

squeezing and rated as preferred or not preferred in terms of primary handle impressions and appearance. In addition, the results of the first stage are compared with the results of the subjective assessment conducted with Turkish participants in the previous study.

In the second part of the evaluation, all fabric samples (9 unwashed, 9 five times washed, 9 ten times washed, 9 twenty times washed, 9 forty times washed) were presented to Japanese participants randomly one by one and the panelists were requested to make a choice according to given properties such as “heaviness”, “thickness”, “softness”, “moisture feeling”, “length of pile of terry fabrics”, “type of fabric”, “shininess”, “hand-

feel”, “roughness” and “warmth feel” for each fabric sample.

The experimental results have statistically evaluated by using SPSS software. Firstly the normality of experimental data obtained in the first step are tested with Shapiro-Wilk test. Independent sample t-test was used to determine whether 2 group variances can be assumed equal or not. Correlation analysis was carried out to determine the statistical relationship between the evaluation results of Turkish participants and Japanese participants. The preference counts of terry fabric samples in the first step of the survey and the requested properties evaluated in the second step are also statistically evaluated by correlation analysis.

Table 1. Structural properties of terry fabric samples [2]

	Sample Numbers								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Linear Densities of Weft (Ne)	12/1	16/1	20/1	12/1	16/1	20/1	12/1	16/1	20/1
Density of Weft (weft/cm)	22	21.6	21.2	20	20	20.2	17.2	17.6	17.2
Mass per Unit Area (gr/m ²)	449	445	468	458	471	448	431	446	432



Figure 1. Subjective evaluation is performed in the light cabin under D65 daylight

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. Subjective Evaluation Results “First Step”

In the first step of the subjective evaluation, all the 9 unwashed fabric samples that are in different constructions compared with other fabric samples randomly with participation of 20 Japanese men and 20 Japanese women at the age of 18–25. In our

previous work, the first step of the subjective evaluation had been performed exactly under the same conditions to only the Turkish participants consisting of 20 men and 20 women between the ages of 18-45. The results of the fabric ratings of unwashed fabrics and comparison of Turkish and Japanese consumers’ preferences are given in Table 2. Preference count expresses the total number of the preference of terry fabric samples, in other

words how many times the fabric sample preferred when compared with any other. Then a whole comparison of all 45 types of samples consisting of unwashed and washed samples was made by panelists. It is obvious that, the weaving construction of terry fabrics is effective on the preferences of both Turkish and Japanese panelists. Among the ratings of Turkish panelists, the terry fabric that is woven with Ne 20/1 weft yarn and 17,2 weft/cm weft density was the most preferred one with a rating count of 223. However, among the ratings of Japanese panelists the terry fabric that is woven with Ne 20/1 weft yarn and 20,2 weft/cm weft density was the most preferred one with a rating count of 241. Moreover, both Japanese participants and Turkish participants preferred terry fabric samples woven with finer weft yarns at a higher rate.

The preferences of Turkish and Japanese panelists comparing with fabric constructions and repeated laundering cycles are given in Table 3. According to results, it can be said that Japanese and Turkish panelists made similar preferences when repeated laundering cycles and fabric constructions were considered. According to the ratings of both Turkish and Japanese participants, the preference of terry fabrics decreases with more washing cycles.

The experimental results are also statistically evaluated by using SPSS software. In the statistical analysis, the Shapiro-Wilk test was applied to determine whether the experimental data fit a normal distribution. As shown in Table 4, Shapiro-Wilk test confirm that the experimental data are normally distributed under 95 % confidence level.

Table 2. The preference counts of terry fabric samples in the first step of the survey

	Sample Nnumbers								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	The preference count of the samples								
Turkish men participants	21	58	80	61	93	102	79	106	110
Turkish women participants	8	64	96	60	95	102	83	109	113
Turkish whole participants	29	122	176	121	188	204	162	215	223
Japanese men participants	20	92	120	48	95	125	58	71	91
Japanese women participants	23	82	119	54	97	116	65	71	93
Japanese whole participants	43	174	239	102	192	241	123	142	184

Table 3. The preference counts of terry fabric samples comparing with fabric constructions and repeated laundering cycles

Repeated laundering cycles	Nationality	Sample numbers								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		The preference count of the samples								
Unwashed	Turkish	25	35	36	31	33	34	29	33	35
	Japanese	29	37	33	31	36	36	30	35	36
5 times	Turkish	10	21	32	11	23	26	16	28	27
	Japanese	27	30	29	26	20	20	18	26	33
10 times	Turkish	7	20	20	13	17	24	13	19	20
	Japanese	7	13	18	9	17	21	8	16	33
20 times	Turkish	4	10	21	9	12	20	7	17	14
	Japanese	9	10	15	7	10	20	10	15	23
40 times	Turkish	4	12	11	3	4	15	4	6	13
	Japanese	2	12	7	3	3	12	12	10	22

Table 4. Tests of normality (Shapiro-Wilk test)

Nationality	Treatment type	Statistic	df	Sig.
Turkish	Unwashed	,884	9	,174
	5 washing cycles	,933	9	,507
	10 washing cycles	,918	9	,375
	20 washing cycles	,964	9	,834
	40 washing cycles	,850	9	,075
Japanese	Unwashed	,874	9	,135
	5 washing cycles	,935	9	,528
	10 washing cycles	,902	9	,261
	20 washing cycles	,887	9	,184
	40 washing cycles	,894	9	,217

Independent sample t-test was used to determine whether the evaluation results of Turkish whole participants and Japanese whole participants agree about the preference of terry fabrics. The results of independent samples t-test are given in Table 5. As seen in Table 5, the p-value (sig.) is above 0,05 which indicates that the preference of Turkish and Japanese participants are not significantly different. Correlation analysis was also carried out to determine the statistical relationship among the

evaluation results of Turkish whole participants and Japanese whole participants and the results are given in Table 6. According to the correlation analysis, the preference of Turkish whole participants has a positive correlation ($r = 0,860$) between the preference of Japanese whole participants. As washing cycles increased, preference of both Turkish and Japanese participants decreased.

Table 5. Independent samples t-test

	Levene's test for equality of variances		t-test for equality of means					95% confidence interval of the difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean difference	Std. error difference	Lower	Upper
Equal variances assumed	,401	,528	-,534	88	,595	-1,15556	2,16408	-5,45622	3,14510
Equal variances not assumed			-,534	87,688	,595	-1,15556	2,16408	-5,45643	3,14532

Table 6. The correlation between the evaluation results of Turkish whole participants and Japanese whole participants

		Japanese
Turkish	Pearson correlation	,860**
	Sig. (2-tailed)	,000
	N	45

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

3.2. Subjective Evaluation Results “Second Step”

The second part of the subjective evaluation, is only applied to Japanese panelists. All the terry fabric

samples are evaluated by considering requested properties such as heaviness, thickness, softness, moisture feeling, length of pile, type of fabric, shininess, hand-feel, roughness and warmth. The evaluation results are given in Table 7. When the second part of subjective evaluation is examined, it is observed that fabric construction and increased repeated laundering cycles have influence on the subjective evaluation of the all terry fabric samples.

The correlations between the preference counts of terry fabric samples by Japanese participants and rating results of Japanese participants by considering requested properties are presented in

Table 8. When the pearson correlation coefficient approach to +1 or -1, it means that there is positive or negative strong relationship between data.

As seen in Table 8, softness, moisture feeling, type of fabric, shininess, hand-feel, roughness and warmth feel are the most significant properties for fabric hand. Also thickness and length of pile of terry fabrics but the influence isn't so significant. According to the correlation analysis, the preference of Japanese whole participants has positive correlation between soft ratings (r=0,907),

wet ratings (r=0,898), natural ratings (r=0,871), shiny ratings (r=0,807), good feel ratings (r=0,948), smooth ratings (r=0,930) and warm ratings (r=0,897). Whereas the preference of Japanese whole participants has negative correlation between hard ratings (r=-0,907), dry ratings (r=-0,898), unnatural ratings (r =- 0,871), non shiny ratings (r=-0,807), bad feel ratings (r=-0,948), rough ratings (r=-0,930) and cold ratings (r=-0,897). Heaviness did not have a significant effect on the preference of Japanese whole participants.

Table 7. Rating results of Japanese participants by considering requested properties

Laundering Cycles	Compared Properties	Sample Numbers								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Unwashed	Heavy / Light	12 / 28	16 / 24	13 / 27	9 / 31	13 / 27	19 / 21	12 / 28	12 / 28	6 / 34
	Thick / Thin	17 / 23	30 / 10	27 / 13	18 / 22	33 / 7	33 / 7	23 / 17	21 / 19	22 / 18
	Soft / Hard	26 / 14	38 / 2	38 / 2	35 / 5	38 / 2	40 / 0	31 / 9	39 / 1	36 / 4
	Wet / Dry	14 / 26	29 / 11	29 / 11	19 / 21	30 / 10	28 / 12	23 / 17	33 / 7	31 / 9
	Short pile length / Long Pile Length	35 / 5	18 / 22	12 / 28	27 / 13	12 / 28	8 / 32	17 / 23	7 / 33	8 / 32
	Natural / Unnatural	32 / 8	36 / 4	34 / 6	31 / 9	35 / 5	35 / 5	27 / 13	29 / 11	34 / 6
	Shiny / Non Shiny	16 / 24	18 / 22	19 / 21	15 / 25	23 / 17	19 / 21	13 / 27	21 / 19	24 / 16
	Bad feel / Good Feel	11 / 29	2 / 38	6 / 34	9 / 31	1 / 39	3 / 37	9 / 31	2 / 38	5 / 35
	Rough / Smooth	16 / 24	3 / 37	4 / 36	11 / 29	4 / 36	5 / 35	11 / 29	6 / 34	3 / 37
	Warm / Cold	22 / 18	34 / 6	30 / 10	27 / 13	33 / 7	35 / 5	28 / 12	28 / 12	32 / 8
5 washing cycles	Heavy / Light	8 / 32	12 / 28	15 / 25	10 / 30	19 / 21	18 / 22	6 / 34	18 / 22	7 / 33
	Thick / Thin	9 / 31	15 / 25	25 / 15	14 / 26	29 / 11	24 / 16	12 / 28	23 / 17	14 / 26
	Soft / Hard	6 / 34	28 / 12	33 / 7	8 / 32	27 / 13	26 / 14	20 / 20	24 / 16	34 / 6
	Wet / Dry	4 / 36	17 / 23	22 / 18	5 / 35	16 / 24	19 / 21	9 / 31	16 / 24	30 / 10
	Short pile length / Long Pile Length	38 / 2	34 / 6	19 / 21	31 / 9	19 / 21	15 / 25	26 / 14	10 / 30	7 / 33
	Natural / Unnatural	16 / 24	28 / 12	26 / 14	24 / 16	21 / 19	21 / 19	18 / 22	28 / 12	27 / 13
	Shiny / Non Shiny	9 / 31	20 / 20	14 / 26	9 / 31	16 / 24	13 / 27	15 / 25	14 / 26	19 / 21
	Bad feel / Good Feel	28 / 12	8 / 32	8 / 32	25 / 15	21 / 19	19 / 21	22 / 18	13 / 27	6 / 34
	Rough / Smooth	33 / 7	11 / 29	13 / 27	34 / 6	25 / 15	24 / 16	29 / 11	19 / 21	8 / 32
	Warm / Cold	12 / 28	24 / 16	26 / 14	19 / 21	23 / 17	24 / 16	19 / 21	29 / 11	30 / 10
10 washing cycles	Heavy / Light	8 / 32	14 / 26	17 / 23	9 / 31	16 / 24	15 / 25	11 / 29	20 / 20	18 / 22
	Thick / Thin	9 / 31	18 / 22	25 / 15	14 / 26	24 / 16	25 / 15	17 / 23	28 / 12	28 / 12
	Soft / Hard	2 / 38	11 / 29	18 / 22	8 / 32	15 / 25	24 / 16	13 / 27	26 / 14	36 / 4
	Wet / Dry	1 / 39	6 / 34	9 / 31	3 / 37	12 / 28	15 / 25	7 / 33	11 / 29	25 / 15
	Short pile length / Long Pile Length	40 / 0	30 / 10	24 / 16	31 / 9	20 / 20	7 / 33	23 / 17	7 / 33	4 / 36
	Natural / Unnatural	10 / 30	25 / 15	20 / 20	18 / 22	22 / 18	21 / 19	18 / 22	15 / 25	32 / 8
	Shiny / Non Shiny	10 / 30	11 / 29	14 / 16	10 / 30	13 / 27	12 / 28	9 / 31	12 / 28	19 / 21
	Bad feel / Good Feel	35 / 5	24 / 6	21 / 19	30 / 10	27 / 13	22 / 18	30 / 10	21 / 19	4 / 36
	Rough / Smooth	39 / 1	32 / 8	29 / 11	38 / 2	28 / 12	27 / 13	35 / 5	27 / 13	7 / 33
	Warm / Cold	10 / 30	14 / 26	22 / 18	14 / 26	15 / 25	22 / 18	13 / 27	25 / 15	34 / 6

The Effects of Repeated Laundering and Structural Parameters on the Terry Fabric Preference of Japanese Consumers and Comparison with Turkish Consumers

20 washing cycles	Heavy / Light	8 / 32	13 / 27	13 / 27	11 / 29	15 / 25	14 / 26	9 / 31	19 / 21	7 / 33
	Thick / Thin	6 / 34	19 / 21	17 / 23	15 / 25	20 / 20	26 / 14	16 / 24	23 / 17	17 / 23
	Soft / Hard	1 / 39	6 / 34	18 / 22	2 / 38	7 / 33	20 / 20	8 / 32	12 / 28	28 / 12
	Wet / Dry	1 / 39	7 / 33	9 / 31	1 / 39	7 / 33	11 / 29	7 / 33	10 / 30	23 / 17
	Short pile length / Long Pile Length	40 / 0	32 / 8	21 / 19	35 / 5	23 / 17	17 / 23	23 / 17	12 / 28	8 / 32
	Natural / Unnatural	13 / 27	23 / 17	18 / 22	17 / 23	15 / 25	19 / 21	16 / 24	13 / 27	18 / 22
	Shiny / Non Shiny	8 / 32	9 / 31	11 / 29	12 / 28	10 / 30	10 / 30	6 / 34	10 / 30	15 / 25
	Bad feel / Good Feel	37 / 3	25 / 15	25 / 15	33 / 7	32 / 8	24 / 16	34 / 6	26 / 14	14 / 26
	Rough / Smooth	40 / 0	29 / 11	29 / 11	35 / 5	35 / 5	24 / 16	34 / 6	32 / 8	15 / 25
Warm / Cold	4 / 36	16 / 24	19 / 21	7 / 33	16 / 24	27 / 13	13 / 27	20 / 20	24 / 16	
40 washing cycles	Heavy / Light	6 / 34	10 / 30	9 / 31	11 / 29	13 / 27	16 / 24	5 / 35	10 / 30	15 / 25
	Thick / Thin	5 / 35	12 / 28	15 / 25	10 / 30	14 / 26	24 / 16	6 / 34	18 / 22	21 / 19
	Soft / Hard	0 / 40	8 / 32	1 / 39	1 / 39	3 / 37	10 / 30	9 / 31	8 / 32	25 / 15
	Wet / Dry	1 / 39	4 / 36	1 / 39	0 / 40	2 / 38	8 / 32	4 / 36	3 / 37	19 / 21
	Short pile length / Long Pile Length	39 / 1	34 / 6	25 / 15	33 / 7	20 / 20	12 / 28	27 / 13	16 / 24	14 / 26
	Natural / Unnatural	15 / 25	19 / 21	17 / 23	11 / 29	7 / 33	11 / 29	22 / 18	13 / 27	27 / 13
	Shiny / Non Shiny	12 / 28	13 / 27	8 / 32	10 / 30	6 / 34	12 / 28	10 / 30	12 / 28	16 / 24
	Bad feel / Good Feel	38 / 2	28 / 12	33 / 7	37 / 3	34 / 6	31 / 9	29 / 11	30 / 10	15 / 25
	Rough / Smooth	38 / 2	32 / 8	36 / 4	39 / 1	39 / 1	34 / 6	34 / 6	31 / 9	21 / 19
Warm / Cold	3 / 37	9 / 31	11 / 29	5 / 35	7 / 33	17 / 23	14 / 26	15 / 25	24 / 16	

Table 8. The correlation between requested properties and preference

Requested properties		Preference	Requested properties		Preference
Heavy	Pearson Correlation	,196*	Light	Pearson Correlation	-,196*
	Sig. (2-tailed)	,197		Sig. (2-tailed)	,197
Thick	Pearson Correlation	,565**	Thin	Pearson Correlation	-,565**
	Sig. (2-tailed)	,000		Sig. (2-tailed)	,000
Soft	Pearson Correlation	,907**	Hard	Pearson Correlation	-,907**
	Sig. (2-tailed)	,000		Sig. (2-tailed)	,000
Wet	Pearson Correlation	,898**	Dry	Pearson Correlation	-,898**
	Sig. (2-tailed)	,000		Sig. (2-tailed)	,000
Short Pile Length	Pearson Correlation	-,511**	Long Pile Length	Pearson Correlation	,511**
	Sig. (2-tailed)	,000		Sig. (2-tailed)	,000
Natural	Pearson Correlation	,871**	Unnatural	Pearson Correlation	-,871**
	Sig. (2-tailed)	,000		Sig. (2-tailed)	,000
Shiny	Pearson Correlation	,807**	Non Shiny	Pearson Correlation	-,807**
	Sig. (2-tailed)	,000		Sig. (2-tailed)	,000
Bad Feel	Pearson Correlation	-,948**	Good Feel	Pearson Correlation	,948**
	Sig. (2-tailed)	,000		Sig. (2-tailed)	,000
Rough	Pearson Correlation	-,930**	Smooth	Pearson Correlation	,930**
	Sig. (2-tailed)	,000		Sig. (2-tailed)	,000
Warm	Pearson Correlation	,897**	Cold	Pearson Correlation	-,897**
	Sig. (2-tailed)	,000		Sig. (2-tailed)	,000

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed) and *Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

4. CONCLUSION

This study assessed the effect of structural parameters of terry fabrics such as weft yarn count and weft density on the sensorial preferences of Japanese participants. The results are compared with the results obtained in the previous study which conducted with Turkish participants. Both Japanese and Turkish participants preferred terry fabric samples woven with finer weft yarns at a higher rate among the terry fabrics with close weights. In daily use terry fabrics are one of the frequently washed home textile products. It is well known that the physical and structural properties of textile products can change after repeated washing. These changes can affect customer satisfaction with the product. For this reason, this study has also evaluated the change of preference of Japanese participants on terry fabrics after repeated washings with household detergent and fabric softener. When the data from Japanese participants were compared with the data from Turkish participants, it was found that the preference rate for terry fabrics decreased with increasing number of washings among the participants of both countries. According to the results of the second step of the study, conducted with Japanese participants, it was found that softness, moisture feel, fabric type, shininess, hand feel, roughness and warmth are the most important characteristics for the hand of the fabric. The presented assessment can be helpful in designing new assortments of preliminarily accepted structural properties, on the basis of the importance of characteristics related to preference of terry woven fabrics.

5. REFERENCES

1. Yılmaz, N. D., Powell, N., Durur, G., 2005. The Technology of Terry Towel Production. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 4(4), 115-160.
2. Ala, D.M., İkiz, Y., 2017. Subjective and Objective Evaluations of Terry Fabrics: Effects of Structural Parameters and Repeated Laundering. *Textile and Apparel*, 27(4), 361-365.
3. Kalayci, E., Avinc, O., Yavas, A., Coskun, S., 2019. Responsible Textile Design and Manufacturing: Environmentally Conscious Material Selection. In *Responsible Manufacturing: Issues Pertaining to Sustainability*. Editors: A.Y. Alqahtani, E. Kongar, K.K. Pochampally, S.M. Gupta, Boca Raton, 413.
4. Khan, M.A., 2022. Product Report on Towel Industry 2022. Trade Development Authority Pakistan, Shahrah-e-Faisal, Karachi.
5. Ala, D.M., 2021. An Experimental Study on Selected Performance Properties of 100% Cotton Terry Fabrics. *Textile and Apparel*, 31(1), 43-52.
6. Yick, L.K., Cheng, K.P.S., How, Y.L., 1995. Subjective and Objective Evaluation of Men's Shirting Fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 7(4), 17-29
7. Slater, K., 1997. Subjective Textile Testing. *Journal of the Textile Institute*, 88(2), 79-91.
8. Luible, C., Varheenmaa, M., Magnenat-Thalmann, N., Meinander, H., 2007. Subjective Fabric Evaluation. 2007 International Conference on Cyberworlds (CW'07), 2007: IEEE, 285-291.
9. Valatkienė, L., Strazdienė, E., 2006. Accuracy and Reliability of Fabric's Hand Subjective Evaluation. *Materials Science (Medžiagotyra)*, 12(3), 253-257.
10. Zhao, Y., Yin, L., İkiz, Y., Sato, T., Yu, Q., Zhang, Z., Zhu, K., Li, Q., 2020. A Study on Customer's Preference Toward Summer-Shirt Fabric. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 15, 1-7.
11. Sülar, V., Okur, A., 2007. Sensory Evaluation Methods for Tactile Properties of Fabrics. *Journal of Sensory Studies*, 22(1), 1-16.
12. Koç, E., Zervent, B., 2006. An Experimental Approach on the Performance of Towels-Part I. Bending Resistance or Softness Analysis. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 14(1), 39-46.
13. Susurluk, G., Türker, E., İkiz, Y., 2021. Effect on Bending Rigidity of Towel Samples with Different Fiber Content. *The Online Journal of Science and Technology-January*, 11(1), 17-21.

14. Au, K.F., Chan, C.N., Ho, Y. M., 2002. An Assessment of Softness Property of Knitted Golf Fabrics. *Research Journal of Textile and Apparel*, 6(2), 37-49.
15. Singh, J., Behera, B., 2015. Performance of Terry Towel. *Indian Journal of Fibre & Textile Research (IJFTR)*, 40(1), 112-121.
16. Uttam, D., Sethi, R., 2016. Impact of Repeated Washings on Dimension Stability and Fabric Physical Factors of Woven Cotton Fabric. *International Journal of Research in Engineering&Applied Sciences*, 6(2), 126-135.
17. Duru, S.C., Candan, C., 2013. Effect of Repeated Laundering on Wicking and Drying Properties of Fabrics of Seamless Garments. *Textile Research Journal*, 83(6), 591-605.
18. Avinc, O., Wilding, M., Gong, H., Farrington, D., 2010. Effects of Softeners and Laundering on the Handle of Knitted PLA Filament Fabrics. *Fibers and Polymers*, 11(6), 924-931.
19. Ala, D.M., Bakıcı, G., 2016. Ev Tipi Yıkama ve Kurutma İşlemlerinin Denim Görünümlü Örme Kumaşların Kalınlık ve Hava Geçirgenlik Özelliklerine Etkisi. *Tekstil ve Mühendis*, 23, 263-270.
20. İkiz, Y., Sato, T., Arik, B., Matsumoto, Y., Sarıkaya, G., 2017. The Effects of Psychological Manners on Visual and Tactile Evaluation of Towel Preferences of Turkish and Japanese Consumers. *The Journal of the Textile Institute*, 108(7), 1150-1156.

Sitrik Asit ve TiO₂ Nanoparçacık Karışımlarının Yünlü Kumaşların Sararma ve Katlanma Açısına Etkisinin İncelenmesi

Sabiha SEZGİN BOZOK*¹ ORCID 0000-0002-8464-0405

R. Tuğrul OĞULATA¹ ORCID 0000-0003-2783-5246

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 02.08.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: SEZGİN BOZOK, S., OĞULATA, R.T., (2023). Sitrik Asit ve TiO₂ Nanoparçacık Karışımlarının Yünlü Kumaşların Sararma ve Katlanma Açısına Etkisinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 705-711.

Öz

Sitrik asit (C₆H₈O₇) tekstil yüzeyleri için çapraz bağlayıcı olarak kullanılabilen çevre dostu, insan sağlığına zararı olmayan, maliyeti düşük bir tür karboksilik asittir. Titanyum dioksit (TiO₂) nanoparçacıklar (NP) ise geniş yüzey alanı ile uygulandığı ürüne kendi kendini temizleyebilme, UV bloklama, vs gibi birçok fonksiyonel özellik kazandırabilen beyaz renkte pigmenttir. Sitrik asitin kumaşlarda buruşmazlık özelliğini arttırması gibi fayda sağladığı önceki çalışmalarda görülmüştür ancak bu kimyasalın tekstil yüzeylerine uygulanması sonucunda ürünü sarartma gibi bir dezavantajı bulunmaktadır. Bu çalışmada renksiz yünlü kumaşlar için TiO₂ NP süspansiyonları hazırlanmış ve farklı konsantrasyonlarda sitrik asitle karıştırılmıştır. Emdirme-kurutma-termofiksaj yöntemi ile kumaşlara applike edilmiştir. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) analizi ile TiO₂ süspansiyonu katkılı sitrik asitin lif yüzeyini değiştirdiği tespit edilmiştir. Sitrik asitle yünlü numunelerde sararma görülmüş ancak çözeltilere TiO₂ NP ilave edildiğinde numunelerdeki sararma oldukça azalmıştır. 15 gr/L sitrik asitle işlem gören yünlü numunelerin hem atkı hem çözgü yönünde katlanma açısı 4° arttırılabilmektedir, bu konsantrasyonda sitrik asit çözeltisine ilave edilen TiO₂ NP ile numunelerin katlanma açısı düşmüş ancak işlem görmemiş numuneye göre yüksek çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yünlü kumaş, Titanyum dioksit, Sitrik asit, Katlanma açısı, Sararma

Investigation of the Effect of Citric Acid and TiO₂ Nanoparticle Mixtures on Yellowing and Folding Angle of Wool Fabrics

Abstract

Citric acid (C₆H₈O₇) is a kind of carboxylic acid that can be used as a crosslinker for textile surfaces, is environmentally friendly, is not harmful to human health, and has a low cost. Titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles, on the other hand, are white pigments that can provide many functional properties such as self-cleaning, UV blocking, etc. to the product on which it is applied with a large surface area. It has been seen in previous studies that citric acid provides benefits such as increasing the anti-crease properties of fabrics, but it also has a disadvantage such as yellowing the product as a result of applying this chemical to textile surfaces. In this study, suspensions of TiO₂ NP (nanoparticle) were prepared for colorless woolen

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Sabiha SEZGİN BOZOK, sbozok@cu.edu.tr

fabrics and mixed with citric acid at different concentrations. It was applied to woolen fabrics with the Pad-dry-cure method. By scanning electron microscopy (SEM) analysis, it was determined that citric acid doped with TiO₂ suspension changed the fiber surface. Yellowing was observed in the woolen samples with citric acid, but when TiO₂ NP was added to the solutions, the yellowing in the samples was considerably reduced. The folding angle of woolen samples treated with 15 gr/L citric acid could be increased by 4°, with TiO₂ NP added to the citric acid solution at this concentration, the folding angle of the samples decreased but was higher than the untreated sample.

Keywords: Wool fabric, Titanium dioxide, Citric acid, Folding angle, Yellowing

1. GİRİŞ

Sitrik asit (2-hidroksi-1,2,3-trikarboksilik asit) ulaşılması kolay, düşük maliyetli, çevreye ve insan sağlığına zararı olmayan/çok düşük olan bir poli karboksilik asittir. Tekstil yüzeyleri için farklı katalistlerle birlikte çapraz bağlayıcı olarak kullanılabilir. Ayrıca yapılan çalışmalarda sitrik asitin selülozik kumaşlarda boyutsal stabilite ve kırılmaya karşı direnç sağladığı da tespit edilmiştir [1,2]. Yünlü kumaşlar için de karboksilik asitler çapraz bağlayıcı olarak kullanılabilir. Polikarboksilik asit olan 1,2,3,4-bütantetrakarboksilik asit (BTCA), sitrik asit ve poliakrilik asit yünlü dokuma kumaşlara farklı katalistlerle birlikte emdirme-kurutma-fiksaj yöntemi ile applike edilmiştir [3]. Aplikasyon sonra kütle değişimi oranlarına göre üç polikarboksilik asitin de yünlü kumaş yapısına bağlanabildiği görülmüştür. Başka bir çalışmada %100 yün içerikli kumaşlara sitrik asit yine farklı katalistlerle uygulanmıştır [4]. Bu aplikasyon işlemi ile yünlü kumaşların buruşmazlık özelliği %10 oranında iyileşmiştir. %13 oranında ise gerilme dayanımı artmıştır.

Sitrik asit, kumaşlara applike edilmesi sonrasında malzemeyi sarartma gibi bir dezavantaja sahiptir. Yapılan bir çalışmada sitrik asit uygulanan pamuklu kumaşlarda hidroksil grupları arttıkça kumaşların sararma durumunun arttığı ve bu durumun doymamış polikarboksilik asitlerin oluşumundan kaynaklanmış olabileceği ileri sürülmüştür [5]. Başka bir çalışmada kumaşlarda sitrik asitle beraber katalist görevi gören sodyum hipofosfit kullanıldığında sararmanın azaltıldığı görülmüştür [6]. Sitrik asidin pamuklu kumaşlar için çapraz bağlayıcı olarak kullanıldığı başka bir çalışmada sararmaya yol açan C=C bağ yapısını bozmak için

ağartıcı hidrojen peroksit (H₂O₂) kullanılmıştır [7]. Elde edilen sonuçlara göre hem sitrik asitle buruşmazlık özelliği iyileştirilmiş hem de hidrojen peroksit ile sararmanın önüne geçilebilmiştir. Titanyum dioksit (TiO₂) de beyaz bir pigment olup sitrik asitin sarartma etkisinin önüne geçebilebilecek bir katalisttir. Titanyum dioksitin nanoparçacık boyutundaki formu geniş yüzey alanıyla UV bloklayıcı, antibakteriyel etkinlik, fotokatalist gibi birçok özelliği sağlayabilmektedir [8].

Montazer ve Pakdel (2010), yünlü kumaşlara sitrik asit ve değişen konsantrasyonda TiO₂ ile işlem uygulanmış ve ışık yoluyla kumaşların sararma etkisi incelenmiştir [9]. Sonuçlarda aplikasyon için kullanılan TiO₂ konsantrasyonu arttıkça kumaşın UV ışınları etkisiyle sararması düşmüş ve oksidasyon ile yün ve karboksilik asit arasındaki köprü artmış, kumaşta sarılık azalmıştır. Montazer ve Morshedi (2014) yaptıkları çalışmada TiO₂'yi fotokatalist ve ağartıcı olarak kullanmışlar ve farklı konsantrasyon içeren süspansiyonlar hazırlayıp yünlü kumaşlara %10 sitrik asit çözeltileri ile birlikte uygulamışlardır [10]. Sonuçlara göre nano boyutta TiO₂'nin yünlü kumaşların beyazlık değerini arttırdığını, sitrik asitin yünlü kumaşlarda TiO₂ nanoparçacıklarının adsorpsiyonunu arttırdığını, kumaşların hidrofilitenin de artmış olduğunu tespit etmişlerdir. Zare (2022), farklı konsantrasyonda sitrik asiti çapraz bağlayıcı olarak kullanarak β-çiklodekstrin ile birlikte TiO₂ nanoparçacıkları ipek kumaşlara applike etmiştir. Sonuçlarda sitrik asit kullanımının ipek kumaşlara tutunan TiO₂ nanoparçacıkların kalıcılığını arttırdığını, β-çiklodekstrin kullanmadan sadece sitrik asit ile yapılan aplikasyonlarda kumaşların fotokatalitik ve antibakteriyel aktivite özelliklerinin sağlanabildiğini tespit etmiştir [11]. Zare (2023)

yaptığı başka bir çalışmada nano boyutta çinko oksidin (ZnO) ipekli kumaşa tutunması için sitrik asiti ve β -çiklodekstrini kullanmıştır. Bu nanoparçacıklar ile %10 konsantrasyona sahip sitrik asidin applike edildiği kumaşlarda buruşmazlık özelliğinin iyileştiği ve kumaşların beyazlığının optimum seviyede arttığı tespit edilmiştir [12]. Habib ve arkadaşları (2022), selülozik kumaşlara 60 g/L sulu sitrik asit çözeltisi kullanarak ön işlem uygulamışlardır. Daha sonra ürettikleri nano gümüş parçacıkları kumaşlara applike etmişlerdir. Uygulanan sitrat işleminin kumaşların hidrofilitisini düşürdüğü görülmüştür [13].

Liu ve arkadaşları (2017), ham yünlü kumaşlara çapraz bağlayıcı olarak kullanılan sitrik asitle birlikte TiO_2 ve SiO_2 (Silisyum dioksit) jel karışımları uygulamışlardır [14]. Hazırlanan karışımlarda karboksil grupları arttıkça yün lifleri ve TiO_2/SiO_2 ajanları arasında daha fazla oranda köprü olduğu görülmüş. Numunelerinin buruşmazlık eğiliminin arttığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada ise sitrik asitin farklı konsantrasyonda sulu çözeltileri hazırlanmış ve nano boyutta TiO_2 ile birlikte yünlü kumaşlara applike edilmiştir. Karışımda artan sitrik asit konsantrasyonunun TiO_2 'nin kumaşa bağlanma etkisini incelemek, sitrik asitin sarartma etkisini düşürmek ve kumaşların yumuşaklık ve katlanma açısına olan etkisinin analiz edilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında kullanılan %100 yün içerikli ön terbiyeden geçmiş ve boyasız olan bezayağı dokulu dokuma kumaşın özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Çalışmada kullanılan kimyasallar ve saflıkları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kumaş özellikleri

Özellik	Değer
Çözümlü ipliği inceliği	63 tex
Atkı ipliği inceliği	74 tex
Çözümlü iplik sıklığı	17 tel/cm
Atkı iplik sıklığı	13 tel/cm
Gramaj	215 g/m ²

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan kimyasallar ve saflıkları

Kimyasal	Saflık
Etanol	% 96
Susuz sitrik asit	\geq %99.5
Titanyum dioksit (21 nm, nanotoz)	\geq %99.5

2.2. Metot

Çalışmada öncelikle distile su ile karıştırılarak üç farklı konsantrasyonda (5, 10 ve 15 gr/L) sitrik asit çözeltileri hazırlanmıştır. Aynı bir beherde stabiliteyi sağlayabilmek için 1:9 hacimsel oranda etanol:su karışımı içerisine %1 konsantrasyonda titanyum dioksit nano toz 20 kHz frekansında ultrasonik cihazda (J.P. Selecta) 38°C'de çalıştırılarak 20 dk'da süspansiyon hazırlanmıştır [15]. Ardından Çizelge 3'de bulunan bilgiler doğrultusunda bir grup sitrik asit çözeltisine titanyum dioksit süspansiyonu 1:1 hacimsel oranda eklenerek bir ultrasonik cihaz ile 20 dakika boyunca işlem uygulanmıştır. Hazırlanan karışımlar daha sonra küçük bir tekne içerisine aktarılmıştır. Belirli boyutta kesilen numuneler karışım içeren tekneler içerisinde 1 dk boyunca bekletilmiş ve ardından fazla sıvı kumaştan uzaklaştırılmadan etüv içerisinde sırasıyla kurutma (100°C) ve 2 dakika termofiksaj (130°C) işlemleri uygulanmıştır. Numuneler ikişer tekrarlı olarak hazırlanmıştır.

Çizelge 3. Numunelere uygulanan işlemler

Numune kodu	Sitrik asit	TiO_2 NP
Kontrol	-	-
N1	5 gr/L	-
N2	10 gr/L	-
N3	15 gr/L	-
N4	5 gr/L	%1
N5	10 gr/L	%1
N6	15 gr/L	%1

İşlem gören numunelerin karakterizasyon testi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) uygulanmıştır. Numunelerin aplikasyon sonrası kütle değişimlerini tespit etmek için öncelikle işlem öncesi numuneler 105 °C'de etüvde (4 saat) bekletilmiş ve kütleleri (m_1) hassas terazi ile ölçülmüştür. Aplikasyon sonrası etüvde bekletme

sonrası kütleleri (m₂) ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kütle değişimleri yüzde (%) olarak (1) formülüne göre hesaplanmıştır.

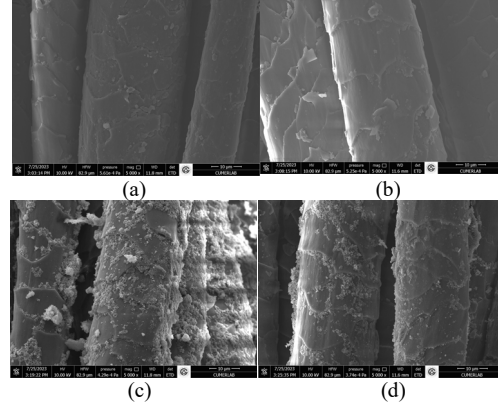
$$\text{Kütle Değişimi (\%)} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} * 100 \quad (1)$$

Numunelerin sarılık derecesini belirlemek için Minolta CM 3600 model spektrofotometre kullanılmıştır. Renk analizleri RealColor1.3® yazılımı ile yapılmış ve ASTM D1925-70 standardına göre sarılık indeksleri elde edilmiştir. Uygulanan işlemlerin numunelerin katlanma açısı ölçümü için BS EN 22313:1992 standardı esas alınarak atkı ve çözgü yönlerinde ön yüze göre ölçümler gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile x5000 büyütmeyle elde edilen görüntüleri Şekil 1'de sunulmuştur. 15 gr/L sitrik asitle işlem gören yünlü numunenin (N3) yüzey özelliklerinin kontrol numunesine göre farklılık göstermediği görülmektedir. Sitrik asitle beraber TiO₂ NP süspansiyonu applike edilen numunelerde ise yüzey morfolojilerinin değiştiği ve pürüzlü hale geldiği dikkat çekmektedir. Lif yüzeylerinin üzerine yer yer tutunan nanoparçacıklar görülmekte ve bazı kısımlarda lif çapının kalınlaşmış olduğu söylenebilmektedir. Görüntülere göre N6 numunesinin lif yüzeyindeki parçacık dağılımının N4'e göre daha homojen olduğu, agregasyonun daha az olduğu tespit edilmiştir. 5 gr/L sitrik asitle işlem gören N4 numunesinin lif yüzeyindeki parçacıkların boyutu, 15 gr/L sitrik asitle işlem gören numuneye (N6) tutunan parçacıklara göre daha büyük olduğu görülmektedir. Sitrik asit konsantrasyon artışı hem TiO₂ NP'nin yün lifine dağılımının düzenli olmasını hem de parçacık boyutunun daha küçük olmasını sağlamıştır. Büyük parçacıklar lif yüzeyinden daha kolay uzaklaşabilirken, küçük boyuttaki parçacıklar malzemeye daha fazla nüfuz edebilmekte, stabiliteyi daha yüksek olmaktadır [9].



Şekil 1. Kontrol (a), N3 (b), N4 (c), N6 (d) numunelerinin x5000 büyütme ile elde edilen görüntüleri

3.2. Numunelerin İşlem Sonrası Kütle Değişimi

Numunelerin aplikasyon sonrası kütle değişimleri (%) Şekil 2'de sunulmuştur. Tüm farklı işlemler sonrası numunelerin kütlelerinde artış gözlenmektedir. Bu da uygulanan kimyasalların yün lifine dahil edilebildiğini göstermiştir. Artan sitrik asit konsantrasyonunun numunelerin kütle artışına anlamlı bir etkisi olmadığı görülmektedir. Aplikasyonda sitrik asit miktarı artmış olsa bile kumaşta işlem sonrası lif/iplik kaybının % kütle artış oranını azalttığı düşünülmektedir. Titanyum dioksit süspansiyonunun sitrik asit çözeltisine ilave edilmesi sonucu kumaşların (N4, N5, N6) ilk ağırlığına göre % kütle artış oranlarının azaldığı görülmektedir. Bu numune grubu içerisinde de değişen sitrik asit konsantrasyonunun numunelerin kütle değişimine etkisi anlamlı çıkmamıştır.

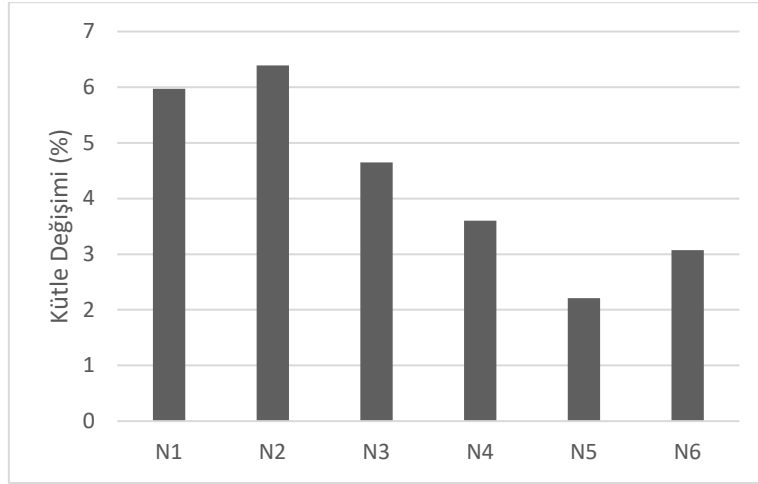
3.3. Numunelerin Sarılık İndeksi

Numunelerin sarılık indeksi değerlerinin bulunduğu grafik Şekil 3'de sunulmuştur. Protein esaslı yün liflerinin yapısındaki melaminden dolayı doğal sarımsı renge sahiptir [10]. Çalışmada uygulanan sitrik asit işlemi ise numunelerin (N1, N2, N3) sarılık indeksini daha da arttırmıştır. Bu durum literatürde sitrik asitin doymamış asitlere dönüşmesi ve molekül zincirindeki hidroksil grubunun artmasından kaynaklandığı şeklinde açıklanmıştır [5,16]. Artan sitrik asit konsantrasyonunun sarılık indeksi değişimine anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

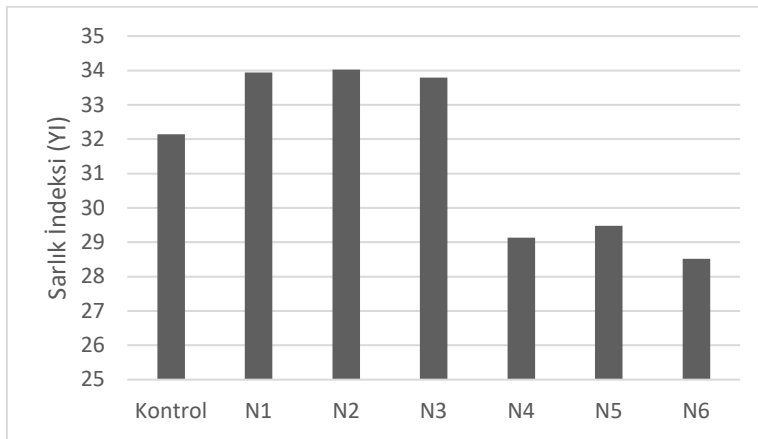
N4, N5 ve N6 numunelerinin sarılık indeksi değerleri incelendiğinde; TiO₂ NP ile işlem gören numunelerin sarılık indekslerinin işlem görmemiş kontrol numunesine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Beyaz bir pigment olan TiO₂ nanotozların lif yüzeylerine tutunması, numunelerin ışığı daha fazla yansıtmasını ve daha beyaz görünmesini sağlamıştır. Ayrıca bu durum yün liflerinin yapısındaki sarı kromofor grupları parçalanıp numunelerin daha beyaz görünüm kazanmasıyla da açıklanabilmektedir [9]. Sitrik asit konsantrasyon artışının bu grubun sarılık indeksi değişimine anlamlı bir etkisi olmamıştır.

3.4. Numunelerin Katlanma Açısı

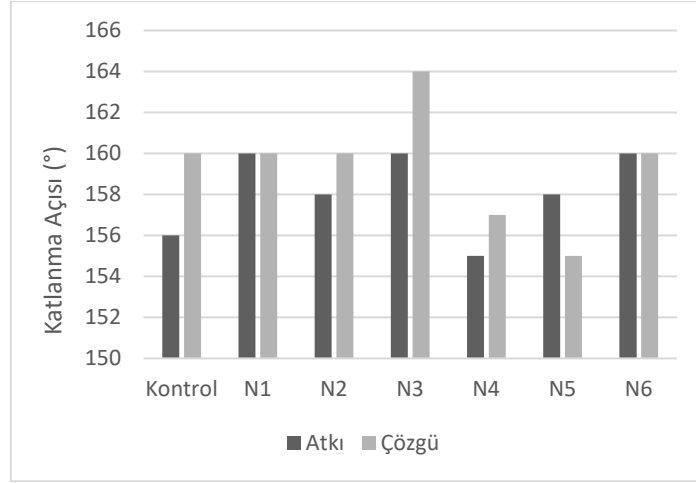
Katlanma açısı sonuçları numunelerin buruşmazlık derecesi ile ilişkilidir. Kumaşların katlanma açısı değeri arttıkça buruşmazlık özelliklerinin arttığı kabul edilmektedir. Çalışmada işlem gören işlem görmeyen numunelerin katlanma açısı değerleri Şekil 4’de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde; N3 kodlu numunenin hem atkı yönünde hem de çözgü yönünde ölçülen katlanma açısının, işlem görmemiş kontrol numunesine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 15 gr/L sitrik asit çözeltisi ile yünlü numunelerin katlanma açısında atkı yönünde 4°, çözgü yönünde 4° iyileştirme sağlanabilmektedir.



Şekil 2. Numunelerin işlem sonrası kütle değişimleri



Şekil 3. Numunelerin sarılık indeksi değerleri



Şekil 4. Numunelerin katlanma açısı değerleri

Daha önce yapılan benzer bir çalışmada %10 sitrik konsantrasyonunda uygulanan işlemler ile yünlü kumaşlarda yaş ve kuru kırışma sonrası eski haline dönme oranında bir miktar artış sağlanabilmiştir ancak bu çalışmada sodyum hipofosfit (katalist) kullanımının etkisi olmuştur [4]. N1 ve N2 numunelerinin ise atkı yönündeki katlanma açıları kontrol numunesine göre bir miktar artmış ancak bu artış farklı orandaki (5 ve 10 gr/L) sitrik asit konsantrasyonu açısından anlamlı bir farklılığa sebep olmamıştır. N4, N5 ve N6 numunelerinin değerleri incelendiğinde; TiO₂ nanoparçacık kullanımının, sitrik asitin numunelere kazandırdığı buruşmazlık özelliğini iyileştirme etkisini düşürdüğü görülmektedir. TiO₂ nanoparçacıklarının en yüksek sitrik asit konsantrasyonu olan 15 gr/L ile beraber kumaşlara applike edilmesi ile numunelerin buruşmazlık derecesi işlem görmemiş kontrol numunesine göre atkı yönünde 4° arttırılabilmektedir.

5 ve 10 gr/L sitrik asit çözeltileri ve TiO₂ süspansiyonu karışımı ile işlem gören yünlü numunelerin (N4 ve N5) ise atkı ve çözgü yönündeki katlanma açıları farklı sitrik asit konsantrasyonlarının etkisi açısından anlamlı görünmemektedir.

4. SONUÇLAR

Çalışmada farklı konsantrasyonda sitrik asit çözeltisi çapraz bağlayıcı olarak kullanılarak TiO₂

(titanium dioksit) nanoparçacıklar ile yünlü kumaş arasında bir köprü oluşturulmuştur. Yapılan aplikasyon işlemleriyle sitrik asitin yünlü kumaşlarda katlanma sonrasında eski haline dönme kabiliyetini arttırabilme özelliğini sağlamak ve kumaşlarda neden olduğu sararma etkisini beyaz pigment olan TiO₂ ile düşürmek amaçlanmıştır. Tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) ile elde edilen görüntülere göre sadece sitrik asitle işlem gören numunelerin lif yüzey morfolojileri fazla değişmezken, sitrik asit ve %1 TiO₂ süspansiyonu ile işlem gören numunelerin lif yüzeylerinin daha pürüzlü olduğu tespit edilmiştir. Sitrik asit konsantrasyonu artınca TiO₂ nanoparçacık içeren kaplamanın daha homojen şekilde lif yüzeyini sardığı söylenebilmektedir. Numunelerin aplikasyon sonrası kütleleri artmış, özellikle sadece sitrik asit çözeltisi ile işlem gören numunelerin kütle artışı daha yüksek çıkmıştır. Titanium dioksit süspansiyonunun kullanımı bu kütle artışının daha düşük olmasına sebep olmuştur. Numunelerin sadece sitrik asit çözeltisi ile işlem gören sararma indeksleri yükselmiştir. Ancak çözeltilerde TiO₂ NP kullanımı numunelerin sarılık indeksinin işlem görmemiş numunenin değerinden daha düşük olmasını sağlamıştır. Numunelerin buruşmazlığını ifade eden katlanma açısı değerleri incelendiğinde ise; 15 gr/L sitrik asit çözeltisi ile hem atkı hem çözgü yönünde 4°'lik iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir. TiO₂ NP süspansiyonu kullanımı bu iyileştirmeyi düşürmüştür ancak 15 gr/L sitrik asit

çözültüsü ile uygulanan %1 TiO₂ NP'nin numunelerin buruşmazlık derecesi, işlem görmemiş numuneye göre sadece atkı yönünde bir miktar artırılabilmiştir. Genel değerlendirme yapıldığında; TiO₂ NP'nin sitrik asitle beraber kullanımının yünlü kumaşlara tutunabilmesi açısından için uygun olduğu, sararmanın önüne geçilebildiği ancak buruşmazlık derecesinin daha da iyileştirilmesi açısından farklı katalistlerle beraber detaylı çalışılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, FBA-2022-14649 no'lu proje kapsamında yapılmış olup Çukurova Üniversitesi Rektörlüğü BAP Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Gagliardi, D.D., Shippee, F.B., 1963. Crosslinking of Cellulose with Polycarboxylic acids. *Dyestuff Repr.*, 52, 300.
- Rowland, S.P. Welch, C.M., Brannan, M.A.F., Gallagher, D.M., 1967. Introduction of Ester Crosslink into Cotton Cellulose by a Rapid Curing Method. *Text. Res. J.*, 37, 933.
- Martel, B., Weltrowski, M., Ruffin, D., Morcellet, M., 2002. Polycarboxylic Acids as Crosslinking Agents for Grafting Cyclodextrins onto Cotton and Wool Fabrics: Study of the Process Parameters. *Journal of Applied Polymer Science*, 83, 1449-1456.
- Mohsin, M., Farooq, U., Raza, Z.A., Ahsan, M., Afzal, A., Nazir, A., 2014. Performance Enhancement of Wool Fabric with Environmentallyfriendly Bio-Cross-Linker. *Journal of Cleaner Production*, 68, 130-134.
- Lu, Y., Yang, C.Q., 1999. Fabric Yellowing Caused by Citric Acid as a Crosslinking Agent for Cotton. *Textile Research Journal*, 69(9), 685-690.
- Okeil, A.A., 2008. Citric Acid Crosslinking of Cellulose using TiO₂ Catalyst by Pad-Dry-Cure Method. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 47, 174-179.
- Tang, P., Ji, B., Sun, G. 2016. Whiteness Improvement of Citric Acid Crosslinked Cotton Fabrics: H₂O₂ Bleaching Under Alkaline Condition. *Carbohydrate Polymers* 147, 139-145.
- Rani, B., Nayak, A.K., Sahu, N.K., 2022. Fundamentals Principle of Photocatalysis. In: *Nanostructured Materials For Visible Light Photocatalysis*. Elsevier Inc, 1-22.
- Montazer, M., Pakdel, E., 2010. Reducing Photoyellowing of Wool using Nano TiO₂. *Photochemistry and Photobiology*, 86, 255-260.
- Montazer, M., Morshedi, S., 2014. Photo Bleaching of Wool using Nano TiO₂ Under Daylight Irradiation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20, 83-90.
- Zare, A., 2022. Citric Acid as Environment Friendly Crease-Resistance Finishing Agent for Silk Fabric Combined by β -cyclodextrin. *Research Journal of Textile and Apparel*, 26(2), 238-254.
- Zare, A., 2023. Application of β -CD to Control the Release of ZnO Nanoparticles on the Silk Fabric Surface Along with Citric Acid as Eco-friendly Cross-linker. *Progress in Color Colorants Coating*, 16, 295-307.
- Habib, S., Kishwar, F., Raza, Z.A., 2022. Citrate-mediated Impregnation of Silver Nanoparticles for Durable Antibacterial Cellulosic Fabric. *Pigment & Resin Technology*, Published Online.
- Liu, S., Zhang, Q., Xu, Z., Yang, S., Liu, H., 2017. Surface Modification of TiO₂/SiO₂ Composite Hydrosol Stabilized with Polycarboxylic Acid on Kroy-process Wool Fabric. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 31(11), 1209-1228.
- Lebrette, S., Pagnoux, C., Abélard, P., 2017. Stability of Aqueous TiO₂ Suspensions: Influence of Ethanol. *Journal of Colloid and Interface Science*, 280, 400-408.
- Yao, W., Wang, B., Ye, T., Yang Y., 2013. Durable Press Finishing of Cotton Fabrics with Citric Acid: Enhancement of Whiteness and Wrinkle Recovery by Polyol Extenders. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 52, 16118-16127.

Panoramik Diş Görüntülerinde Derin Evrimsel Sinir Ağına Dayalı Gömülü Diş Tespiti ve Segmentasyonu

Meryem DURMUŞ*¹ ORCID 0000-0002-0558-2260

Burhan ERGEN² ORCID 0000-0003-3244-2615

Adalet ÇELEBİ³ ORCID 0000-0003-2471-1942

Muammer TÜRKOĞLU⁴ ORCID 0000-0002-2377-4979

¹Samsun Üniversitesi, Uzaktan Araştırma ve Uygulama Merkezi, Rektörlük, Samsun

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

³Mersin Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı,
Mersin

⁴Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Samsun

Geliş tarihi: 06.06.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: DURMUŞ, M., ERGEN, B., ÇELEBİ, A., TÜRKOĞLU, M., (2023). Panoramik Diş Görüntülerinde Derin Evrimsel Sinir Ağına Dayalı Gömülü Diş Tespiti ve Segmentasyonu. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 713-724.

Öz

Gömülü diş tespiti, diş hekimliği uygulamalarında önemli bir adımdır ve doğru bir tespit süreci, tedavi planlaması ve teşhislerde büyük önem taşır. Geleneksel yöntemlerin sınırlamaları ve hata olasılıkları göz önüne alındığında, derin öğrenme modelleri gibi yapay zekâ temelli yaklaşımların kullanılması giderek daha yaygın hale gelmektedir. Bu çalışmada panoramik gömülü diş görüntülerinde derin öğrenme modellerinin performansı incelenmiştir Yedi farklı modelin (VGG16-Unet, VGG19-Unet, MobileNetV2, Unet-v1, Unet-v2, Unet-v3 ve Unet-v4) performansı değerlendirilmiştir. VGG16-Unet modelinin AUC (eğri altındaki alan) değeri %94.87 ile diğer modellere kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Bu çalışma, diş hekimliği alanında daha doğru ve hassas segmentasyon yöntemleri geliştirilmesine katkı sağlayarak, diş tespiti ve tedavi planlaması süreçlerinde daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler: Unet, Derin öğrenme, Gömülü diş, Panoramik diş görüntüleri

Impacted Tooth Detection and Segmentation Based on Deep Convolutional Neural Network in Panoramic Dental Images

Abstract

Impacted tooth detection is an important step in dental practice and an accurate fixation process is of great importance in treatment planning and diagnosis. Considering the limitations and error probabilities of traditional methods, the utilization of artificial intelligence-based approaches like deep learning models is becoming more common. In this study, the performance of deep learning models was evaluated for the

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Meryem DURMUŞ, meryem.durmus@samsun.edu.tr

detection and segmentation of impacted teeth in panoramic dental images. The performance of seven different models (VGG16-Unet, VGG19-Unet, MobileNetV2, Unet-v1, Unet-v2, Unet-v3 and Unet-v4) was evaluated. The AUC (area under the curve) value of the VGG16-Unet model was found to be higher with 94.87% compared to the other models. This study contributes to the advancement of more accurate and sensitive segmentation methods in the field of dentistry and supports more reliable results in tooth detection and treatment planning processes.

Keywords: Unet, Deep learning, Impacted tooth, Panoramic dental images

1. GİRİŞ

Günümüzde, yapay zekâ teknolojileri ve özellikle derin öğrenme yöntemleri, tıbbi görüntüleme, teşhis ve tedavi konularında önemli gelişmeler sağlamaktadır [1]. Bu teknolojiler, diş hekimliği gibi biyomedikal alanlarda da giderek yaygınlaşmaktadır.

Gömülü dişler, diş hekimliği pratiğinde sık karşılaşılan ve tedavi gerektiren önemli bir sorundur. Gömülü dişler, çene kemiği altında normal olarak yer alması gereken dişlerdir, ancak doğru bir şekilde gelişemez veya çene kemiği altında sıkışır. Bu durum, estetik, ağız sağlığı ve çene yapısı açısından ciddi sorunlara yol açabilir. Gömülü dişlerin doğru bir şekilde teşhis edilmesi ve tedavi edilmesi, hasta bakımı açısından büyük önem taşımaktadır [2].

Gömülü dişlerin teşhisinde ve tedavisinde dijital görüntüleme ve görüntü işleme teknikleri önemli bir rol oynamaktadır. Dijital görüntüleme yöntemleri, diş hekimlerine daha detaylı ve net bir şekilde görüntüleme yapma imkânı sağlar [3]. Bu görüntüler gömülü dişlerin konumunu, büyüklüğünü, çevresindeki dokuları ve komplikasyonları daha iyi değerlendirmek için kullanılabilir [2].

Önceki çalışmalar, diş segmentasyonu konusunda çeşitli yaklaşımlar sunmuştur. Bazı çalışmalar, geleneksel görüntü işleme yöntemleri kullanarak diş bölgelerini sınıflandırmaya çalışmıştır. Ancak bu yöntemler, genellikle karmaşık diş yapısı ve çeşitli görüntüleme koşulları nedeniyle istikrarlı sonuçlar elde etmekte zorlanmaktadır. Son zamanlarda, derin öğrenme tekniklerinin

gelişimiyle birlikte, evrişimsel sinir ağları (Convolutional Neural Networks, CNN) tabanlı modeller diş segmentasyonunda başarıyla uygulanmıştır [4].

Bu çalışmada, VGG16-Unet, VGG19-Unet, MobileNetV2 ve 4 farklı katman derinliğine sahip Unet mimarisi olmak üzere yedi farklı model mimarisinin diş segmentasyonu üzerindeki etkinliği karşılaştırılmıştır. VGG16 ve VGG19, derin ve karmaşık bir yapıya sahip olan geleneksel CNN mimarileridir. MobileNetV2 ise hafif ve hızlı hesaplama özellikleriyle bilinen mobil tabanlı CNN mimarisidir. Unet ise özgün bir mimariye sahip olan ve hem kodlama hem de çözümleme aşamalarında simetrik bağlantılar kullanarak yüksek kalitede segmentasyon sonuçları üretebilen bir modeldir.

Bu çalışmanın önemi, gömülü dişlerin teşhis ve tedavisinde doğruluk, hassasiyet ve verimlilik sağlayabilen bir yöntem sunmaktır. Bu makalenin amacı, gömülü diş segmentasyonu alanında farklı model mimarilerini kıyaslayarak en iyi performans gösteren modeli belirlemektir. Diş segmentasyonu, diş görüntülerinin çene ve diş yapılarının doğru bir şekilde tanımlanması ve ayrıştırılması sürecidir. Bu alanda, doğru ve hassas bir segmentasyonun başarısı, diş hekimliği uygulamalarında teşhis ve tedavi planlamasının doğruluğunu artırabilir.

Önceki çalışmalara kıyasla bu araştırma, farklı iki gömülü diş veri kümesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan veri kümesi 273 adet panoramik diş görüntülerinden oluşmaktadır. Her bir görüntü, ayrıntılı diş bölgelerine sahip çeşitli diş yapısını temsil etmektedir. Eğitim sürecinde, her model ayrı ayrı eğitilmiş ve performansı değerlendirilmiştir.

Bu makalenin geri kalan kısmında, literatür taraması, metodoloji, deneyler ve sonuçlar, tartışma, sonuç ve gelecek çalışmalar bölümleri yer alacaktır. Metodoloji bölümünde, kullanılan veri kümesi, model mimarileri ve eğitim süreçleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Huang ve arkadaşları, Unet mimarisi kullanarak diş veri kümesi üzerinde enfeksiyon tespiti yapmışlardır. Diş çürüklerinin derin öğrenme teknikleri kullanarak otomatik olarak teşhis edilmesi üzerine, farklı teknikler ile karşılaştırma yapmışlardır. %94.3 başarımla diğer tekniklere göre daha yüksek bir doğruluk oranı göstermişlerdir [5].

Elboroloy, 2414 panoramik radyografi görüntüsü kullanılarak mandibular üçüncü azı dişinin çıkarılma zorluğunu tahmin etmek amacıyla önceden eğitilmiş üç model uygulamıştır. VGG-16, VGG-19, MobileNetV2 ve ResNet50 gibi dört farklı modelin performansı değerlendirilmiş ve sonuçlar VGG-19 modelinin mandibular üçüncü azı dişinin çıkarılma zorluğunu %82 doğruluk ile tahmin ettiğini göstermiştir. Diğer modellerin doğruluk oranları ise sırasıyla %81, %79 ve %44 olarak verilmiştir [6].

Krois ve arkadaşları, dental panoramik radyografi görüntülerinde diş sınıflandırması için derin öğrenme modellerinin doğruluğunu etkileyen görüntü bağlamını değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, diş segmentlerinin boyutunun artmasıyla sınıflandırma doğruluğunun önemli ölçüde arttığını göstermiştir. F1 puanları, en küçük segment boyutunda %0.77 iken, en büyük segment boyutunda %0.93'e yükselmiştir ($p = 0.0083$; Mann-Kendall testi). Bu çalışma, dental radyografi görüntülerinde diş sınıflandırmasında bağlam bilgisinin kritik bir rol oynadığını vurgulamıştır [7].

Chen ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, dental periapikal filmlerde diş tespiti ve numaralandırma için TensorFlow'un Faster R-CNN

yöntemi kullanılmıştır. Önerilen yöntem örtüşen kutuların filtrelenmesi, eksik dişlerin tespiti ve kurallara uygun sonuç düzenlemesi gibi üç aşamadan oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlar, %90 üzerinde hassasiyet ve hatırlama değerleri ile yapay zekânın dental görüntüleme alanında etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, mevcut literatürdeki metodolojik kısıtlamaların daha fazla araştırma gerektirdiği vurgulanmaktadır.

Tuzoff ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, dental radyograflerin analizi için CNN tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Çalışmalarında, 1352 panoramik radyoloji görüntülerinden oluşan bir veri kümesi kullanılarak sistemin eğitimi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar, alanında uzman görüşüne yakın bir performans sergilediğini göstermiştir. Bu bulgular, dental radyografi analizinin pratik uygulama ve ileri değerlendirme potansiyeline sahip olduğunu vurgulamaktadır [8].

Hiraiwa ve arkadaşları tarafından yürütülen bu çalışmada, mandibular birinci azı dişinin distal köklerinin morfolojik sınıflandırması için derin öğrenme sisteminin tanısal performansına detaylı bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Çalışma, CBCT (cone beam bilgisayarlı tomografi) görüntüleri ve panoramik radyograflerin analiziyle gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar, distal köklerin %21.4'ünde ek bir kök bulunduğunu göstermiştir. Derin öğrenme sistemi ise distal köklerin tek veya ek köklü olup olmadığını %86.9 doğruluk oranıyla tespit edebilme yeteneği göstermiştir. Bu bulguların mandibular birinci azı dişinin kök morfolojisinin ayırıcı tanısında derin öğrenme yönteminin potansiyelini ortaya koyduğunu vurgulamışlardır [9].

3. METODOLOJİ

Bu çalışmada, iki farklı veri kümesinden yüksek çözünürlüğe sahip diş görüntüleri uzman hekim tarafından seçildi ve bu iki veri kümesinin birleştirilmesiyle çalışmanın veri kümesi oluşturuldu. Oluşturulan yeni veri kümesi, yüksek kalitede panoramik gömülü diş görüntülerini

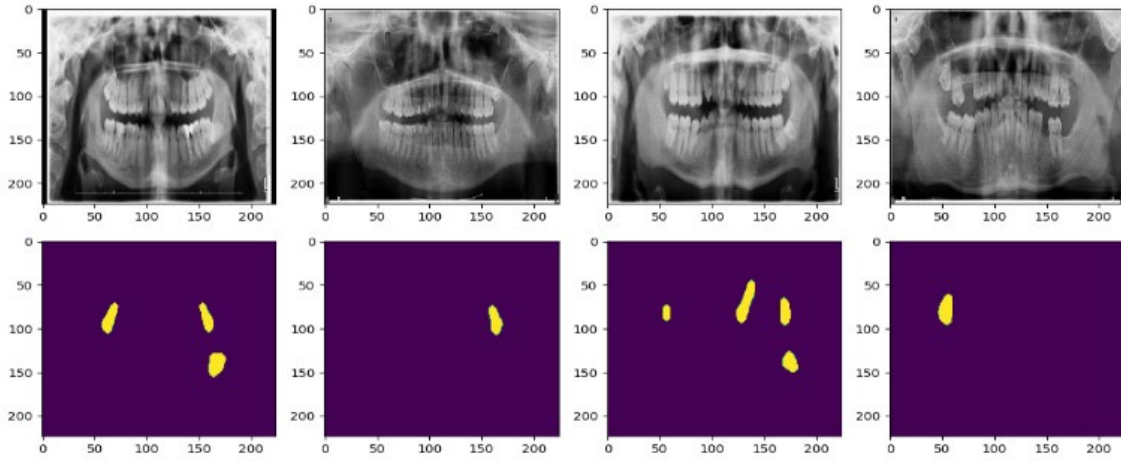
içermektedir. Bu yöntemle, çalışmanın sonuçlarının daha genel geçerlilik kazanması hedeflenmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan veri kümeleri

Kaynak	Veri Sayısı	Veri Türü	Kullanılan Veri Sayısı
[10]	304 adet	540x380, png	150
[11]	598 adet	2041x1024, jpeg	123

Çizelge 1'de her iki veri kümesinin kullanımıyla ilgili detaylı bilgiler yer almaktadır. İlk veri

kümesinden 150 adet yüksek çözünürlüğe sahip veriler seçilerek daha spesifik bir diş popülasyonunu temsil etmesi sağlanmıştır [10]. Literatürde yaygın olarak kullanılan ikinci veri kümesinden ise 123 adet yüksek çözünürlüğe sahip veriler seçilmiştir [11]. İkinci veri kümesi, geniş bir diş popülasyonunu kapsayan yüksek kalitede görüntüler içermektedir. Bu çalışma için toplamda 273 adet yüksek çözünürlüğe sahip verilerden oluşan bir veri kümesi oluşturulmuş, diş segmentasyonu üzerinde daha özelleşmiş sonuçlar elde etmek amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 1. Oluşturulan veri kümesinden örnek görüntüler

Şekil 1'de sunulan örnek veri kümesi görüntüleri, iki veri kümesinin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu veri kümesi, farklı model ve yöntemlerin performansını karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları, genel bir diş popülasyonu için geçerliliği sağlamakla birlikte daha spesifik bir diş alt grubu üzerindeki etkisini de değerlendirmek amacıyla analiz edilmiştir.

Bu veri kümesi, çalışmanın güvenilir sonuçlara ve karşılaştırmaların yapılmasına olanak sağlamıştır. Veri kümelerinin birleştirilmesi, çalışmanın daha kapsamlı bir temele dayandırılmasını sağlamış ve sonuçların daha genel geçerlilik kazanmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir.

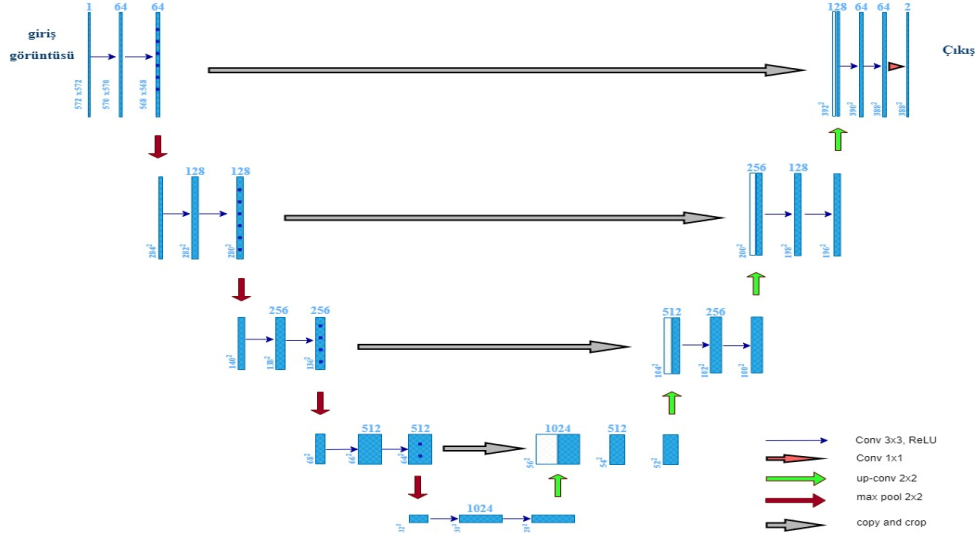
3.2. Model Mimarileri

Bu çalışmanın temelini oluşturan model mimarileri, VGG16-Unet, VGG19-Unet, MobileNetV2 ve

Unet (4 farklı katman derinliğine sahip) gibi yedi farklı derin sinir ağı modelini içermektedir. Bu modeller, görüntü sınıflandırma, nesne tanıma, hafif ve biyomedikal görüntü segmentasyonu gibi çeşitli görevlerde başarıyla kullanılmaktadır. Kapsamlı çalışmalarla gerçekleştirilen bu model mimarileri, derin öğrenme alanında öncü ve etkili çözümler sunmaktadır.

3.2.1. Unet

Biçimlendirilmiş veri segmentasyonunda yaygın olarak kullanılan bir derin öğrenme modelidir [12]. Bu mimari, evrişimsel sinir ağlarının hem yerel hem de global bağlantılarından faydalanır. Temel olarak, birçok evrişimsel katmandan oluşur ve birbirine geçişler sağlayan enkoder ve dekoder bölümlerinden oluşan bir yapıya sahiptir. Şekil 2'de Unet ağ mimarisi gösterilmektedir.



Şekil 2. Unet ağı mimarisi

Enkoder bölümü, hiyerarşik özelliklerin çıkarılması için evrişimsel ve örnekleme katmanlarından oluşur. Bu katmanlar, ölçek uzayında bir azalma sağlar ve daha yüksek seviyede soyutlanmış özelliklerin oluşmasını sağlar. Dekoder bölümü, enkoderin çıkışını alır ve görüntünün orjinal boyutuna geri dönmesini sağlar. Bu bölümde, evrişim geriye yayılımı, tersine örnekleme (upsampling) katmanları ve evrişimsel katmanlar bir arada kullanılır. Bu sayede, segmentasyon haritaları oluşturulur. Bu kapsamda bu çalışmada önceden eğitilmiş evrişimsel sinir ağı mimarilerine dayalı Unet modelleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada, her biri farklı katman derinlikleri ve filtre sayılarına sahip 4 farklı Unet modeli uygulanmıştır. Bu modeller sırasıyla Unet-v1,

Unet-v2, Unet-v3 ve Unet-v4 olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan Unet modellerinin ayrıntılı yapı ve özellikleri Çizelge 2’de sunulmuştur. Çizelgedeki bilgiler, her bir modelin katman derinliklerini ve filtre sayılarını göstermektedir. Katman derinliği, Unet mimarisindeki enkoder ve dekoder bölümlerindeki konvolüsyonel ve örnekleme katmanlarının sayısını ifade eder. Farklı katman derinlikleri, Unet modellerinin farklı özellik çıkarma yeteneklerine sahip olmasını sağlar. Aynı şekilde, filtre sayıları da Unet modellerinin öğrenme kapasitesini belirleyen önemli bir faktördür. Filtre sayısı, her bir katmandaki konvolüsyonel filtrelerinin sayısını ifade eder. Daha yüksek filtre sayıları, daha fazla özellik haritalarının üretilmesini ve daha karmaşık özelliklerin öğrenilmesini sağlar.

Çizelge 2. Kullanılan Unet modelleri

Unet modelleri	Filtre sayısı	Atlama bağlantısı	Katman sayısı
Unet v1	[16,32,64,128]	256	4
Unet v2	[32,64,128,256,512]	1024	5
Unet v3	[16,32,64,128,256,512]	1024	6
Unet v4	[32,64,128,256]	512	4

Bu farklı katman derinliklerine sahip Unet modelleri, gömülü dış görüntülerinin segmentasyonunda kullanılmış ve performanslarının karşılaştırılması yapılmıştır.

Katman sayılarındaki farklılıkların modellerin özellik çıkarma yeteneklerini etkilediği gözlemlenmiştir.

3.2.2. VGG16-Unet

VGG16 ve Unet mimarilerinin birleştirildiği bir hibrit modeldir [13]. VGG16'nın evrişim tabanlı özellik çıkarma yetenekleri ile Unet'in detaylı sonuçlar elde etme kabiliyeti bir araya getirilir. Bu model diş görüntülerinin hassas segmentasyonunu sağlar ve diş hekimliği alanında sınıflandırma ve ayırt etme için önemli bir araçtır. Kullanımıyla diş görüntülerinin analizi ve teşhisi ilerletilir, bu da dental alanda daha hassas sınıflandırma ve ayırt etme sağlar.

3.2.3. VGG19-Unet

VGG19 ve Unet mimarilerinin birleşimidir [14]. VGG19, derin sinir ağı mimarileri arasında popüler olan 19 katmanlı bir modeldir. Evrişim tabanlı katmanlarıyla görüntü sınıflandırma ve özellik çıkarma görevlerinde etkili sonuçlar verir. Unet ise segmentasyon görevleri için tasarlanmış bir mimaridir. VGG19-Unet, VGG19'un güçlü özellik çıkarma yeteneklerini Unet'in hassas ve lokalize edici segmentasyon kabiliyetiyle birleştirir. Bu model, diş görüntülerinin daha ayrıntılı analizi ve teşhisi için kullanılarak daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlar.

3.2.4. MobileNetV2

Hafif ve hızlı bir derin sinir ağı modelidir [15]. Evrişim tabanlı katmanlarda kullanılan daraltılmış (1x1) ve genişletilmiş (3x3) evrişimler sayesinde yüksek verimlilik sağlar. Ayrıca, derinlik ayrıştırma (depthwise separable) konvolüsyonları ile hesaplama maliyetini azaltır. 16 katmandan oluşan yapısı, 3.5 milyon parametre ve 300MB'dan daha az bellek kullanımı ile mobil cihazlar için idealdir. Bu model, yüksek hızda sınıflandırma ve nesne tespiti gibi görevlerde etkileyici sonuçlar elde etmek için tasarlanmıştır.

4. DENEYLER VE SONUÇLAR

4.1. Performans Metrikleri

Performans metrikleri, derin öğrenme modellerinin etkinliğini değerlendirmek ve karşılaştırmak için

kullanılan kritik araçlardır. Bu metrikler, modelin sınıflandırma veya tespit görevlerindeki performansını objektif bir şekilde değerlendirmemizi sağlar. Karmaşıklık matrisi, sınıflandırma modellerinin performansını değerlendirmek için kullanılan bir tablodur. Gerçek ve tahmin edilen sınıfların dört farklı durumunu içerir: doğru pozitif, doğru negatif, yanlış pozitif ve yanlış negatif. Bu matris, modelin doğru ve yanlış tahminlerini göstererek hataları analiz etmeyi sağlar [16].

Kesinlik (precision), doğru tahmin edilen pozitif gözlemlerin toplam tahmin edilen pozitif gözlemlere oranıdır, yanlış pozitiflerin sayısını minimize etmeye odaklanır [17].

$$Kesinlik = \frac{DP}{DP + YP} \quad (1)$$

Duyarlılık (recall), doğru tahmin edilen pozitif gözlemlerin gerçek sınıftaki tüm gözlemlere oranıdır, gerçek pozitiflerin tespit edilme oranını ifade eder [17].

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

DICE Katsayısı (DICE coefficient) benzerlik ölçüsü olarak kullanılır [18].

$$Dice = \frac{2 * DP}{2 * DP + YP + YN} \quad (3)$$

Son olarak AUC, alıcı çalışma karakteristiği (ROC) eğrisinin altında kalan alanı ifade ederek sınıflandırma modelinin genel performansını değerlendirmede kullanılır [19].

$$AUC = \int (DP - Oran) d(YP - Oranı) \quad (4)$$

Bu performans metrikleri, derin öğrenme modellerinin performansını objektif bir şekilde ölçmek ve karşılaştırmak için önemli bir rol oynamaktadır.

4.2. Modellerin Eğitimi ve Değerlendirilmesi

Bu çalışmada VGG16-Unet, VGG19-Unet, MobileNetV2 ve Unet modellerinin performansını ölçmek için çeşitli metrikler kullanılmıştır. Bu metrikler arasında (precision), duyarlılık (recall), Dice katsayısı ve AUC gibi önemli ölçümler yer almaktadır. Bu metrikler, modellerin sınıflandırma doğruluğunu, yanlış pozitif ve yanlış negatif tahminleri, hassaslık ve kapsamlılık gibi performans özelliklerini değerlendirmektedir. Bu çalışmada modellerin eğitiminde kullanılan veri kümesi, %90 eğitim, %5 doğrulama ve %5 test olarak bölünmüştür. Eğitim sürecinde epoch sayısı 100 olarak belirlenmiş, her bir eğitim adımında 16 örneklik bir batch boyutu kullanılmıştır. Optimizasyon için Adam optimizasyon algoritması tercih edilmiş ve öğrenme katsayısı 0.0001 olarak ayarlanmıştır. Bu derin parametreler kullanılarak modellerin eğitimi gerçekleştirilmiştir. Eğitim sürecinde, giriş görüntülerinin boyutu 256x256x3 olarak ayarlanmıştır.

Sonuçlar, her bir modelin sınıflandırma yeteneklerini, doğru tahmin oranlarını ve hata eğilimlerini anlamamıza yardımcı olmaktadır. Bu metriklerin kullanılması, modellerin karşılaştırılması ve en iyi performans sergileyen modelin belirlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.

4.3. Performans Sonuçları ve Karşılaştırma

Bu çalışmada, panoramik gömülü dış görüntülerinden oluşan veri kümesine VGG16-Unet, VGG19-Unet, MobileNetV2 ve dört farklı katman ve filtre yapısına sahip Unet olmak üzere yedi farklı model uygulanmıştır. Her bir matris, gerçek sınıf değerleri ile modelin tahmin ettiği sınıf değerlerini karşılaştırır. Kullanılan farklı model yapılarına ait karmaşıklık matrisleri incelenmiştir. Çalışmamızda uyguladığımız her bir modele ait karmaşıklık matrisleri Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Kullanılan modellerin karmaşıklık matrisleri

Çalışmamızda uygulanan bu modellerin performansını değerlendirmek için kesinlik, duyarlılık, Dice katsayısı ve AUC parametreleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, araştırmacılara

ve diş hekimlerine daha iyi kararlar alabilmeleri için bir referans olma özelliği göstermektedir. Her bir model için bulunan performans ölçüt değerleri Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. Kullanılan modellerin performans sonuçları (%)

Modeller	Kesinlik	Duyarlılık	Dice Katsayısı	AUC
VGG16-Unet	90.09	89.81	89.95	94.87
VGG19-Unet	89.88	86.64	88.23	93.29
MobileNetV2	88.50	76.88	82.28	88.41
Unet-v1	78.82	68.48	73.28	84.17
Unet-v2	85.82	75.69	80.44	87.80
Unet-v3	86.07	70.60	77.58	85.26
Unet-v4	86.45	78.03	82.02	88.97
















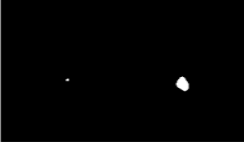








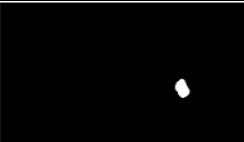


Çizelge 3'te farklı modellerin performansını gösteren bir karşılaştırma yapılmıştır. Kesinlik, duyarlılık, Dice Katsayısı ve AUC parametreleri kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. VGG16-Unet modeli, en yüksek AUC değerine sahip olan modeldir (%94.87). Ayrıca kesinlik (%90.09), duyarlılık (%89.81) ve Dice Katsayısı (%89.95) açısından da diğer modellere kıyasla en iyi sonuçları elde etmiştir. Bu sonuçlar, VGG16-Unet modelinin diş görüntülerinin tespiti ve segmentasyonunda diğer modellere göre daha başarılı olduğunu göstermektedir.

Diğer modeller arasında, VGG19-Unet ve Unet-v4 modelleri de dikkate değer sonuçlar elde etmiştir. Bu modeller, genel olarak yüksek kesinlik ve Dice Katsayısı değerleriyle performans göstermiştir. Ancak MobileNetV2 ve diğer Unet modellerinin performansı daha düşüktür. Özellikle Unet-v1 modeli, diğer modellere göre daha düşük kesinlik, duyarlılık ve Dice Katsayısı değerleri elde etmiştir. Bu sonuçlar, Unet-v1 modelinin diş görüntülerinin doğru şekilde segmentasyonu konusunda geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Unet-v2 ve Unet-v3 modelleri ise orta düzeyde performans

göstermiştir. Her iki model de diğer modellere kıyasla daha yüksek kesinlik, duyarlılık ve Dice Katsayısı değerlerine sahiptir. Bununla birlikte, Unet-v4 modeli diğer modellere göre daha iyi bir performans sergileyerek, diş hekimliği alanında tercih edilebilecek güvenilir sonuçlar sunmaktadır. Bu sonuçlar, Unet-v2 ve Unet-v3 modellerinin Unet-v1 modeline göre daha etkili bir diş segmentasyonu sağladığını göstermektedir. Unet-v4 modeli ise en yüksek performansı göstererek, daha kesin ve doğru segmentasyon sonuçları elde etmek için tercih edilebilir bir seçenektir.

Elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te gösterilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde, bazı sonuçlarda modellerin gömülü dişin bulunduğu konumu kısmen doğru tespit ettiği, ancak boyutlarda farklılıklar olduğu görülmüştür. Bazılarında ise modellerin benzer sonuçlar verdiği ve VGG16-Unet modelinin daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Bu bulgular, gömülü diş görüntülerinin segmentasyonunda model seçiminin sonuçları üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Bu bilgiler, diş hekimliği alanında daha etkili segmentasyon yöntemlerinin geliştirilmesi için katkı sağlayabilir.

Çizelge 4. Farklı mimarilerin deneysel sonuçları

Model	Örnek-1	Örnek-2	Örnek-3
Gerçek Görüntü			
Gerçek Maske			
VGG16- Unet			
VGG19- Unet			
MobileNetV2			
Unet-v1			
Unet-v2			
Unet-v3			
Unet-v4			

5. TARTIŞMA

Çizelge 5. İncelenen literatür çalışmaları

Kaynak	Uygulanan model(ler)	Veri seti	Başarım alanı	Başarım metriği	Başarım sonucu
[20]	AI Model CranioCatch (Faster R-CNN Inception v2/COCO)	2019 - 2020 tarihli Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'nden alınan panoramik görüntüler	Crown, İmplant, Gömülü Diş	Hassasiyet, Doğruluk, F1 Skoru	Hassasiyet: 0.9674- 0.9658, Doğruluk: 0.9259-0.8947, F1 Skoru: 0.9433-0.9122
[21]	CNN algoritması	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Ağız ve Çene Radyolojisi Arşivi	Gömülü Diş	F1 Skoru, Hassasiyet, Doğruluk	Hassasiyet: > 95%
[22]	Deep-CNN	65 hastanın 130 gömülü üçüncü azı dişi CBCT verisi	Gömülü Üçüncü Azı Diş	Kappa, Gömülü Tespiti, Root/Canal Tespiti	Impacted Detection Başarısı: 86.2%, Impacted Tooth Root/Canal Başarısı: 78.6%, 68.1%
[23]	Faster RCNN, YOLOv3	Gömülü üçüncü azı dişleri olan 300 hastaya ait panoramik görüntüler	Gömülü Üçüncü Azı Diş	mAP@0.5, Hassasiyet, Doğruluk, Kesinlik	mAP@0.5: 0.91 (Faster RCNN - ResNet50), 0.96 (YOLOv3), Hassasiyet: 0.93, Kesinlik: 0.88
[24]	WideResNet (WRN), LaplaceNet (LN)	2016-2020 tarih aralığına ait Eunpyeong St. Mary's Hastanesi, St. Vincent Hastanesi ile Seoul St. Mary's Hastanesine ait gömülü diş panoramik görüntüleri	Mandibular Üçüncü Azı Diş Sınıflandırması	Derinlik, Uzamsal İlişki, Sinir Kanalı	F1 Skoru: 0.87, 0.87, 0.83 (WRN), 0.84, 0.94, 0.80 (LN)
Önerilen Çalışma	Unet, VGG16, VGG19, MobileNetV2	İki farklı veri kümesinden seçilen yüksek çözünürlüklü gömülü diş panoramik görüntüleri	Gömülü Diş	Kesinlik, Duyarlılık, Dice Katsayısı, AUC	En yüksek sonuç veren VGG16-Unet için Kesinlik: 90.09, Duyarlılık: 89.81, Dice Katsayısı: 89.95, AUC: 94.87

Gömülü diş tespiti alanında derin öğrenme tekniklerinin performansı araştırıldığında irdelenen çalışmalarda ortaya konan sonuçlar, derin öğrenme yöntemlerinin gömülü diş tespiti konusunda potansiyeli ve etkinliğini vurgulamaktadır. Başaran ve ark. panoramik radyografi görüntülerinde crown, implant ve gömülü dişlerin tespiti için geliştirilen yeni bir derin öğrenme modelinin performansını incelemiştirler [20]. Sonuçlar, bu modelin crown, implant ve gömülü dişlerin tespitinde yüksek duyarlılık ve kesinlik sağladığını göstermektedir. Çelik, derin öğrenme tekniklerinin, gömülü dişlerin tespitinde geleneksel yöntemlere kıyasla üstün bir performans sergilediğini vurgulamıştır [21]. Orhan

ve ark. tarafından geliştirilen çalışmada, Cone-beam Computed Tomography (CBCT) görüntülerinde gömülü üçüncü azı dişlerinin tespitinde derin öğrenme modelinin manuel muayeneye kıyasla yüksek başarımlı sağladığı vurgulanmıştır [22]. Çelik bir diğer çalışmasında, farklı derin öğrenme modellerinin kullanıldığı bir yöntem üzerinde durmuştur [23]. Bu çalışmada, Faster RCNN ve YOLOv3 gibi modellerin gömülü üçüncü azı dişlerin tespitinde yüksek performans sergilediği belirtilmiştir. Kim ve ark. ise çalışmalarında, mandibular üçüncü azı dişlerinin panoramik görüntüler üzerinde sınıflandırılmasında geleneksel denetimli öğrenme (SL) ve yarı

denetimli öğrenme (SSL) yöntemlerinin etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamışlardır [24]. SL modeli olarak WideResNet (WRN) ve SSL modeli olarak LaplaceNet (LN) kullanılmıştır. LN modelinin WRN modeli gibi denetimli öğrenme yöntemine benzer başarı sağladığı vurgulanmıştır.

Önerilen çalışmamızda uygulanan modeller gömülü diş tespitinde başarılı sonuçlar elde edildiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, derin öğrenme modellerinin gömülü diş tespiti alanında geleneksel yöntemlere kıyasla daha hassas ve güvenilir sonuçlar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmaların toplu değerlendirmesi, derin öğrenme tekniklerinin diş hekimliği alanında klinik uygulamalarda ve tanısal süreçlerde potansiyel sağlayabileceğini göstermektedir.

6. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada farklı katman derinliğine sahip 4 farklı Unet modeli, VGG16-Unet, VGG19-Unet ve MobileNetV2 modellerinin panoramik gömülü diş görüntülerinin segmentasyonu üzerindeki performansları incelenmiştir. Elde edilen bulgular, gömülü diş görüntülerinin doğru tespit edilmesi ve segmentasyonunun önemli olduğunu göstermektedir. Sonuçlara göre, bazı modeller gömülü dişin konumunu kısmen doğru tespit etmiş olsa da boyutlarında farklılıklar mevcuttur. VGG16-Unet modeli ise diğer modellere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu bulgular, gömülü diş görüntülerinin hassas bir şekilde segmente edilmesi için model seçiminin önemini vurgulamaktadır. Gelecekteki çalışmalar, farklı model türlerinin ve veri kümelerinin performansını karşılaştırmak için daha kapsamlı analizler yapabilir ve diş görüntülerinin segmentasyonunda daha ileriye yönelik geliştirmelere katkı sağlayabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Narayan, V., Mall, P.K., Alkhayat, A., Abhishek, K., Kumar, S., Pandey, P., 2023. Enhance-Net: An Approach to Boost the Performance of Deep Learning Model Based on

- Real-Time Medical Images. Journal of Sensors,15.
2. Kumar, A., Nag, A., Jain, N., Bandopadhyay, S., 2023. Surgical Management of Impacted Canine: A Case Series. Journal of Dental Health & Research (JDHR), 4(1), 11-15.
 3. Tetay-Salgado, S., Arriola-Guillén, L.E., Ruíz-Mora, G.A., Aliaga-Del Castillo, A., Rodríguez-Cárdenas, Y.A., 2021. Prevalence of Impacted Teeth and Supernumerary Teeth by Radiographic Evaluation in Three Latin American Countries: A Cross-Sectional Study. Journal of Clinical and Experimental Dentistry, 13(4), 363-368.
 4. Singh, N.K., Raza, K., 2022. Progress in Deep Learning-Based Dental and Maxillofacial Image Analysis: A Systematic Review. Expert Systems with Applications, 199, 116968, 15.
 5. Lee, J.H., Kim, D.H., Jeong, S.N., Choi, S.H., 2018. Detection and Diagnosis of Dental Caries using A Deep Learning-Based Convolutional Neural Network Algorithm. Journal of Dentistry, 77, 106-111.
 6. Elboroloso, S.A., Salem, W.S., Hamed, M.O., Sayed, A.S., Helmy, B.E.D., Elngar, A.A., 2022. Predicting Difficulty Level of Surgical Removal of Impacted Mandibular Third Molar using Deep Learning Approaches. Research Square, 21.
 7. Krois, J., Schneider, L., Schwendicke, F., 2021. Impact of Image Context on Deep Learning for Classification of Teeth on Radiographs. Journal of Clinical Medicine, 10(8), 1635, 9.
 8. Tuzoff, D.V., Tuzova, L.N., Bornstein, M.M., Krasnov, A.S., Kharchenko, M.A., Nikolenko, S.I., Sveshnikov, M.M., Bednenko, G.B., 2019. Tooth Detection and Numbering in Panoramic Radiographs using Convolutional Neural Networks. Dentomaxillofacial Radiology (DMFR), 48(4), 20180051, 15.
 9. Hiraiwa, T., Arijji, Y., Fukuda, M., Kise, Y., Nakata, K., Katsumata, A., Fujita, H., Arijji, E., 2019. A Deep-Learning Artificial Intelligence System for Assessment of Root Morphology of the Mandibular First Molar on Panoramic Radiography. Dentomaxillofacial Radiology (DMFR), 48(3), 20180218, 7.

10. Imak, A., Celebi, A., Polat, O., Turkoglu, M., Sengur, A., 2023. ResMIBCU-Net: An Encoder-Decoder Network with Residual Blocks, Modified Inverted Residual Block, and Bi-Directional ConvLSTM for Impacted Tooth Segmentation in Panoramic X-Ray Images. *Oral Radiology*, 1, 1-15.
11. Román, J.C.M., Fretes, V.R., Adorno, C.G., Silva, R.G., Noguera, J.L.V., Legal-Ayala, H., Mello-Román, J.D., Torres, R.D.E., Facon, J., 2021. Panoramic Dental Radiography Image Enhancement using Multiscale Mathematical Morphology. *Sensors*, 21(9), 3110, 19.
12. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T., 2015. U-net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation, *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2015: 18th International Conference, Munich, Germany, 9351*, 234-241.
13. Balakrishna, C., Dadashzadeh, S., Soltaninejad, S., 2018. Automatic Detection of Lumen and Media in the IVUS Images using U-Net with VGG16 Encoder. *arXiv preprint arXiv:1806.07554*, 10.
14. Ali, R., Hardie, R.C., Narayanan, B.N., De Silva, S., 2019. Deep Learning Ensemble Methods for Skin Lesion Analysis Towards Melanoma Detection. *2019 IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON)*, Dayton, 311-316.
15. Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., Chen, L.C., 2018. Mobilenetv2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Salt Lake City, 4510-4520.
16. Sokolova, M., Lapalme, G., 2009. A Systematic Analysis of Performance Measures For Classification Tasks. *Information Processing & Management*, 45(4), 427-437.
17. Theckedath, D., Sedamkar, R.R., 2020. Detecting Affect States using VGG16, ResNet50 and SE-ResNet50 Networks, *SN Computer Science*, 1(2), 79, 7.
18. Cheng, D., Lam, E.Y., 2021. Transfer learning U-Net Deep Learning for Lung Ultrasound Segmentation. *arXiv preprint arXiv:2110.02196*, 14.
19. Salama, W.M., Aly, M.H., 2021. Deep Learning in Mammography Images Segmentation and Classification: Automated CNN Approach. *Alexandria Engineering Journal*, 60(5), 4701-4709.
20. Basaran, M., Celik, O., Bayrakdar, I.S., Bilgir, E., Orhan, K., Odabas, A., Arslan, A.F., Jagtap, R., 2022. Diagnostic Charting of Panoramic Radiography using Deep-Learning Artificial Intelligence System. *Oral Radiology*, 38, 363-369.
21. Celik, O., 2021. Detection of Impacted Teeth using Deep Learning Technique. *Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences*, 74(2), 269-277.
22. Orhan, K., Bilgir, E., Bayrakdar, I.S., Ezhov, M., Gusarev, M., Shumilov, E., 2021. Evaluation of Artificial Intelligence for Detecting Impacted Third Molars on Cone-Beam Computed Tomography Scans. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 122(4), 333-337.
23. Celik, M.E., 2022. Deep Learning based Detection Tool for Impacted Mandibular Third Molar Teeth, *Diagnostics*, 12(4), 942, 31-43, 13.
24. Kim, J.Y., Kahm, S.H., Yoo, S., Bae, S.M., Kang, J.E., Lee, S.H., 2023. The Efficacy of Supervised Learning and Semi-Supervised Learning in Diagnosis of Impacted Third Molar on Panoramic Radiographs Through Artificial Intelligence Model. *Dentomaxillofacial Radiology (DMFR)*, 52(6), 12.

Comparison of a Dynamic Model of Electric Arc Furnace with Actual Operation Data for Voltage Flicker Analysis in Electrical Power Network

Tahsin KÖROĞLU*¹ ORCID 0000-0002-6587-3529

¹Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering,
Department of Electrical & Electronics Engineering, Adana, Türkiye

Geliş tarihi: 21.08.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: KÖROĞLU, T., (2023). Comparison of a Dynamic Model of Electric Arc Furnace with Actual Operation Data for Voltage Flicker Analysis in Electrical Power Network. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(3), 725-738.

Abstract

Electric arc furnaces (EAFs) used in the iron and steel manufacturing industry for melting and refining scrap metals are one of the most disturbing loads that exhibit unbalanced and highly nonlinear characteristics. Serious voltage fluctuations occur in the power system as a result of the rapid change in the current drawn from the grid by the EAF. Voltage fluctuations lead to a power quality problem known as flicker, which is defined as observable changes in light sources that affect the production environment, cause eye fatigue in personnel, and lower the work concentration levels. To investigate the voltage flicker problem, an accurate mathematical model describing the behavior of the EAF load is required. In this study, a dynamic EAF model that can be adjusted to different operating conditions has been developed in the time domain. The electric arc voltage has been modeled as an externally controllable voltage source. The instantaneous arc voltage has been expressed as a function of the arc length independent of the current. The arc resistance, which varies with time and is nonlinear, has also been calculated with differential equations using the instantaneous arc voltage value. To measure the short-term flicker severity index caused by the EAF in the power system, a flicker meter in compliance with the International Electrotechnical Commission (IEC) 61000-4-15 standard has been designed. The current-voltage characteristics of the EAF, its effect on the power system, and the flicker severity occurring at the point of common coupling (PCC) have been analyzed with simulation studies using the PSCAD/EMTDC software. Besides, the simulation results of the dynamic model of the EAF have been compared with the results obtained from the model based on the measured field data.

Keywords: Electric arc furnace, Flicker, Power quality, Flickermeter

Elektrik Güç Şebekesi'nde Gerilim Titreşim Analizi için Elektrik Ark Ocağının Dinamik Modeli ile Gerçek Çalışma Verilerinin Karşılaştırılması

Öz

Demir-çelik imalat sanayinde hurda metallerin ergitilmesi ve rafine edilmesi için kullanılan elektrik ark ocakları (EAF'leri), dengesiz ve oldukça doğrusal olmayan özellikler sergileyen en rahatsız edici yüklerden

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Tahsin KÖROĞLU, tkoroglu@atu.edu.tr

biridir. EAF'nin şebekeden çektiği akımın hızla değişmesi sonucu güç sisteminde ciddi gerilim dalgalanmaları meydana gelir. Gerilim dalgalanmaları, ışık kaynaklarında üretim ortamını etkileyen gözlemlenebilir değişiklikler olarak tanımlanan, personelde göz yorgunluğuna ve iş konsantrasyon düzeylerinin düşmesine neden olan ve kırpışma olarak bilinen bir güç kalitesi sorununa yol açar. Gerilim kırpışma problemini araştırmak için, EAF yükünün davranışını açıklayan doğru bir matematiksel modele ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, zaman domeninde farklı çalışma koşullarına göre ayarlanabilen dinamik bir EAF modeli geliştirilmiştir. Elektrik ark gerilimi, harici olarak kontrol edilebilen bir gerilim kaynağı olarak modellenmiştir. Anlık ark gerilimi, akımdan bağımsız olarak ark uzunluğunun bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Zamanla değişen ve doğrusal olmayan ark direnci de anlık ark gerilimi değeri kullanılarak diferansiyel denklemlerle hesaplanmıştır. Güç sisteminde EAF'nin neden olduğu kısa süreli kırpışma şiddeti indeksini ölçmek için Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) 61000-4-15 standardına uygun bir kırpışma ölçer tasarlanmıştır. EAF'nin akım-gerilim karakteristiği, güç sistemine etkisi ve ortak bağlantı noktasında (PCC) oluşan kırpışma şiddeti, PSCAD/EMTDC yazılımı kullanılarak simülasyon çalışmaları ile analiz edilmiştir. Ayrıca, EAF'nin dinamik modelinin simülasyon sonuçları, ölçülen saha verilerine dayalı modelden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik ark ocağı, Kırpışma, Güç kalitesi, Kırpışma ölçer

1. INTRODUCTION

In recent years, the number of electric arc furnace (EAF) installations has increased significantly due to the abundance of scrap metal in the iron and steel industry, the need for recycling waste metals, and the possibility of high metal production at a relatively low cost [1]. However, such loads have adverse effects on power quality because of their extremely nonlinear and time-variable (dynamic) features [2]. The EAF operation causes flicker, harmonics, interharmonics, current/voltage

imbalances, and severely changing reactive power demand [3, 4]. Flicker is due to the fluctuation of the voltage that exceeds a certain amplitude versus frequency curve representing the eye-brain-lamp sensitivity, and has a negative impact on people [5].

Figure 1 shows a typical power system of an EAF consisting of a utility grid, source impedance (Z_s), high-voltage/medium-voltage (HV/MV) power transformer, serial reactor, EAF transformer, and EAF with three electrodes [6].

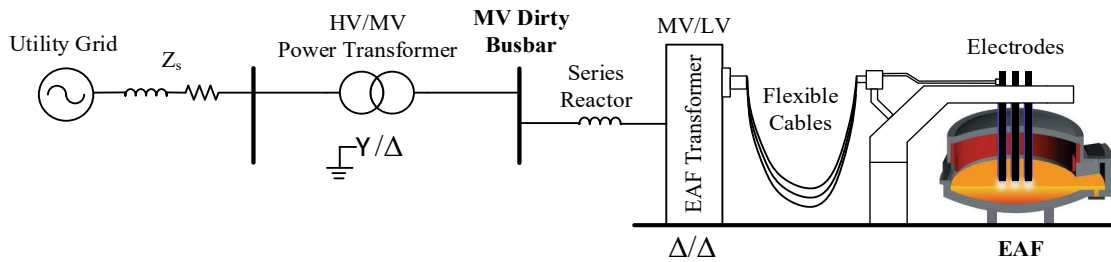


Figure 1. Power system of the EAF

EAF is an extremely hot enclosed space, where heat is produced by means of an electrical arc for melting scrap steel without changing its electrochemical properties [7]. In the melting process, electrical energy is converted to thermal energy by means of an electrical arc created between the melted metal and the electrodes. An electric arc is characterized

by a high current and low voltage. The EAF conditions vary significantly during the four operating processes: charging, boring, melting, and refining. The arc length increases from the boring phase, where the metals start to melt, to the refining phase, where the metals are completely melted, and gradually becomes constant [8]. Charging is the

first phase in which solid scrap metal is loaded into the furnace. An electric arc is then created in the middle of the scrap metal stack. The current exhibits a rather stochastic behavior and a very high deterioration in power quality occurs. When a hole is formed in the middle of the scrap metal stack, the arc becomes more stable (in the melting phase), and 15% of the scrap metal in the solid state becomes liquid. The current remains unstable because the scrap metal is still in a solid state and is not fully melted. In the refining phase, which is the final and most stable arc current behavior observed, the scrap metal is completely melted so that the arc length and demanded current do not vary significantly [9].

There are many publications in the literature related to EAF modeling [10-29]. Different methods are used to describe the electrical arc in these studies. In [10,11], balanced steady-state equations, which are highly beneficial in computational work, are presented. However, only the balanced state of three-phase currents is considered in these equations [12]. A few models presented in the literature have been adapted from the stochastic characteristics of the EAF, which are suitable for voltage flicker analysis [13,14]. In [15,16], differential equations based on time-domain methods are brought forward. In time-domain analysis, the parameters are specified according to the harmonic source voltages and unbalanced three-phase currents. One of the preferred methods for analyzing the arc model in the time domain is based on the Cassie-Mayr equations [16]. Cassie and Mayr's equations are utilized for the low voltage and high currents of the arc, respectively. In [17], different Cassie-Mayr model variants have been investigated and two generalized types of the original Cassie-Mayr model are developed using a large number of recorded actual data. In [18], the characteristics of the arc is evaluated using the physical principles of Mayr with a new EAF model developed using the Monte Carlo method in ATP/EMTP simulation environment. In [19], a dynamic model of an EAF is presented for the estimation of voltage flicker in a power transmission network. The model is based on simulating the varying resistance of an electric arc in the time domain. The frequency-domain characteristics of the EAF is analyzed in [20]. In

[21], a linearization and approximation method is proposed and the performance of the EAF has been analyzed. In this method, the arc voltage can be deduced adaptively depending on the arc current by examining the V-I characteristic of the arc furnace. Esfahani and Vahidi [22] carried out a study using the actual values of EAFs of the Mobarakeh Steel Company and come up with a new stochastic model of EAF based on Hidden Markov theory. The effects of flicker have been investigated through a designed IEC flicker meter. In [23], a mathematical model has been constructed using the experimentally obtained average dynamic Volt-Ampere characteristics. In [24], another mathematical EAF model based on field data is developed using an ellipse equation. In [25], a detailed model of the EAF has been built up by using a multibody dynamics (MBD) environment with the finite-element method (FEM). The effects of the arc dynamics and magnetic induction among the phases have been analyzed through a multiphysics approach. In recent years, the number of studies [26-28] on EAF modeling by taking advantage of artificial neural networks (ANN) and field data has increased. In [26], a data-driven neural-network-based nonlinear model has been put forward for the EAF v-i characterization of the time and frequency domains. In [27], an EAF model has been addressed by considering the time-varying arc length as the input parameter of the ANN to generate the voltage and current waveforms of the EAF. In [28], a hybrid discrete wavelet transform (DWT) and radial basis function neural network (RBFNN)-based approach has been introduced to model the dynamic voltage-current characteristics of the EAF. In [29], new models based on long short-term memory (LSTM) networks that are compatible with different operating conditions of the EAF have been developed. In [30], two improved EAF models based on the Schavemaker model, in which the time-varying behaviors of the model parameters are characterized by ARMA models, have been derived. Two recently published papers [31,32] focusing on the optimization of EAF parameters are brought to the attention. In [31], a multi-objective optimization technique has been recommended for the estimation of the EAF parameters under different conditions in a steel plant in Saudi Arabia. In [32], several optimization

algorithms have been combined and used to increase the efficiency of the EAF and reduce energy consumption by minimizing controllable losses. In [33], the parameters and characteristics of several time-domain methods, such as piecewise linear, modified piecewise linear, hyperbolic, and exponential, have been optimized using genetic algorithm and particle swarm optimization for EAF modeling and simulation.

This paper presents a dynamic model of the EAF based on nonlinear time-variant resistance in the time domain for voltage flicker analysis in electrical power systems. In the dynamic model of the EAF, the arc length can be adjusted to simulate the current and voltage waveforms under different EAF operating conditions. A flicker meter in compliance with the International Electrotechnical Commission (IEC) standard has been designed to measure the short-term flicker severity index caused by the EAF in the power system. The suggested dynamic model of the EAF is verified through simulation studies by comparing it with the field data-based model.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 presents the design and modeling of the EAF. In Section 3, the model of a digital flickermeter designed in PDCAD/EMTDC environment based on IEC standard 61000-4-15 is described. The simulation results are discussed in Section 4. Finally, Section 5 provides the conclusions and significant contributions of this study.

2. DESIGN AND MODELING OF THE EAF

To simulate the stochastic behavior of the EAF, it is necessary to have a dynamic and robust mathematical model that can adapt to different operating conditions such as charging, drilling, melting, and refining. In this study, a mathematical model based on the Cassie arc equation equipped with arc-length modulation has been developed. The EAF can be modeled by a variable arc resistance R_{arc} for each phase, and can be described dynamically by the following differential equations [34]:

$$\frac{dR_{arc}}{dt} = \frac{R_{arc}}{\mathcal{G}_c} \left(1 - \frac{V_{eaf}^2}{V_{arc}^2} \right) \quad (1)$$

$$R_{arc} = \frac{1}{\mathcal{G}_c} \int R_{arc} \left(1 - \frac{(R_{arc} i_{arc})^2}{V_{arc}^2} \right) dt \quad (2)$$

where \mathcal{G}_c is represented as the de-ionizing time constant (also called relative rate of conductance decrease), V_{eaf} is defined as the instantaneous value of the arc voltage, and V_{arc} indicates the asymptotic arc voltage reached when the arc current (i_{arc}) goes to infinity as given in Eq. (3).

$$V_{arc} = \lim_{i_{arc} \rightarrow \infty} (V_{eaf}) \quad (3)$$

The arc length varies according to the power system of the EAF to be modeled and is inversely proportional to the arc current. Arc length consists of two parts as the constant arc length and the arc length modulation. The constant arc length is adjusted to acquire the operating region at the rated power of the EAF. The arc length modulation is then applied to model the fluctuations in currents occurred by the EAF and is the part representing the "flicker" actually. In Eq. (4), V_{arc} is expressed independently of the arc current [35]:

$$V_{arc} = A + Bl_o + B\Delta l(t) = A + B(l_o + \Delta l(t)) \quad (4)$$

where A is a constant denoting the voltage drop in the anode and cathode electrodes of the EAF, B is the voltage drop per unit length across the arc, and l_o is the arc length. The arc-length modulation is realized by controlling $\Delta l(t)$, as described in Eq (5).

$$\Delta l(t) = D \sin 2\pi f_m t \quad (5)$$

where D is the parameter that adjusts the flicker level, and f_m is the modulation frequency.

In this study, sinusoidal modulation has been preferred, in which a single modulation frequency (f_m) is used to represent all fluctuations within the worst case. Sinusoidal modulation can be implemented by using a modulation frequency

changing with time. To simulate a practical EAF adequately, the characteristic arc-length fluctuations have to be determined by taking field measurements. Another way of controlling the desired flicker level is to create random flicker

modulation with a band-pass-filtered white noise signal. To band-limit the noise, a fourth-order band-pass filter with the cut-off frequencies of 4 and 14 Hz is used. The amplitude of the noise could then be tuned to obtain the desired flicker level.

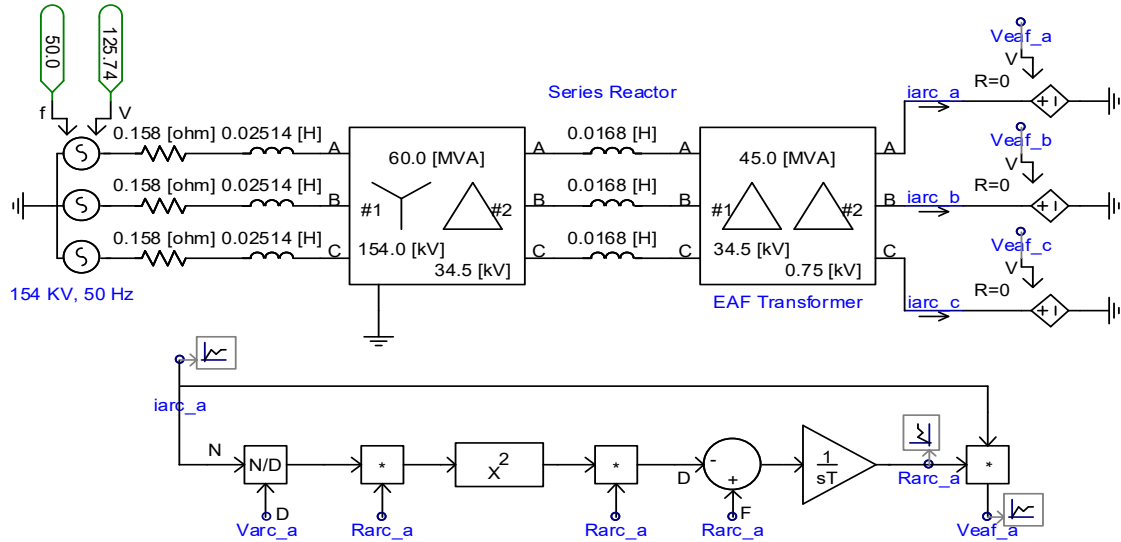


Figure 2. Simulation model of the arc equation and arc length modulation

The simulation model of the arc equation and arc-length modulation implemented for a single phase is demonstrated in Figure 2. The EAF is modeled as a controlled voltage source (V_{eaf}). The arc voltage (V_{arc}) is obtained using Eq. (4) and is utilized in the calculation of arc resistance (R_{arc}). The EAF voltage is found by multiplying the measured arc current (i_{arc}) with the calculated arc resistance (R_{arc}). The initial value of R_{arc} is defined as 0.001 ohm, and the integral time constant is 0.0003 s. The solution time step is specified as 20 μ s in PSCAD/EMTDC.

The simulation parameters of the power system and EAF are provided in Table 1. In the developed model, the EAF has a rated power of 40 MW and is connected to the PCC at a 34.5 kV voltage level with a 0.75/34.5 kV distribution transformer and a serial reactor. It is connected to the transmission line with a 154/34.5 kV step-down transformer.

The transmission line impedance is calculated in accordance with the actual system values, and the parameters of the transformer are determined by

taking the transformer label values used in field applications as a reference.

Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Utility Grid (HV source)	154 kV, 50 Hz
Grid Impedance (Z_s)	0.158 Ω + 25.14 μ H
HV/MV Power Transformer	154/34.5 kV, 60 MVA, %Uk=14%
MV/LV EAF Transformer	34.5/0.75 kV, 45 MVA, %Uk=9%
Serial Reactor	16.8 μ H
Three Phase EAF	24 MVA, pf = 0.85 Arc length (l_0)= 33.7 cm Frequency modulation (f_m)= 8.8 Hz $A=40$ V, $B=10$ V/cm, $D=5$

3. IEC FLICKERMETER

A flickermeter is an apparatus that can detect any fluctuation in the input voltage signal and calculate an output (short-term and long-term flicker severity

indices) representative of human visual sensation. The flickermeter simulates the dynamic and nonlinear characteristics of the lamp-eye-brain response to define the level of flicker that causes irritation to the human eye. This paper presents a digital flickermeter designed in PSCAD/EMTDC

based on IEC standard 61000-4-15 [36], which is widely used to assess flicker severity in practical applications. The flickermeter consists of five series-connected functional blocks, as shown in Figure 3.

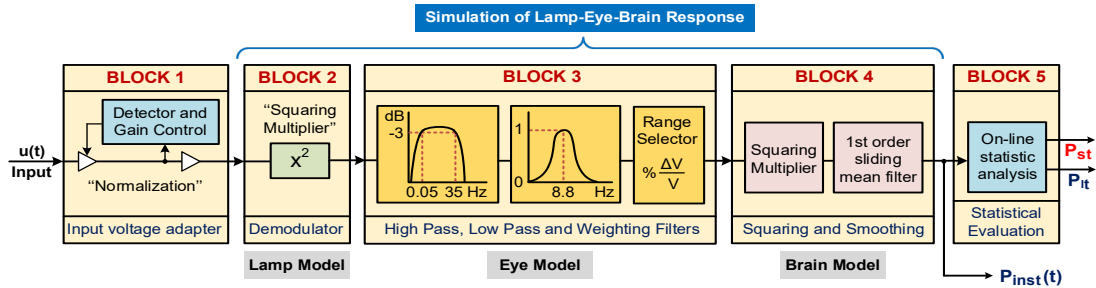


Figure 3. Block diagram of flickermeter model based on the IEC 61000-4-15 [36]

Block 1 is a voltage adapter scales the input voltage level down to an internal reference without changing the voltage fluctuation. The output of block 1 is the normalized signal obtained by dividing the input voltage by its effective value (RMS) at the grid frequency (50 Hz). Block 1 provides a flicker measurement independent of the actual input carrier voltage level.

Block 2, which contains a squaring demodulator to remove the voltage fluctuation from the normalized input signal at the grid frequency, is used to simulate the behavior of an incandescent lamp. The output of block 2 consists of a dc offset, flicker-causing component, and some higher-frequency signals [37].

Block 3 is composed of two filter (band-pass and weighting) circuits in series with each other and simulates the behavior of the human eye. The band-pass filter incorporates first-order high-pass and low-pass filter sections. The 1st order high pass filter (3 dB, 0.05 Hz cutoff frequency as identified in the standard) is used to eliminate the DC offset of the demodulator (block 2) output. The transfer function

of the high-pass filter is given in Eq. (6). Subsequently, a low-pass filter (6th order Butterworth filter with a 3 dB cutoff frequency of 35 Hz for 230 V, 50 Hz systems) is applied to remove the double mains frequency ripple components caused by the squaring demodulator block. The transfer function of the low-pass filter is expressed as Eq. (7) and the coefficients used in the equation are provided in Table 2. The weighting filter models the behavior of the lamp-eye system. It is a band-pass filter at the resonant frequency of 8.8 Hz with a gain of 1 [38]. It simulates the frequency response to sinusoidal voltage fluctuations of a coiled filament gas-filled lamp (60 W-230V) combined with the human visual system. The transfer function of the weighting filter is defined in Eq. (8) and the coefficients used in the equation are presented in Table 2 with respect to the IEC standard [36]. The range selector specifies the susceptibility of the flickermeter by modifying the gain as a function of the amplitude of the voltage fluctuation to be measured [39].

$$G_{high}(s) = \frac{s}{s + 2\pi \cdot 0.05} \quad (6)$$

$$G_{low}(s) = \frac{1}{1 + b_1 \left(\frac{s}{w_c}\right) + b_2 \left(\frac{s}{w_c}\right)^2 + b_3 \left(\frac{s}{w_c}\right)^3 + b_4 \left(\frac{s}{w_c}\right)^4 + b_5 \left(\frac{s}{w_c}\right)^5 + b_6 \left(\frac{s}{w_c}\right)^6} \quad (7)$$

$$G_{\text{weighting}}(s) = \frac{kw_1s}{s^2 + 2\lambda s + w_1^2} \frac{\left(1 + \frac{s}{w_2}\right)}{\left(1 + \frac{s}{w_3}\right)\left(1 + \frac{s}{w_4}\right)} \quad (8)$$

Table 2. The low pass and weighting filter parameters

Coefficient	Value	Coefficient	Value
b_1	3.864	k	1.74802
b_2	7.464	λ	$2\pi (4.05981)$
b_3	9.141	w_1	$2\pi (9.15494)$
b_4	7.464	w_2	$2\pi (2.27979)$
b_5	3.864	w_3	$2\pi (1.22535)$
b_6	1.000	w_4	$2\pi (21.9)$

The fourth block includes a squaring multiplier to simulate the nonlinear perception of the flicker and a first-order sliding mean filter to simulate the memory effect in the human brain. The first-order sliding mean filter is derived using Eq. (9), with a time constant (τ) of 300 ms. The output of Block 4 gives the instantaneous flicker sensation, $P_{\text{inst}}(t)$, which is then used in the statistical analysis to estimate the short-term flicker severity (P_{st}) and long-term flicker severity (P_{lt}).

$$G_{\text{sliding}}(s) = \frac{1}{1 + \tau s} \quad (9)$$

A statistical assessment of the instantaneous flicker has been implemented in Block 5 to come out the short and long-term flicker severity, P_{st} and P_{lt} , respectively. The designed flicker meter has been validated by applying the test procedures described in the IEC standard [36], and the error rates obtained according to the performance test results are below the specified tolerance range. The P_{st} is evaluated in a 10-minute time duration, while the P_{lt} is calculated for a 2-hour time period. The statistical calculation required to evaluate the 10-minute P_{st} prescribed in the IEC standard (IEC-61000-4-15) is given below [36]:

$$P_{\text{st}} = \sqrt{0.0314 P_{0.1} + 0.0525 P_{1s} + 0.0657 P_{3s} + 0.28 P_{10s} + 0.08 P_{50s}} \quad (10)$$

where:

$$\begin{aligned} P_{50s} &= (P_{30} + P_{50} + P_{80}) / 3 \\ P_{10s} &= (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}) / 5 \\ P_{3s} &= (P_{2.2} + P_3 + P_4) / 3 \\ P_{1s} &= (P_{0.7} + P_1 + P_{1.5}) / 3 \end{aligned} \quad (11)$$

Here, 0.0314, 0.0525, 0.0657, 0.28 and 0.08 values are the weighting coefficients [40]. P_x is the x th percentile of the P_{inst} values logged during a specified observation time interval, where x is 0.1, 0.7, 1, 1.5, 2.2, 3, 4, 6, 8, 10, 13, 17, 30, 50, and 80, respectively [41].

The following formula can also be used to obtain the long-term flicker severity, P_{lt} , for the last 120 minutes by taking 12 samples of P_{st} :

$$P_{\text{lt}} = \sqrt[3]{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_{\text{st},i}} \quad (12)$$

where P_{lt} is the long-term flicker coefficient, $P_{\text{st},k}$ is the k th consecutive value of the short-term coefficient, and $N=12$ is the number of P_{st} levels taken to compute the P_{lt} coefficient [41].

4. SIMULATION RESULTS AND DISCUSSION

The EAF has been modeled as a voltage-controlled nonlinear load on the secondary side (0.75 kV) of the EAF transformer. The arc length (l_a) has been chosen as 33.7 cm, the frequency modulation has been determined as 8.8 Hz and the parameters of the arc modulation have been assigned with respect to the values given in Table 1. The voltage and current waveforms of the EAF on the low-voltage side of the EAF transformer are displayed in Figure 4. The variation in the arc resistance over time and the i - v characteristic waveform of the EAF at the secondary side (0.75 kV level) of the transformer during balanced operation are depicted in Figure 5 and 6 respectively.

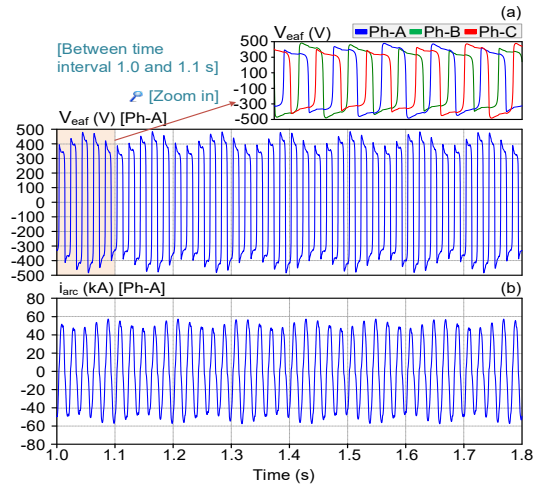


Figure 4. (a) EAF voltage (V_{eaf}) waveform at 0.75 kV level of the EAF transformer (b) Arc current (i_{arc}) waveform at 0.75 kV level of the EAF transformer

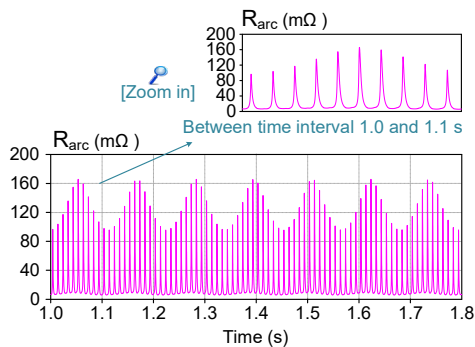


Figure 5. The variation of the arc resistance over time

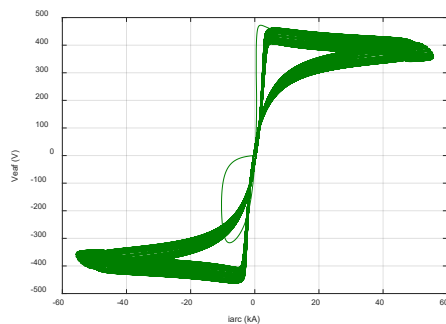


Figure 6. i-v characteristic waveform of the EAF at the secondary side (0.75 kV level) of the transformer

The current and voltage waveforms of the EAF seen from the high-voltage side of the EAF transformer and the i-v characteristic curve obtained at the primary side of the EAF transformer during balanced operation are illustrated in Figure 7 and 8 respectively.

The short-term flicker severity (P_{st}) during stable operation of the EAF is shown in Figure 9. The P_{st} has been obtained as 5.253 when the arc length is 33.7 cm and the flicker level affecting the arc length modulation is 5.

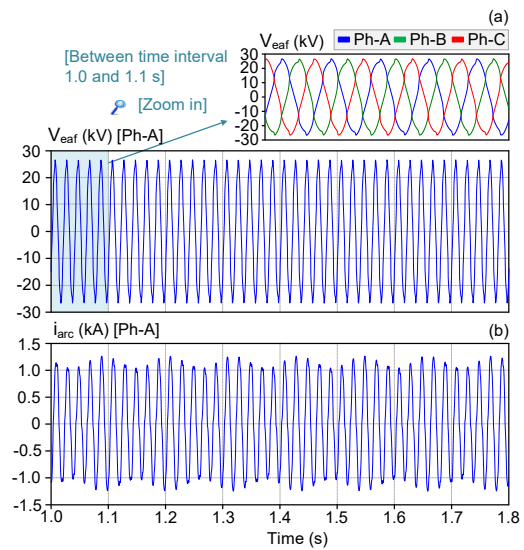


Figure 7. (a) EAF Voltage (V_{eaf}) waveform at 34.5 kV level of the EAF transformer (b) Arc Current (i_{arc}) waveform at 34.5 kV level of the EAF transformer

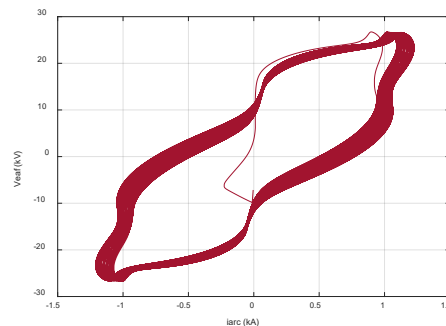


Figure 8. i-v characteristic waveform of the EAF at the primary side (34.5 kV level) of the transformer

The harmonic content of the arc current for phase A and the total harmonic distortion (THD) during stable operation of the EAF are provided in Table 3. It can be inferred that the amplitudes of the 3rd and 5th low-order harmonics are high in the arc current at the primary side of the EAF transformer, and the THD is 10.63%.

resistance, the arc voltage, and the power factor increase. Figure 11 shows that the short-term flicker severity sets from 3.145 to 6.251 during the arc length and flicker level change.

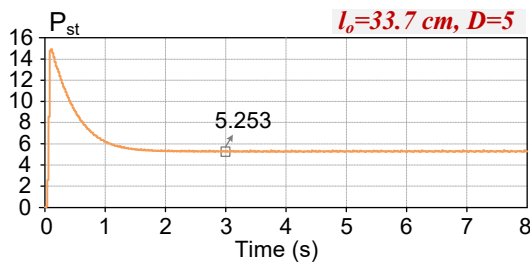


Figure 9. Short-term flicker severity during the stable operation of the EAF

Table 3. Harmonic content of the arc current (Phase-A)

Harmonic order	Percent (%)	Harmonic order	Percent (%)
Fundamental	100	17	0.104
2	2.233	18	0.367
3	4.834	19	0.309
4	1.241	20	0.365
5	8.534	21	0.228
6	0.514	22	0.389
7	2.074	23	0.302
8	0.465	24	0.393
9	0.908	25	0.273
10	0.645	26	0.387
11	0.976	27	0.416
12	0.373	28	0.490
13	0.428	29	0.508
14	0.406	30	0.626
15	0.279	31	0.667
16	0.460	THD	10.63

Figure 10 represents the simulation results for the arc length and flicker-level change. When the arc length increases from 33.7 cm to 37.5 cm and the flicker level changes from 3 to 5 at t=3 s, it is clearly seen that the arc current, the active and reactive powers of the EAF decrease while the arc

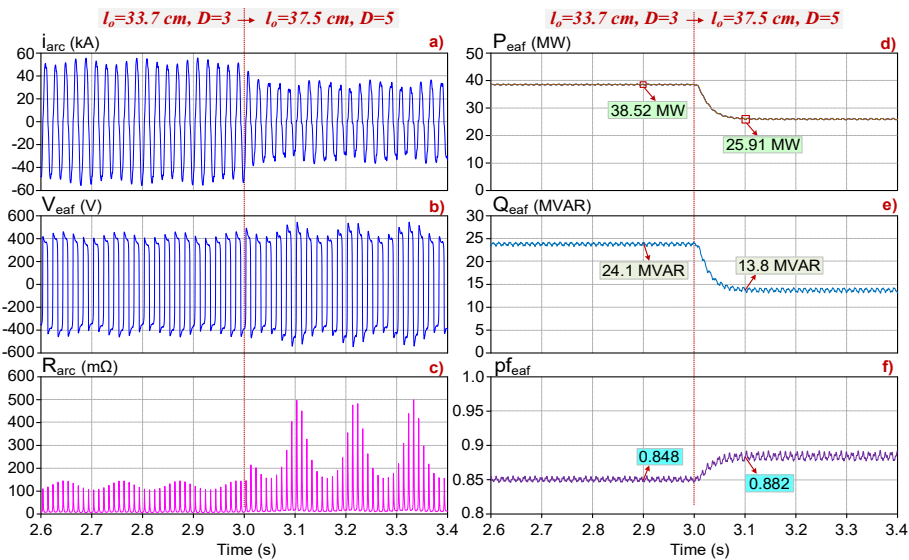


Figure 10. Simulation results during the arc length and flicker level change (a) Arc current (i_{arc}) waveform at 0.75 kV level of the EAF transformer for phase-A (b) EAF voltage (V_{eaf}) waveform at 0.75 kV level of the EAF transformer for phase-A (c) The arc resistance (R_{arc}) for phase-A (d) The active power of the EAF (e) The reactive power of the EAF (f) The power factor of the system

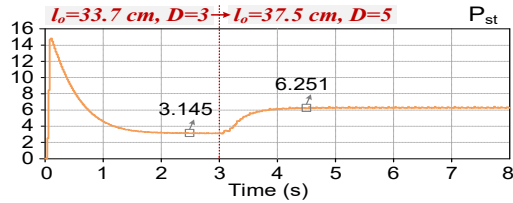


Figure 11. Short-term flicker severity during the arc length and flicker level change

5. COMPARISON WITH ACTUAL OPERATION DATA

To show the effectiveness of the dynamic model of the EAF, another model based on actual operation

data is developed in PSCAD/EMTDC, as presented in Figure 12. Field data is collected from an iron and steel factory located in Iskenderun, Turkey, with a sampling rate of 3.6 kS/s. It consists of variable resistance and inductance, which are computed using the measured values of the instantaneous line-to-neutral voltage and line current of the EAF on the MV side. Hence, the real dynamic behavior of the EAF is represented by a variable resistor and an inductor in each phase. The field data is recorded within one minute duration when the EAF is in the refining operation mode. Figure 13 shows the variation in the arc resistance and inductance for each phase over time.

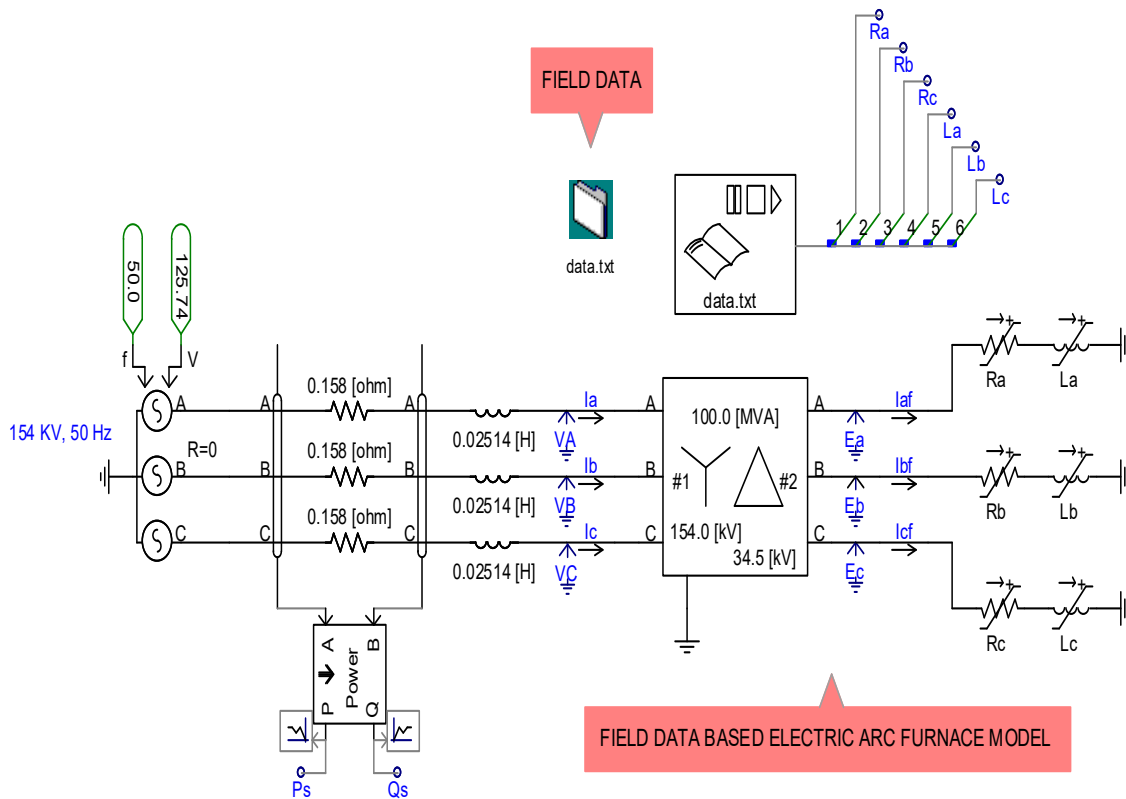


Figure 12. Simulation model of the EAF based on the field data

As in the dynamic model of the EAF, the network is designed to be 154 kV, 50 Hz and the short-circuit power is taken as 3000 MVA. The step-down transformer is modeled as having a conversion ratio

of 154/34.5 kV, a rated power of 100 MVA, and a %Uk (the transformer short-circuit impedance voltage) of 12%.

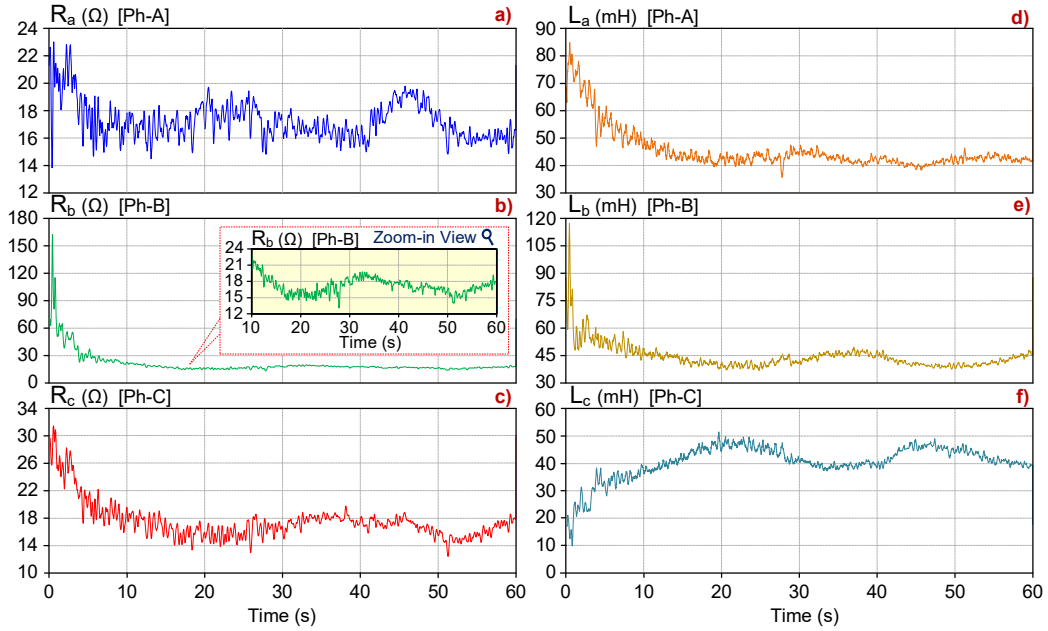


Figure 13. Arc resistance and inductance values for each phase

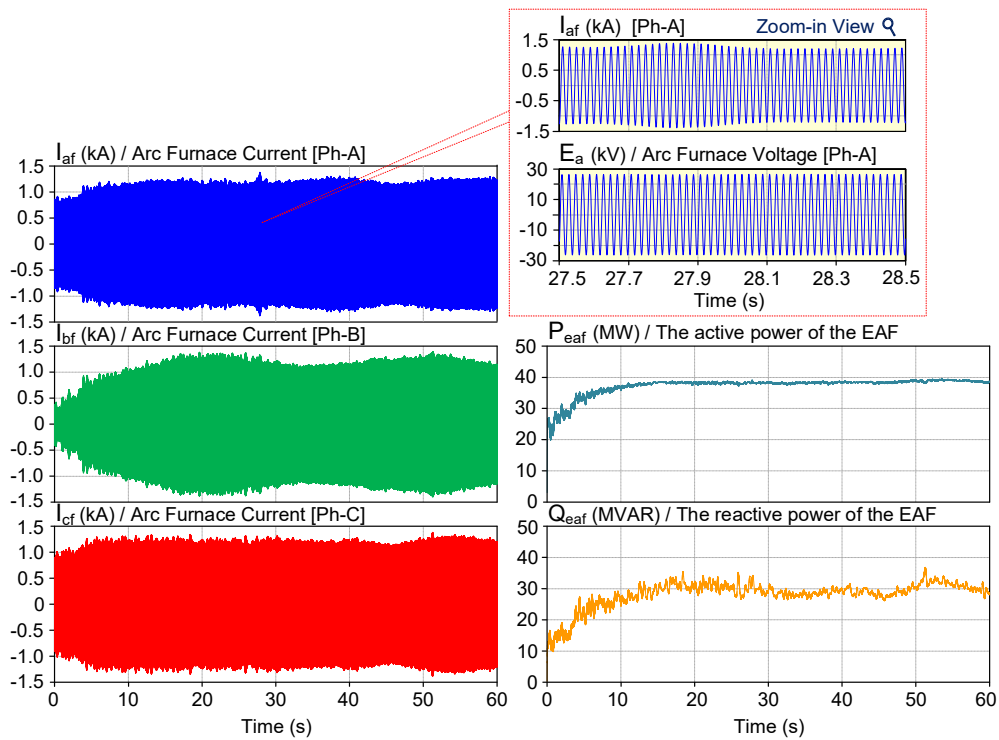


Figure 14. Current, active power and reactive power waveforms of the EAF

The three-phase currents drawn by the EAF (I_{af} , I_{bf} , and I_{cf}), active power of the EAF (P_{eaf}), and reactive power of the EAF (Q_{eaf}) are shown in Figure 14. When the current waveforms are examined, it is clear that a random flicker occurs instead of a sinusoidal flicker, unlike the dynamic arc furnace model. However, it is understood that the i-v characteristic of the EAF obtained from the model based on the field data, which is presented in Figure 15, is similar to that of the developed dynamic model.

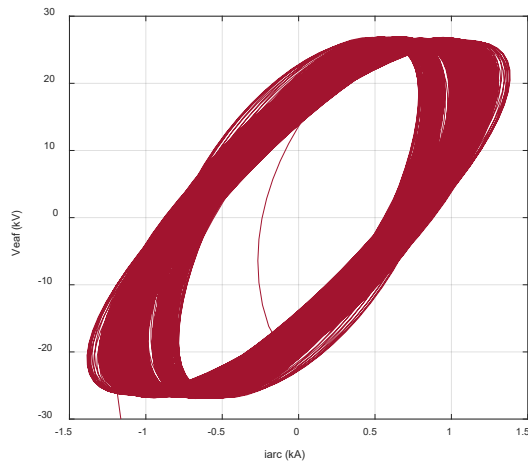


Figure 15. i-v characteristic waveform of the EAF with field data

6. CONCLUSION

An accurate and dynamic mathematical model of the EAF, whose parameters can be adjusted according to different operating conditions, is needed to analyze the voltage flicker problem and offer solution alternatives. In this study, a dynamic EAF load model in the time domain has been developed by considering the rapidly changing, unstable, and nonlinear behavior of the electrical arc over time. The EAF model has been verified through simulation studies performed in PSCAD/EMTDC environment. Moreover, the simulation results of the dynamic model of the EAF have been compared with the results obtained from the model based on the field data collected from an iron and steel factory located in Iskenderun. The current-voltage characteristic of the dynamic EAF

model clearly shows the stochastic change of the arc length. The arc caused by the EAF load at the busbar voltage was evaluated by measuring the short-term flicker intensity index using a flicker meter designed in accordance with the IEC 61000-4-15 standard. It has been shown that the developed EAF model and designed flicker meter can be used to identify and analyze voltage flicker problems. It is envisaged that the developed EAF model will constitute a preliminary step for practical applications and assist in evaluating solutions that will alleviate the effect of EAFs on power systems.

Further research will focus on modeling the ladle furnace (LF) load and analyzing different power quality problems such as harmonics, interharmonics, and current/voltage imbalances caused by EAF and LF loads in the power system. In addition, studies will be carried out on C-type harmonic filter designs and modeling of custom power devices such as Static Var Compensator or Static Synchronous Compensator to solve these problems.

7. REFERENCES

1. Alves, M.F., Peixoto, Z.M.A., Garcia, C.P., Gomes, D.G., 2010. An Integrated Model for the Study of Flicker Compensation in Electrical Networks. *Electric Power Systems Research*, 80(10), 1299-1305.
2. Balouji, E., Bäckström, K., McKelvey, T., Salor, Ö., 2020. Deep-Learning-Based Harmonics and Interharmonics Predetection Designed for Compensating Significantly Time-Varying EAF Currents. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 56(3), 3250-3260.
3. Göl, M., Salor, Ö., Alboyacı, B., Mutluer, B., Çadırcı, I., Ermis, M., 2010. A New Field-Data-Based EAF Model for Power Quality Studies. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 46(3), 1230-1242.
4. Thales, A.C.M., Virna, C.O., 2022. Survey on the Electric Arc Furnace and Ladle Furnace Electric System. *Ironmaking & Steelmaking*, 49(10), 976-994.
5. Altıntaş, E., Salor, Ö., Çadırcı, I., Ermis, M., 2010. A New Flicker Contribution Tracing

- Method Based on Individual Reactive Current Components of Multiple EAFs at PCC. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 46(5), 1746-1754.
6. Logoglu, E.U., Salor, O., Ermis, M., 2019. Real-Time Detection of Interharmonics and Harmonics of AC Electric Arc Furnaces on GPU Framework. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(6), 6613-6623.
 7. Hay, T., Visuri, V.-V., Aula, M., Echterhof, T., 2021. A Review of Mathematical Process Models for the Electric Arc Furnace Process. *Steel Research International*, 92(3), 2000395.
 8. Seker, M., Memmedov, A., Huseyinov, R. Kockanat, S., 2017. Power Quality Measurement and Analysis in Electric Arc Furnace for Turkish Electricity Transmission System. *Elektronika Ir Elektrotehnika*, 23(6), 25-33.
 9. Göl, M., 2009. A New Field-Data Based EAF Model Applied to Power Quality Studies. M.Sc. Thesis, Middle East Technical University, Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and Electronics Engineering, Ankara, 88.
 10. Mayordomo, J.G., Beites, L.F., Asensi, R. Izzeddine, M., Zabala, L., Amantegui, J., 1997. A New Frequency Domain Arc Furnace Model for Iterative Harmonic Analysis. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 12(4), 1771-1778.
 11. Beites, L.F., Mayordomo, J.G., Hernandez, A., Asensi, R., 2001. Harmonics, Inter Harmonic, Unbalances of Arc Furnaces: A New Frequency Domain Approach. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 16(4), 661-668.
 12. Hooshmand, R., Banejad, M., Esfahani, M.T., 2008. A New Time Domain Model for Electric Arc Furnace. *Journal of Electrical Engineering*, 59(4), 195-202.
 13. Wang, F., Jin, Z., Zhu, Z., Wang, X., 2005. Application of Extended Kalman Filter to the Modelling of Electric Arc Furnace for Power Quality Issues. *International Conference on Neural Networks and Brain*, Beijing, 991-996.
 14. Pak, L.-F., Dinavahi, V., 2007. Real-Time Digital Time-Varying Harmonic Modelling and Simulation Techniques. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 22(2), 1218-1227.
 15. Bellido, R.C., Gomez, T., 1997. Identification and Modelling of a Three Phase Arc Furnace for Voltage Disturbance Simulation. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 12(4), 1812-1817.
 16. Mokhtari, H., Hejri, M., 2002. A New Three Phase Time-Domain Model for Electric Arc Furnaces Using MATLAB. *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, Yokohama*, 2078-2083.
 17. Golestani, S., Samet, H., 2016. Generalised Cassie-Mayr Electric Arc Furnace Models. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 10(13), 3364-3373.
 18. Plata, E.A.C., Farfan, A.J.U., Marin, O.J.S., 2015. Electric Arc Furnace Model in Distribution Systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(5), 4313-4320.
 19. Teklic, A.T., Filipovic-Grcic, B., Pavic, I., 2017. Modelling of Three-Phase Electric Arc Furnace for Estimation of Voltage Flicker in Power Transmission Network. *Electric Power Systems Research*, 146, 218-227.
 20. Ting, W., Wennam, S. Yao, Z., 1997. A New Frequency Domain for the Harmonic Analysis of Power System with Arc Furnace. *Fourth International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, (APSCOM), Hong Kong*, 552-555.
 21. Zheng, T., Makram, E.B., 2000. An Adaptive Arc Furnace Model. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 15(3), 931-939.
 22. Esfahani, M.T., Vahidi, B., 2012. New Stochastic Model of Electric Arc Furnace Based on Hidden Markov Model: A Study of Its Effects on the Power System. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27(4), 1893-1901.
 23. Lozynskyy, A., Kozyra, J., Łukasik, Z., Kuśmińska-Fijałkowska, A., Kutsyk, A., Paranchuk, Y., Kasha, L., 2022. A Mathematical Model of Electrical Arc Furnaces for Analysis of Electrical Mode Parameters and Synthesis of Controlling Influences. *Energies*, 15(5), 1623, 1-19.

24. Lee, C., Kim, H., Lee, E.-J., Baek, S.-T., Shim, J.W., 2021. Measurement-Based Electric Arc Furnace Model Using Ellipse Formula. *IEEE Access*, 9, 155609-155621.
25. Brusa, E.G.M., Morsut, S., 2015. Design and Structural Optimization of the Electric Arc Furnace Through a Mechatronic-Integrated Modeling Activity. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 20(3), 1099-1107.
26. Chen, C-I., Chen, Y-C., 2015. A Neural-Network-Based Data-Driven Nonlinear Model on Time- and Frequency-Domain Voltage-Current Characterization for Power-Quality Study. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30(3), 1577-1584.
27. Segura, R.G., Castillo, J.V., Chavez, F.M., Gandara, O.L., Aguilar, J.O., 2017. Electric Arc Furnace Modeling with Artificial Neural Networks and Arc Length with Variable Voltage Gradient. *Energies*, 10, 1424, 1-11.
28. Chang, G.W., Shih, M-F., Chen, Y-Y., Liang, Y-J., 2014. A Hybrid Wavelet Transform and Neural Network-Based Approach for Modelling Dynamic Voltage-Current Characteristics of Electric Arc Furnace. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 29(2), 815-824.
29. Klimas, M., Grabowski, D., 2023. Application of Long Short-Term Memory Neural Networks for Electric Arc Furnace Modeling. *Applied Soft Computing*, 145, 110574.
30. Babaei, Z., Samet, H., Jalil, M., 2023. An Innovative Approach Considering Active Power and Harmonics for Modeling the Electric Arc Furnace Along With Analyzing Time-Varying Coefficients Based on ARMA Models. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 153, 109377.
31. Illahi, F., El-Amin, I., Mukhtiar, M.U., 2018. The Application of Multiobjective Optimization Technique to the Estimation of Electric Arc Furnace Parameters. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 33(4), 1727-1734.
32. Saboohi, Y., Fathi, A., Skrjanc, I., Logar, V., 2019. Optimization of the Electric Arc Furnace Process. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66(10), 8030-8039.
33. Nooshabadi, A.M.E., Sadeghi, S., Hashemi-Dezaki, H., 2022. Optimal Electric Arc Furnace Model's Characteristics Using Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization and Comparison of Various Optimal Characteristics in DIGSILENT and EMTP-RV. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 9952315, 1-20.
34. Cassie, A.M., 1939. A New Theory of Rupture and Circuit Severity. *CIGRÉ Technical Report 102*, Paris, 14.
35. Larsson, T., 1998. Voltage Source Converters for Mitigation of Flicker Caused by Arc Furnaces. Ph.D. Thesis, KTH, Superseded Departments, Electric Power Systems, 203.
36. IEC Standard 61000-4-15:2010. Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and Measurement Techniques - Flickermeter - Functional and Design Specifications, 83.
37. Hooshyar, A., El-Saadany, E.F., 2013. Development of a Flickermeter to Measure Non-Incandescent Lamps Flicker. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 28(4), 2103-2115.
38. Wiczynski, G., 2012. Inaccuracy of Short-Term Light Flicker Pst Indicator Measuring with a Flickermeter. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27(2), 842-848.
39. Bertola, A., Lazaroiu, G.C., Roscia, M., Zaninelli, D., 2004. A Matlab-Simulink Flickermeter Model for Power Quality Studies. 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power, IEEE, Lake Placid, NY, USA, 734-738.
40. Onal, Y., Gerek, O.N., Ece, D.G., 2016. Empirical Mode Decomposition Application for Short-Term Flicker Severity. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24, 499-509.
41. Kołek, K., Firlit, A., Piątek, K., Chmielowiec, K., 2021. Analysis of the Practical Implementation of Flicker Measurement Coprocessor for AMI Meters. *Energies*, 14, 1589.

Music Genre Recognition Based on Hybrid Feature Vector with Machine Learning Methods

Serhat HIZLISOY*¹ ORCID 0000-0001-8440-5539

Recep Sinan ARSLAN¹ ORCID 0000-0002-3028-0416

Emel ÇOLAKOĞLU² ORCID 0000-0003-1755-3130

¹Kayseri University, Faculty of Engineering, Architecture and Design, Department of Computer Engineering, Kayseri, Türkiye

²Kayseri University, Calculated Sciences and Engineering, Kayseri, Türkiye

Geliş tarihi: 16.08.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: HIZLISOY, S., ARSLAN, R.S., ÇOLAKOĞLU, E., (2023). Music Genre Recognition Based on Hybrid Feature Vector with Machine Learning Methods. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(3), 739-750.

Abstract

Music genre recognition is one of the main problems in infotainment tools and music streaming service providers for different tasks such as music selection, classification, recommendation, and personal list creation. Automatic genre recognition systems can be useful for different music-based systems, especially different music platforms. Therefore, this study aimed to classify music genres using machine learning. In this context, GTZAN dataset consisting of 10 classes was used. In this dataset, data augmentation was applied by segmentation. Each record of 30 seconds was divided into 10 parts, increasing the number of samples in the dataset by a factor of 10. Then, features were extracted from the audio signals. The resulting features are chroma, harmony, mel frequency cepstral coefficients, percept, root mean square, roll-off, spectral centroid, tempo, and zero crossing rate. The types, variances, and averages of the obtained features were used. Thus, 57 features were obtained. This feature set was pre-processed by delimiting the decimal part, standardization, and label encoding. In the last step, classification was made with different machine learning methods and the results were compared. As a result of hyperparameter optimization in the Extra Tree model, 92.3% performance was achieved. Precision recall and f-score values are 92.4%, 92.3%, and 92.3%, respectively. As a result, an efficient and high-performance model in music genre recognition was created.

Keywords: Machine learning, Music genre recognition, Extra tree classifier, Segmentation

Makine Öğrenimi Yöntemleriyle Hibrit Özellik Vektörüne Dayalı Müzik Türü Tanıma

Öz

Müzik türü tanıma, müzik seçimi, sınıflandırma, öneri ve kişisel liste oluşturma gibi farklı görevler için bilgi-eğlence araçlarında ve müzik akışı servis sağlayıcılarında ana sorunlardan biridir. Otomatik tür tanıma sistemleri, farklı müzik tabanlı sistemler, özellikle farklı müzik platformları için yararlı olabilir. Bu sebeple,

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Serhat HIZLISOY, serhathizlisoy@kayseri.edu.tr

bu çalışmada makine öğrenmesi kullanılarak müzik türlerinin sınıflandırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda 10 sınıftan oluşan GTZAN veri seti kullanılmıştır. Bu veri setinde, segmentasyon ile veri büyütme uygulanmıştır. 30 saniyelik her kayıt 10 parçaya bölünerek veri kümesindeki örnek sayısı 10 kat artırılmıştır. Daha sonra da ses sinyallerinden öznitelikler çıkarılmıştır. Ortaya çıkan öznitelikler, renk, uyum, mel frekansı kepsral katsayıları, algılayıcı, kök kare ortalama, yuvarlama, spektral merkez, tempo ve sıfır geçiş oranıdır. Elde edilen özniteliklerin türleri, varyansları ve ortalamaları kullanılmıştır. Böylece 57 öznitelik elde edilmiştir. Bu öznitelik seti, ondalık bölümün sınırlandırılması, standardizasyon ve etiket kodlaması ile önceden işlenmiştir. Son adımda ise farklı makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırma yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Extra Tree modelinde hiperparametre optimizasyonu sonucunda %92,3 performans elde edilmiştir. Kesinlik, hatırlama ve f-skoru değerleri sırasıyla %92,4, %92,3 ve %92,3'tür. Sonuçta, müzik türü tanımda verimli ve yüksek başarıma sahip bir model ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Makine öğrenmesi, Müzik tür tanıma, Ekstra ağaç sınıflandırma, Bölünme

1. INTRODUCTION

Another way that people use to convey their feelings, feelings, or thoughts to the other party other than speech is music. Studies on music have been attracting a lot of attention recently.

There are various types of music that allow different people to have different musical preferences. The concept called music genre is actually the definition of a piece of music. It can be edited based on historical and cultural roots and also indirectly evokes the types of techniques and instruments used in the piece [1]. Each culture has its own melodies, unique sayings, and many works that have survived from the past to the present day using its own instruments.

With people being able to listen to all kinds of music and have easy access to them, the authors have started to be more influenced by different cultures. These works, which were produced from different cultures over time, resembled each other and formed certain musical genres. These types of music differ from each other in terms of rhythm, timbre, tempo, and melody.

In classification studies about music, it is seen that classification studies are carried out in breakdowns such as music genre, artist, user tags, and mood [2]. The structure of such works is based on melodic content.

People can group the type of music with their senses and feelings [3]. However, species classification with computer systems is a more complex process than with humans. In order to manage this complex process and to use computer systems in the field of music, a branch of science called Music Information Retrieval (MIR) has emerged. Music genre recognition (MGR) is one of the most important MIR field of study such as emotion recognition from music [4,5].

Especially nowadays, digital platforms want to serve their users better by offering similar recommendations to the genre of songs they like. For this purpose, they use machine learning and deep learning methods to increase the success of music genre recognition.

With the increasing number of digital systems and the data they produce, the data size is growing exponentially in many areas. This situation makes it difficult to work in many areas such as organizing, cleaning, and classifying content in different data types [6]. Based on this, a lot of work is being done to automate some of these processes. The increasing number of music makes such classification problems more difficult. Since it is not possible to manually classify and tag millions of music manually, this problem is tried to be solved by making users tag online.

Musical works can also be divided into different subgroups and it is processually appropriate to classify them with automated systems [7]. In this case, a precise and efficient MGR system is required to better retrieve music content.

Basically, an MGR system consists of two main parts: [7] The process of extraction of features and classification. As with many other classification problems, the features used in the classification of musical genres have a direct impact on the performance of the study. As for the classifier, there are studies using both machine learning and deep learning algorithms. The biggest advantage of deep learning is that it is possible to proceed through a single model without considering the feature extraction and classification processes separately.

When previous studies were reviewed, Gwardys and Grzywczak [8] achieved 78% accuracy on the GTZAN dataset for music genre recognition using Convolutional Neural Network (CNN) with Support Vector Machine (SVM).

On the other hand, Durdag and Erdogmus [9] transformed music into images in their study and tried to make recognition by establishing a relationship between the colors in the image and the music. They achieved recognition of 60% in the data set consisting of 5 different types of Turkish music and 54% in the GTZAN data set containing 10 different genres of music.

Arslan [10] made music genre recognition on the GTZAN dataset. Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) are used as the feature and Random Forest, Extra Tree, and Extreme Gradient Boosting (XGBoost) algorithms are used as a classifier. The highest accuracy rate was 90.5% with the XGBoost algorithm.

Le Thuy et. al. [11] achieved a 98.97% recognition rate by augmenting data on the Small Free Music Archive (FMA) dataset in their study and using mel spectrogram features as input to the DenseNet121 model.

Sharma et. al. [12], using the GTZAN dataset, studied both 4 music genres and 10 music genres. According to the method they proposed, they made 72.7% and 95.8% recognition for 10 classes with Ensemble Bagged Tree and Wide Neural Network, respectively.

Ashraf et. al. [13] used 4 different hybrid models including CNN and Recurrent Neural Network (RNN) varieties on the GTZAN dataset for music genre recognition in their study. They chose Mel-spectrogram and MFCCs as features. For MFCC, the hybrid model using CNN and LSTM achieved the highest accuracy with 76.40%, while the model using CNN and Bi-directional gated recurrent unit neural network (Bi-GRU) for the mel-spectrogram achieved the highest accuracy with 89.30%.

Yin [14] preferred GTZAN, FMA, and JUNO datasets. In his proposed method, the images were entered into CNN as mel spectrograms obtained over music signals and the classification process was completed with fully connected layers. With the use proposed MR-DCNN model, 63%, 78% and 89.7% recognition was achieved for the FMA, JUNO and GTZAN datasets, respectively.

Zhang [15], compared CNN and RNN with machine learning methods such as decision trees, random forest, achieved the most successful recognition rate with 78% using RNN.

Prabhakar et. al. [16] used GTZAN, ISMIR 2004, and MagnaTagATune as datasets. In this study, 5 different models were examined. Both machine learning algorithms and deep learning algorithms were analyzed. On the machine learning side, voice properties including LLDs, HSFs, pitch, and NMF properties were used, while on the deep learning side, spectrogram was used as a feature. Among these 5 analyses, the best result is the BAG model, which consists of a combination of Bi-LSTM (Bidirectional Long Short-Term Memory), Attention and GCN (Graphical Convolution Network). The highest success rate 93.51%, was achieved with the BAG model in the GTZAN dataset.

Jakubec et. al. [17] used GTZAN as the dataset in their study. They aimed to recognize an automatic type of music for in-car infotainment. Gaussian Mixture Model (GMM), SVM and K-Nearest Neighbour (k-NN) were used as classifiers. The features are MFCC, zero crossing rate (ZCR), spectral centroid, spectral flux, spectral roll-off, and chroma. The highest accuracy rate 69.7%, was obtained with the k-NN classifier.

Hongdan et. al. [18] used the MSD-I, GTZAN and ISMIR 2004 datasets in their study. SVM, k-NN and VGG-16 Net classifiers were studied. Feature vectors were created using BiLSTM. With the VGG-16 Net classifier, the highest accuracy was achieved in the GTZAN dataset with 97.8%.

In Singh et. al [19] studies, chromagram, MFCC, spectral contrast, swaragram, tonnetz, STFT (Short Time Fourier Transform), CQT (Constant-Q Transform), mel-spectrogram and harmonically separated mel-spectrogram were used as features. It was analyzed with 8 different deep learning models. Carnatic, GTZAN, Hindustani, and Homburg are the datasets used. The highest recognition rate of the M8 model was achieved with 98.28% in the GTZAN dataset and 98.62% in the Hindustani dataset. (feature mel-spectrogram).

The rest of the article is organized as follows: the proposed methodology and materials used are mentioned in the Section 2. The results obtained with the proposed model are given in Section 3. Section 4 presents discussions. In the last section, a general evaluation of the study is made, and suggestions for future studies are given.

2. MATERIAL AND METHOD

In this study, a method for automatic classification of music genres is proposed and tested. The architectural structure of the study is shown in Figure 1.

The first step of the model proposed in this study is the selection of the dataset. GTZAN dataset, which is one of the most widely used benchmark datasets for music classification, was selected and used for this study.

The GTZAN dataset consists of 1000 recordings of 10 classes. Each class covers 100 audio files, each with a 30-second audio clip in 22,050 Hz – 16-bit, .wav format, covering different genres of music: Blues, Classical, Country, Disco, Hip-hop, Jazz, Metal, Reggae, Rock, and Pop. This value can cause excessive learning, poor model performance, generalization failure, accuracy, and reliability problems in the analysis. The number of class-based samples should be increased to prevent this situation. To do this, each 30-second recording is divided into 10 parts. Thus, the data set was increased by 10 times. As a result, a dataset containing 1000 samples for each class was obtained.

Later in the process, features were extracted from the audio signals. The resulting features are chroma, harmony, MFCC, perceptr, root mean square (RMS), rolloff, spectral centroid, tempo, and zero crossing rate.

The types, variances, and averages of the obtained features were used. Using the GTZAN dataset, a compact set of 57 features has been identified that experimentally have proven to be efficient for classifying songs by different music genres. This set includes handcrafted song signal features, first and second-order feature derivatives, and lower and higher order feature statistics.

This feature set was pre-processed by delimiting the decimal part, standardization, and label encoding. Decimal parts increase up to 10 digits after feature extraction. This situation prevents both data processing and learning stages from being efficient. For this reason, decimal parts have been adjusted to a maximum of 2 digits in the pre-processing stage. Thus, while the classification performance is not affected, the amount of data processed is seriously

reduced. During the data standardization phase, the data were scaled to fit the normal distribution (mean 0 and standard deviation 1). Then, data were into training and testing data in a 90%-10%.

architecture. It is not possible to directly decide what the most appropriate model is. For this reason, the tuning process was used for hyper-parameter selection in the learning phase.

In this study, machine learning models were used as classifiers. During the creation of a model, different choices can be made in the design of the

As the last step, classification was made with different machine learning algorithms, and the obtained values were compared.

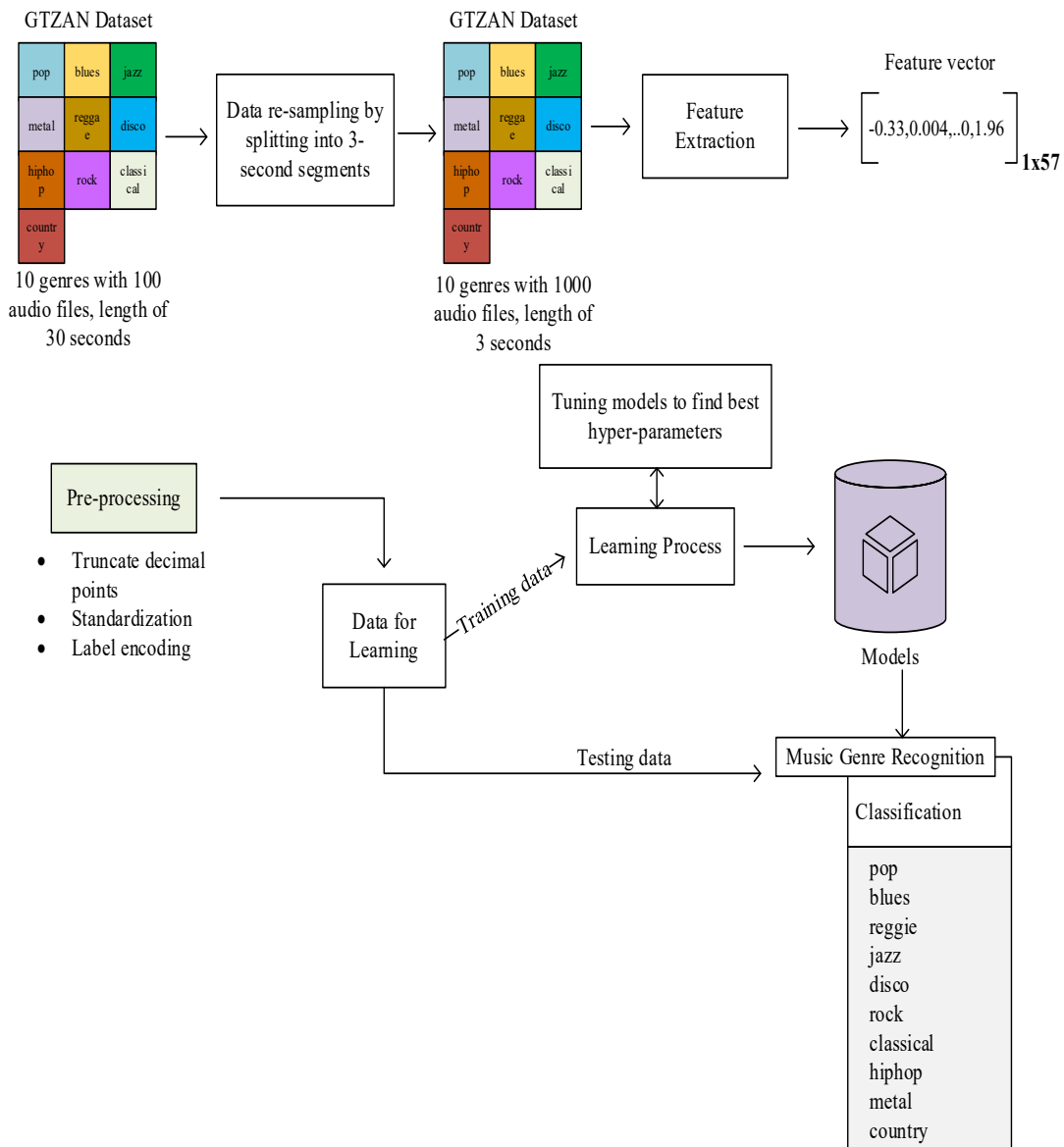


Figure 1. Architectural structure

In Table 1, the feature extraction method and the number of features obtained for each audio are given.

Table 1. Features used in this study

Feature names	Types	Count
Chroma Stft	chroma_stft_mean,chroma_stft_var	2
Harmony	harmony_mean,harmony_var	2
MFCC	mfcc1_mean,mfcc1_var,mfcc10_mean,mfcc10_var,mfcc11_mean,mfcc11_var,mfcc12_mean,mfcc12_var,mfcc13_mean,mfcc13_var,mfcc14_mean,mfcc14_var,mfcc15_mean,mfcc15_var,mfcc16_mean,mfcc16_var,mfcc17_mean,mfcc17_var,mfcc18_mean,mfcc18_var,mfcc19_mean,mfcc19_var,mfcc2_mean,mfcc2_var,mfcc20_mean,mfcc20_var,mfcc3_mean,mfcc3_var,mfcc4_mean,mfcc4_var,mfcc5_mean,mfcc5_var,mfcc6_mean,mfcc6_var,mfcc7_mean,mfcc7_var,mfcc8_mean,mfcc8_var,mfcc9_mean,mfcc9_var	40
Zero Crossing Rate	zero_crossing_rate_mean,zero_crossing_rate_var	2
Perceptron	perceptr_mean,perceptr_var	2
RMS	rms_mean,rms_var	2
Roll-off	rolloff_mean,rolloff_var	2
Spectral Bandwidth	spectral_bandwidth_mean,spectral_bandwidth_var	2
Spectral Centroid	spectral_centroid_mean,spectral_centroid_var	2
Tempo	tempo	1

2.1. Pre-Processing

The limitation of decimal parts, standardization, and label encoding have been applied to the features. Limiting the decimal part means cutting or shortening the decimal part. That is, it refers to converting the decimal part of a number to a less precise value by cutting or rounding it to a certain number of digits.

The standardization process [20] involves transforming each feature so that it averages to 0 and its standard deviation to 1. In this way, the features have the same scales, and it is ensured that the features of different scales contribute to the models in a balanced way.

Label encoding [21] is used to convert categorical data into numeric values. This method allows machine learning models to process categorical data better. But it is suitable for sequential categorical data. If there is no ranking or rating between categories, this method should not be used. In such cases, other conversion techniques such as One-Hot Encoding may be preferable.

2.2. Hyper-parameter Tuning

In this study, ExtraTree, which has the highest performance, was used as a classifier. Hyper-parameter optimization was performed for the selected classifier, and the results shown in Figure 2 a,b,c, and d graphs were obtained.

The 'Min_samples_leaf' [22] extra tree is a hyperparameter used in machine learning models like decision trees. This value determines the minimum number of instances under a node. If the number of samples under a node falls below this value, then this node is considered a leaf node (does not make branches), and no further divisions are made in this node. According to Figure 2-a chart, the highest accuracy value is reached when we take min_samples_leaf i 1. Therefore, this value was taken as 1 in the model and classified.

The Figure 2-b chart examines the effects of min_samples_split values on model accuracy values. "Min_samples_split" [22]. like the previous hyperparameter is also a parameter used in machine

learning models such as the extra tree, decision trees, etc. This hyperparameter determines how many minimum samples must be under decision

trees before it can split a node. If the number of samples under a node falls below this value, that node is not divided and is considered a leaf node.

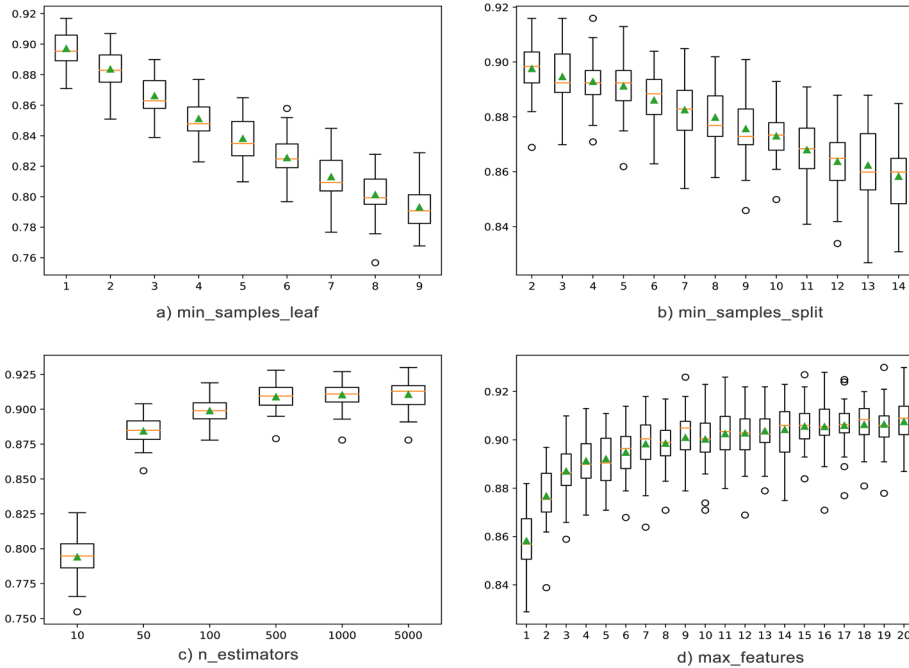


Figure 2. Hyper-parameter tuning

When the chart Figure 2-b was examined, the highest accuracy value was reached when this parameter value was 2. Therefore, this parameter was determined as 2 in the model. In the Figure 2-c chart, the total number of trees to be included in the model is compared with the model accuracy value. n_estimators' Extra Tree is a hyperparameter used in the Random Forest or Gradient Boosting algorithms. This hyperparameter specifies the total number of trees to include in the model. According to the Figure 2-c chart, the highest success rate was obtained with 5000 trees. Therefore, this parameter was given a value of 5000 in the model. The Figure 2-d chart compares the effects of max_features values on model accuracy. Max_features refers to the number of characteristics to consider when looking for the best distinction. When the chart was examined, it was seen that the value selected as 20 offered the highest contribution to the model accuracy.

2.3. Feature Analysis

The importance of 57 Features used in the study was compared in Figure 3.

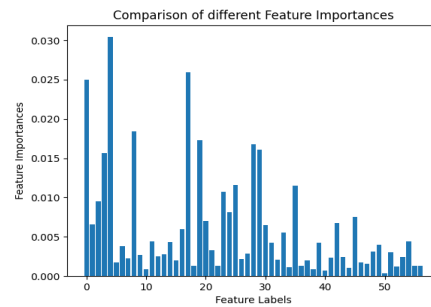


Figure 3. Features in the scope of operation

The impact of the features used when creating a machine learning model on process success varies. This effect determines the degree to which features

are cared for by the model. According to the graph in Figure 3, the features in the order 0,4,8,18,20,29,30 (chroma_std_mean, spectral centroid mean, roll-off mean, mfcc1_var, mfcc2_var, mfcc7_mean, mfcc7_var) are more effective in the success of the model. It can also be noted as a general comment that features after feature 30 have lower effects on model success.

2.4. Classifier Selection

Within the scope of this study, machine learning algorithms were preferred as classifiers and

accuracy values were compared. The algorithms used are Extra Tree, XGB, Random Forest, Logistic Regression, Decision Trees, Linear Discriminant Analysis, SVM, and k-NN.

3. RESULTS

In this study, music genre recognition was performed by using machine learning algorithms with the features extracted after data augmentation by segmentation in the GTZAN dataset. All obtained results are listed in Table 2.

Table 2. Comparison of all results

Algorithm	Accuracy	Precision	Re-call	F1-Measure
SVM	88%	88.1%	88%	88%
Logistic Regression	73.7%	73.6%	73.7%	73.5%
K Nearest Neighbor	90.3%	90.5%	90.3%	90.3%
Decision Trees	66.1%	65.9%	66.1%	65.9%
Extra Tree	92.3%	92.4%	92.3%	92.3%
LDA	70.3%	70.8%	70.3%	70.2%
XGB	89.2%	89.2%	89.2%	89.2%
Random Forest	89.5%	89.6%	89.5%	89.4%

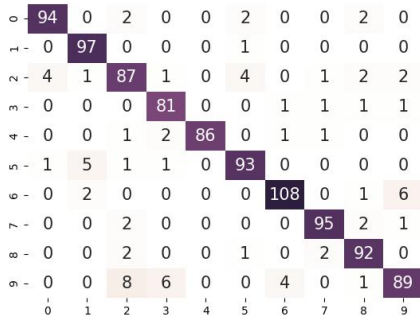


Figure 4. Extra tree confusion matrix

When we examine the results in Table 2, the highest accuracy value was obtained in the Extra Tree classifier and was 92.3%. In addition, SVM, k-NN, XGB and Random Forest classifiers achieved accuracy rates of 88% and above.

The confusion matrices for the Extra Tree, from which the highest accuracy value was obtained, are shown in Figure 4 and Figure 5.

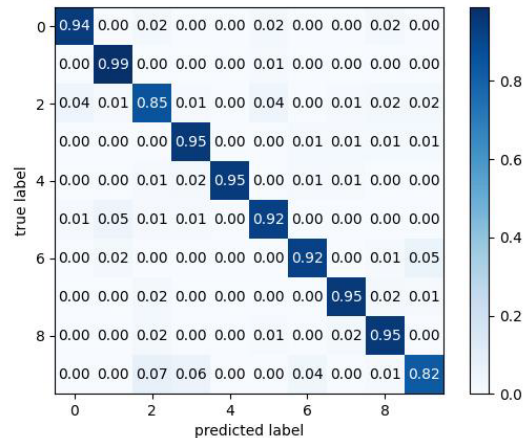


Figure 5. Extra tree confusion matrix percentage

The textual equivalents of the class labels used in Figure 4 and Figure 5 are: 0-Blues, 1-Classical, 2-Country, 3-Disco, 4-Hiphop, 5-Jazz, 6-Metal, 7-Pop, 8-Reggae, 9-Rock. Here, the class with the highest accuracy value is "Classical", and the lowest accuracy value is "Rock".



Figure 6. ROC curve

In the ROC curve, the y-axis is the positive ratio of True (TPR). It is also called sensitivity. Sensitivity (TPR) indicates the classification model's ability to accurately predict the positive class. A high TPR means that you are effectively predicting the positive class. If the False Positive Rate is FPR, the ratio of false positives (samples of negative class, that are mistakenly predicted as positive) to the total samples of negative classes. FPR indicates the rate at which the negative class is mistakenly predicted as positive. A low FPR indicates that the model correctly predicted the negative class, minimizing false positive predictions.

In an ideal situation, the TPR should be high (more true positive predictions), and the FPR should be low (fewer false positive predictions) so that the ROC curve converges to the upper left corner. In Figure 6, the ideal situation is realized. When the AUC values produced by the model for each class are examined, it is seen that it shows high performance for other species except the Rock

genre. For some classes, this value reached 1.00. This means that the proposed model has high performance regardless of class.

4. DISCUSSIONS

With the model developed within the scope of this study, the highest accuracy value was obtained with the Extra Tree classifier as a result of the classification made with the features extracted after the data augmentation process through segmentation in the GTZAN dataset. (%92.3). In addition, when examined on a class basis, the class with the highest accuracy value is "Classical" (99%) and the class with the lowest accuracy value is "Rock" (82%).

One of the developers of this study (Arslan, 2021) conducted the study of music genre recognition with machine learning algorithms using the GTZAN data set. His 2021 study used MFCC features and the Random Forest, Extra Tree, and XGBoost algorithms. The best result was obtained with the XGBoost algorithm. (%90.5) The difference of this study from the previous study is that the data augmentation process was performed through segmentation through the GTZAN dataset, 57 feature vectors were included in the process except MFCC, and 3 different pre-processing steps were performed on the data set. As a result, the accuracy rate reached 92.3%.

Table 3 is the resulting table obtained when we compare our study with similar studies conducted recently. When we examine the table, it is seen that the studies with a higher recognition rate than this study are based on deep learning. However, the results in all deep learning models are not more successful than the developed model. Within the scope of the studies examined, one of the best results was obtained with machine learning algorithms.

Table 3. Previous studies

Study	Dataset	Features	Classifier	Accuracy rate (%)
Gwardys and Grzywczak (2014) [8]	GTZAN	Deep Image Features	SVM, CNN	78
Durdağ and Erdoğan (2019) [9]	5-Class Dataset GTZAN	Transformed Images	DCNN	60(5 Class) 54 (GTZAN)
Le Thuy et. al. (2022) [11]	FMA	Mel Spectrogram	DenseNet121	98.97
Sharma et. al.(2023) [12]	GTZAN	Q-Wavelet Transform, Teager Energy Operator Timbral, Chroma, and Source Separation Based Features	Ensemble Bagged Tree, Wide Neural Network	72.7(10 class) 95.8(4 class)
Ashraf et. al. (2023) [13]	GTZAN	MFCC, Mel Spectrogram,	CNN, RNN	76.40(MFCC) 89.30(Mel)
Yin (2023) [14]	GTZANFMA JUNO	Mel Spectrogram	CNN	63(FMA) 78(JUNO) 89.7(GTZAN)
Zhang (2023) [15]	GTZAN	DWCH	CNN, RNN, Machine Learning Algorithms	78(RNN)
Yilmaz et. al. (2022)[23]	GTZAN	Harmony, MFCC, Roll-Off, Chroma, Spectral Centroid, Perceptual, Zero Crossing Rate	K-NN, Gaussian Naive Bayes , SVM, Random Forest, Ada Boost ,Gradient Boosting , Logistic Regression,XGBoost	91,7
Liu et. al. (2023) [24]	GTZAN	STFT Spectrogram, Mel Spectrogram, CQT Spectrogram	LGNet (Locally Activated Gated Network), Naive Bayes, SVM, LSTM, ResNet, Bi-LSTM, FCN, FCN-LSTM	82.43
Arslan (2021) [10]	GTZAN	MFCC	Random Forest, Extra Tree, XGBoost	90.5
Proposed Method	GTZAN	Chroma, Harmony, MFCC, Perceptual, RMS, Roll-Off, Spectral Centroid, Tempo, Zero Crossing Rate	SVM, Logistic Regression, K-NN, Decision Trees, Extra Tree, LDA, XGB, Random Forest	92.3

5. CONCLUSION

Over the years, different methodologies have been proposed and tested for music genre recognition. While some of these are based on visuals, others are classified as sound-based. The approach of extracting sound-based features, combining them in a hybrid feature vector and classification with machine learning methods for music genre recognition has been adopted in this study.

In the data set used, each 30-second record was divided into 10 parts by segmentation, increasing the number of samples 10 times, and this process increased the performance of the recognition rate.

The model achieved an average classification performance of 92.3% with the Extra Tree classifier after hyperparameter optimization. Obtained results are given comparatively for different classifiers. The advantage of the model is its high performance with an uncomplicated structure.

In future studies, we plan to modify the number and types of features and analyze the results using deep learning algorithms. In addition, the success of the proposed model in different datasets and different problems will be examined

6. REFERENCES

1. Farajzadeh, N., Sadeghzadeh, N., Hashemzadeh, M., 2023. PMG-Net: Persian Music Genre Classification Using Deep Neural Networks. *Entertainment Computing*, 100518.
2. Çoban, Ö., Özyer, G.T., 2016. Music Genre Classification from Turkish Lyrics. In 2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), 101-104, IEEE.
3. Karatana, A., Yıldız, O., 2017. Music Genre Classification with Machine Learning Techniques. 2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Antalya.
4. Hizlisoy, S., Tufekci, Z., 2021. Derin Öğrenme ile Türkçe Müziklerden Müzik Türü Sınıflandırması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 176-183.
5. Hizlisoy, S., Yildirim, S., Tufekci, Z., 2021. Music Emotion Recognition Using Convolutional Long Short Term Memory Deep Neural Networks. *Engineering Science and Technology, An International Journal*, 24(3), 760-767.
6. Salazar, A.E.C., 2022. Hierarchical Mining with Complex Networks for Music Genre Classification. *Digital Signal Processing*, 103559.
7. Yu, Y., Luo, S., Liu, S., Qiao, H., Liu, Y., Feng, L., 2020. Deep Attention Based Music Genre Classification. *Neurocomputing*, 84-91.
8. Gwardys, G., Grzywczak, D., 2014. Deep Image Features in Music Information Retrieval. *Intl Journal of Electronics and Telecommunications*, 60(4), 321-326.
9. Durdağ, Z., Erdoğan, P., 2019. A New Genre Classification with the Colors of Music. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 2(1), 53-60.
10. Arslan, R.S., 2021. Automatic Music Genre Recognition Model Based on Machine Learning. *Art and Design-2021*, 21-22 June. Niğde: Omer Halisdemir University.
11. Le Thuy, D., Loan, T., Thanh, C., Cuong, N., 2022. Music Genre Classification Using Densenet and Data Augmentation. *Computer Systems Science and Engineering*, 47(1), 657-674.
12. Sharma, D., Taran, S., Pandey, A., 2023. A Fusion Way of Feature Extraction for Automatic Categorization of Music Genres. *Multimedia Tools and Applications* (82), 25015-25038.
13. Ashraf, M., Abid, F., Din, I., Rasheed, J., Yesiltepe, M., Yeo, S., Ersoy, M., 2023. A Hybrid Cnn and Rnn Variant Model for Music Classification. *Applied Sciences* 13(3), 1476.
14. Yin, T., 2023. Music Track Recommendation Using Deep-CNN and Mel Spectrograms. *Mobile Networks and Applications*, 1-8.
15. Zhang, X., 2023. Music Genre Classification by Machine Learning Algorithms. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 38, 215-219.
16. Prabhakar, S.K., Lee, S.W., 2023. Holistic Approaches to Music Genre Classification using Efficient Transfer and Deep Learning Techniques. *Expert Systems with Applications*, 211, 118636.
17. Jakubec, M., Chmulik, M., 2019. Automatic Music Genre Recognition for In-Car Infotainment. *Transportation Research Procedia*, 1364-1371.
18. Hongdan, W., SalmiJamali, S., Zhengping, C., Qiaojuan, S., Ren, Le., 2022. An Intelligent Music Genre Analysis Using Feature Extraction and Classification using Deep Learning Techniques. *Computers and Electrical Engineering*, 100, 107978.
19. Singh, Y., Biswas, A., 2022. Robustness of Musical Features on Deep Learning Models for Music Genre Classification. *Expert Systems with Applications*, 199, 116879.
20. Çiftler, A.F., 2019. Veri Bilimi Notları 4 – Özellik Ölçeklendirme / Normalizasyon / Standartlaştırma. <https://tr.linkedin.com/pulse/veri-bilimi-notlar%C4%B1-4-%C3%B6zellik-%C3%B6l%C3%A7lendirme-abdullah-faruk-%C3%A7i%CC%87ftler>. Access date: August 2023.

21. Tilki, M., 2020. Label Encoder ve Onehotencoder Karşılaştırması. medium: <https://medium.com/operations-management-T%C3%Bcrkiye/label-encoder-veonehotencoderkar%C5%9f%C4%B1la%C5%9f%C4%B1rmas%C4%B1-C0983e884fc5>, Access date: August 2023.
22. Scikit Learn, 2023. Sklearn. Ensemble. Extratreesclassifier. Sklearn: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.extratreesclassifier.html>, Access date: July 2023.
23. Yılmaz, P., Akçakaya, Ş., Özkaya, Ş.D., Çetin, A., 2022. Machine Learning Based Music Genre Classification and Recommendation System. El-Cezeri, 9(4), 1560-1571.
24. Liu, Z., Bian, T., Yang, M., 2023. Locally Activated Gated Neural Network for Automatic Music Genre Classification. Applied Sciences, 13(8), 5010.

Measuring Customer Purchasing Behavior based on Apriori Algorithm for Creating an Efficient Marketing Strategy

Murat AKCIL¹ ORCID 0000-0003-4963-1826

Serap AKCAN^{*2} ORCID 0000-0003-2621-9142

¹Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Isparta, Türkiye

²Tarsus University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Mersin, Türkiye

Geliş tarihi: 25.07.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: AKCIL, M., AKCAN, S., (2023). Measuring Customer Purchasing Behavior based on Apriori Algorithm for Creating an Efficient Marketing Strategy. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(3), 751-764.

Abstract

Due to technological developments and competitive conditions, it is becoming more and more important to gain customers and keep them. Association rules are one of the methods used effectively to determine which products and services are more important and preferred by customers together. The aim of this study is to determine the types of patterns purchased by a company operating in the forest products sector, using the data of decor paper, which affects the cost the most, is used extensively in production and is difficult to plan. This study was carried out with the Apriori algorithm in WEKA, which is widely used in association analysis. It is thought that the association rules obtained from this study will enable the firm to determine the purchasing behaviors of its customers by revealing the overseas model trends and associations. In addition, this study will shed light on the company at the stage of determining the marketing strategy of the company.

Keywords: Big data, Data mining, Association rules, Apriori algorithm, Market basket analysis

Etkin Bir Pazarlama Stratejisi Oluşturmak için Apriori Algoritması Temelinde Müşteri Satın Alma Davranışının Ölçülmesi

Öz

Teknolojik gelişmeler ve rekabet koşulları nedeniyle müşteri kazanmak ve elde tutmak giderek daha önemli hale gelmektedir. Birliktelik kuralları, hangi ürün ve hizmetlerin müşteriler tarafından birlikte daha önemli ve tercih edildiğinin belirlenmesi amacıyla etkin olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Bu çalışmanın amacı, orman ürünleri sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın, maliyeti en çok etkileyen, üretimde yoğun olarak kullanılan ve planlanması zor olan dekor kağıdı verilerini kullanarak, satın aldığı desen türlerinin belirlenmesidir. Bu çalışma, birliktelik analizinde yaygın olarak kullanılan WEKA'daki Apriori algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen birliktelik kurallarının firmanın yurt dışı model trendlerini ve birlikteliklerini ortaya çıkararak müşterilerinin satın alma davranışlarını belirlemesine olanak

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Serap AKCAN, serapakcan@tarsus.edu.tr

sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışma firmanın pazarlama stratejisini belirleme aşamasında firmaya ışık tutacaktır.

Anahtar Kelimeler: Büyük veri, Veri madenciliği, Birlikte kuralları, Apriori algoritması, Pazar sepeti analizi

1. INTRODUCTION

Increasing competition conditions and the ease of instantly comparing the products demanded by customers, thanks to technological developments, make it increasingly difficult for companies to gain customers and retain existing customers. Marketing activities have become very important for companies that want to survive in these conditions. The right marketing activities should be managed with the right marketing plan. It is important that all activities, from promotions to campaigns, should be in plan to gain new customers, to satisfy existing customers and to increase awareness. But these activities mean costs for the firm. Activities that are not correctly positioned and analyzed will return to the company as an extra cost rather than gain. Marketing strategies determined only by experience and knowledge are not sufficient in a period when technology is so prominent and competition is so intense. Companies need to use technology and data science in order to stay one step ahead of their competitors and make a difference.

Today, almost all companies use an ERP software. ERP software; they are important structures used in all departments of companies from accounting to purchasing, from production to planning and connecting all units and processes [1]. Thanks to these systems, records of all works can be kept. But this unprocessed and raw data is just a chunk of data unless properly analyzed and made sense of. This is where the concepts of data mining and big data come into play. Data mining is making a large number of data interpretable in line with desired targets or categorizing the desired data from big data [2].

Association rule mining is one of the analysis methods used to detect purchasing tendencies and behaviors of customers. If the rules formed after the analysis are interpreted correctly, it can be a very important guide when determining marketing

activities. The knowledge of which products or services customers give more importance to or prefer together can also be beneficial in using the budget spent for marketing activities more effectively.

In the literature, it is possible to come across many studies on association analysis and market basket analysis in different fields. Angeline [3] focused on predicting the performance of students by analyzing data such as homework, internal evaluation tests, participation performance in an educational institution's database with the Apriori algorithm. In the analyzes made, the students were classified as good, average and below average. With this system, it is thought that education can be given and directed according to the level of the students. Qiao et. al. [4] used association rules to analyze the correlation between the prices of 6 types of agricultural products they selected in 2014. They concluded that there was a strong correlation between the price of corn and the price of soybeans in 2014. It is thought that the study will play a positive role in price analysis and estimation of agricultural products. Guo et. al. [5] proposed a new method called MWLR for wind power estimation, which is very important for wind energy investments, which are at the forefront of renewable energies and whose use is increasing. This method generally consists of 4 parts. These are clustering using the K-Means approach, using the Apriori algorithm to discover association rules, estimating the wind speed according to the chaotic time series prediction model, and correcting the predicted wind speed data using previously discovered related rules. The results obtained as a result of the simulations show that the MWLR method can predict the wind speed effectively. Zulfikar et. al. [6] conducted an association analysis by using the sales history of more than 10,000,000 records of a retail company named XMART, which has a portfolio of more than 5,500 products, as a data set. While performing the association analysis with the

Apriori algorithm, the aim is to make the promotions of the company more effective and to provide inputs that will help to prepare a layout plan using the rules. Xi et. al. [7] deduced that the classification should include all four basic traffic parameters as environment, vehicle, road and driver while taking into account the causal factors of traffic accidents in their studies. In the study, the most important causal factors were ranked in order of importance using the Analytical Hierarchy Process (AHP) technique, and the degree of accident and the level of impact were analyzed with the Apriori association algorithm. In this way, it is aimed to determine the type and severity of accidents. Sevri et. al. [8] aimed to find the associations between the qualities of independent criminal records by using the Apriori algorithm. It is expected that the rules of association that emerged in the study conducted using the criminal record data recorded in the USA in 2013 will be useful for crime analysis. Considering the rules formed between different criminal record qualifications, it is possible to establish a relationship between new and old events. Mirmozaffari et. al. [9] with the knowledge that approximately 60% of the world population has a heart disease, using a clinical data set they performed analyzes with the Apriori algorithm and claiming that in the diagnosis of coronary heart diseases association analysis can be used to extract. The data set consists of 209 samples and 8 features and it is thought that the study will be a light for the relevant doctors. Cho and Kim [10] aimed to measure the text similarity between two texts based on classifications algorithms. Beheshtian-Ardakani et. al. [11] proposes a new model for product classification and grouping in websites based on e-commerce with market segmentation variables and loyalty analysis. Customers were first grouped by measuring their loyalty with the RFM (recency, frequency, and monetary value) model, and each group was divided according to the market segmentation variable. RFM Analysis is an analysis method performed by using transaction history information according to how recently (recency), how often customers shop (frequency) and how much they spend (monetary value). By using the Apriori algorithm, the rules for which products are sold together are determined and the products are

divided into certain groups. Then, which group of products would be recommended to which group of customers was determined by classification models. The model proposed in this study increases the chance of success as the target customers are determined in direct marketing and adopts the idea that the sales chance will be increased because it recommends the product groups to the right customer. Zainol et. al. [12] aimed to detect cyberbullying cases by using the Apriori algorithm, one of the association analysis algorithms in their studies. Both the high level of trust and the excess of rules at this level have revealed that association rules are effective in detecting cyberbullying cases. Kurnia et. al. [13] analyzed the sales data they received from a fish restaurant and investigated which of the products on the menu customers prefer to buy together with the association analysis method. It aimed to help the company create a potential promotional strategy with certain product combinations by interpreting user preferences with the established association rules. Hidayat et. al. [14], in this study, it is focused on the determination of which products are associated with the behavior of Breiliant cosmetics store customers by using the market basket analysis method. Analysis was performed using Apriori and FP-Growth algorithms. Monthly sales transaction data of materials in the Breiliant Store in November 2018 were used for the analyses. The most striking of the results is the rule that Original Liquid Bleaching Seeds, Harva Peeling Gel and Castor oil should be sold together at the 30% confidence level. Simanjorang and Sijabat [15] conducted an analysis of customers' printing needs using sales data of a printing company. In the analysis study using the Apriori algorithm, it was tried to determine which products were purchased or ordered together. The rule has emerged that those who order cake boxes at a support value of 55% and a confidence interval of 90% are placing orders in the brochure. Dorling et. al. [16] identified the genes most useful for predicting breast cancer risk in their study and used association analysis to provide estimates of risks associated with protein truncation variants to guide genetic counseling. Edastama et. al. [17] mentioned in their studies that analyzing the sales data of companies correctly will be beneficial to improve sales and to deliver more effective product sets

when determining promotional products. In the study, which was conducted using the sales data of a national optics company, association analysis was used to determine the most popular and demanded products as well as related products. It is aimed to create useful information while determining the sales and marketing activities of the company with the rules formed as a result of the analyzes made with the Apriori algorithm. Pan [18] performed association analysis using the Apriori algorithm to evaluate students' physical fitness based on physical education data and to reveal hidden correlations between physical fitness indices. It is thought that the resulting rules provide an important guide for university students for physical education test and curriculum designs. Ünvan [19] performed grocery basket analysis with the sales data of any supermarket on the Vancouver Island University website. Apriori and FP Growth algorithms were used to analyze association rules on the data set containing 225 different products, but the Apriori algorithm did not yield results because the data set was multi-category. The first 10 rules given by the FP Growth algorithm are interpreted. The product placement study is aimed by using the established rules. Zhao and Keikhosrokiani [20] proposed a combination of various algorithms for sales forecasting and product recommendation analysis, considering the changing conditions during the pandemic period. He used the RFM analysis method to classify customers according to their level, XGBoost and Random Forest algorithms for purchase forecasting, and association rules theory and Apriori algorithm for product forecasting. They stated that this combination will provide preliminary data to companies on both the purchasing and marketing sides. Mirhashemi and Mirzaei [21] used unified clustering algorithms and association rules for better management of the amount of water supplied to the Abyek Plain irrigation network in Iran in their study. The study, which uses K-Means algorithm for combined clustering and Apriori algorithm for association analysis, aims to provide a different perspective to prevent water wastage since there is water shortage and lack of precipitation in the Abyek plain.

Looking at the literature, no study has been found in the forest products sector using the Apriori

algorithm. Therefore, in this study, association rules were tried to be determined by using real data obtained from a company operating in the forest products sector. For this purpose, decor papers with 88 patterns in the current color chart, which are difficult to plan due to the diversity of the raw materials purchased by the company, are selected for association analysis. Considering these decors, the company's monthly and annual melamine coated particle board (MCPB) orders between 2009-2021 were determined and association analyzes were carried out.

2. METHODOLOGY

The flow presented for the method and solution used in the study is shown in Figure 1.

After the data is collected through SAP, the sales data are exported. Then, the data are selected and preprocessed according to the analysis process. After this, the data is cleaned, filtered and transformed in WEKA program so that the association analysis can be done correctly. Finally, the ready data set is analyzed with the help of WEKA program and association rules are formed.

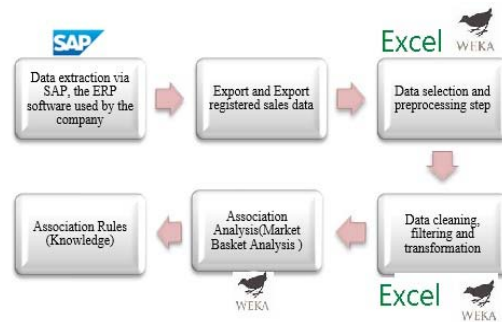


Figure 1. Flow chart for methodology

2.1. Association Rules

Many methods are used to detect purchasing tendencies and decision-making behaviors of customers. One of them is association analysis. Association analyzes are analyzes that allow us to see the strong or weak links in data sets around certain rules. It is revealed how there is a connection between the association analysis and the events that

take place. The analyst sets a success rate when launching the app, and rules equal to or greater than this rate are determined by the app.

Association analysis is especially important for companies' sales development strategies. The rules obtained from this analysis constitute information for the purchasing habits of the companies, for choices such as which products will be placed in catalogs or how they will be placed on the shelves. Association analysis is also used in web page clicks and in many other areas [22]. Because, while calculating the basket analysis, the connection between goods and services, support and trust criteria are taken as basis. Association Rules, calculated according to the level of support and reliability, indicate the potential relationships of the data. A strong Association Rule has great support and a high level of credibility.

2.2. Market Basket Analysis

It is a type of analysis used to determine the association and bond between the products purchased by the customers in their shopping. It gives important information to the companies about the established association rules and the purchasing habits of the customers. In the essence of this information, the information about which product is purchased with which product is learned. Market basket analysis can be briefly defined as a technique to find consumer habits from datasets [23]. In market basket analysis, large datasets take into account the purchasing patterns of users. Association rules are the rules that emerge from the analysis and are of great importance for finding frequently purchased items and purchasing habits. If item A is bought, then item B is bought as well [24]. Market basket analysis, which is especially used to determine marketing strategies, is to determine the relationships according to the analysis of the data formed according to the consumption behaviors of the customers with the association rules techniques.

2.3. Apriori Algorithm

Algorithms, such as Apriori, Eclat and Fp-Growth, are used to search for association rules. Agrawal et

al published the Apriori algorithm in 1993, making a significant improvement in the extraction of association rules. The Apriori algorithm gets its name from the fact that it takes the information from the previous step. With its publication, it has become one of the most used association rules algorithms [24].

The Apriori algorithm allows to use support and minimum confidence parameters in order to find useful, more accurate and desired rules from the data set or related database [25]. In the analysis, the minimum support value and the confidence threshold are specified, and the rules above these parameters are displayed and analyzed. Thus, it allows for more flexible and desired analyzes in large datasets or, on the contrary, smaller datasets.

Finding repetitive datasets from big data is one of the jobs of data mining. The Apriori algorithm, on the other hand, can not only find repetitive data sets, but also includes topics such as hierarchical relationship rules, sequential pattern creation, and inferring meaning from the section. The Apriori algorithm can be defined in three steps to create rules from repetitive data sets. The first step is to determine a path for the keywords, the second step is to define the data structures used, and the last step is to turn it into code with an algorithm [26].

Apriori creates candidate item sets by combining large item sets obtained in the previous cycle and deleting subsets obtained as small item sets in the previous cycle regardless of transactions in the database. The solution form of the Apriori cycle, on the other hand, presents an iterative solution proposal. The underlying object sets are realized by growing by incorporating a subset of them. As a first step, the joining criteria are defined in order to create the first layered object sets, the frequently used elements in the transitions in the subset are preferred to cluster by creating the candidate of the object it passes through. Participation criteria are defined by making important examinations in the data set, so the processes are repeated sequentially until they decrease [24].

The rules that are reached after the analysis of the Apriori algorithm, namely associations, are

expressed with certain parameters. The most important of these parameters can be seen as support and trust. While the support values express the frequency of association of the items in the rule, the confidence value shows the percentage with which the rule is correct. Let's assume that the X and Y expressions refer to two different sets of materials. As seen in equation (1), while calculating the support value for X, the number of material clusters X is divided by the total number of material clusters. In equation (2), the support value of the material clusters X and Y and the probability of coexistence in all clusters are calculated. The probability that the Y material cluster will be found in the X material cluster is called the confidence value and is calculated by equation (3) or equation (4).

$$\text{Support}(X) = \frac{X \text{ number of material clusters}}{\text{Total number of material clusters}} \quad (1)$$

$$\text{Support}(X, Y) = \frac{(X, Y) \text{ number of material clusters}}{\text{Total number of material clusters}} \quad (2)$$

$$\text{Confidence}(X, Y) = \frac{(X, Y) \text{ number of material clusters}}{X \text{ number of material clusters}} \quad (3)$$

$$\text{Confidence}(X, Y) = \frac{\text{Support}(X, Y)}{\text{Support}(X)} \quad (4)$$

These values allow us to see the accuracy and reliability of the rules formed in the association analysis. The higher these values, the more important the association. While performing the analysis, first of all, the support and trust values are determined and the rules within these values are obtained.

3. IMPLEMENTATION

The forest products sector, as the name suggests, includes the production and trade of various goods that take their raw materials from the forest and generally using wood. Timber, parquet, particle board, fiberboard, paper, cardboard, logs are the main forest products.

A Turkish forest products industry, with its development in recent years, is among Turkey's

fastest growing sectors. In addition, the foreign trade balance of many sub-sectors, especially the furniture and wooden plate sector, is progressing positively. Turkey ranks 13th among 166 countries in the world with a share of 1.6% in timber production. Turkey's share in world furniture production is around 1% and it is increasing rapidly. Some organizations in Turkey, especially in the wood panel sector, have become one of the world's leading companies. About 2.4% of the added value created in the Turkish manufacturing industry belongs to the forest products sector. Türkiye has established export and import connections with more than 200 countries in the field of forest products. It is seen that a tendency to open up to new markets in the sector. New technology and business applications are becoming widespread [27].

The data used in this study were taken from a company operating in the plate industry in Turkey. The plate industry can be examined in terms of two different products. The first is fiberboard. Fiberboard, known in the industry as MDF, is a type of board in homogeneous condition, formed by using lignocellulosic fibers with felting and naturally structuring properties. It is produced as a result of drying or pressing the board, especially with the use of additional glue of fiber bundles. The second is particleboard. Particle Board is a material that is formed by turning chips or small particles obtained from lignocellulosic raw materials into large and large-surfaced boards under heat and pressure with the help of a synthetic resin or a suitable adhesive, and is used especially in the furniture industry [28].

Apart from these, there is also a Melamine Coated Particle Board (MCPB). MCPB is wood-based decorative plates that are produced as a result of pressing the impregnated decor paper and the particleboard under temperature and pressure for a certain period of time. Decor papers with various colors and patterns are the most important material that makes these plates decorative.

The data to be used for the association analysis were created by pulling the company's domestic, export and export registered sales data between the years 2009-2021 through SAP annually and then combining them. The main reason for pulling the

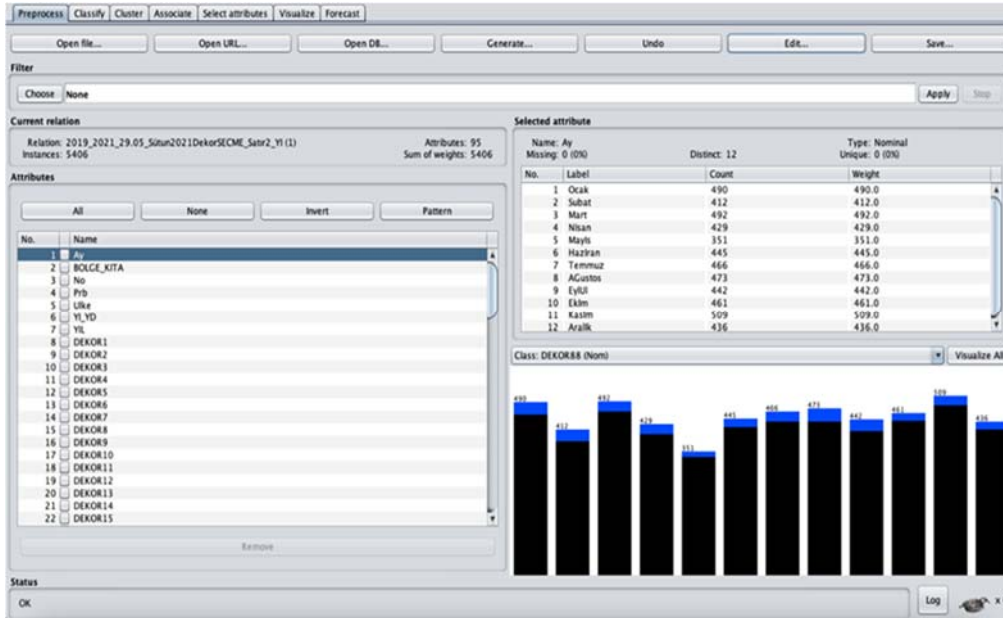


Figure 3. WEKA explorer module preprocess tab

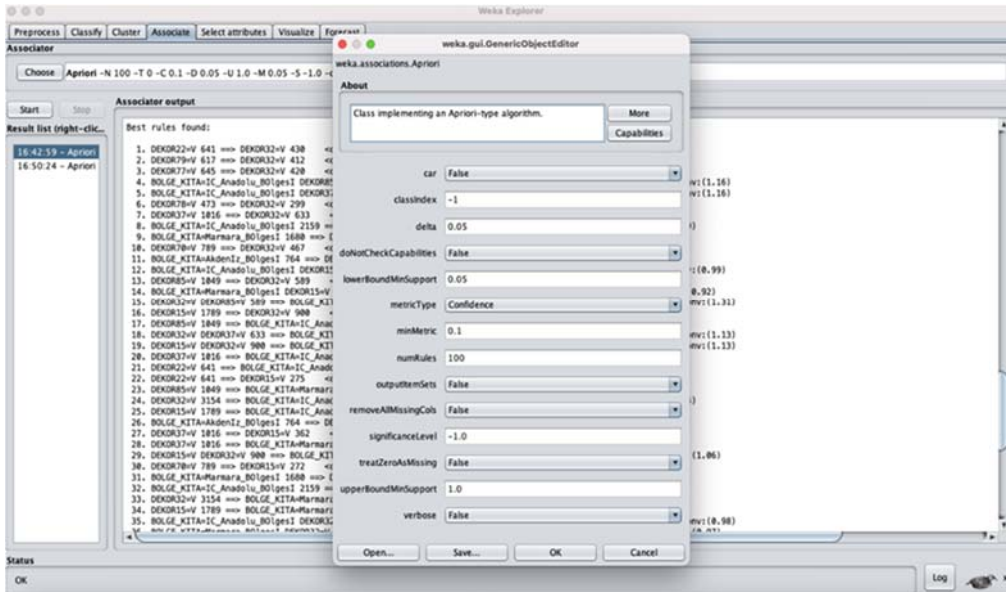


Figure 4. WEKA explorer module associate page

4. COMPUTATIONAL RESULTS AND DISCUSSION

In Figure 5, the rules formed as a result of the analysis of foreign sales data for the years 2009-

2021, which is called Dataset -1, using the Apriori algorithm are listed.

The 25 rules, provide support and minimum confidence intervals, have been displayed as output

before starting the analysis. Although there are more than 25 rules, the first 10 rules are transferred to Table 1 to examine in detail.

As seen in Table 1, DECOR84 is seen as the intersection point of associations. When we analyze the first rule, we see that out of 278 deliveries containing the DECOR19 and DECOR49 patterns, 211 were found in the DECOR84 pattern. In other words, customers who buy the DECOR19 and DECOR49 pattern together also buy the DECOR84 pattern at a rate of 76%. A value of 76% indicates the confidence value. In addition, the support value is seen as 3%. It shows that in 3% of all orders these three decors are purchased together. The lift value of 1.87 can be called the difference or interestingness value. The magnitude of the lift value shows how interesting the rule is. The percentage effect of the lift value and how much the sales between products affect the sales between each other can also be calculated. The remaining 9 rules can be explained as follows;

- Customers who buy DECOR 34 and DECOR59 patterns also buy DECOR84 pattern with 75% probability. In 0.03 of all deliveries, these products are sold together. The lift value is 1.86.
- Customers who buy DECOR49 and DECOR86 patterns also buy DECOR84 pattern with 74% probability. In 0.02 of all deliveries, these products are sold together. The lift value is 1.83.
- Customers who buy DECOR50 and DECOR59 patterns also buy DECOR84 pattern with 74% probability. In 0.03 of all deliveries, these products are sold together. The lift value is 1.82.

- Customers who buy DECOR19 and DECOR72 patterns also buy DECOR84 pattern with 73% probability. In 0.02 of all deliveries, these products are sold together. The lift value is 1.79.
- Customers who buy DECOR19 and DECOR59 patterns also buy DECOR84 with 71% probability. In 0.03 of all deliveries, these products are sold together. The lift value is 1.74.
- Customers who buy DECOR18 and DECOR72 patterns also buy DECOR84 pattern with 70% probability. In 0.02 of all deliveries, these products are sold together. The lift value is 1.73.
- Customers who buy DECOR18 and DECOR59 patterns also buy DECOR84 pattern with 69% probability. In 0.02 of all deliveries, these products are sold together. Lift value is 1.70.
- Customers who buy DECOR49 and DECOR72 patterns also buy DECOR84 pattern with 69% probability. In 0.03 of all deliveries, these products are sold together. Lift value is 1.70.
- Customers who buy DECOR49 and DECOR70 patterns also buy DECOR84 pattern with 68% probability. In 0.03 of all deliveries, these products are sold together. The lift value is 1.69.

In Figure 6, the rules formed as a result of analyzing the international sales data between 2019-2021, called Dataset - 2, using the Apriori algorithm are listed.

The 25 rules, provide support and minimum confidence intervals, have been displayed as output before starting the analysis. Although there are more than 25 rules, the first 10 rules are transferred to Table 2 to examine in detail.

Table 1. Apriori algorithm results for dataset-1 (the first 10 rules)

Premise	Results	Confidence	Support	Lift
DECOR19 & DECOR49 (278)	DECOR84 (211)	76%	0,03	1,87
DECOR34 & DECOR59 (279)	DECOR84 (210)	75%	0,03	1,86
DECOR49 & DECOR86 (265)	DECOR84 (196)	74%	0,02	1,83
DECOR50 & DECOR59 (291)	DECOR84 (214)	74%	0,03	1,82
DECOR19 & DECOR72 (270)	DECOR84 (196)	73%	0,02	1,79
DECOR19 & DECOR59 (327)	DECOR84 (231)	71%	0,03	1,74
DECOR18 & DECOR72 (273)	DECOR84 (191)	70%	0,02	1,73
DECOR18 & DECOR59 (312)	DECOR84 (215)	69%	0,02	1,7
DECOR49 & DECOR72 (360)	DECOR84 (248)	69%	0,03	1,7
DECOR49 & DECOR70 (421)	DECOR84 (288)	68%	0,03	1,69

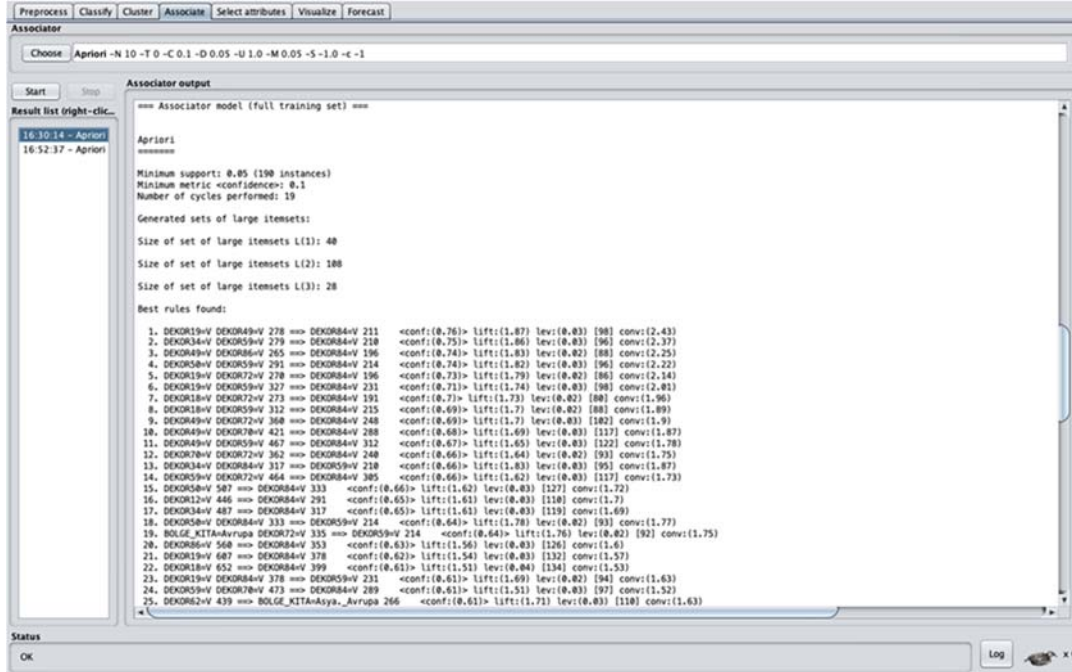


Figure 5. Apriori analysis results for dataset –1

Table 2. Apriori algorithm results for dataset-2 (the first 10 rules)

Premise	Results	Confidence	Support	Lift
DECOR32 & DECOR62 (101)	Free Zone (87)	86%	0,03	1,74
DECOR54 (74)	Free Zone (63)	85%	0,02	1,72
Europe & DECOR59 (87)	DECOR32 (70)	80%	0,02	1,49
DECOR22 & DECOR62 (92)	Free Zone (70)	76%	0,02	1,54
DECOR62 (190)	Free Zone (143)	75%	0,05	1,52
DECOR32 & DECOR85 (74)	Free Zone (55)	74%	0,02	1,5
Europe (220)	DECOR32 (157)	71%	0,04	1,32
DECOR58(80)	Free Zone (56)	70%	0,02	1,41
Free Zone & DECOR85 (80)	DECOR32 (55)	69%	0,01	1,28
DECOR56(81)	DECOR32 (55)	68%	0,01	1,26

The first 10 rules in Table 2 can be explained as follows;

- Customers who buy DECOR32 and DECOR62 patterns are in the Free Zone with a probability of 86%. This rule applies to 0.03 of all deliveries. The lift value is 1.74.
- Customers who buy DECOR54 pattern are in the Free Zone with a probability of 85%. This rule applies to 0.02 of all deliveries. The lift value is 1.72.
- Customers in Europe who buy DECOR59 pattern also buy DECOR32 pattern with 80% probability. This rule applies to 0.02 of all deliveries. The lift value is 1.49.
- Customers who buy DECOR22 and DECOR62 patterns are in the Free Zone with a 76% probability. This rule applies to 0.02 of all deliveries. The lift value is 1.54.
- Customers who buy DECOR62 pattern are in the Free Zone with a 75% probability. This rule applies to 0.05 of all deliveries. The lift value is 1.52.
- Customers who buy DECOR32 & DECOR85 (74) patterns are in the Free Zone with a 74% probability. This rule applies to 0.02 of all deliveries. The lift value is 1.5.
- Customers in Europe who buy DECOR59 pattern also buy DECOR32 pattern with 71% probability. This rule applies to 0.04 of all deliveries. The lift value is 1.32.
- Customers who buy DECOR58(80) pattern are in the Free Zone with a 70% probability. This rule applies to 0.02 of all deliveries. The lift value is 1.41.
- Customers who buy Free Zone & DECOR85 (80) pattern are in the Free Zone with a 69% probability. This rule applies to 0.01 of all deliveries. The lift value is 1.28.
- Customers who buy DECOR56(81) pattern are in the Free Zone with a 68% probability. This rule applies to 0.01 of all deliveries. The lift value is 1.26.

- Customers who buy DECOR32 and DECOR85 patterns are in the Free Zone with a probability of 74%. This rule applies to 0.02 of all deliveries. Lift value is 1.50.
- Customers in Europe also buy from DECOR32 pattern with a probability of 71%. This rule applies to 0.04 of all deliveries. The lift value is 1.32.
- Customers who buy the DECOR58 pattern are in the Free Zone with a 70% probability. This rule applies to 0.02 of all deliveries. The lift value is 1.41.
- Customers in the Free Zone who buy DECOR85 pattern also buy DECOR32 pattern with a probability of 69%. This rule applies to 0.01 of all deliveries. The lift value is 1.28.
- Customers who buy DECOR56 pattern also buy DECOR32 pattern with 68% probability. In 0.01 of all deliveries, these products are sold together. The lift value is 1.26.

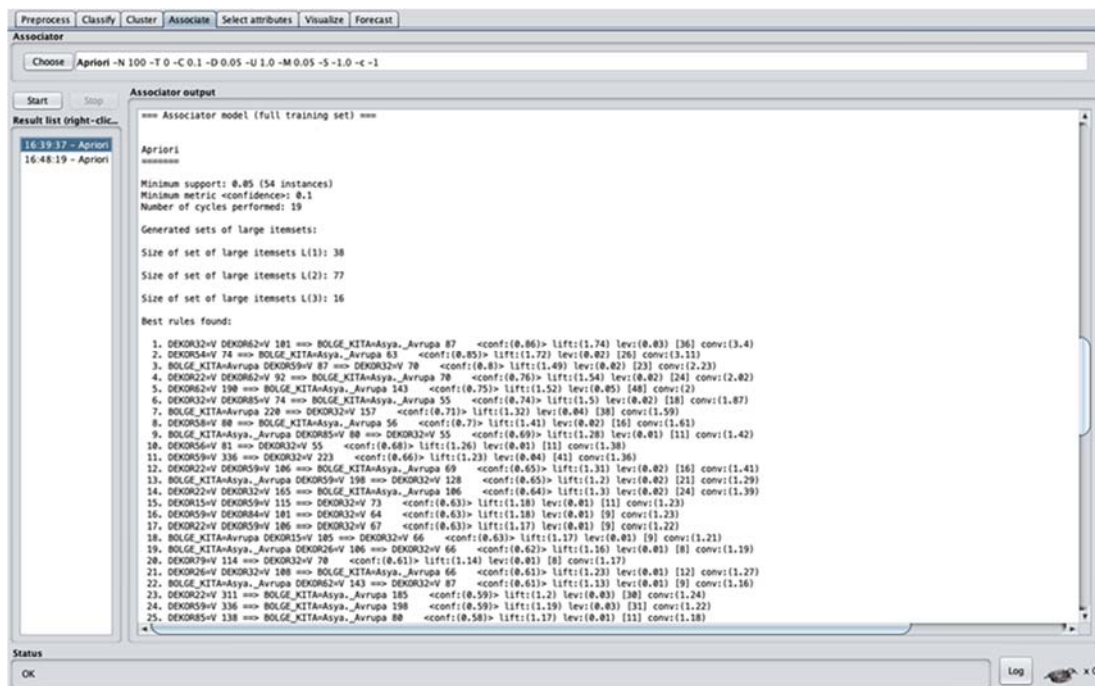


Figure 6. Apriori analysis results for dataset -2

When the rules formed in the association analysis are analyzed, it is observed that there is a trend effect. It is seen that the associations have changed in the data sets between 2009-2021 and 2019-2021. In addition, it is seen that the domestic and international rules are different. This is an indication that preferences and trends change on a country basis.

If the first 10 rules formed as a result of the analysis of the foreign sales data between 2009-2021, which is called data set - 1, are evaluated, it is quite possible to say that DECOR84 is a very popular

pattern abroad. The fact that all the rules are present and that the confidence intervals are so high confirms this opinion. It may be important to give priority to this pattern when proposing patterns to new companies at international fairs, color chart submissions, and to gain customers. Or, all foreign companies that are already customers of the company and purchase MCPB in preliminary designs within the framework of association rules and do not buy from DECOR84 are potential DECOR84 customers. Sending DECOR84 samples to these customers with the premise patterns or making promotions can greatly increase the sales

rates of DECOR84. In addition, companies that buy from DECOR84 pattern and not from predecessor decor papers can be researched and suggested these patterns.

When the first 10 rules formed as a result of the analysis of foreign sales data between the years 2019-2021, called data set - 2, are evaluated, it is seen that DECOR84 is not in the first 10 rules, unlike Data series - 1. Here it can be concluded that the trend has changed. The combinations of the patterns sold to the free zone are striking. Promotions and campaigns can be organized for customers in this region within the framework of these rules. Another remarkable point is the presence of DECOR32 in 6 different rules.

Also, although the association analysis is applied on the same patterns in two different data sets, the rules differ in the analyzes made on products that change according to current trends and tastes such as decor paper. This shows that not only the methods used, but also the periodic data sets are important in order to obtain the best results in the analysis.

5. CONCLUSION

Marketing activities are very important in a period where customer retention and acquisition of new customers require more effort than in the past. It is no longer enough to produce quality and low-cost products alone. Understanding customers and producing solutions to their needs is vital in order to gain a foothold in the market and compete with competitors.

Creating an accurate and effective marketing plan, as well as learning customer behaviors and demands, is a subject that companies strive for. Most of the companies have marketing units that work on these issues. It is the chief task of these units to determine the best marketing activities with the least cost and effort and to create an integrated marketing plan. All of the marketing activities such as surveys, market research, experienced marketing expert supplements, face-to-face customer interviews and advertisements are important for

companies to create a marketing plan, but they are also large cost items. Data return rate is more important than the number of people reached by the studies carried out in marketing activities. The return rate is a proof of how successful the marketing activity is for the company and that it brings customers. Increasing the rate of return is possible with the marketing work done to the right customer at the right time. Data mining is one of the ways to reach the right customer at the right time with the right campaign or product. Today, almost all companies use an ERP or CRM software. Analyzing and making sense of the accumulated data set thanks to the software used is indispensable for companies. Meaningful and correctly analyzed data sets allow companies to interpret the wishes, purchasing behaviors and trends of their current and potential customers. One of the data mining algorithms that reveals the purchasing behavior of customers and related purchases are the Apriori algorithm used in association analysis.

The aim of this study is to interpret the rules formed by the association analysis performed using the data sets prepared for analysis and to determine the purchasing tendencies and behaviors of the customers on the decor paper patterns. The orders received between the years 2009-2021 for the selected 88 decor papers were withdrawn from the company's ERP system, and a data set was prepared to be suitable for analysis and analyzed with the Apriori algorithm in the WEKA application. The results obtained will shed light on the company to know its customers and to create an efficient marketing strategy.

In the future, in addition to this study with foreign sales data, an association analysis can be made using domestic sales data and the resulting rules can be compared to investigate how customer behaviors differ.

6. REFERENCES

1. Shi, Z., Wang, G., 2018. Integration of Big-Data ERP and Business Analytics (BA). *The Journal of High Technology Management Research*, 29(2), 141-150.

2. Han, J., Kamber, M., Pei, J., 2012. Data mining: Concepts and Techniques. The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems, Elsevier, USA,740.
3. Angeline, D.M.D., 2013. Association Rule Generation for Student Performance Analysis Using Apriori Algorithm. The SIJ Transactions on Computer Science Engineering & its Applications (CSEA),1(1), 12-16.
4. Qiao, L., Peng, C., Guo, X., Wang, Y., 2017. Price Association Analysis of Agricultural Products based on Apriori Algorithm. Proceedings of Science. Information Science and Cloud Computing (ISCC 2017), China, 1-7.
5. Guo, Z., Chi, D., Wu, J., Zhang, W., 2014. A New Wind Speed Forecasting Strategy Based on The Chaotic Time Series Modelling Technique and The Apriori Algorithm, Energy Conversion and Management, 84, 140-151.
6. Zulfikar, W.B., Wahana, A., Uriawan, W., Lukman, N., 2016. Implementation of Association Rules with Apriori Algorithm for Increasing The Quality Of Promotion. In 2016 4th International Conference on Cyber and IT Service Management, 1-5, IEEE.
7. Xi, J., Zhao, Z., Li, W., Wang, Q., 2016. A Traffic Accident Causation Analysis Method based on AHP-Apriori. Procedia Engineering, 137, 680-687.
8. Sevri, M., Karacan, H., Akcayol, M. A., 2017. Crime Analysis based on Association Rules using Apriori Algorithm, International Journal of Information and Electronics Engineering, 7(3), 99-102.
9. Mirmozaffari, M., Alinezhad, A., Gilanpour, A., 2017. Data Mining Classification Algorithms for Heart Disease Prediction. Int'l Journal of Computing, Communications&Instrumentation Eng, 4(1), 11-15.
10. Cho, S.G., Kim, S.B., 2017. A Data-Driven Text Similarity Measure based on Classification Algorithms. International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications, and Practice, 24 (3), 328-339.
11. Beheshtian-Ardakani, A., Fathian, M., Gholamian, M., 2018. A Novel Model for Product Bundling and Direct Marketing in E-Commerce based on Market Segmentation. Decision Science Letters, 7(1), 39-54.
12. Zainol, Z., Wani, S., Nohuddin, P.N., Noormanshah, W.M., Marzukhi, S., 2018. Association Analysis of Cyberbullying on Social Media using Apriori Algorithm. International Journal of Engineering & Technology, 7, 72-75.
13. Kurnia, Y., Ishariato, Y., Giap, Y.C., Hermawan, A., 2019. Study of Application of Data Mining Market Basket Analysis for Knowing Sales Pattern (Association of Items) at the O! Fish Restaurant using Apriori Algorithm. In Journal of Physics: Conference Series, 1175 (1), 012047, IOP Publishing.
14. Hidayat, A.A., Rahman, A., Wangi, R.M., Abidin, R.J., Fuadi, R.S., Budiawan, W., 2019. Implementation and Comparison Analysis of Apriori and Fp-Growth Algorithm Performance to Determine Market Basket Analysis in Breiliant Shop. In Journal of Physics: Conference Series, 1402(7), 077031, IOP Publishing.
15. Simanjorang, R.M., Sijabat, P. 2020. Implementation of Apriori Algorithm in Determining the Level of Printing Needs. Infokum, 8(2), 43-48.
16. Dorling, L., Carvalho, S., Allen, J., Gonzalez-Neira, A., Luccarini, C., Wahlström, C., Rookus, M.A., 2021. Breast Cancer Risk Genes-Association Analysis in More than 113.000 Women. The New England Journal of Medicine, 384(5), 428-439.
17. Edastama, P., Bist, A.S., Prambudi, A., 2021. Implementation of Data Mining on Glasses Sales using The Apriori Algorithm. International Journal of Cyber and IT Service Management, 1(2), 159-172.
18. Pan, T., 2021. An Improved Apriori Algorithm for Association Mining Between Physical Fitness Indices of College Students. International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET), 16(9), 235-246.
19. Ünvan, Y.A., 2021. Market Basket Analysis with Association Rules. Communications in Statistics-Theory and Methods, 50(7), 1615-1628.
20. Zhao, X., Keikhosrokiani, P., 2022. Sales Prediction and Product Recommendation Model Through User Behavior Analytics. Computers, Materials, & Continua, 3855-3874.

21. Mirhashemi, S.H., Mirzaei, F., 2022. Using Combined Clustering Algorithms and Association Rules for Better Management of The Amount of Water Delivered to The Irrigation Network of Abyek Plain Iran, *Neural Computing and Applications*, 34(5), 3875-3883.
22. Aggarwal, C.C., 2015. *Data Mining: The Textbook*, Springer, New York, 1, 734.
23. Linoff, G.S., Berry, M.J., 2011. *Data Mining Techniques: for Marketing, Sales, and Customer Relationship Management*. John Wiley & Sons, USA, 672.
24. Agrawal, R., Srikant, R., 1994. Fast Algorithms for Mining Association Rules. In Proc. 20th int. Conf. Very Large Data Bases (VLDB), 1215, 487-499.
25. Yuan, X., 2017. An Improved Apriori Algorithm for Mining Association Rules. In AIP Conference Proceedings, 1820(1), 080005.
26. Bodon, F., 2003. A Fast Apriori Implementation. In FIMI, 3, 63.
27. Koç, K.H., Dilik, T., Kurtoğlu, A., 2017. A Strategic Overview of the Turkish Forest Products Industry. IV. National Forestry Congress, 15, 16.
28. Yomsad, 2022. <http://yomsad.org.tr/>, Access date: 10.03.2022.

Adana İli İçme Suyu Kalite İndeksinin Belirlenmesi

Ebubekir GÜLOĞLU¹ ORCID 0009-0000-7645-009X
Mesut BAŞIBÜYÜK*¹ ORCID 0000-0001-9527-903X
Behzat BALCI¹ ORCID 0000-0002-4636-4235
Fatma Elçin ERKURT¹ ORCID 0000-0003-0079-2493

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 04.04.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: GÜLOĞLU, E., BAŞIBÜYÜK, M., BALCI, B., ERKURT, F.E., (2023). Adana İli İçme Suyu Kalite İndeksinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 765-773.

Öz

Su kalite indeksleri son yıllarda su kalitesini değerlendirmek için kullanılan önemli bir yöntemdir. Temel mantığı pek çok parametre içeren su kalitesinin basit bir sayı halinde ifade edilmesi temeline dayanır. Tüm Dünyada su kalitesinin değerlendirilmesinde son derece önemli bir kriterdir. Benzer bir çalışma da Adana ili içme suyu temin edilen kaynaklara yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Adana ili su kalitesi (Seyhan, Yüreğir, Sarıçam, Çukurova) içme suyu kalite indeksi iki metod ve on beş su kalite parametresi pH, elektriksel iletkenlik (EC), bulanıklık, tuzluluk, toplam çözünmüş katı madde (TDS), çözülmüş oksijen, klorür (Cl), nitrat (NO₃), sülfat (SO₄), fosfat (PO₄), demir (Fe), alüminyum (Al), sodyum (Na), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuca göre Kanada su kalite indeksi 84,6, British Columbia su kalite indeksi 81,6 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma, Adana ilinde içme suyu kalite sınıfının iyi olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Su kalite parametresi, Kanada su kalite indeksi, British Columbia indeksi, Su analizi

Determination of the Drinking Water Quality Index of Adana Province

Abstract

The water quality index (WQI) model is a popular method for evaluating surface water quality in recent years. Its basic approach is based on expressing a simple number of water quality, which includes many parameters. It is an extremely important criterion in the evaluation of water quality all over the world. A similar study was carried out for the sources of drinking water in Adana province. Drinking water quality index in Adana province (Seyhan, Yüreğir, Sarıçam, Çukurova) were determined by using two methods and fifteen water quality parameters pH, electrical conductivity (EC), turbidity, salinity, total dissolved solids (TDS), dissolved oxygen, chloride (Cl), nitrate (NO₃), sulfate (SO₄), phosphate (PO₄), iron (Fe), aluminum (Al), sodium (Na), calcium (Ca), magnesium (Mg). According to result it is calculated that Canadian water quality index 84.6, British Columbia water quality index 81.6. This study has been showed that in Adana province, drinking water quality class grade is good.

Keywords: Water quality paramater, Canada water quality index, British Columbia index, Water analysis

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Mesut BAŞIBÜYÜK, basibuyuk@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Su yeryüzünde farklı hallerde ve en bol bulunan maddelerin başında gelir. Yalnızca insan için değil, aynı zamanda diğer tüm canlılar için de suyun hayati önem taşıdığı çok iyi bilinen bir gerçektir. Yeryüzünde hidrolojik çevrim olarak bilinen döngüyle sürekli bir çevrim halindedir. Dünyamızda ki suyun %3'den daha azı tatlı sudur (içilebilir su). Bu miktarın yaklaşık %90'ı kutuplarda donmuş olarak veya yer altında bulunmaktadır. Dolayısıyla tüm insanlık kendi ekosistemi ve varlığını sürdürürebilmek için geriye kalan yaklaşık %0,3'lik tatlı su oranına muhtaçtır. Görüldüğü üzere insanlığın ve aynı zamanda tatlı suya bağımlı olarak yaşayan canlılar bu %0,3'lük suya hayati ihtiyaç duymaktadır [1]. Öte yandan günümüzde insanoğlu göllerde ve nehirlerde, yer altında sahip olduğu bu sınırlı miktardaki tatlı suyu doğanın arıtılabileceği süreden daha hızlı bir şekilde kirletmektedir. Yeryüzünde 1 milyardan daha fazla insanın hala içilebilir tatlı suya erişimi bulunmamaktadır. Su doğadan bedava elde edilebilir, ancak insanlara ulaştırılması pahalı alt yapıları gerektirmektedir. 19. yüzyılın ilk çeyreğinde 1 milyar olan dünya nüfusu, 1950 yılında 2,5 milyar, 2021 yılının sonunda ise yaklaşık 7,5 milyara ulaşmıştır. Nüfusun bu denli artması, ekonomik faaliyetlerin büyümesi ve kentsel yayılma, su ihtiyacının önemli derecede artmasına neden olmaktadır. Yüzeysel suyunun ve yeraltı suyunun aşırı biçimde kullanımı, mevcut su kalitelerinin azaltılması ve genel kaliteden ödün vermeden ötürü sayısız kaynağı tehlikeye atmaktadır. Dünya nüfusunun bu hızlı artışı, sanayi ve teknolojinin aşırı gelişip büyümesi ve çevresel bilincin yeteri kadar oluşmaması gibi sorunlar dünyadaki su kaynaklarının gitgide kirlenmesine ve bu kaynaklarda önemli ölçüde azalmaya sebep olmaktadır. Su kaynaklarının bu kirlenmelerden korunması için öncelikle mevcut su kalitesinin karakterize edilmesi ve kaynağın faydalı kullanımına karar verilmesi gerekmektedir. Günümüzde aşırı nüfus artışı, ölçsüz ve bilinçsiz tüketim, hızlı ve çarpık kentleşme, endüstrileşme ve kuraklık gibi nedenlerden ötürü su kütlesinin önemli ölçüde azalması ve su kalitesinin bozulması sorunları ile karşı karşıya kalınmaktadır. Yeryüzündeki su kaynaklarının yalnızca %0,3'ünün

kullanılabilir ve içilebilir nitelikte olduğu düşünüldüğünde, su kullanımına ve bilhassa su kalitesine verilmesi gereken değerin daha da artırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır [1].

Su kirliliği, aşırı yapılaşmadan kaynaklanan evsel atıklar, yoğun endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan sanayi atıkları, tarımda kullanılan kimyevi gübreler özellikle azotlu gübreler ve zirai mücadele ilaçları, erozyonla su kaynaklarına taşınan toprak ve bilinmeyen maddeler gibi zararlı istenilmeyen maddelerin, suyun kalitesini ölçülebilecek değerde bozacak miktar ve yoğunlukta suya karışması durumudur. Kirlenme sonucunda sulara fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmalar meydana gelmektedir. Bunlar doğrudan veya dolaylı bir şekilde tüm varlıkları olumsuz etkilemektedir. Nüfusun çok fazla artmasına rağmen su kaynaklarının değişmez ve durağan olması, bu kaynakların kirlenmemesini ve çok iyi kullanılmasını gerekli kılmaktadır [2].

İçme sularında bulunan maddelerin insan sağlığına etkisi, bunların cins ve miktarları ile tespit edilir. Genel olarak ülkeler kendi içme su kriterlerini belirlediği gibi, Avrupa Birliği ve Dünya Sağlık Örgütü gibi uluslararası kuruluşlar da özel olarak tehlikeli kimyasal ve biyolojik maddeler için eşik değerler vermiştir [3]. Ayrıca, Su Çerçeve Direktifi (The Water Framework Directive WFD: European Union) bağlamında AB üye ülkeleri için su kütlesinin kalitesinin izlenmesi kaçınılmaz hale getirilmiş ve izlenecek parametrelere bu direktifte yer verilmiştir [4]. Fakat bu parametreleri tek tek ele alıp değerlendirmek ve yorumlamak gerek düzenleyici kuruluşlar gerekse bu konuda çalışan uzmanlar için bir hayli zor ve zaman alıcı bir süreçtir. Bu sebeple, son dönemde, pek çok çalışma su kalitesi kavramının daha sade, kapsamlı, anlaşılabilir ve karşılaştırılabilir bir biçimde ifade edilebilmesi üzerine yoğunlaşmıştır [5]. Su kalite indeksi (WQI), suların genel kalitesinin durum tespitinde kullanılır ve basitçe hesaplanabilen tek bir sayıyı ifade eder. Su kalite indeksi, hızlı ve kolay bir metotla elde edilmiş tek bir değere ve ona karşılık gelen ölçüğe bakarak su kalitesinin ifade edilmesini sağlar. WQI çok sayıda karmaşık su kalitesi parametresini birleştirerek su kalitesini

anlaşılabilir bir biçimde “çok iyi”, “iyi”, “zayıf”, vb. şekilde ifade eder. Su kalite indeksi kullanılarak tespit edilen veriler, su kalitesi hakkında hızlı ve etkin kararlar almak için hem karar vericiler hem de hissedarlar tarafından kolaylıkla kullanılabilir [6-7].

Kanada su kalite indeksi modeli (CWQI), Kanada Çevre Bakanlığı aracılığı ile geliştirilmiş ve epeyce yaygın bir şekilde kullanılan bir modeldir. Bu modelde, parametrelerin örneklendirme sıklığı, başarısız parametre çokluğu ve standartlarda bahsedilen hedef değerlerden sapmalara göre değerlendirme yapılır. Model, parametreler konumdan konuma farklılık göstereceğinden ve çevresel koşullara bağlı bulunduğundan herhangi bir su kalitesi parametresi veya zaman kavramı tanımlamaz. Bu indeksin belirlenmesinde, minimum dört parametre ve bu parametrelerin en az dört ölçümü yeterli olmaktadır. İndeks, 0 ve 100 arasında değişen ölçekte üç faktörden oluşmaktadır. Bu üç faktörün kombinasyonu ile su kalitesini düşükten yüksek kaliteye doğru tanımlayan ve 0 ile 100 arasında olan tek bir sayı elde edilir [8].

Bu çalışma kapsamında, Adana İli su kalite indeksi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla Adana İline su sağlayan şebekelerden su numuneleri alınmıştır. Alınan su numunelerinde pH, elektriksel iletkenlik (EC), bulanıklık, toplam çözünmüş katı madde (TDS), çözünmüş oksijen, klorür (Cl), nitrat (NO₃), sülfat (SO₄), fosfat (PO₄), demir (Fe), alüminyum (Al), sodyum (Na), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) olmak üzere toplam 15 su kalite parametresinin analizleri yapılmış olup elde edilen verilere göre Kanada Su Kalitesi İndeks Modeli (CWQI) ve British Columbia su kalite indeksi metodu ile hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri

Adana ili 14.030 km² yüzölçümüne sahip Türkiye'nin güneyinde ve Akdeniz Bölgesi'nin Çukurova bölümünde kurulmuş olup batıda Mersin, kuzeyde Kayseri, kuzeybatıda Niğde, doğuda Osmaniye, Kahramanmaraş, güneydoğuda Hatay

ve güneyde Akdeniz ile çevrilidir. Matematiksel konum olarak 35°-38° kuzey enlemleri ve 34°-36° doğu boylamları arasında olup ilin güneyinde kalan bölümüne Çukurova, kuzeyinde kalan bölümüne Anavarza tümüne ise Adana Ovası adı verilir. TÜİK, yıl bazlı il nüfus verilerine göre 2021 yılı nüfusu 2.263.373 kişi olup nüfus projeksiyonuna göre 2023 yılı nüfusunun 2.294.903 kişi olması beklenmektedir. Adana ilinin merkez ilçeleri 5 tane olup toplamda 15 adet ilçesi vardır. Bunlar; Seyhan, Çukurova, Yüreğir, Sarıçam, Karaisalı, Aladağ, Ceyhan, Feke, İmamoğlu, Karataş, Kozan, Pozantı, Saimbeyli, Tufanbeyli ve Yumurtalık'tır.

2.2. Çalışma Alanının İklimi ve Su Kaynakları

Adana İli'nin Toros Dağları dışında kalan bölümlerinde Akdeniz ikliminin egemen olduğu görülmektedir. Yazlar kurak ve sıcak, kışlar ılık ve yağışlıdır. Bölgede ortalama yağış miktarı yıllık 668,7 mm olup bu yağışlar yamaç yağışları şeklinde oluşmaktadır. Yağışların %51'i kışın, %26'sı ilkbaharda, %18'i sonbaharda ve %5'i de yazın düşmektedir [9].

Adana şehrinin içme ve kullanma suyu Çatalan Baraj Gölünden sağlanmaktadır. 1998 yılında yapımına başlanan Adana Çatalan İçme Suyu Temin Projesi 2003 yılında tamamlanmış ve şehre arıtılmış içme kullanma suyu verilmeye başlanmıştır. Bugün itibari ile şehir nüfusunun %98'ine Çatalan içme kullanma suyu verilmektedir. %2'lik nüfusun içme kullanma suyu yeraltından sağlanmaktadır.

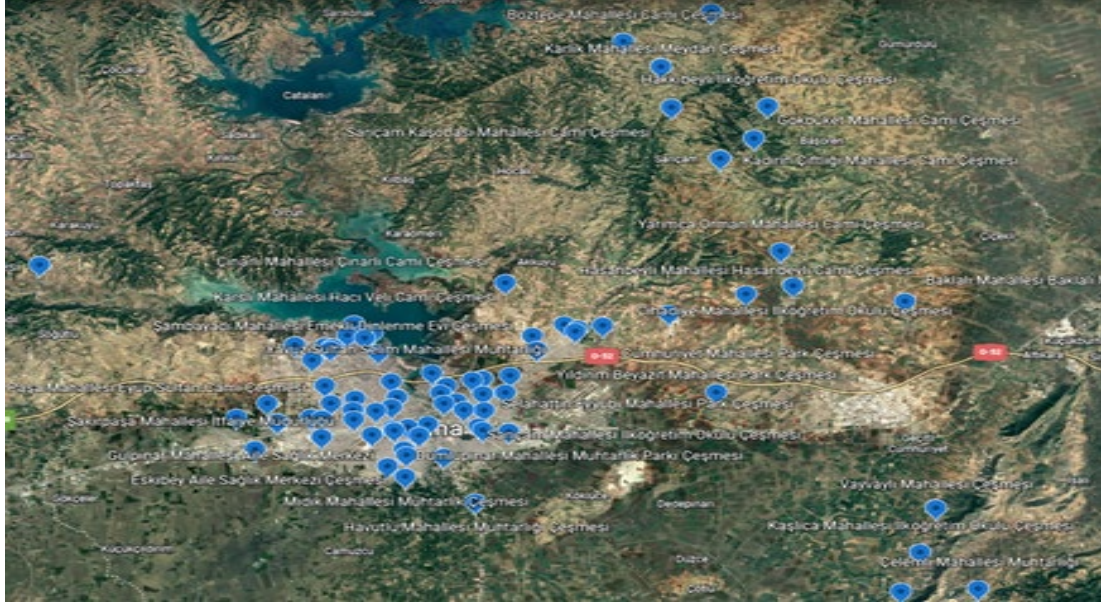
Adana ilinde Çatalan Barajı'ndan gelen suyla beslenen 4 merkez ilçeden biri olan Seyhan ilçesinden 34 numune, Çukurova ilçesinden 12 numune, Yüreğir ilçesinden 29 numune ve Sarıçam ilçesinden 18 numune olmak üzere toplamda 93 adet numune toplanmıştır. Tüm istasyonlara ait izleme noktaları Şekil 1'de gösterilmiştir [10].

Şehir şebeke suyundan alınan 93 adet numune plastik numune kaplarına alınarak, soğuk zincirde laboratuvara getirilmiştir. Her bir numune 1500 mL olarak toplanmıştır. Numuneler, analizler sonuçlanıncaya kadar +4 °C'de muhafaza edilmiştir

[11]. Su numuneleri toplanırken plastik numune kaplarında etiketlemeler şu doğrultuda yapılmıştır:

- Numunenin alındığı tarih, saat, adres,
- Numunenin cinsi,
- Numunenin kim tarafından alındığı.

Şebeke sularından kimyasal su numunesi, musluk tam olarak açılıp şebeke suyunu temsil eden suyun geldiğinden emin oluncaya kadar su akıtıldıktan sonra numune şişesi 3 kez çalkalanıp ağızda boşluk kalmayacak şekilde doldurulup alınmıştır [12].



Şekil 1. Adana ili istasyon noktaları [10]

2.3. Fizikokimyasal Analizler

Laboratuvara soğuk zincirde getirilen numunelerin oda sıcaklığına gelmesi ile beraber pH, elektriksel iletkenlik, toplam çözünmüş katı madde (TDS), tuzluluk ve çözünmüş oksijen analizleri Hach HQ440d elektrot tutuculu çift kanallı laboratuvar tipi dijital multimetreyle, bulanıklılık analizi TL 2300 Hach Lange marka türbidimetre cihazıyla, klorür (Cl), nitrat (NO₃), sülfat (SO₄), fosfat (PO₄), analizleri Dionex Ics-5000⁺ Dp marka iyon kromatografi cihazıyla ve demir (Fe), alüminyum (Al), sodyum (Na), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) analizleri ise ICP MS 7700 Agilent cihazı ile yapılmıştır. Analizler Çizelge 1.'de verilen metodlarla Türk Standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiş olup elde edilen veriler Çizelge 2.'de verilen Kanada su kalite indeksi modeline göre derecelendirilmiştir.

Çizelge 1. Analiz metodları ile ilgili TSE standartları

Analizler	Kullanılan standart
pH tayini	TS EN ISO 10523 (10.04.2013)
Elektriksel İletkenlik	TS 9748 EN 27888 (05.06.2012)
Toplam Çözünmüş Katı Madde	TS 7092
Tuzluluk	TS 8108
Çözünmüş Oksijen Tayini	TS EN ISO 5814
Bulanıklılık Tayini	TS EN ISO 7027
Klorür	TS EN ISO 10304-1
Nitrat	TS EN ISO 10304-1
Sülfat	TS EN ISO 10304-1
Fosfat	TS EN ISO 10304-1
Demir	TS EN ISO 17294-2
Alüminyum	TS EN ISO 17294-2
Sodyum	TS EN ISO 17294-2
Kalsiyum	TS EN ISO 17294-2
Magnezyum	TS EN ISO 17294-2

Çizelge 2. Kanada su kalite indeksi kalite derecelendirmesi [8]

Değer	Su kalitesi değerlendirilmesi	Kullanım olanakları
95-100	Çok iyi	İçme, sulama, endüstriyel
80-94	İyi	İçme, sulama, endüstriyel
60-79	Orta	Sulama, endüstriyel
45-59	Kötü	Sulama, endüstriyel
0-44	Çok kötü	Sulama

Faktör 1 (F1) su kalitesi mevzuatlarında verilen hedef değeri aşan parametrelerin toplam parametrelere göre yüzdesini ifade eder.

Faktör 2 (F2) frekans olarak adlandırılır. Test edilen veya gözlemlenen değer kaç defa kabul edilebilir sınırlar veya sınırlar dışında olduğunu gösterir.

Faktör 3 (F3) sapma genişliği veya hedeflerin karşılanmadığı miktardır. Yönetmeliklerde verilen sınır değeri aşan başarısız test değerlerinin sayısını ifade eder. İndeksin hesaplama formülü aşağıdaki gibidir.

$$F_1 = \frac{\text{Başarısız parametrelerin sayısı}}{\text{Toplam parametre sayısı}} * 100 \quad (1)$$

$$F_2 = \frac{\text{Başarısız deneylerin sayısı}}{\text{Toplam deney sayısı}} * 100 \quad (2)$$

$$\text{sapma}_i = \left(\frac{\text{Başarısız deney değeri}_i}{\text{Hedef değeri}_i} \right) - 1 \quad (3)$$

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n \text{sapma}_i}{\text{Toplam deney sayısı}} \quad (4)$$

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0.01nse+0.01} \right) \quad (5)$$

$$CWQI = 100 - \left[\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right] \quad (6)$$

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Adana İli içme sularında, şehir şebeke suyundan alınan 93 adet numune de 15 parametrenin analizi yapılmıştır. Analiz edilen parametrelerin minimum, maksimum, ortalama ve değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3'de verilen parametreler arasında fiziksel parametreler (pH, iletkenlik, bulanıklık), tuzluluk, toplam çözünmüş katı madde çözünmüş oksijen, diğer anyonik ve katyonik maddeler (Cl, NO₃, SO₄, PO₄, Ca, Mg, Na) ve ağır metaller (Al, Fe,) yer almaktadır. Belirlenen bu parametreler su kalitesinin izlenilmesinde önemli olan ve tüketici üzerinde doğrudan ve/veya dolaylı olarak etkisi olan parametrelerdir.

Çalışma kapsamında Adana İli'nde şehir merkezini yansıtmayı amacıyla dört merkez ilçeden alınan su örneklerinde toplam 15 su kalite parametresi analizleri yapılmıştır. Kanada su kalite indeksi (CQWI) ve British Columbia su kalite indeksi (BCQWI) metodu ile su kalite indeksi Çizelge 4'de hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

Su kalite indeksi verileri incelendiğinde genel olarak Adana İli içme suyunun Kanada su kalite indeksi (CWQI) hesaplamalarına göre 84.6, British Columbia su kalite indeksi (BCWQI) hesaplamalarına göre 81.6 ile İYİ kalite sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

Çizelge 3. Su kalite parametrelerinin istatistiki verileri

Su kalite parametreleri	Seyhan			Çukurova			Yüreğir			Sarıçam		
	Min	Max	Ort.	Min	Max	Ort.	Min	Max	Ort.	Min	Max	Ort.
pH	7,4	7,89	7,67	7,55	7,82	7,67	7,15	7,78	7,55	7	7,76	7,43
EC(μ S/cm)	410	443	425,5	428	448	438,8	407	930	470,7	414	988	622
Bulanıklık(NTU)	0,06	0,6	0,14	0,06	0,32	0,15	0,06	0,38	0,15	0,05	1,09	0,19
Tuzluluk(%)	0,021	0,02	0,02	0,02	0,023	0,022	0,021	0,05	0,024	0,02	0,05	0,03
Toplam Çözülmüş Katı Madde(mg/L)	215,7	230	223,3	214,9	222	219,2	220	498	247,8	223	499	325,2
Çözülmüş Oksijen(mg/L)	8,72	10,54	9,5	8,94	10,56	9,75	8,61	10,28	9,37	6,58	9,03	8,62
Cl(mg/L)	21,6	25,8	23,3	22,5	25,7	23,4	13,6	65,1	24,9	17,9	86,7	35,5
NO ₃ (mg/L)	2,84	3,5	3,17	3,01	3,04	3,16	2,93	95,3	9,08	2,8	104,2	32,8
SO ₄ (mg/L)	29,2	35,5	31,8	30	35,3	31,6	10,9	87	32,4	7,77	83,4	27,5
PO ₄ (mg/L)	4,7	7	4,9	4,8	5,27	4,92	4,8	6,28	5,06	4,83	5,21	4,93
Fe(μ g/L)	6	192,2	17,9	7,1	13	8,88	0,81	71,8	12,9	0,88	367,9	28,2
Al(μ g/L)	0,79	7,9	2,109	0,79	1,48	1,04	0,54	5,63	1,36	0,33	19,6	3,63
Na(mg/L)	12,6	16,8	14,2	12,9	14,5	13,6	10	55,2	15,6	10,1	53,8	21,9
Ca(mg/L)	43,5	53,6	48,2	4,78	50,9	45	42,5	111,5	58,3	39,6	112,3	65,8
Mg(mg/L)	17,5	21	18,9	18	19,1	18,4	5	42,4	18,2	17,1	44,1	26,6

Çizelge 4. Adana su kalite indeks hesaplamaları

F1	26,667
F2	0,717
Sapma (SR14)	0,09
Sapma (SR3)	0,216
Sapma (Y8)	0,906
Sapma (SR1)	1,086
Sapma (SR4)	0,213
Sapma (SR5)	0,422
Sapma (SR16)	0,625
Sapma (SR17)	0,265
Sapma (SR18)	0,779
Sapma (SR14)	0,840
TOPLAM (Sapma)	5,442
nse	0,004
F3	0,388
CCME CWQI	84,596
BCWQI	81,640

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Su kaynakları pek çok canlı türünü içinde bulunduran, belli başlı topluluklar ve yaşamsal habitatlar içeren ekosistemlerdir. Su kalitesi, belli başlı kullanımlar ile ilgili su kaynağı veya su kütesinin durumunu göstermekte olup suyun kalitesinin bilinmesi su kirliliğinin kontrolünde büyük önem arz etmektedir.

Su kalite çalışmalarında araştırılan ve önemli bir yere sahip olan parametrelerden biri pH değeridir. pH sularında kimyasal ve biyolojik açıdan çok önem taşımaktadır. pH değerinin yüksek veya düşük olması suyun içilebilir olmasını etkilemekte ve bazı bileşiklerin toksisitesine etki etmektedir. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik, TS 266 ve Avrupa Birliği standartlarına göre, içme sularında pH değerinin 6,5–9,5 arasında olması istenmektedir. Yapılan çalışma sonucu elde edilen verilere göre, 7,59 ortalama ile genel olarak Adana İli içme sularının hafif düzeyde bazik olduğu tespit edilmiştir.

Su kalite çalışmalarında önemli olan parametrelerden bir diğeri de iletkenlik değeridir. İletkenlik sudaki iyonların konsantrasyonuna ve nutrient yüküne bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmamız sonucu elde edilen verilere göre, Adana ili içme sularının, ortalama 479,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değeri ile elektriksel iletkenlik parametresi açısından içme suyu standartlarını aşmadığı tespit edilmiştir.

Bulanıklık, su berraklığının veya şeffaflığın bir ölçüsü olup, suyun ne kadar bulutlu veya çamurlu olduğunu göstermektedir. Yapılan çalışmada sadece Sarıçam ilçesi 14. istasyondan alınan su örneğinde 1,09 NTU olarak tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi şebeke hattı boyunca demir iyonlarının borulardan çözünerek suya geçmesi olarak düşünülmektedir. Çünkü aynı istasyonda demir parametresi de standart değerlerin üstünde tespit edilmiştir.

Tuzluluk ve toplam çözünmüş katı madde (TDS) değerleri de içme kullanma sularında incelenmesi gereken önemli su kalite parametreleri arasındadır. Genel olarak iletkenlikle ilişkilendirilerek suyun iyon yükünün, tuzluluğunun veya kirliliğinin değerlendirilmesi şeklinde kullanılır. Yapılan çalışmada tuzluluk ve toplam çözünmüş katı madde (TDS) değerleri arasında Adana il geneli alınan istasyonlarda önemli bir fark olmadığı tespit edilmiş olup veriler standart değerler arasında belirlenmiştir.

Çözünmüş oksijen (ÇO), suda çözünen ve mikrobik gaz halindeki oksijen kabarcıklarının suya karışmasıyla oluşan oksijen miktarıdır ve su kalitesi çalışmalarında kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Çözünmüş oksijen suyun kirlilik derecesini ifade etmektedir. Yapılan çalışmada sadece Sarıçam ilçesi 3. İstasyon noktasından alınan örnekte çözünmüş oksijen değeri standart değerlerin altında tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi mikrobiyolojik bir kirliliğin varlığının kanıtı olup Adana il geneli diğer alınan istasyon noktalarında standart değer arasında olduğu tespit edilmiştir.

Klorür tuzlarının çözünürlüğü fazla olduğundan sulara en çok bulunan iyonlardan birisi klorürdür. Klorür değerlerinin yüksek oluşu, tuzluluk ve buna

bağlı olarak da elektriksel iletkenliğin yüksek olduğunu gösterir. Klorür iyonlarının miktarı sağlıklı bir içme suyu için gösterge bir parametredir. Bu sebeplerden ötürü su kalite çalışmalarında önemli parametrelerden birisidir. Klorür konsantrasyonu 250 mg/L'yi aşarsa suya tuzlu bir tad verir. Bu çalışmamız sonucu elde edilen verilere göre klorür konsantrasyonu ortalama 26,2 mg/L ile standart değerler arasında tespit edilmiştir.

İçme suyunda nitrat seviyesi su kalitesinin ve kirliliğinin değerlendirilmesinde kullanılan en önemli parametrelerden birisidir. Nitrat tarımsal gübrenin önemli bir bileşenidir özellikle tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu, kırsal alanlarda, nitrat değerlerinin içme sularında oldukça yüksek konsantrasyonlara çıktığı gözlenmektedir. Suda gözlemlenen yüksek nitrat seviyesi atık sudan kaynaklı bir kontaminasyonun göstergesi olabilir. Yüksek nitratlı sular insan sağlığı açısından bağırsaklarda toksik nitritlere indirgenebilir ve özellikle bebekler, yüksek seviyede nitrat içeren sular ile ciddi şekilde zehirlenebilir. Bu bakımdan su kalitesinde kritik öneme sahip parametrelerden biridir. Yapılan çalışma sonucu elde edilen verilere göre, Yüreğir ilçesinde bir istasyonda, Sarıçam ilçesinde de beş istasyon noktasından alınan su örneklerinde nitrat seviyesi standartların üzerinde belirlenmiş diğer 87 noktadan alınan örnekte nitrat seviyesi standart değerler içerisinde tespit edilmiştir.

Su kalite çalışmasında diğer bir önemli parametre ise sülfattır. Ulusal ve uluslararası standartlarda sülfatın sınır değeri 250 mg/L olarak belirlenmiştir. Sülfat birçok mineralde doğal olarak bulunur içme sularında da doğal yollarla karışan en önemli iyonlardan biridir. Endüstriyel atıklar ve atmosferdeki birikim yoluyla sulara gözlenir. Yüksek sülfatlı sular, küçük çocuklarda ve yetişkinlerde geçici ishale neden olur. Metabolizma zamanla sülfata alıştığından, bu etki daha çok misafir ve turistlerde görülür. Yapılan bu çalışmada sülfat seviyesi alınan tüm istasyonlarda standart değerlerin içerisinde tespit edilmiştir.

Bir diğer önemli su kalite parametresi fosfattır. Fosfat, tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübrelerde

ve evsel atıkların karıştığı sularda yoğun olarak bulunur. Uluslararası standartlarda fosfatın sınır değeri 250 mg/L olarak belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucu elde edilen verilere göre, fosfat değerlerinin, Adana İli içme sularında standartlarda belirtilen değerler içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

Su kalite çalışmalarında gözlenmesi gereken bir diğer parametre demirdir. İçme sularında demirin aşırı bulunması suya metalik bir tat verir. Yüksek miktarda demir içeren bir su hava ile temas ettiği zaman suya geçen oksijen, Fe⁺² iyonlarını Fe⁺³ e yükseltir. Sonuç olarak suda kırmızı Fe(OH)₃ parçacıkları (kolloidler) meydana gelir ve buda suda renklilik oluşturur. Bu durum sağlık ve estetik açıdan suda istenmeyen bir durumdur. Ayrıca tekstil sanayii, sabun, diş macunu imalatı ve kağıt sanayiinde kullanılan sularda demirin varlığı ürünler üzerinde leke oluşturacağından demir içme kullanma sularında kontrol edilmesi gereken parametredir. Yapılan çalışma sonucu elde edilen verilere göre sadece sarıçam ilçesi 14. istasyon noktasından alınan su örneğinde demir seviyesi standart değerlerin üzerinde bulunmuş olup diğer tüm noktalarda standart değerlerin içerisinde tespit edilmiştir.

Alüminyum içme suları kalite parametrelerinden biri olarak izlenmesi gereken parametrelere aittir. Amfoterik bir element olan Alüminyum aşırı asidik ve alkali pH koşullarında çözünür, ancak nötr ve nötre yakın pH değerlerinde çözünmez. Alüminyuma maruziyetin fazla olması merkezi sinir sisteminde ve iskelet-kas sisteminde toksisite gösterebilir. Özellikle Alzheimer, Parkinson demans ve amyotropik lateral skleroz (ALS) gibi sinir sistemi hastalıklarına neden olabilir. Bu çalışmamız sonucu elde edilen verilere göre Adana ilinde tüm istasyon noktalarından alınan su örneklerinde alüminyum seviyesi standart değerler içerisinde tespit edilmiştir.

Sodyum iyonu içme su kaynaklarında bulunan en önemli elementlerden biridir. Sodyumun fazlası kan basıncının yükselmesine neden olur. Ayrıca kalp damarlarında tıkanıklığa ve böbrek hastalıklarının oluşmasına da neden olur. Bu sebeplerden dolayı su kalite çalışmalarında üzerinde çalışılması gereken

parametrelerden biridir. Yapılan bu çalışmada elde edilen verilere göre sodyum değeri ulusal ve uluslararası standartlar içerisinde tespit edilmiştir.

Kalsiyum, suyun yapısında var olan ve suya sertlik veren en önemli iyonlardan biridir. Aynı zamanda insan vücudunda en çok bulunan ve en çok ihtiyaç duyulan katyondur. Kemik yapısındaki en önemli tuz olan kalsiyum fosfatı oluşturmakta, diş minesinde bulunmakta, kanın pıhtılaşmasını sağlamakta, kasların fonksiyonu yönünden de önemli rol oynamakta, vb. birçok faydası vardır. Eksikliğinde ise kemik ve iskelet sistemi hastalıkları, çocuklarda raşitizm gibi problemlere neden olmakla birlikte, içme suyundaki derişimi gereğinden fazla olması halinde böbrek taşına sebep olmaktadır. Sağlık açısından bu kadar önemli olan bu katyonun su kalite çalışmalarında incelenmesi kaçınılmaz bir parametredir. Yapılan analizler sonucu elde edilen verilere göre Adana İli içme sularında kalsiyum seviyesi standartlar içerisinde tespit edilmiştir.

Suda çözünen ve suyu sert yapan bir diğer katyon magnezyum iyonudur. Magnezyum, canlı hücresinde potasyum ile birlikte en yaygın bulunan elementidir. İnsan biyolojisinde magnezyum, sağlık için gerekli minerallerden birisidir. İnsan organizmasında başlıca kemiklerde, kaslarda ve sinirsel dokularda bulunur. Aynı zamanda protein ve nükleik asit sentezinde rol oynamaktadır. Magnezyumun bu etkileri dikkate alındığında su kalitesi çalışmalarında önemli bir parametredir. Yapılan analizler sonucu elde edilen verilere göre Adana İlindeki alınan tüm su örneklerinde magnezyum standart seviyelerde bulunduğu tespit edilmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Dede, Ö., Sezer, M., 2017. Aksu Deresi Su Kalitesinin Belirlenmesinde Kanada Su Kalite İndeksi (CWQI) Modelinin Uygulanması. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32(3), 909-917.
2. Yılmaz, E., Yılmaz, A., Arslan, D., 2010. Su Havzalarında Yönetim Planlamasının Önemi. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 3(1), 75-78.

3. WHO, 2011a. Guidelines for Drinking Water Quality. 4th edn. World Health Organization, Geneva, 631. <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/97892>. Erişim Tarihi: 30.10.2022.
4. Lirika, K., Alma, I., Magdalana, C., Dashnor, K., 2013. Ohrid Gölündeki Su Kalitesinin Değerlendirmesinde Diatome ve Makrofit Endekslerinin Kullanılması. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 28(2), 393-400.
5. Akkoyunlu, A., Akiner, M., 2012. Pollution Evaluation in Streams Using Water Quality Indices: A Case Study from Turkey's Sapanca Lake Basin. Ecological Indicators, 18,501-511.
6. Lumb, A., Sharma, T., Bibeault, J., 2011. A Review of Genesis and Evolution of Water Quality Index (WQI) and Some Future Directions. Water Qual Expo Health, 3(1), 11-24.
7. Linstone, H., Turoff, M., 1975. The Delphi Method Outline. Massachutes, Addison-Wesley Publishing Company, 17.
8. CCME., 2001. Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment, Canada, 5.
9. M.G.M., 2021. Meteoroloji Genel Müdürlüğü İllere Ait Mevsim Normalleri <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-veilceleristatistik.aspx?k=undefined&m=ADANA> Erişim Tarihi: 06.10.2022.
10. Google Earth Pro, 2022. <https://earth.google.com>. Erişim tarihi; 22.03.2022.
11. Sağlık Bakanlığı Su Numunesi Kabul Kriterleri, 2018. T.C. Sağlık Bakanlığı. Ankara, 8.
12. Karabük Halk Sağlığı Laboratuvarı Su Numunesi Alma Rehberi, 2015. Karabük Halk Sağlığı Müdürlüğü. Karabük, 10.
13. T.C. Sağlık Bakanlığı. 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. 17 Şubat 2005 Tarihli ve 25730 Sayılı Resmi Gazete, Ankara, 68.
14. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2004. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği. 12 Aralık 2004 Tarihli ve 25687 Sayılı Resmi Gazete, Ankara, 12.
15. E.C., 2007. European Communities (drinking water) (no. 2), Regulations 2007. S.I. No. 278.
16. WHO, 2017. Guidelines For Drinking-Water Quality. <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255336/9789241565486-eng.pdf>, Erişim Tarihi: 30.10.2022.
17. WHO, 2011b. Hardness in Drinking-Water, Background Document for Development of WHO Guidelines For Drinking-Water Quality. WHO/HSE/WSH/10.01/10/Rev/1. World Health Organization, Geneva.
18. WHO, 2009. Potassium in Drinking-Water, Background Document for Development of WHO Guidelines For Drinking-Water Quality. WHO/HSE/WSH/09.01/7. World Health Organization, Geneva.
19. WHO, 2004. Water, Sanitation and Hygiene Links to Health-Facts and Figures. World Health Organization, Geneva.
20. Titiz, A., 2020. Su Kalitesi İndeksi ve Bazı Çoklu İstatistiksel Teknikler Kullanılarak İpsala İlçesi İçme Suyu Kalitesinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
21. Alver, A., Baştürk, E., 2019. Karasu Nehri Su Kalitesinin Farklı Su Kalitesi İndeksleri Açısından Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23(2), 488-497.

Çözelti Konsantrasyonu ile Nanolif Çapı Arasındaki İlişki

Gonca ŞİMŞEK GÜNDÜZ*¹ ORCID 0000-0002-3355-0645

¹Pamukkale Üniversitesi, Denizli Teknik Bilimler MYO, Tekstil Teknolojisi Programı, Denizli

Geliş tarihi: 12.08.2023 Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: ŞİMŞEK GÜNDÜZ, G., (2023). Çözelti Konsantrasyonu ile Nanolif Çapı Arasındaki İlişki. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 775-786.

Öz

İki farklı polimer kullanılarak değişik konsantrasyonlarda çözeltilerden elektrolif çekim yöntemi ile üretilen liflerin morfolojisi incelenmiştir. Bu amaçla poliakrilonitril (PAN) polimeri, dimetilformamid (DMF) çözeltisinde %9, %12, %15 ve %18 konsantrasyonlarda olacak şekilde çözülmüştür. Polivinilalkol (PVA) polimeri suda çözülerek %12, %14, %16 konsantrasyonlarda çözeltiler hazırlanmıştır. %18 PAN çözeltisi ile nano lif üretimi gerçekleşmemiştir. Diğer konsantrasyonlarda her iki polimerle nanolif üretimi gerçekleştirilmiştir. Konsantrasyon değeri arttıkça boncuk oluşumunda azalma gözlenmiştir. Nanoliflerin çapları taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) ölçülmüştür. Analizler için SPSS programı kullanılmıştır. Daha önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada PAN nanoliflerinin siyah kâğıt yüzeyindeki görünüşleri incelenmiştir. PAN çözeltisinde konsantrasyon %9 değerinden %12'ye yükseldiğinde lif çapları artarken, konsantrasyon %12'den %15'e yükseldiğinde meydana gelen artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür. PVA çözeltisinde konsantrasyon arttıkça lif çaplarının istatistiksel olarak arttığı görülmüştür. PAN nanolif ağ tabakalarının kâğıt yüzeyindeki görünüşleri karşılaştırıldığında çözelti konsantrasyonunun lif dizilimi ve lifler arası boşluk gibi morfolojik özellikleri etkilediği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrolif çekimi, Konsantrasyon, Morfoloji, PAN, PVA

Relationship Between Solution Concentration and Nanofiber Diameter

Abstract

The morphology of fibers produced by the electrospinning method from solutions at different concentrations using two different polymers was investigated. PAN polymer was dissolved in DMF solution at 9%, 12%, 15% and 18% concentrations. PVA polymer was dissolved in water and solutions were prepared at 12%, 14%, 16% concentrations. Nano fiber production was not realized with an 18% PAN solution. Nanofiber production was carried out with both polymers at other concentrations. Decrease in bead formation was observed as the concentration value increased. The diameters of the nanofibers were measured with SEM. The SPSS program was used for analyses. Unlike previous studies, in this study, the appearance of PAN nanofibers on the black paper surface was examined. While fiber diameters increased when the concentration increased from 9% to 12% in PAN solution, it was observed that the increase when the concentration increased from 12% to 15% was not statistically significant. It was observed that the fiber diameters increased statistically as the concentration in the PVA solution increased. When the appearance of PAN nanofiber mesh layers on the paper surface was compared, it was observed that the solution concentration affected morphological properties such as fiber arrangement and interfiber spacing.

Keywords: Electrospinning, Concentration, Morphology, PAN, PVA

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Gonca ŞİMŞEK GÜNDÜZ, gsimsek@pau.edu.tr

1. GİRİŞ

Nanolifler çeşitli uygulamalar için eşsiz kimyasal, mekanik, manyetik, optik ve elektronik özellikler sağlamaktadır. Basit donanımlar ile imalat yapılabilmesi ve üretimleri için az enerji gerektirmesi [1], oldukça geniş yüzey alanına ve yüksek gözenekliliğe sahip olması [2], maliyetinin düşük olması gibi özellikler nanoliflere olan ilgiyi artırmaktadır. Elektro lif çekim yöntemi nanolif üretiminde yaygın kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem yüksek voltaj güç kaynağı, toplayıcı ve bir çözelti besleme ünitesi ile iğneden oluşmaktadır [3,4]. Elektro lif çekim yönteminde nanoliflerin oluşumunu ve morfolojisini etkileyen çeşitli parametreler vardır. Bu parametreler 3 ana gruba ayrılmaktadır. Çözelti veya eriyik parametreleri (polimer yapısı, konsantrasyonu, viskozitesi, moleküler ağırlığı, yüzey gerilimi, iletkenliği pH'ı, sıcaklığı), işlem parametreleri (iğne çapı, çözelti akış hızı, gerilim, iğne ve toplayıcı arasındaki mesafe, toplayıcı plaka cinsi ve kalınlığı, toplayıcı tipi) ve çevresel parametrelerdir (sıcaklık, nem, basınç, atmosfer tipi) [5-9].

Çözelti konsantrasyonunun lif morfolojisi üzerine etkisini inceleyen çeşitli çalışmalar vardır. Süslü (2009), farklı çözelti konsantrasyonlarında 8-20 kV arasında voltaj uygulayarak poliakrilonitril liflerini ürettiği çalışmada konsantrasyon artışıyla nanolif çaplarında artış olduğunu göstermektedir. Ayrıca, konsantrasyon arttıkça boncuk oluşumunun azaldığı, %12 konsantrasyonda boncuklu yapının neredeyse olmadığı söylenmektedir [10]. İkiz, PVA liflerini ürettiği çalışmada artan konsantrasyonla birlikte lif çapının da arttığını göstermektedir. Konsantrasyonun çok düşük olduğunda, polimerin lif haline gelmeden yüzeye damladığı, tam tersi durumda ise elektriksel kuvvetler yüzey gerilimini ve viskoziteyi yenemediğinden polimer akışının olmadığı gözlenmiştir [11]. Schueren ve arkadaşları, polikaprolaktan (PLC) liflerini ürettikleri çalışmada, konsantrasyonun düşmesi ile ortalama lif çaplarının azaldığını göstermektedirler [12]. Üstün, PVA ve PAN liflerini ürettiği çalışmada, konsantrasyon arttıkça lif çapının arttığını, konsantrasyon çok düşük olduğunda ya da çok yüksek olduğunda lif elde edilemediğini belirtmektedir [5]. Yener ve arkadaşları, farklı

konsantrasyonlarda çözelti hazırlayarak PVB liflerini üretmişlerdir. Konsantrasyon arttıkça lif çapının arttığını, düşük viskozitenin boncuk oluşumuna neden olduğunu belirtmektedirler [13]. Beypazar, PVA ve PAN liflerini ürettiği çalışmada, konsantrasyon artışının lif çapını belirgin bir biçimde arttırdığını belirtmektedir [14]. Dehghan ve arkadaşları, çalışmada PAN polimerini kullanmaktadırlar. Düşük konsantrasyonun daha düşük çaplı nano lif üretimi sağladığı, ancak daha yüksek boncuk sayısına neden olduğunu belirtmektedirler [15]. Doustgani, nano boyutta PVA liflerini ürettiği çalışmada çözelti konsantrasyonu arttığında lif çapının arttığını göstermektedir [16]. Karayegen, konsantrasyon arttıkça daha yoğun lif oluşumu olduğunu söylemektedir [17]. Polimerlerin dışındaki bir çalışmada Miri ve arkadaşları, zein liflerini asetik asitle çözerek nanolif üretimini gerçekleştirmektedirler. Çözelti konsantrasyonunun artmasıyla lif çapında artış ile birlikte düzgün ve boncuksuz lifler elde edilmektedir [18].

Konsantrasyon çok düşük olduğunda çözeltilinin düşük viskozitesi ve yüksek yüzey gerilimi nedeniyle elektro eğirme gerçekleşmemekte, çözelti püskürmektedir. Konsantrasyon biraz yükseldiğinde lif oluşumu başlamakta ancak boncuklu yapı oluşmaktadır. Konsantrasyon uygun seviyeye geldiğinde pürüzsüz lifler elde edilmektedir [19,20]. Konsantrasyon yüksek olduğunda boncuk oluşumu sıklıkla görülmemekte ancak daha büyük lif çapları elde edilmektedir [21]. Çözelti seyreltik olduğunda moleküler içi mesafe geniş olmakta, moleküler içi etkileşim zayıf olmaktadır. Konsantrasyon arttığında moleküler içi etkileşim artmaya başlamaktadır [22]. Moleküler içi etkileşimlerin düşük olması jet oluşumunda süreklilik sağlayamamaktadır. Ayrıca elektromanyetik kuvvetler bu etkileşimleri aşamazsa lif oluşmamaktadır [23].

Literatür araştırması sonucunda çözelti konsantrasyonunun artmasıyla lif çapının arttığını görülmektedir. Ayrıca konsantrasyonun azalmasıyla boncuk oluşumunun da arttığını gösteren çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada PAN ve PVA polimerleri kullanılarak, lif morfolojisi

konsantrasyon parametresinde değişiklik yapılarak incelenmiştir. Deneyler sonucunda lif çapı ve boncuk oluşumu ile ilgili olarak literatüre benzer ilişkiler elde edilmiştir. Farklı olarak bu çalışmada PAN nanoliflerinin siyah kâğıt yüzeyindeki görünüşleri incelenmiştir. Böylece özellikle konsantrasyon değişiminin lif dizilimi ve lifler arası boşluk gibi morfolojik özellikleri etkileme mekanizması anlaşılmasına çalışılmıştır. Bununla birlikte az sayıda çalışılan polimer molekül ağırlığının etkisinin analizi gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

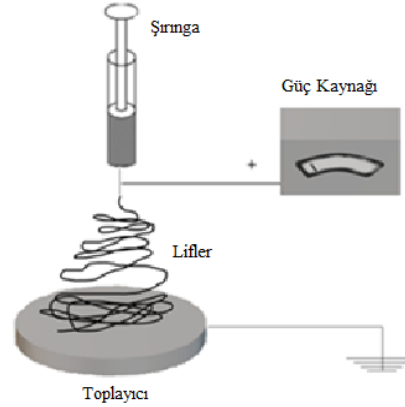
2.1. Materyal

Çalışmada PAN polimeri, dimetilformamid (DMF) solventinde oda sıcaklığında çözülerek polimer çözeltileri hazırlanmıştır. Kullanılan PAN polimerinin molekül ağırlığı 150.000 g/mol'dür. %9'luk hazırlanan çözeltinin viskozitesi 648 cp, iletkenlik değeri 117 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ölçülmüştür. %12'lik hazırlanan çözeltinin viskozitesi 891 cp, iletkenlik değeri 116 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. %15'lik hazırlanan çözeltinin viskozitesi 1240 cp, iletkenlik değeri 113 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ölçülmüştür. %18'lik hazırlanan çözeltinin viskozitesi 1830 cp, iletkenlik değeri 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir.

PVA polimeri, su içinde çözülerek polimer çözeltileri hazırlanmıştır. Kullanılan PVA polimerinin molekül ağırlığı 91.000-97.000 g/mol'dür. %12'lik hazırlanan çözeltinin viskozitesi 796 cp, iletkenlik değeri 580 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ölçülmüştür. %14'lik hazırlanan çözeltinin viskozitesi 1145 cp, iletkenlik değeri 545 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. %16'lik hazırlanan çözeltinin viskozitesi 1530 cp, iletkenlik değeri 510 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ölçülmüştür.

2.2. Metot

Çalışmada, şırınga beslemeli elektro lif çekim düzeneği kullanılmıştır. Şekil 1'de deneylerde kullanılan elektro lif üretim düzeneği görülmektedir.



Şekil 1. Elektro lif üretim düzeneği

Bu düzenek yüksek voltaj güç kaynağı, metal toplayıcı (topraklanmış) ve polimer besleme pompası olmak üzere başlıca üç ana parçadan oluşmaktadır. İğne ucundaki polimer çözelti damlası ile metal toplayıcı arasında elektrostatik alan oluşturulmuş, uygulanan voltaj, polimer çözelti damlasının iğneden püskürtülmesini sağlamıştır. Elektriksel kuvvetler sebebiyle polimer çözelti damlası uzayarak çok ince bir lif haline gelmiş, çözücü buharlaşınca, yüzeye birikmiş lif ağı elde edilmiştir. 10 dakika boyunca nanolif üretimi yapılmıştır. Tüm deneyler, normal atmosfer basıncı altında ve oda sıcaklığında yapılmıştır. Deney parametreleri Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 1. Deney parametreleri (PAN)

İşlem parametreleri	Değerler
Elektrotlar Arası Mesafe	20 cm
Akış Hızı	1 ml/saat
Metal Toplayıcı Malzemesi	Bakır
Metal Toplayıcı Kalınlığı	10 mm
Metal Toplayıcı Şekli	Daire (10 cm çaplı)
İğne Çapı	22G (0,7 mm)
Voltaj Miktarı	20 kV
Konsantrasyon	%9 %12 %15 %18

Çizelge 2. Deneysel parametreleri (PVA)

İşlem parametreleri	Değerler
Elektrotlar Arası Mesafe	20 cm
Akış Hızı	1 ml/saat
Metal Toplayıcı Malzemesi	Bakır
Metal Toplayıcı Kalınlığı	10 mm
Metal Toplayıcı Şekli	Daire (10 cm çaplı)
İğne Çapı	22G (0,7 mm)
Voltaj Miktarı	25 kV
Konsantrasyon	%12 %14 %16

Çalışmada elektro lif çekim yöntemiyle nanolif üretiminde, konsantrasyon miktarının nano ağ yapının morfolojisine etkisi incelenmiştir. Bunun için Çizelge 1 ve Çizelge 2’de verilen deney parametreleri ile çalışılmıştır. Çözelti konsantrasyonu haricinde tüm parametreler sabit tutularak, farklı konsantrasyon değerlerinde çalışılmıştır. Üretilen nano liflerin çaplarını belirlemek için SEM kullanılmıştır. Her bir farklı konsantrasyon değeri için 40 çap ölçümü yapılarak ortalama lif çapı hesaplanmıştır. Elde edilen nanoliflerin inceliklerinin istatistiksel olarak karşılaştırılmasında tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) ve Tukey testi yapılmıştır. Analizlerin yapılabilmesi için verilerin normal dağılıma uyması ve varyansların homojen olması gerekmektedir. Bu sebeple normallik ve varyansların homojenliği testleri yapılmıştır. İstatistiksel analizlerde SPSS programından yararlanılmıştır.

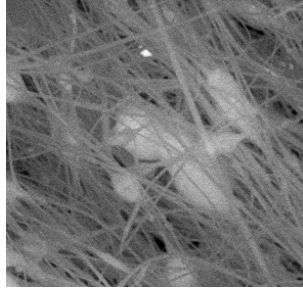
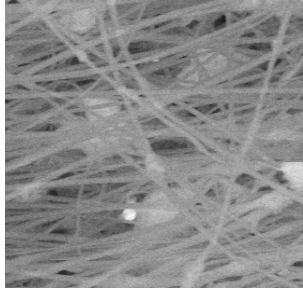
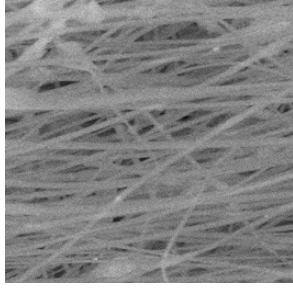
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. PAN Nanoliflerinin Çap Değişimi

%9, %12, %15 ve %18 konsantrasyonlarda polimer çözeltileri ile çalışılmıştır. Öncelikle %18 PAN çözeltisi ile üretim yapılmaya çalışılmıştır. Çizelge 1’de verilen parametreler ayarlanıp sisteme 20 kV

gerilim verildiğinde nano lif üretimi gerçekleşmemiştir. Gerilim 25 kV değerine çıkarıldığında lif oluşumu başlamış, ancak bir süre sonra polimer çözeltisinin iğne ucunu tıkamaması sonucunda üretim durmuştur. Çözelti konsantrasyonu arttığında lif oluşumu için gerekli olan geriliminde artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Çözeltinin konsantrasyonu arttığında viskozitesi de artmaktadır. Dolayısıyla polimer jetin oluşabilmesi için gereken gerilim de artmaktadır [1]. Bu durumda ayrıca daha geniş çaplı iğne ucu kullanılması gerektiği gözlemlenmiştir. %9, %12 ve %15 PAN çözeltileriyle Çizelge 1’de verilen parametrelerde nano lif üretimi gerçekleştirilmiştir. Çözelti konsantrasyonu azaldığında damlamaların arttığı görülmüştür. Diğer bir değişle konsantrasyon değeri arttıkça boncuk oluşumunda azalma meydana gelmiştir. Bu durum Çizelge 3’te verilen SEM görüntülerinde açıkça görülmektedir. Görüldüğü üzere %15 konsantrasyonlu çözelti ile üretilen nanoliflerde neredeyse hiç boncuklu yapı oluşmamıştır. Elektrolif çekim yöntemi ile nanolif üretiminde çözelti konsantrasyonunun belirli bir değer üstünde olması gerekmektedir. Belirli bir değer altında lif çekimi zorlaşmakta ve damlama meydana gelmektedir. Bu kritik konsantrasyon değerinin altında nano liflere boncuk oluşumu eşlik etmektedir [24]. Çözelti konsantrasyonu yüksek olduğunda yüksek viskozite nedeniyle lif oluşmamakta, konsantrasyon düşük olduğunda yüzey gerilimi nedeniyle damlamalar oluşmaktadır [25]. Viskozite azaldıkça boncuk oluşumu artmaktadır [26]. Boncuk oluşumu çözelti konsantrasyonu ile yüksek derecede bağlantılıdır [27]. Habeeb ve Abdulkadhim (2021), polimerik sıvıların en önemli parametrelerinden birinin polimerik çözeltinin konsantrasyonu ve bunun sıvının viskozitesi ile doğrudan ilişkisi olduğunu belirtmiştir. Viskozite düştükçe lifli dokuda oluşan boncukların sayısı ve boyutlarının çok olması gibi problemlerle karşılaşılır. Bu durum, liflerin performansında zayıflığa yol açarak mühendislik ve tıp uygulamalarını sınırlamaktadır [28].

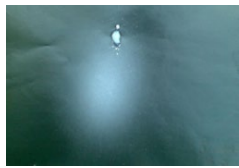
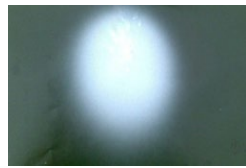

Çizelge 3. Farklı konsantrasyon değerlerinde elde edilen nano liflerin SEM görüntüleri

Konsantrasyon	%9	%12
SEM görüntüleri (3,50 kx)		
Konsantrasyon	%15	%18
SEM görüntüleri (3,50 kx)		Üretim olmadı

%15 konsantrasyonda elde edilen lifler %9 ve %12 konsantrasyonlarında elde edilen liflere göre daha geniş alana yayılmışlardır (Çizelge 4). Görüldüğü üzere konsantrasyon azaldıkça lifler daha fazla bir

araya toplanma eğilimindedir. Ancak konsantrasyon azalışı sonucu görülen damlama artışı ile lif oluşumunun azalması da kâğıt yüzeyinde görülmektedir.

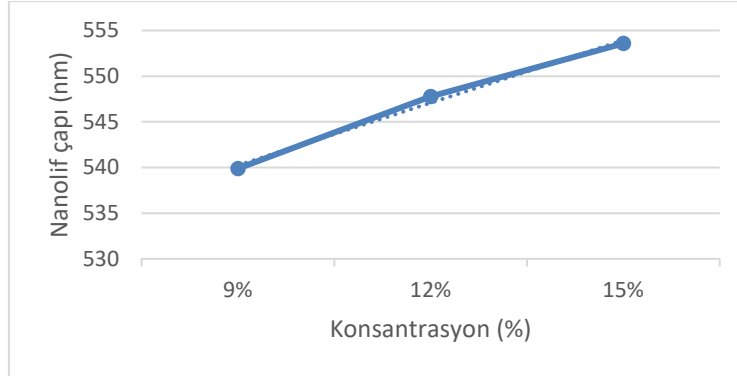
Çizelge 4. Farklı konsantrasyon değerlerinde elde edilen nano liflerin kâğıt yüzeyindeki görünüşleri

Konsantrasyon	%9	%12	%15
Kâğıt yüzeyindeki görünüm			

Konsantrasyonun artması boncuksuz bir yapı elde edilmesine olanak sağlamakla birlikte nano lif çaplarında artışa neden olmuştur. %9 konsantrasyonda üretilen nanoliflerin ortalama çapı

539,88 nm iken bu değer %12 konsantrasyonda 547,78 nm ve %15 konsantrasyonda 553,58 nm'dir (Şekil 2). Şekil 2'de görüldüğü gibi konsantrasyon arttıkça lif çapı artmaktadır.

Çözelti Konsantrasyonu ile Nanolif Çapı Arasındaki İlişki



Şekil 2. Farklı konsantrasyon değerlerinde elde edilen nano liflerin ortalama çap değerleri

Lif çapı verilerindeki değişimin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını görebilmek için parametrik testler yapılmıştır. Normal dağılıma uygunluğun tespiti için Shapiro-Wilk testi ve varyansların

homojenliği testleri yapılmıştır. Çizelge 5'te görüldüğü üzere çap verileri normal dağılıma sahiptir ($p>0,05$). Aynı çizelgeden varyansların homojen olduğu görülmektedir ($p>0,05$).

Çizelge 5. Normallik ve varyansların homojenliği testi sonuçları

Çap	Konsantrasyon (%)	Shapiro-Wilk Statistic	df	p
	9	0,96	40	0,13
12	0,95	40	0,06	
15	0,95	40	0,09	
Varyansların Homojenliği testi				
Çap	Levene Statistic	df1	df2	p
	0,20	2	117	0,67

Farklı konsantrasyon değerleri için gruplar arasındaki lif çapı farklarının istatistiksel olarak anlamlılığının tespitinde tek yönlü varyans analizi yapılmıştır. Çizelge 6'da görüldüğü üzere analiz sonucunda konsantrasyon faktörünün seviyeleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Konsantrasyonu gösteren 3 seviyenin (%9, %12, %15), lif inceliğini gösteren çap ortalamaları bakımından, hangilerinin farklı olduğu Tukey testi ile bulunmuştur (Çizelge 6). Buna göre %9 ve %12 konsantrasyonları arasında çap açısından anlamlı fark olduğu görülmüştür ($p<0,05$). %12 ve %15 arasında çap açısından anlamlı fark olmadığı görülmüştür ($p>0,05$). Konsantrasyon değerinin artırılması ile lif çapının doğru orantılı bir şekilde artmadığı görülmektedir. Şekil 2'de görüldüğü üzere konsantrasyonun %12'den %15'e çıkarılmasıyla elde edilen liflerin ortalama çaplarında artış meydana gelmektedir. Ancak yapılan Tukey testi sonucu, p değerlerinin

0,05'ten büyük olması nedeniyle, artan konsantrasyonun lif çapları üzerinde anlamlı etkisinin olmadığı görülmektedir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde büyük bir kısmında çözelti konsantrasyonunun liflerin çapı üzerinde önemli bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır [29-31]. PAN polimerinin DMF solventinde çözülerek çözeltinin hazırlandığı ve çoklu jetlerin elde edildiği bir çalışmada, nanoliflerin çapının 133.07 ± 21.66 nm'den (çözelti konsantrasyonu ağırlıkça %8) 351.69 ± 40.98 nm'ye (çözelti konsantrasyonu ağırlıkça %14) doğrusal olarak arttığı görülmüştür. Çözelti konsantrasyonunun düşmesiyle çözelti viskozitesi düşmekte ve bu durumda daha az makromoleküler zincirin nano lif oluşturmak üzere dolanabileceği anlamına gelmektedir. Böylece daha düşük çözelti konsantrasyonuyla daha ince lifler, daha yüksek çözelti konsantrasyonuyla daha kalın lifler elde edilebilir [32]. PAN polimerinin DMF solventinde

çözülerek çözeltinin hazırlandığı ve çoklu jetlerin elde edildiği bir başka çalışmada, çözelti konsantrasyonunun, ortalama nanolif çapı üzerinde önemli bir etkisi olduğu, konsantrasyon arttıkça daha kalın liflerin elde edildiği belirtilmiştir [33]. Bununla birlikte Khamforoush ve Agha-Moalpour, toplayıcı çapına göre orta

boydaki toplayıcı çapları için konsantrasyonun etkisinin önemsiz olduğunu belirtmektedir [34]. Thirugnanasambandham ve Sivakumar, çözelti konsantrasyonu belli bir değerin üzerinde olduğunda, lif çapına etkisinin ihmal edilebileceğini göstermektedir [35].

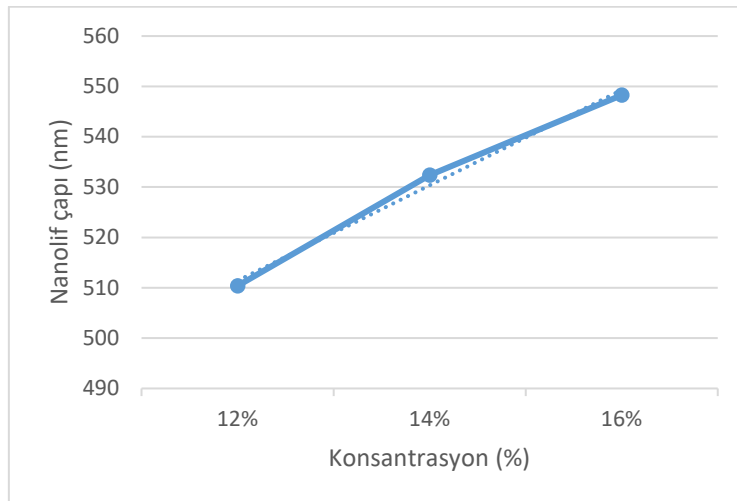
Çizelge 6. Varyans analizi ve Tukey testi sonuçları

Varyans analizi					
	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kare ortalaması	F	p
Gruplar arasında	3783,20	2	1891,60	13,74	0,000
Gruplar içinde	16107,73	117	137,67		
Toplam	19890,93	119			
Tukey testi					
(I) Konsantrasyon	(J) Konsantrasyon	(I-J) Ortalama fark	p		
%9	%12	-7,90	0,009		
	%15	-13,70	0,000		
%12	%9	7,90	0,009		
	%15	-5,80	0,074		
%15	%9	13,70	0,000		
	%12	5,80	0,074		

3.2. PVA Nanoliflerinin Çap Değişimi

PAN liflerine benzer şekilde konsantrasyonun artması boncuksuz bir yapı elde edilmesine olanak sağlamakla birlikte nano lif çaplarında artışa neden olmuştur. %12 konsantrasyonda üretilen

nanoliflerin ortalama çapı 510,38 nm iken bu değer %14 konsantrasyonda 532,40 nm ve %16 konsantrasyonda 548,26 nm'dir (Şekil 3). Şekil 3'te görüldüğü gibi konsantrasyon arttıkça lif çapı artmaktadır.



Şekil 3. Farklı konsantrasyon değerlerinde elde edilen nano liflerin ortalama çap değerleri

Çizelge 7’de görüldüğü üzere çap verileri normal dağılıma sahiptir ($p>0,05$). Aynı çizelgeden varyansların homojen olduğu da görülmektedir ($p>0,05$). Çizelge 8’de verilen tek yönlü varyans analizi sonucu incelendiğinde konsantrasyon faktörünün seviyeleri arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Konsantrasyonu gösteren 3 seviyenin (%12, %14, %16), lif inceliğini gösteren çap ortalamaları bakımından, hangilerinin farklı olduğu Tukey testi ile bulunmuştur (Çizelge 8). Çizelge 8 incelendiğinde %12, %14 ve %16 konsantrasyonları arasında çap açısından anlamlı fark olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Konsantrasyon arttıkça lif çapının istatistiksel olarak arttığı sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışmaların büyük bir kısmında düşük konsantrasyon seviyelerinin daha ince lif üretimi ile sonuçlandığı görülmüştür. Yeoh (2009), daha düşük konsantrasyonun daha düşük lif çapına neden olduğunu belirtmiştir [36]. Dehghan ve ark. (2015), lif çapı ve boncuk sayısına en fazla etki eden faktörü konsantrasyon olarak belirlemişlerdir. Konsantrasyon düştükçe elde edilen liflerin çaplarının düştüğünü ancak boncuk sayısının arttığını göstermişlerdir [15]. Denghan ve ark. (2016), çalışmalarında düşük konsantrasyon seviyelerinde daha ince lifler üretmişlerdir [37]. Zhu ve ark. (2017), tel elektrodlarla yaptıkları çalışmada konsantrasyon ağırlıkça %8 olduğunda neredeyse tüm liflerin yapısında boncukların olduğunu, konsantrasyon ağırlıkça %10’a yükseldiğinde boncukların kaybolduğunu ancak birçok lifin birbirine bağlanıp perdeli gibi

uzandığını, konsantrasyon ağırlıkça %10’un üzerinde olduğunda, daha belirgin katı liflerin ortaya çıktığını görmüştür. Bu görüntüler ile çözeltili konsantrasyonunun liflerin morfolojisi üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca konsantrasyonun lif çapı üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir [38]. Jian ve ark. (2018), çalışmalarında konsantrasyon ağırlıkça %6’dan ağırlıkça %2’ye düştüğünde nanoliflerin ortalama çaplarının beklendiği gibi düştüğünü belirtmiştir. Konsantrasyon ağırlıkça %1’e düştüğünde daha ince liflerin elde edildiği ancak boncuklu yapılarında olduğu gösterilmiştir. Boncuklu yapıların polimer zincirler arasındaki yetersiz moleküller arası dolaşma nedeniyle olabileceği belirtilmiştir [39].

Molekül ağırlığı daha büyük olan PAN ile üretilen nanoliflerde ortalama lif çaplarının PVA’ya göre daha yüksek olduğu görülmüş ve molekül ağırlığı arttıkça lif çapının arttığı sonucuna varılmıştır. Literatür araştırması sonucunda az sayıda çalışmanın polimer molekül ağırlığının lif yapısı ile ilgili etkisine odaklandığı görülmüştür. Koski ve ark. (2004), PVA bazlı nanoliflerin yapısının farklı moleküller ağırlıklarına göre değiştiğini göstermiştir. Ayrıca moleküller ağırlığının artmasıyla birlikte lif çapı ve lifler arası aralığın arttığı da belirtilmiştir [40]. Pant ve ark. (2011), molekül ağırlıklarının lif morfolojisini etkilediğini belirtmiştir [41]. Zhang ve ark. (2018), farklı molekül ağırlıklarının ve seçilen çözücülerin, çözeltilerin konsantrasyonunu ve viskozitesini, dolayısıyla lif morfolojisini etkilediğini belirtmiştir [42].

Çizelge 7. Normallik ve Varyansların Homojenliği testi sonuçları

Çap	Konsantrasyon (%)	Shapiro-Wilk Statistic		df	p
	12	0,98		40	0,26
	14	0,97		40	0,09
	16	0,96		40	0,32
Varyansların Homojenliği testi					
Çap	Levene Statistic		df1	df2	p
	0,20		2	117	0,35

Çizelge 8. Varyans analizi ve Tukey testi sonuçları

Varyans analizi					
	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kare ortalaması	F	p
Gruplar arasında	3448,40	2	1696,28	11,72	0,000
Gruplar içinde	17280,72	117	148,63		
Toplam	20960,55	119			
Tukey testi					
(I) Konsantrasyon	(J) Konsantrasyon	(I-J) Ortalama fark	p		
%12	%14	-8,20	0,000		
	%16	-12,80	0,000		
%14	%12	8,20	0,000		
	%16	-4,30	0,000		
%16	%12	12,80	0,000		
	%14	4,30	0,000		

4. SONUÇLAR

İki farklı polimerle değişik konsantrasyonlarda hazırlanan çözeltilerle yapılan çalışma ile bu parametrenin lif morfolojisi üzerindeki etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır.

Öncelikle %18 PAN çözeltisi ile üretim denenmiş ancak kullanılan parametreler ile nano lif üretimi gerçekleştirilememiştir. Gerilim artırıldığında lif oluşumu başlamıştır. Bu şekilde konsantrasyon arttığında polimer jetin oluşabilmesi için daha yüksek gerilime ihtiyacı olduğu görülmüştür. %9, %12 ve %15 PAN çözeltileriyle nano lif üretimi gerçekleştirilmiştir. Konsantrasyon değeri arttıkça boncuk oluşumunda azalma gözlenmiştir. Bu durumun konsantrasyon artışı ile artan moleküler içi etkileşime bağlı olduğu düşünülmektedir. Etkileşim arttığında jet oluşumunda süreklilik sağlanmaktadır. Konsantrasyon %9 değerinden %12'ye yükseldiğinde istatistiki olarak lif çapları artmıştır. Konsantrasyon %12'den %15'e yükseldiğinde lif çaplarında artış gözlenmekte, ancak bu artışın anlamlı olmadığı istatistiksel olarak görülmüştür. Dolayısıyla belli bir konsantrasyon değerine kadar artan konsantrasyonun lif çaplarını artırdığı söylenebilmektedir. Konsantrasyonun artmasıyla birlikte artan viskoelastik kuvvetler jetteki Whipping kararsızlığı azaltırlar. Böylece jetin gideceği yol azalmaktadır. Bu durumda jetin elektrostatik alanda kalacağı zaman azalacağından daha kalın lifler elde edilmektedir. Farklı

konsantrasyon değerlerinde elde edilen nanolif ağ tabakalarının kâğıt yüzeyindeki görünüşleri karşılaştırıldığında çözelti konsantrasyonunun lif dizilimi ve lifler arası boşluk gibi morfolojik özellikleri etkilediği görülmüştür. Konsantrasyon azaldıkça lifler daha fazla bir araya toplanma eğilimindedir. Malzeme iletkenliğinin düşmesiyle liflerin üstlerindeki yükü tam olarak toplayıcıya boşaltamadıkları ve bunun sonucunda birbirlerini iterek dağıldıkları sonucuna varılmıştır.

%12, %14 ve %16 PVA çözeltileriyle nano lif üretimi gerçekleştirilmiştir. Çözelti konsantrasyonunun artmasıyla nano lif çaplarında istatistiksel olarak artış gözlenmiştir. PAN ile üretilen nanoliflerde ortalama lif çaplarının PVA'ya göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Molekül ağırlığı arttıkça lif çapının arttığı sonucuna varılmıştır.

Sonraki çalışmalarda optimum koşullarda nanolif üretimini gerçekleştirebilmek için deneysel tasarım yöntemlerinden yararlanılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Kozanoğlu, G.,S., 2006. Elektrosinning Yöntemiyle Nanolif Üretim Teknolojisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 148.

2. Salem, D.R., 2001. In Structure Formation in Polymeric Fibers: Chapter:6, Electrospinning and Formation of Nanofibers, Hanser Gardner Publications, Carl Hanser Verlag, 580.
3. Formhals, A., 1934. Process and Apparatus for Preparing Artificial Threads, US Patent, No.1, 975, 504.
4. Nataraj, S.K., Yang, K.S., Aminabhavi, T.M., 2012. Polyacrylonitrile-Based Nanofibers-A State-of the Art Review, Progress in Polymer Science, 37, 487-513.
5. Üstün, A., 2011. Hava Filtrasyonu İçin Nanolif Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, 69.
6. 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.
7. Can, N., Ersoy, M., 2014. Nanolif Yapılı Polimerik Doku İskeleleri. Tekstil ve Mühendis, 21, 38-50.
8. Emül, E., 2016. Elektrospın Tekniği ile nHAp/Jelatin/Antikanserijen İçeren Nanofibril Üretimi, Karakterizasyonu ve Hücre Uyumunun Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Nanoteknoloji ve Nanotıp Anabilim Dalı, Ankara, 82.
9. Çakmen, A.B., 2019. Allantoin İçeren Antibakteriyel Özellikte Poliüretan/Polikaprolakton Temelli Yara Örtü Malzemelerinin Elektrospinning Yöntemi ile Hazırlanması ve Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Malatya, 123.
10. Süslü, A., 2009. Elektro-Eğirme Yöntemi ile Nanofiber ve Nanotüp Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 93.
11. İkiz, Y., 2009. Elektro Çekim Yöntemi İşlem Parametrelerinin PVA Nanolif Morfolojisine Etkileri. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(3), 363-369.
12. Schueren, L., Kalaoğlu, Ö., Clerck, K., 2011. An Alternative Solvent System For the Steady State Electrospinning of Polycaprolactone. European Polymer Journal, 47(6), 1256-1263.
13. Yener, F., Jırsak, O., Yalçınkaya, B., 2011. Materyal Parametrelerinin Lif Çekim Yöntemiyle Oluşturulan Polivinil Butiral Nano Lifleri Üzerindeki Etkisi. Tekstil Teknolojileri Dergisi, 5(2), 26-34.
14. Beypazar, Ö., 2013. Nanolif Üretiminde Çap Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 101.
15. Dehghan, S.F., Golbabbei, F., Maddah, B., Yarahmadi, R., Zadeh, A.S., 2015. Experimental Investigations on Electrospun Mat Production: For use in High-Performance Air Filters. International Journal of Occupational Hygiene, 7(3), 110-118.
16. Doustgani, A., 2016. Optimization of Mechanical and Structural Properties of PVA Nanofibers. Journal of Industrial Textiles, 46(3), 901-913.
17. Karayeğen, G., 2016. Elektrik Eğirme Yöntemini Kullanarak Nanofiberlerin Elektrik Alan ile Yönlendirme Olasılığının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 85.
18. Miri, M.A., Movaffagh, J., Najafi, M.B.H., Najafi, M.N., Ghorani, B., Koocheiki, A., 2016. Optimization of Electrospinning Process of Zein using Central Composite Design. Fibers and Polymers, 17(5), 769-777.
19. Pham, Q.P., Sharma, U., Mikos, A.G., 2006. Electrospinning of Polymeric Nanofibers for Tissue Engineering Applications: A Review. Tissue Eng, 12(5), 1197-211.
20. Li, Z., Wang, C., 2013. One-Dimensional Nanostructures, Effects of Working Parameters on Electrospinning.
21. Munir, M., Suryamas, A., Iskandar, F., Okuyama, K., 2009. Scaling Law on Particle to Fiber Formation During Electrospinning. Polymer, 50(20), 4935.
22. Deitzel, J.M., Kleinmeyer, J., Haris, D., 2001. The Effect of Processing Variables on the Morphology of Electrospun Nanofibers and Textiles. Polymer, 42(1), 261-272.
23. Supaphol, P., Mit-Uppatham, C., Nithitanakul, M., 2005. Ultrafine Electrospun Polyamide-6 Fibers: Effect of Emitting Electrode Polarity on Morphology and Average Fiber Diameter. Journal of Polymer Science Part B-Polymer Physics, 43(24), 3699-3712.

24. Liu, J., Kumar, S., 2005. Microscopic Polymer Cups by Electrospinning. *Polymer*, 46, 3211-3214.
25. Chun, I., 1995. Fine Fibers Spun by Electrospinning Process from Polymer Solutions and Polymer Melts in Air and Vacuum: Characterization of Structure and Morphology on Electrospun Fibers and Developing A New Process Model. PhD Thesis, University of Akron, Department of Polymer Science and Polymer Engineering, Akron, 119.
26. Lee, K.H., Kim, H.Y., Bang, H.J., Jung, Y.H., Lee, S.G., 2003. The Change of Bead Morphology Formed on Electrospun Polystyrene Fibers. *Polymer*, 44, 4029-4034.
27. Khanlou, H.M., Ang, B.C., Talebian, S., Barzani, M.M., Silakhori, M., Fauzi, H., 2015. Multi-Response Analysis in The Processing of Poly (Methyl Methacrylate) Nano-Fibres Membrane by Electrospinning Based on Response Surface Methodology: Fibre Diameter and Bead Formation. *Measurement*, 65, 193-206.
28. Habeeb, S.A., Abdulkadhim, M.K., 2021. Impact of Polymeric Solutions Parameters on Morphological Properties of Composite Nanofibers. *Journal of University of Babylon for Engineering Sciences*, 29(2), 115-120.
29. Gu, S.Y., Ren, J., Vancso, G.J., 2005. Process Optimization and Empirical Modeling for Electrospun Polyacrylonitrile (PAN) Nanofiber Precursor of Carbon Nanofibers. *European Polymer Journal*, 41, 2559-2568.
30. Saligheh, O., Khajavi, R., Yazdanshenas, M.E., Rashidi, A., 2015. Fabrication and Optimization of Poly(Vinyl Alcohol)/Zirconium Acetate Electrospun Nanofibers Using Taguchi Experimental Design. *Journal of Macromolecular Science Part B*, 54(11), 1391-1403.
31. Çavdar, F.Y., 2020. Elektrosinning Cihazının İşlem Parametrelerinin Optimizasyonu ve Aradaki İlişkilerin Deneysel Modellenmesi. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 187.
32. Wei, L., Sun, R., Liu, C., Xiong, J., Qin, X., 2019. Mass Production of Nanofibers from Needleless Electrospinning by A Novel Annular Spinneret. *Materials and Design* 179, 107885.
33. Wei, L., Liu, C., Mao, X., Dong, J., Fan, W., Zhi, C., Qin, X., Sun, R., 2019. Multiple-Jet Needleless Electrospinning Approach via a Linear Flume Spinneret. *Polymers*, 11(12), 2052.
34. Khamforoush, M., Agha-Moalpour, R., 2016. Optimization of Rotating-Jet Electrospinning Process Using Response Surface Methodology. *Iranian Polymer Journal*, 25, 875-886.
35. Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V., 2016. Preparation of Chitosan Based Nanofibers: Optimization and Modelling. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 14(1), 283-288.
36. Yeoh, S.J., 2009. Electrospun Cellulose Ultra-Fine Fibers from Kraft Pulp. Yüksek Lisans Tezi, University of British Columbia, The Faculty of Graduate Studies, Materials Engineering, Vancouver, 125.
37. Dehghan, S.F., Golbabbei, F., Maddah, B., Latifi, M., Pezeshk, H., Hasanzadeh, M., Akbar-Khanzadeh, F., 2016. Optimization of Electrospinning Parameters for Polyacrylonitrile-Mgo Nanofibers Applied in Air Filtration. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 66(9), 912-921.
38. Zhu, G., Zhao, L.Y., Zhu, L.T., Deng, X.Y., Chen, W.L., 2017. Effect of Experimental Parameters on Nanofiber Diameter from Electrospinning with Wire Electrodes. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 230, 012043.
39. Jian, S., Zhu, J., Jiang, S., Chen, S., Fang, H., Song, Y., Duan, G., Zhange, Y., Hou, H., 2018. Nanofibers with Diameter Below One Nanometer from Electrospinning. *RSC Adv.*, 8, 4794-4802.
40. Koski, A., Yim, K., Shivkumar, S., 2004. Effect of Molecular Weight on Fibrous PVA Produced by Electrospinning. *Mater, Lett.*, 58(3-4), 493-497.

41. Pant, H.R., Nam, K.T., Oh, H.J., Panthi, G., Kim, H.D., Kim, B., Kim, H.Y., 2011. Effect of Polymer Molecular Weight on the Fiber Morphology of Electrospun Mats. *Journal of Colloid and Interface Science*, 364(1), 107-111.
42. Zhang, Y., Zhang, X., Yang, L., Zhang, Q., Fitzgerald, M.L., Ueda, A., Chen, Y., Mu, R., Li, D., Bellan, L.M., 2018. Thermal Transport in Electrospun Vinyl Polymer Nanofibers: Effects of Molecular Weight and Side Groups. *Soft Matter.*, 14, 9534-9541.

Skin Cancer Recognition Using Compact Deep Convolutional Neural Network

Alhaji Balla FOFANAH¹ ORCID 0009-0005-2019-0045

Emre ÖZBİLGE¹ ORCID 0000-0002-2295-752X

Yönel KIRSAL^{*2} ORCID 0000-0001-7031-1339

¹Cyprus International University, Faculty of Engineering, Software Engineering Department, TRNC

²European University of Lefke, Faculty of Engineering, Electrical and Electronics Engineering Department, TRNC

Geliş tarihi: 24.08.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: FOFANAH, A.B., ÖZBİLGE, E., KIRSAL, Y., (2023). Skin Cancer Recognition Using Compact Deep Convolutional Neural Network. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(3), 787-797.

Abstract

Skin cancer is a common form of cancer that affects millions of people worldwide. Early detection and accurate diagnosis of skin cancer are crucial for effective treatment and management of the disease. There has been a growing interest in using deep learning techniques and computer vision algorithms to develop automated skin cancer detection systems in recent years. Among these techniques, convolutional neural networks (CNN) have shown remarkable performance in detecting and classifying skin lesions. This paper presents a comprehensive study using CNN and deep learning techniques for skin cancer detection using the International Skin Imaging Collaboration (ISIC) dataset. The proposed architecture is a compact deep CNN that is trained using a dataset of benign and malignant skin lesion images. The proposed architecture has achieved 84.8% accuracy, 83.8% TPR, 83.7% TNR, 81.6% F1-score and 80.5% precision for performance evaluation. The experimental results show promising results for the accurate and efficient detection of skin cancer, which has the potential to improve the diagnosis and treatment of this life-threatening disease.

Keywords: Skin cancer, Convolutional neural network, Deep learning, Isic dataset, TensorFlow

Özel Derin Konvolüsyonel Sinir Ağı Kullanarak Cilt Kanseri Tanıma

Öz

Cilt kanseri, dünya genelinde milyonlarca insanı etkileyen ciddi ve yaygın bir kanser türüdür. Cilt kanserinin erken teşhisi ve doğru tanısı, hastalığın etkili bir şekilde tedavi edilmesi ve yönetilmesi için önemlidir. Son yıllarda derin öğrenme tekniklerinin ve bilgisayarlı görü algoritmalarının otomatik cilt kanseri tespit sistemleri geliştirmek için kullanılması konusunda büyük bir ilgi bulunmaktadır. Bu teknikler arasında konvolüsyonel sinir ağları (CNN), cilt lezyonlarını tespit etme ve sınıflandırmada dikkate değer bir performans göstermiştir. Bu makalede, Uluslararası Cilt Görüntüleme İşbirliği (ISIC) veri seti

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Yönel KIRSAL, ykirsal@eul.edu.tr

kullanılarak cilt kanseri tespiti için CNN ve derin öğrenme tekniklerinin kapsamlı bir çalışmasını sunmaktayız. Önerilen mimari, özelleştirilmiş derin CNN kullanılarak eğitilmiş olan, benign ve malign cilt lezyonu görüntülerinin bir veri setini kullanmaktadır. Önerilen mimari, performans değerlendirmesi için 84.8% doğruluk, 83.8% TPR, 83.7% TNR, 81.6% F1-skoru ve 80.5% hassaslık elde etmiştir. Deneysel sonuçlar, cilt kanserinin doğru ve verimli bir şekilde tespiti için umut verici sonuçlar göstermektedir ve bu yaşamı tehdit eden hastalığın teşhis ve tedavisini iyileştirme potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Cilt kanseri, Konvolüsyonel sinir ağı, Derin öğrenme, Isic veri sest, Tensör Akışı

1. INTRODUCTION

Skin cancer is one of the most common types of cancer globally, and its incidence rate is increasing every year. Early skin cancer detection is crucial for successful treatment and improved patient outcomes [1,2]. Skin cancer happens when skin cells grow abnormally. It starts as a small, dark spot or bump and can spread if not treated in the early stages [3]. The categorization of skin cancer is based on its histopathological features, and it is broadly classified into four types: basal cell carcinoma (BCC), melanoma, actinic keratoses (AK), and squamous cell carcinoma (SCC), as documented in the literature [4-7]. The American Cancer Society claims that there were 9.5 million cancer-related deaths and 17 million new cancer diagnoses recently [8].

Skin cancer can be diagnosed using a variety of methods [9,10]. Visual inspection is the most common method of skin cancer diagnosis. A dermatologist or physician examines the skin using a magnifying glass or a dermatoscope to look for any abnormal growths, lesions, or moles. In addition, biopsy and dermoscopy can be performed during the visual inspection. However, traditional skin cancer diagnostic methods are based on dermatologists' visual inspection, which can be time-consuming and prone to inter-observer variability [11]. Molecular testing involves analysing the DNA or RNA of skin cells to detect genetic mutations associated with skin cancer. Molecular testing can be used to identify high-risk patients and guide treatment decisions. Computer-assisted diagnosis involves the use of specialized software that analyses digital images of skin lesions to detect signs of cancer. This method can help increase the accuracy of diagnosis and reduce the need for unnecessary biopsies. Thus, recently,

machine learning algorithms and computer vision techniques have shown promising results in automated skin cancer detection [12].

Convolutional Neural Networks (CNNs) are a type of deep learning algorithm that has shown remarkable performance in image classification tasks [13]. CNNs are the most popular deep-learning technology used in computer vision for efficient medical diagnosis, particularly for skin cancer [14]. CNN can learn to extract features autonomously, making it a more effective approach for medical diagnostics compared to typical machine learning algorithms [15,16]. In addition, an effective deep-learning model for skin cancer diagnosis can increase the chances of survival by 99% [17].

CNNs can learn and identify complex patterns in images, making them an ideal choice for skin cancer detection. CNNs have been shown to be highly effective in classifying skin lesions for the purpose of skin cancer diagnosis [18]. These deep learning algorithms are designed to recognize patterns in images and can learn to differentiate between different types of skin lesions based on their visual features. A dataset of labelled images is needed to train a CNN for skin lesion classification. This dataset is typically divided into a training set, a validation set, and a test set. The CNN is trained on the training set, and the validation set is used to monitor its performance and adjust its parameters. The test set is then used to evaluate the final performance of the CNN [19]. CNNs can be trained to classify skin lesions into different categories, such as benign and malignant, or to identify specific types of skin cancer, such as melanoma or basal cell carcinoma. The CNN learns to recognize patterns in the images that are associated with each category and can make predictions on new, unseen images

based on these patterns. Several studies have shown that CNNs can achieve high levels of accuracy in skin lesion classification, often outperforming human experts [20].

Thus, we propose a compact custom design CNN-based approach for skin cancer detection using the International Skin Imaging Collaboration (ISIC) dataset in this paper. ISIC is one of the most widely used datasets for skin cancer detection [21]. It is a publicly available dataset that contains over 23,000 images of skin lesions, including benign and malignant cases, along with their corresponding labels. We trained and evaluated our model using the TensorFlow deep learning framework.

The main contribution of this work is the development of an accurate and efficient skin cancer detection system that contains fewer parameters, can yield a fast inference time, and can be used in small devices such as smart phones that can aid patients in making early decisions before contacting dermatologists. This type of application can be especially useful when people are stuck at home.

The rest of the paper is organized as follows: Section 2 provides a brief overview of related work in the field of skin cancer detection using deep learning. Section 3 describes the methodology used in this work, including the dataset preparation, model architecture, and training process. Section 4 presents the experimental results and a comparative analysis with state-of-the-art methods. Finally, Section 5 concludes the paper and discusses future directions for research in this area.

2. RELATED WORK

Skin cancer recognition with the use of a convolutional neural network has gained more attention over the past years. Several studies have been conducted in this area, including face recognition [9], object detection [11], and image classification [22] using CNN networks. From literature studies on skin cancer recognition, a lot of CNN pattern recognitions have been suggested. Pre-processing and pro-processing phases are typically combined in algorithms.

The study in [6] introduces a novel deep transfer learning model using MobileNetV2 to classify melanoma. The ISIC 2020 dataset, with a severe class imbalance, was used, and various data augmentation techniques were applied. Results show that the proposed model outperforms existing methods in accuracy and computational efficiency, offering promise for enhancing melanoma diagnosis and patient outcomes. A deep spiking neural network with the surrogate gradient descent method to classify skin lesion images (3670 melanoma and 3323 non-melanoma) from the ISIC 2019 dataset is used in [19]. The proposed spiking VGG-13 model outperforms VGG-13 and AlexNet with fewer parameters. This highlights the potential of spiking neural networks to improve skin cancer diagnosis and reduce related deaths.

In [23], a deep learning-based methodology was described in which the skin lesions were first pre-processed using the decorrelation formulation method and then further segmented using MASK-RCNN. DenseNet was used to extract features from the segmented image. The entropy-controlled least squares-based SVM approach is then used to identify the best features. The HAM10000, ISBI2016, and ISBI2017 datasets were used to conduct the experiment. This dataset's respective accuracy percentages were 96.3%, 94.8%, and 88.5%.

In addition, a new deep learning-based system for segmenting and categorising skin lesions was proposed in [24]. The segmentation was carried out using the mask recurrent neural network (MRNN). In addition, the Pyramid Network function was utilized using Resnet-50 for the feature extraction process, while the SoftMax classifier was also utilized for the lesion classification process [25]. Therefore, deep learning methods were assessed using the HAM10000 dataset, which had an accuracy of 86.5%, to produce consistent performance. In [26], the authors investigated how image scaling affected the categorization of skin lesions by a CNN network. The authors scaled the images to six different sizes. Hence, three CNN architectures, such as EfficientNetB0, EfficientNetB1, and SeReNeXt-50, were used in classifying the images. An ensemble-based

technique for multiscale multi-CNN fusion (MSM CNN) was proposed and evaluated. This approach made use of three different CNN models. The proposed approach was developed using a variety of cropped image sizes. Using the ISIC2018 dataset, the MSM CNN method produced an accuracy of 86.2%. They also discovered that cropping images gave better results than enlarging them.

In addition, an integrated diagnostic framework that comprises a step for segmenting the boundaries of skin lesions and a stage for classifying numerous skin lesions was proposed in [27]. First, the authors used a deep learning full-resolution convolutional network (FrCN) to separate the borders of the skin lesions from all of the dermoscopy images. The segmented skin lesions were then subjected to a convolutional neural network classifier (ResNet-50) for classification. The International Skin Imaging Collaboration (ISIC) 2018 dataset, which contains seven different types of skin lesions, was used to assess the suggested deep-learning model independently. The total weighted prediction accuracy of the ResNet-50 model, which measures its performance, is 89.28%. The effectiveness of employing 17 frequently pre-trained CNN architectures was investigated in [28] as feature extractors. In addition, 24 machine learning classifiers were employed to evaluate the classification of skin lesions from the ISIC 2019 dataset and recommend DenseNet201+Fine KNN. The authors then obtained the greatest accuracy score for the ISIC 2019 dataset at 92.34% using a DenseNet201 and Fine KNN combination.

However, the present research shows that there is still a need for improvement in both the classification and recognition of skin cancer, despite the fact that much work has been suggested in the automated recognition of skin cancer. By using splitting methodologies as part of cancer recognition research, this paper will focus on skin cancer recognition using a deep convolutional neural network.

3. MATERIALS AND METHODS

A dataset of labelled skin lesion images is needed to train and test the proposed custom CNN model.

Hence, the ISIC dataset is a commonly used dataset for skin lesion classification and is also used in this paper.

The skin lesion images are pre-processed before they can be used for training. This may include resizing, cropping, or normalising the images. Therefore, a custom CNN architecture is designed and implemented using a deep learning framework such as TensorFlow. The architecture typically consists of several layers of convolutional and pooling layers, followed by one or more fully connected layers. After that, the CNN is trained on the labelled skin lesion images using a loss function and an optimisation algorithm. The goal is to minimise the loss function by adjusting the parameters of the CNN. The performance of the CNN is evaluated using a validation set of images that are not used in training. The accuracy, precision, recall, and F1-score of the CNN are typically calculated to assess its performance. Then, the final performance of the CNN is evaluated using a test set of images that are not used in training or validation. The accuracy and other performance metrics are calculated to assess CNN's ability to classify new, unseen images.

3.1. Datasets

The ISIC has created a publicly available skin disease dataset for the computer vision community worldwide to help reduce skin cancer mortality and support digital skin imaging. Kaggle is an accessible solution for this ISIC dataset [21,29]. This dataset is made up of 3,297 skin cancer (both malignant and benign) images. A malignant class contains 1,497 images, in contrast benign class contains slightly more images, that is 1,800.

3.2. Network Model Architecture

In this paper, a custom CNN framework is utilised for the automatic recognition of skin cancer images. The proposed architecture uses convoluted filters to analyse various image input structures and retrieve necessary information from the images. Figure 2 shows the proposed network architecture.

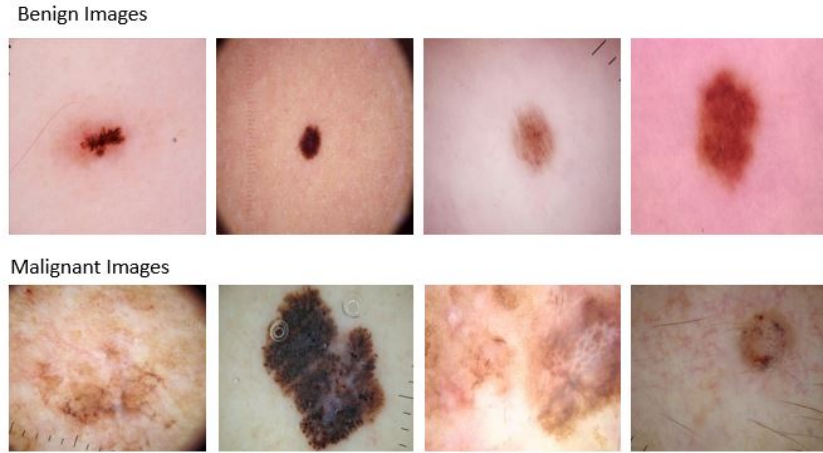


Figure 1. Samples of skin-cancer images of both Benign and Malignant in the dataset

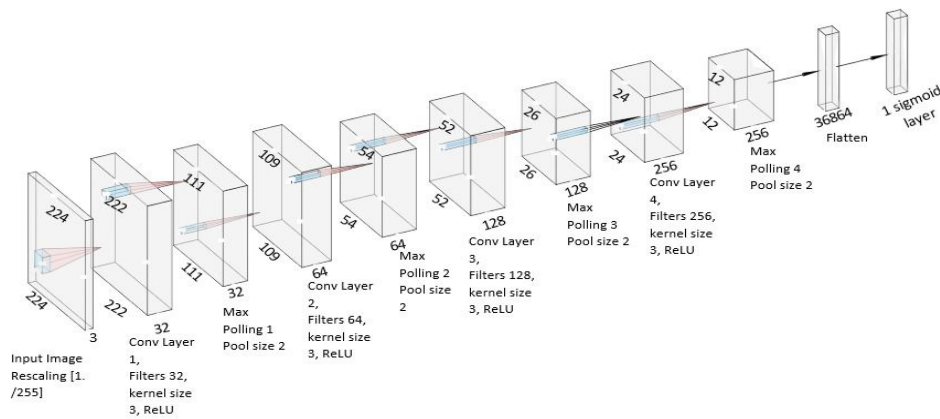


Figure 2. Proposed CNN model

The input to the proposed network is images measuring $[224 \times 224]$ by 3, where the length, breadth, and channel size are represented by these values. The proposed model has six convolutional layers, each followed by batch normalisation and ReLU activation. The model takes in an input image of size $[224 \times 224 \times 3]$ pixels, which is rescaled to a range of (0,1). The first convolutional layer has 32 kernels of size 3, and the output dimensions are $[222 \times 222 \times 32]$. The first max-pooling layer reduces the output dimensions to $[111 \times 111 \times 32]$ with a pool size of 2. The subsequent convolutional layers have

64, 128, 256, 512, and 1024 kernels of size 3, respectively. The output dimensions for each layer decrease with the use of max-pooling, resulting in $[109 \times 109 \times 64]$, $[52 \times 52 \times 128]$, $[24 \times 24 \times 256]$, $[10 \times 10 \times 512]$, $[3 \times 3 \times 512]$, and $[1 \times 1 \times 1024]$, respectively. After the final convolutional layer, the output is flattened, and a binary output layer with a sigmoid activation function is connected for the final classification.

The model's architecture enables it to capture increasingly complex features in the input image as

it progresses through the layers, allowing for the accurate detection of skin cancer. The pool size for the sixth max-pooling layer, which has dimensions of [1x1x1024], is 2.

3.3. Convolutional Neural Network Training

The skin cancer recognition model architecture and training environment involve a two-stage process: the forward step of sending input data through the network and the backpropagation process of adjusting weights based on training data. The weight adjustments are comprised of a forward pass, loss function, backward pass, and weight update. Various training choices, such as initial learning rate, batch size, maximum epochs, and training plot, are specified in the study.

An epoch is a complete pass over the training dataset, and the maximum epoch is a user-defined variable that controls the number of times the algorithm loops over the data. The maximum epoch value is determined by balancing model performance and computing time. Hence, it is often determined through testing. In addition, the learning rate is a critical hyperparameter in deep learning models trained using stochastic gradient descent. Low learning rates lead to more reliable training but slower optimisation, while excessively high rates can cause weight fluctuations and divergence. Depending on the historical gradient data, RMSprop adjusts the learning rate for each weight (model parameter). In order to do this, the learning rate is divided by an exponentially decaying average of the sum of squares, which helps eliminate instabilities and speeds up integration [30,31]. RMSprop has been utilised in a range of applications, including language modelling, image classification, and machine translation, and has been proven to be particularly successful at training DNNs on big and noisy datasets [32-34]. Furthermore, batch size refers to the number of samples processed in one iteration during training, allowing the use of stochastic gradient descent. This hyperparameter affects both training time and model performance by regulating the amount of data used in each iteration. A larger batch size speeds up training but requires more memory, while a smaller batch size reduces memory usage but may

require more iterations. Choosing the optimal batch size requires balancing. Therefore, Table 1 provides an overview of the CNN training parameters used for the proposed model in the experiments.

Table 1. CNN model's training parameters

Parameter	Description/Value
Optimization algorithm	RMSprop
Batch size	32
Initial Learning Rate	0.0001
Maximum epoch	30

3.4. Performance Evaluation Metrics

ISIC dataset images of malignant and benign skin cancers were used to train the proposed network. The effectiveness of the proposed DCNN was measured by performing a statistical analysis of network prediction on the test dataset. The statistical tests used in the confusion matrix performance evaluation are accuracy (ACC), F1 score, true positive rate (TPR), true negative rate (TNR), and precision (P). These assessment metrics are described as follows: TP, TN, FP, and FN represent the total number of true positives, true negatives, false positives, and false negatives, respectively, of the test datasets.

$$ACC = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \tag{1}$$

$$TPR = \frac{TP}{TP+FN} \tag{2}$$

$$TNR = \frac{TN}{TN+FP} \tag{3}$$

$$P = \frac{TP}{TP+FP} \tag{4}$$

$$F1 = \frac{2TP}{2TP+FP+FN} \tag{5}$$

4. EXPERIMENTAL RESULTS

In this section, we present the experimental results obtained from our proposed CCN model on skin cancer diagnosis using CNN and deep learning methods using the ISIC dataset.

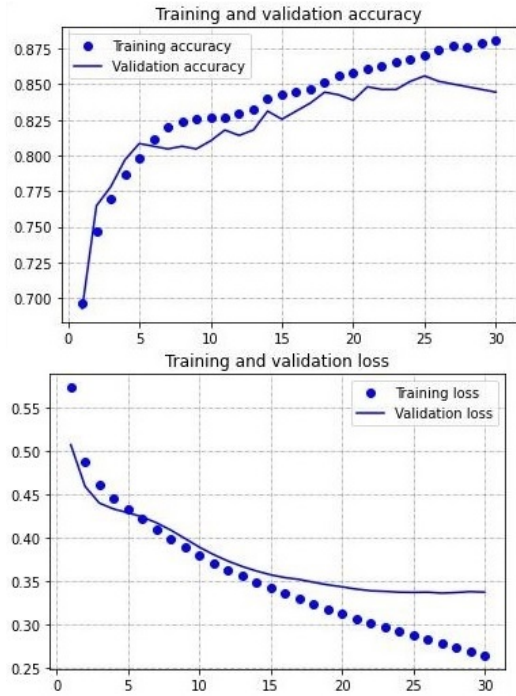


Figure 1. Training and validation loss and accuracy K-fold cross-validation was performed to determine the performance of the custom-designed deep network by using various numbers of convolutional

layers. To do this, all images into the database (3,297 images) were used for K-fold cross-validation process. To perform K-fold cross-validation, the training dataset was first randomised and then split into 10 equal folds (that is, K=10), where each fold contained the same number of images from both classes (benign and malignant). During training, K-1 folds were used to train a model from scratch, and the model performance was verified on the rested fold. This process was repeated 10 times (because K=10) using each fold as a test dataset. Statistical measurements (ACC, P, TPR, TNR, and F1 score) were also stored after each model was tested on the test fold.

Table 2 displays the performance of the compact model on various layers of the CNN. The mean and standard deviation of the related measures across 10 training sessions are represented by the values in the table. In addition, Table 2 can be used to compare how well our proposed compact model performs on various convolutional layers and to choose the number of layers that perform the best for the classification. As a result, using four convolutional layers performed the best, where the F1 score was 0.8326 which is the highest value.

Table 2.K-Fold cross-validation performances of the custom deep network model by using various convolutional layers

Layers	ACC	P	TPR	TNR	F1
Layer1	0.8179±0.0061	0.7846±0.0158	0.8276±0.0217	0.8099±0.0227	0.8055±0.0063
Layer2	0.8307±0.0071	0.7732±0.0110	0.8882±0.0109	0.7827±0.0145	0.8267±0.0066
Layer3	0.8211±0.0046	0.7656±0.0072	0.8742±0.0106	0.7769±0.0103	0.8163±0.0048
Layer4	0.8354±0.0065	0.7749±0.0119	0.8996±0.0180	0.7818±0.0181	0.8326±0.0068
Layer5	0.8266±0.0069	0.7729±0.0144	0.8769±0.0230	0.7846±0.0236	0.8216±0.0068
Layer6	0.8483±0.0048	0.8057±0.0153	0.8503±0.0142	0.8266±0.0188	0.8274±0.0033

Table 3.Performance of the four-layered custom deep network when increasing or decreasing the training dataset. The test ratio is kept fixed and always same test images are always used for the reliability of the experimental result

Train Validation Test ratio	F1-Score
40% 30% 30%	0.7897
50% 20% 30%	0.8012
60% 10% 30%	0.8160

Table 4. Comparison between the Custom model and some existing studies. Unreported findings are represented by the symbol "-"

Method	Datasets	Sample number	ACC (%)	F1 (%)	P (%)	TPR (%)	TNR (%)	Param. (millions)
Mask-RNN[25]	HAM10000	10,015	86.5	86.28	87.01	85.57	-	63.7
MSM-CNN[26]	ISIC 2018	2,912	86.2	-	-	-	-	25.7
ResNet-50[27]	ISIC 2018	11,720	89.28	81.28	-	81.00	87.16	23.54
DenseNet201 + Fine KNN[28]	ISIC 2019	25,331	92.34	86.96	85.22	92.75	96.38	20.2
IGR0235 Model[32]	ISIC 2017	2000	83.0	-	-	-	-	322.5
DCNN [33]	ISBI 2016	4867	76.5	-	-	89.5	96.3	62.3
VGG[34]	ISIC 2016	1,279	-	-	72.3	76.0	-	138
Compact-DCNN Model	ISIC Archive	3,297	84.8	81.6	80,5	83.8	83.7	6.2

After determining the number of convolutional layers on the custom CNN, the four-layered CNN was trained from scratch using all the images from the database. In addition, the optimal splitting ratio for the training process was determined; therefore, we tested three different training-validation ratio combinations. It is important to note that the test images are always the same, which is determined by using the test ratio, which is fixed at 30% of the entire database. The remaining 70% of the images were split into the following training-validation ratio combinations: 40%–30%, 50%–20%, and 60%–10%. The experimental results showed that a 60%–10% training–validation ratio split yielded the best result for this specific database. Table 3 presents the performance of the four-layer custom CNN on the test images by splitting the training and validation sets with different ratios. Generally, a deep neural network requires more images, which provides better generalization performance on unseen input images. As a result, when 60% of the images are used in the training process, the performance of the network improves. It is also important to keep some images in the validation set to adjust the hyperparameters of any deep network architecture to prevent overfitting and underfitting problems.

The final trained model (using a train-validation-test split ratio of 60%–10%–30%) was verified on the test dataset by reporting the final unbiased performance of the proposed CNN. The results show that the proposed compact model performs

with a classification accuracy rate of 84.8%, a precision of 80.5%, a TPR of 83.8%, a TNR of 83.7%, and an F1 score of 81.6% when recognising skin cancer images. Figure 3 shows the training and validation losses and accuracy during 30 epochs of training. In comparison to other difficult methods and deep learning systems, our suggested technique performs better. The proposed compact network and other relevant models mentioned in [25], [26], [27], [28], [32], [33], and [34] were compared in this paper in order to show the effectiveness of the proposed model.

Research using the ISIC ARCHIVE database, which is a database comparable to the one employed in this paper, the skin cancer database, and other self-acquired datasets were the subject of the comparative evaluation. The proposed technique in this paper has done remarkably well when compared to other algorithms stated in Table 4, which summarises the comparative research. This data will also be used to calculate the required number of convolutional layers of the custom DCNN model. The accuracy of this study's findings is compared to existing studies in Table 4. As demonstrated, the performance and accuracy of our proposed method are promising.

The methods are examined in Table 4 and evaluated on different datasets. Each dataset represents a different collection of images for skin lesion classification. The number of samples varies across the datasets, ranging from 1,279 to 25,331. Please

note that this difference in sample size can influence the model's performance and generalizability. The accuracy metric indicates the overall correctness of the classification models. As clearly seen from the table the proposed model performs well with the considered sample size. It is worth noting that not all methods provide all the performance metrics. Some methods lack certain metrics, such as F1-Score, Precision, TPR, or TNR, making it difficult to make direct comparisons in those cases.

In summary, the given data showcases different methods for skin lesion classification, evaluated on various datasets. The methods differ in terms of the dataset used, the number of samples, and the reported performance metrics. By comparing the metrics, we can gain insights into the relative performance of these methods in classifying skin lesions.

5. CONCLUSION

In this study, we proposed a new compact model using CNN in order to test its effectiveness in classifying skin cancer. The recognition of skin cancer is important because a good classification method can save time when searching for and diagnosing skin cancer in databases. The ISIC-Archive database contains 3,297 images of both benign and malignant skin, with dimensions of [224x224] pixels. The dataset was first checked for structural integrity and then normalized to improve the performance of learning algorithms. It was then split into three parts: a training set (60% of the images), validation set (10%), and testing set (30%) by determining the impact of the training set ratio beforehand (see Table 3).

Our proposed model achieved a classification accuracy rate of 84.8%, precision 80.5%, TPR 83.8%, TNR 83.7% and F1-score 81.6%, respectively compared to other studies. When a skin image is provided, the pre-processing phase is applied, and the trained CNN extracts features from the image and classifies the label based on the filters learned during training.

6. REFERENCES

1. Dorj, U., Lee, K., Choi, J., Lee, M., 2018. The Skin Cancer Classification using Deep Convolutional Neural Network, *Multimedia Tools Appl.* 77, 9909-9924.
2. Naqvi, M., Syed, Q.G., Tehreem, S., Oge, M., Hee-Cheol, K., 2023. Skin Cancer Detection Using Deep Learning-A Review. *Diagnostics* 13(11), 1911.
3. Zhang, N., Cai, Y.X., Wang, Y.Y., Tian, Y.T., Wang, X.L., Badami, B., 2020. Skin Cancer Diagnosis Based on Optimized Convolutional Neural Network. *Artificial Intelligence in Medicine*, 102, 101756.
4. Arevalo, J., Cruz-Roa, A., Arias, V., Romero, E., González, F.A., 2015. An Unsupervised Feature Learning Framework for Basal Cell Carcinoma Image Analysis. *Artificial Intelligence in Medicine*, 64(2), 131-145.
5. Malibari, A.A., Alzahrani, J.S., Eltahir, M.M., Malik, V., Obayya, M., Al Duhayyim, M., Albuquerque, V.H.C., 2022. Optimal Deep Neural Network-Driven Computer-Aided Diagnosis Model for Skin Cancer. *Computers and Electrical Engineering*, 103, 108318.
6. Rashid, J., Ishfaq, M., Ali, G., Saeed, M.R., Hussain, M., Alkhalifah, T., Samand, N., 2022. Skin Cancer Disease Detection using Transfer Learning Technique. *Applied Sciences*, 12(11), 5714.
7. Maniraj, S.P., Maran, P.S., 2022. A Hybrid Deep Learning Approach for Skin Cancer Diagnosis Using Subband Fusion of 3D Wavelets. *The Journal of Supercomputing*, 78(10), 12394-12409.
8. Global Cancer Facts and Figures, American Cancer Society, <https://www.cancer.org/research/cancer-facts-statistics/global.html>, Access date: 15.12.2022.
9. Naik, P.P., 2021. Cutaneous Malignant Melanoma: A Review of Early Diagnosis and Management. *World Journal of Oncology*, 12(1), 7.
10. Manne, R., Kantheti, S., Kantheti, S., 2020. Classification of Skin Cancer Using Deep Learning, Convolutional Neural Networks-Opportunities and Vulnerabilities-A Systematic

- Review. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*, 6, 2455-3778.
11. Holman, C.D.J., Armstrong, B.K., Evans, P.R., Lumsden, G.J., Dallimore, K.J., Meehan, C.J., Gibson, I.M., 1984. Relationship of Solar Keratosis and History of Skin Cancer to Objective Measures of Actinic Skin Damage. *British Journal of Dermatology*, 110(2), 129-138.
 12. Kareem, O.S., Abdulazee, A.M., Zeebaree, D.Q., 2021. Skin Lesions Classification using Deep Learning Techniques. *Asian Journal of Research in Computer Science*, 9(1), 1-22.
 13. Saba, T., 2021. Computer Vision for Microscopic Skin Cancer Diagnosis using Handcrafted and Non-Handcrafted Features. *Microscopy Research and Technique*, 84(6), 1272-1283.
 14. Mridha, K., Uddin, M.M., Shin, J., Khadka, S., Mridha, M.F., 2023. An Interpretable Skin Cancer Classification using Optimized Convolutional Neural Network for A Smart Healthcare System. *IEEE Access*.
 15. Skin Cancer Facts and Statistics - The Skin Cancer Foundation. <https://www.skincancer.org/skin-cancer-information/skin-cancer-facts/>, Access date: 15.01.2023.
 16. Shah, A., Shah, M., Pandya, A., Sushra, R., Sushra, R., Mehta, M., Patel, K., 2023. A Comprehensive Study on Skin Cancer Detection Using Artificial Neural Network (ANN) and Convolutional Neural Network (CNN). *Clinical Ehealth*.
 17. Cao, W., Feng, Z., Zhang, D., Huang, Y., 2020. Facial Expression Recognition Via A CBAM Embedded Network. *Procedia Computer Science*, 174, 463-477.
 18. Deshmukh, S., Rathod, A., Sonawane, H., Raut, R., Devkar, A., 2023. Skin Cancer Classification Using CNN. In 2023 International Conference On Applied Intelligence and Sustainable Computing (ICAISC), 1-5.
 19. Qasim Gilani, S., Syed, T., Umair, M., Marques, O., 2023. Skin Cancer Classification using Deep Spiking Neural Network. *Journal of Digital Imaging*, 1-11.
 20. Yadav, S.S., Jadhav, S.M., 2019. Deep Convolutional Neural Network-Based Medical Image Classification for Disease Diagnosis. *Journal of Big Data*, 6(1), 1-18.
 21. Cassidy, B., Kendrick, C., Brodzicki, A., Jaworek-Korjakowska, J., Yap, M.H., 2022. Analysis of the ISIC Image Datasets: Usage, Benchmarks and Recommendations. *Medical Image Analysis*, 75, 102305.
 22. Yanagisawa, H., Yamashita, T., Watanabe, H., 2018. A Study on Object Detection Method from Manga Images using CNN. In 2018 International Workshop on Advanced Image Technology, 1-4.
 23. Kannoja, S.P., Jaiswal, G., 2018. Ensemble of Hybrid CNN-ELM Model for Image Classification. In 2018 5th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks, 538-541.
 24. Khan, M.A., Akram, T., Zhang, Y.D., Sharif, M., 2021. Attributes-Based Skin Lesion Detection and Recognition: A Mask RCNN and Transfer Learning-Based Deep Learning Framework. *Pattern Recognition Letters*, 143, 58-66.
 25. Khan, M.A., Zhang, Y. D., Sharif, M., Akram, T., 2021. Pixels to Classes: Intelligent Learning Framework for Multiclass Skin Lesion Localization and Classification. *Computers and Electrical Engineering*, 90, 106956
 26. Mahbod, A., Schaefer, G., Wang, C., Dorffner, G., Ecker, R., Ellinger, I., 2020. Transfer Learning using A Multi-Scale and Multi-Network Ensemble for Skin Lesion Classification. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 193, 105475.
 27. Al-Masni, M.A., Kim, D.H., Kim, T.S., 2020. Multiple Skin Lesions Diagnostics Via Integrated Deep Convolutional Networks for Segmentation and Classification. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 190, 105351.
 28. Benyahia, S., Meftah, B., Lézoray, O., 2022. Multi-Features Extraction Based on Deep Learning for Skin Lesion Classification. *Tissue and Cell*, 74, 101701.
 29. Codella, N.C., Gutman, D., Celebi, M.E., Helba, B., Marchetti, M.A., Dusza, S.W., Halpern, A., 2018. Skin Lesion Analysis Toward Melanoma Detection: A Challenge at the 2017 International Symposium on Biomedical Imaging, Hosted by

- the International Skin Imaging Collaboration. in 2018 IEEE 15th International Symposium on Biomedical Imaging, 168-172.
30. Graves, A., Generating Sequences with Recurrent Neural Networks, 1-43, 2013.
 31. Hinton, G.E., Srivastava, N., Krizhevsky, A., Sutskever, I., Salakhutdinov, R.R., 2012. Improving Neural Networks by Preventing Co-Adaptation of Feature Detectors. Arxiv Preprint Arxiv, 1207.0580.
 32. Serte, S., Demirel, H., 2019. Gabor Wavelet-Based Deep Learning for Skin Lesion Classification. Computers in Biology and Medicine, 113, 103423.
 33. Yu, Z., Ni, D., Chen, S., Qin, J., Li, S., Wang, T., Lei, B. 2017. Hybrid Dermoscopy Image Classification Framework Based On Deep Convolutional Neural Network and Fisher Vector. in 2017 IEEE 14th International Symposium on Biomedical Imaging, 301-304.
 34. Burdick, J., Marques, O., Weinthal, J., Furht, B., 2018. Rethinking Skin Lesion Segmentation in A Convolutional Classifier. Journal of Digital Imaging, 31, 435-440.

Yağmur ve Rüzgar Dayanımı Yüksek Kumaşlarda Ultrasonik Dikişin Fiziksel Özelliklere Etkisinin İncelenmesi

Mehmet KÜÇÜK^{*1} ORCID 0000-0002-0017-5762
Serkan BOZ² ORCID 0000-0002-2989-1105

¹Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İzmir
²Ege Üniversitesi, Moda ve Tasarım Yüksekokulu, Moda Tasarımı Bölümü, İzmir

Geliş tarihi: 09.05.2023 Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: KÜÇÜK, M., BOZ, S., (2023). Yağmur ve Rüzgar Dayanımı Yüksek Kumaşlarda Ultrasonik Dikişin Fiziksel Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 799-806.

Öz

Kaplama teknolojisi, kumaşlar üzerine değişik malzemelerin aktarılması ile yüzeylere yeni özellikler kazandırılmak amacıyla sıklıkla tercih edilmektedir. Bu teknoloji sayesinde tekstil yüzeylerinin geçirgenlik özellikleri kısıtlanabilmekte ve bu yüzeylerde hava-su geçirmeme gibi özellikler elde edilebilmektedir. Yüzeylerin bu amaçlar doğrultusunda kullanılması için kesim işleminden sonra da talep doğrultusunda uygun birleştirme yöntemlerinin tercih edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, yağmurluk ve/veya rüzgarlık ürünlerinde sıklıkla kullanılan su ve hava geçirmezliği bakımından son derece kuvvetli kumaşlar seçilmiş ve bu kumaşların ve ultrasonik birleşim tekniği ile birleştirilmiş birleşim bölgelerinin fiziksel özellikleri (hava geçirgenliği, su geçirmezliği ve patlama mukavemetleri) değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yağmurluk kumaşı, Rüzgarlık kumaşı, Ultrasonik dikiş, Hava geçirgenlik, Su geçirmezlik, Patlama mukavemeti

Investigation of the Effect of Ultrasonic Bonding on Physical Properties in Fabrics with High Rain and Wind Resistance

Abstract

Coating technology is frequently preferred in order to transfer different materials on fabrics and to give new features to surfaces. Thanks to this technology, the permeability properties of textile surfaces can be restricted and properties such as air-water resistance can be obtained on these surfaces. In order for the surfaces to be used for these purposes, suitable joining methods should be preferred in line with the demand after the cutting process. In this study, extremely strong fabrics in terms of water and air resistance, which are frequently used in raincoat and/or windproof products, were selected and the mechanical properties (air permeability, water resistance and bursting strength) of these fabrics and the joint areas combined with the ultrasonic bonding technique were evaluated.

Keywords: Raincoat fabric, Windproof fabric, Ultrasonic bonding, Air permeability, Water permeability, Bursting strength

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Mehmet KÜÇÜK, mehmet.kucuk@ege.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde zorlu hava koşullarında korunabilmek amacıyla, kumaşlar üzerine değişik malzemeler aktarılıp onlara çeşitli özellikler kazandırılmaktadır. Kaplama teknolojisi olarak isimlendirilen bu teknoloji sayesinde tekstil yüzeylerinin geçirgenlik özellikleri kısıtlanabilmekte ve bu yüzeylerde hava-su geçirmeme gibi özellikler elde edilebilmektedir.

Kaplama, kumaşa normal terbiye prosesleriyle kazandırılmayan özel efektler için uygulanan bir işlemdir. İstenilen efektte göre sıvı, hamur veya toz halde bulunan kimyasallar toz, pasta veya köpük formunda kumaşa aktarılarak kumaş üzerinde bir film tabakası oluşturulmaktadır [1].

Bu tür kumaşlar, ziraat ve inşaat sektörleri ile birlikte tekstil sektöründe konfeksiyon, ev tekstili, endüstriyel tekstiller, jeotekstiller, tıbbi tekstiller, otomotiv tekstili, koruyucu giysiler ve spor tekstilleri gibi alanlarda sıklıkla tercih edilmektedir [2].

Zeminde kullanılan kumaşlar son üründe; kopma, yırtılma ve uzama gibi özellikleri sağlarken, kaplama maddesi; gözeneklilik, kumaşın kimyasal ve çevresel etkilerden korunması ve bazı durumlarda görünüm iyileştirmesi sağlamaktadır. Tekstil materyalinden beklenen su geçirmezlik, ısı yalıtım, estetik görünüm gibi bazı özellikler kumaşların polimer ile kaplanmasıyla sağlanabilmektedir [3].

Ultrasonik dikiş tekniği, otomotiv, tıp, spor, tekstil ve konfeksiyon alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışmada outdoor ürünlerinde tercih edilen, yağmur ve rüzgar geçirmez kumaş örnekleri kullanılmıştır.

Bu konuda yapılmış çalışmalara bakıldığında, 2019 yılında Kurşun Bahadır ve Şahin yaptıkları bir çalışmada, bir e-tekstil güç iletim sistemi oluşturmak için, paslanmaz çelik iletken iplikleri kumaşlar üzerine ultrasonik birleştirme yöntemi kullanarak monte etmişlerdir [4]. 2019 yılında Şevkan Macit ve Tiber tarafından yapılan bir çalışmada, poliüretan kaplamalı kumaşların

ultrasonik kaynak yöntemi ile birleştirilmesi sonucu oluşan birleşim noktalarının su iletim özelliklerinin klasik dikiş yöntemlerine göre farkları incelenmiştir [5]. Çeven ve Karakan Günaydın'ın 2018 yılındaki çalışmalarında, atkı yoğunluğu ve iplik yapısının nem yönetimi ve hava geçirgenliği üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi için 18 farklı kumaş türü seçilmiştir ve bu kapsamda incelenmiştir [6]. Şevkan Macit ve Tiber 2018 yılında ultrasonik dikiş yöntemi ile dikilmiş kumaşların dikiş mukavemeti, patlama mukavemeti ve eğilme özelliklerini incelemek üzere poliüretan kaplı üç tip dokuma kumaş kullanılmıştır. Kumaşlar çeşitli parametrelerle birlikte ultrasonik ve konvansiyonel olarak birleştirilmiştir. Her iki yöntemle dikilmiş olan kumaşlara yıkama işlemi uygulanmış ve yıkama öncesi ve yıkama sonrası kumaşların bahsedilen özellikleri test edilmiştir [7]. Eryürük ve arkadaşları 2017 yılında, dokusuz yüzeylerde ultrasonik birleştirme tekniğini incelemişlerdir. Bu teknik ve dokusuz yüzeylerle ameliyat önlüklerinin dikim özellikleri analiz edilmiştir [8]. Yılmaz Akyürek ve Güneş 2016 yılında yaptıkları bir çalışmada, ultrasonik dikişin kumaş üzerinde oluşturduğu farklı görünümleri saptamak amacıyla uygun kumaşlara örnek dikişler yapılmıştır. Klasik dikişlere nazaran farklı bir görünüş ve stile sahip olmasından yola çıkılarak bu farklılığı bayan dış giyimde belirgin şekilde kullanmak amaçlanmıştır. Bunun için günümüz modasına uygun bayan palto ve ceket tasarımı yapılmış ve bunlardan biri prototip ürün olarak dikilmiştir. Bu sayede sektöre ultrasonik dikişin hazır giyimde dikiş amaçlı kullanımının farklı bir uygulaması sunularak örnek olması amaçlanmıştır [9]. 2016 yılında Shi ve arkadaşları tarafından yapılmış bir çalışmada, ultrasonik kaynak yöntemi ile elde edilmiş bir dikişin su geçirme özelliği test edilmiştir. Bu doğrultuda, klasik dikişlerdeki su geçirme sorunun iğne deliklerinden su sızması şeklinde olduğu tespit edilmiştir [10]. 2014'te Kayar ve arkadaşları ultrasonik birleştirme yönteminde farklı tekerlek (roller) tiplerinin dikişlerin çekme mukavemetleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [11]. 2014 yılında Kayar ve Mıstık tarafından yapılmış bir çalışmada, ultrasonik yöntemle birleştirilmiş nonwoven kumaşların mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada mekanik özellik olarak dikiş dayanımı ve kopma anındaki uzama değerleri

tain edilmiştir [12]. Vujasinovic ve arkadaşları, 2007 yılında yelken kumaşlarında ultrasonik dikişlerin dayanıma etkilerini incelemiştir [13]. Jevsnik ve arkadaşları, 2017 yılında çok katlı tekstil yüzeylerinde ultrasonik dikiş özelliklerini incelemiştir [14].

Teknik ürünlerde kullanım amacı doğrultusunda aranan bir özellik olan su ve hava geçirme oranları ürünün kumaşında çeşitli kaplama yöntemleri ile düşürülebilmektedir. Klasik dikiş teknikleri ile (çift baskı, overlok, reçme dikişleri gibi) dikilen ürünlerde ürünün dikiş noktalarında iğne delikleri olduğu için kumaşın hava ve su geçirgenlikleri artmaktadır. Bu geçirmezlik değerlerinin kaybolmaması amacıyla çalışmada kumaşların birleştirilmesinde, sentetik materyallerin ısı birleştirilmesi prensibine dayanan ultrasonik dikiş tekniği tercih edilmiştir. Bu doğrultuda bu çalışmanın amacı, seçilen kumaşların öncelikle kendilerinin, sonrasında ise ultrasonik birleştirme ile birleştirildikten sonra, bu birleşme alanlarındaki hava ve su geçirgenliklerinin ve ayrıca birleşim bölgelerinin patlama mukavemetlerinin test edilmesi ve sayısal olarak yorumlanmasıdır. Tüm testler hem kumaş yüzeylerine hem de dikim hatları test cihazlarında ortalanarak uygulanmış ve tüm yorumlar elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu çalışmanın materyalini günümüzde yağmurluk ve/veya rüzgarlık ürünlerinde sıklıkla kullanılan su ve hava geçirmezliği bakımından son derece kuvvetli kumaşlar oluşturmaktadır. Bu kumaşlar aşağıdaki gibidir.

- Kumaşın yüzünden poliüretan kaplamalı %100 polyester örme (süprem) yağmurluk kumaşı
- Kumaşın tersinden poliüretan membran kaplamalı %100 polyester dokuma (bezayağı) rüzgarlık kumaşı

Poliüretan kaplama ve membran kaplama kumaşlara ısı yalıtımı, yırtılma dayanımı, aşınma dayanımı, su geçirmezlik ve kolay temizlenme gibi özellikler kazandırmaktadır [15].

Kumaşların kaplanmasıyla kumaş yüzeyinde elde edilen pürüzsüz yüzeyin zarar görmemesi, iğne delikleri açılarak dayanım ve geçirgenlik özelliklerinin azalmaması amacıyla, bu tür kumaşlar klasik dikiş teknikleri yerine ultrasonik dikiş tekniği gibi kumaşların birbirleriyle ısı birleştirilmesini sağlayan teknikler ile dikilmesi istenmektedir. Çalışmada kullanılan ultrasonik dikiş makinesi aşağıdaki gösterilmiştir (Şekil 1).



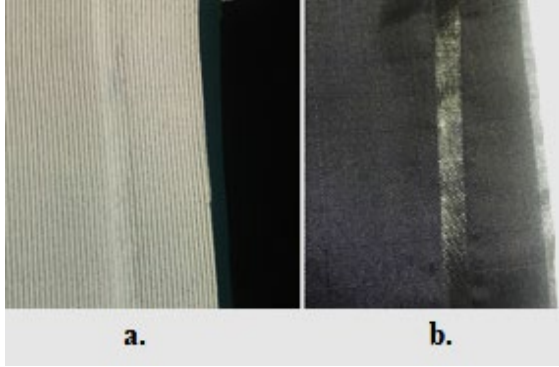
Şekil 1. Nucleus DX1 ultrasonik dikiş makinesi

Ultrasonik dikiş makinelerinin sunduğu avantajlar aşağıdaki gibidir.

- Küçük parçaların kolay birleştirilmesi,
- Pürüzsüz ve düzgün bir birleştirme sağlaması (roller tipine göre talep doğrultusuna desenli birleşim noktaları da oluşturulabilir),
- Dikim (birleşim) sırasında herhangi bir koku veya duman oluşmaması,
- Herhangi bir iğne, iplik, mekik-masura vb. gibi malzeme kullanılmamasıdır [16].

Ultrasonik dikiş makinalarında kumaş ile temas ederek dikim (kaynak) işlemini gerçekleştiren parça teker (roller) olarak isimlendirilmiştir. Testler sırasında kullanılan ultrasonik dikiş makinesinde 12 mm genişliğinde desensiz ve düz bir teker (roller) tercih edilmiştir. Bunun nedeni, bu tekerin kesiksiz bir yapıya sahip olması ve bu sayede tekerin altında kumaşın tekere temas eden tüm noktalarının

dikilerek sürekli bir birleştirme yapılmasıdır. Kumaşların kaplamalı yüzeyleri daha pürüzsüz (uniform) yapıya sahip oldukları için birleştirme işlemleri kumaşların yüzü yüzüne bakacak şekilde kaplamalı yüzeylerde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Ultrasonik dikişlerin görüntüleri
a. Yağmurluk kumaşı b. Rüzgarlık kumaşı

Ultrasonik dikiş makinalarında bir kumaş türü için en uygun makine parametrelerini tespit etmek amacıyla, parametreleri değiştirerek o kumaş türü üzerinde deneme dikimleri yapmak gerekmektedir. Gerçekleştirilen ön denemeler doğrultusunda çalışma kapsamında test edilen kumaş türlerinde en verimli dikimin elde edildiği makina parametreleri 27 watt ultrason gücü, 3 m/dakika maksimum dikim hızı olarak belirlenmiştir.

2.2. Metot

Kaplamalı kumaşların ultrasonik birleştirme işlemleri tamamlandıktan sonra dikiş bölgelerinin hava ve su geçirgenlik özellikleri ve birleşim bölgelerindeki mukavemet test edilmiştir. Kumaşlar tüm testler öncesinde standart atmosfer koşullarında 20 °C±2 ve %65±4 bağıl nemde kondüsyonlanmıştır.

• Gramaj Tespiti

Gramaj tespiti TS EN 12127 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Elde edilen değerlerin birimi g/m^2 'dir. Gerçekleştirilen ölçümler sonucunda yağmurluk kumaşının gramajı $194 g/m^2$, rüzgarlık kumaşının gramajı $70,2 g/m^2$ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3. Dairesel kumaş kesim cihazı, hassas terazi

• Hava Geçirgenliği Testi

Kumaşlardaki konfor hissiyatının önemli göstergelerinden biri de kumaşların hava geçirgenlik özellikleridir [17]. Ayrıca bu çalışmada olduğu gibi fonksiyonel özelliklere (su geçirmeme, hava geçirmeme, yanmama gibi özellikler) sahip kumaşların bahsi geçen hava geçirmeme özelliğine sahip olup olmadığını hava geçirgenliği testi ile kontrol edilebilmektedir. Kumaşların hava geçirgenlik testleri "Textest FX 3300 Hava Geçirgenlik Test Cihazı" (Şekil 4) ile ASTM D 737 standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Testler her numunede 5 kez tekrarlanmıştır.



Şekil 4. Textest FX 3300 hava geçirgenlik test cihazı

• Su Geçirmezlik Testi

Kumaşın su direnci kavramı, su tarafından ıslanmaya ve suyun içeri girmesine karşı koyma yeteneği olarak tanımlanmaktadır [18]. Yağmurluklarda, askeri kıyafetlerde su geçirmezlik özelliğinin olması istenmektedir. Su geçirmezlik testleri TS EN ISO 811 standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Testlerde su artış hızı 600+- 30 mm/dk olarak belirlenmiştir. Testler her numunede 5 kez tekrarlanmıştır.



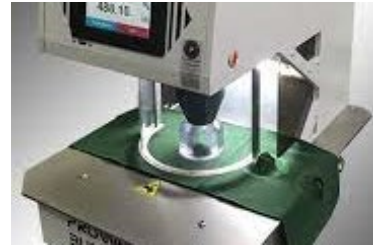
Şekil 5. Su geçirmezlik test cihazı

Çalışmada test edilen kumaşların dikişsiz yüzeylerine ve ultrasonik yöntemle birleştirilmiş birleşim bölgelerine gerçekleştirilen testler sonucunda elde edilen veriler bulgular kısmında sunulmuştur. İki bölge arasında yapılan karşılaştırmalar ile kumaşların ultrasonik dikiş

bölgelerindeki özelliklerinin değişimleri gösterilmiştir.

• Patlama Mukavemeti Testi

Patlama mukavemeti, kumaş yüzeyine dik açı ile uygulanan kuvvet vasıtasıyla kumaşı gererek koparmak için gereken basınç veya kuvvettir. Çalışmada patlama mukavemet testi diyafram metoduna (EN ISO 13938-2, TS 393) uygun olarak gerçekleştirilmiştir [19-20].



Şekil 6. Patlama mukavemeti test cihazı

Patlama mukavemeti testi numunelerin 5 farklı noktalarından yapılmıştır. Çalışmada test edilen kumaşların hem yüzeylerine ve hem de ultrasonik birleşim bölgelerine patlama mukavemet testi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler bulgular kısmında sunulmuştur.

1. BULGULAR

Kumaşlar kondüsyonlandıktan sonra belirtilen standartlar kapsamında gerçekleştirilen testler ve elde edilen veriler aşağıdaki çizelgelerde (Çizelge 1-2-3) gösterilmiştir.

Çizelge 1. Kumaş ve dikiş bölgelerinin hava geçirgenlik değerleri (L/m²/s)

L/m ² /s	Yağmurluk		Rüzgarlık	
	Kumaş yüzeyi	Dikiş bölgesi	Kumaş yüzeyi	Dikiş bölgesi
1. Test	0	6,25	0	4,50
2. Test	0	7,02	0	2,18
3. Test	0	10,6	0	4
4. Test	0	9,46	0	2,25
5. Test	0	9,22	0	2,30
Standart sapma	0	1,81	0	1,11
ORTALAMA	0	8,51	0	3,04

Çizelge 2. Kumaş ve dikiş bölgelerinin su geçirmezlik değerleri (mm H₂O sütunu)

mm H ₂ O sütunu	Yağmurluk		Rüzgarlık	
	Kumaş yüzeyi	Dikiş bölgesi	Kumaş yüzeyi	Dikiş bölgesi
1. Test	7600	1115	700	340
2. Test	7700	1100	800	365
3. Test	7750	1050	740	370
4. Test	7500	1200	725	350
5. Test	7550	1180	700	335
Standart Sapma	103,68	61,07	41,17	15,24
ORTALAMA	7620	1129	733	352

Çizelge 3. Kumaş ve dikiş bölgelerinin patlama mukavemet değerleri (kPa)

kPa	Yağmurluk		Rüzgarlık	
	Kumaş yüzeyi	Dikiş bölgesi	Kumaş yüzeyi	Dikiş bölgesi
1. Test	1215,1	1224,3	1099,8	1228,6
2. Test	1216,1	1275,8	1123,3	1219,1
3. Test	1231,7	1293,5	1138,1	1263,5
4. Test	1226,2	1250,9	1110,1	1250,2
5. Test	1224,5	1285,6	1114,2	1245,6
Standart Sapma	7,03	28,30	14,46	17,64
ORTALAMA	1222,72	1266,02	1117,1	1241,4

Bu sonuçlara göre, kumaşların hava geçirgenlik testi karşısındaki davranışlarına bakıldığında, iki kumaş yüzeyi de hava geçişine izin vermez iken, yağmurluk kumaşın dikişli bölümünün ortalama olarak 8,51 L/m²/s, rüzgarlık kumaşın dikişli bölümünün ise 3,04 L/m²/s hava geçişine izin verdiği tespit edilmiştir. Bu durum üzerine iki kumaşın da ultrasonik dikiş metodu ile dikilmesi sonucunda kumaşa oranla kısmen hava geçişine izin verdiği, ancak rüzgarlık kumaşın yağmurluk kumaşa göre daha az bir miktarda hava geçişine izin verdiği görülmektedir.

Kumaşlar üzerinde yapılan su geçirmezlik testlerinden elde edilen veriler ışığında, yağmurluk kumaş gerçekleştirilen testlerin ortalaması olarak 7620 mm H₂O sütununa kadar dayanım sağlarken, rüzgarlık kumaş ortalama olarak 733 mm H₂O sütununa kadar yükselebilmektedir. Dikiş bölgelerinde bu kumaşların su geçirme özelliklerine bakıldığında, yağmurluk kumaşın dayanımı ortalama olarak 1129 mm H₂O sütunu seviyesine

düşerken, rüzgarlık kumaşın ise yarıya düşerek 352 mm H₂O sütunu civarına inmiştir.

Kumaşlar üzerinde gerçekleştirilen patlama mukavemet test sonuçlarına bakıldığında, yağmurluk kumaşın patlama mukavemeti 1222,72 kPa iken, bu kumaşın ultrasonik dikiş ile birleştirilen bölgesinde bu değerde 1266,02 kPa'lık bir değer elde edilmiştir. Benzer şekilde rüzgarlık kumaşın patlama mukavemet test değerlerine bakıldığında, kumaş yüzeyinin patlama mukavemeti 1117,1 kPa iken, dikiş bölgesinde bu değer 1241,4 kPa'ya yükselmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde kumaş yüzeylerinin istenildiği gibi kullanılabilmesi için kesim işleminden sonra talep doğrultusunda uygun birleştirme yöntemleri ile birleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, kaplama türüne bağlı olarak su ve hava geçirmezlik gibi özellikler kazandırılmış

kumaşların, bu özelliklerini kaybetmemeleri amacıyla klasik dikiş türleri yerine ultrasonik birleştirme yöntemi ile dikilmeleri sağlanmıştır. Çalışmada kumaşların bu yöntem ile birleştirildikten sonra sahip oldukları hava-su geçirgenliklerindeki değişimler incelenmiştir.

İki kumaş türünün de ultrasonik birleştirme yöntemi kullanılarak bir ürün haline çevrilmesinde dikiş bölgelerindeki fonksiyonellik değişimleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, iki kumaş da yüzeyinden hava geçişine izin vermez iken, ürüne dönüştürüldükten sonra dikiş bölgelerinde bu özelliklerinden çok küçük oranlarda kayıplar vermektedirler. Ancak bu kayıplar yağmurluk kumaşta daha fazla iken, rüzgarlık kumaştaki kayıp (3,04 L/m²/s), yağmurluk kumaştakinin (8,51 L/m²/s) yarısından da azdır.

Kumaşların su geçirme özellikleri incelendiğinde, yağmurluk kumaş hem kumaş yüzeyinden hem de dikişli bölgelerinden su geçişine rüzgarlık kumaşa göre daha zor izin vermektedir. Ultrasonik yöntemle birleştirilmiş bölgelerde, yağmurluk kumaşın (1129 mm H₂O sütunu) ile rüzgarlık kumaşın (352 mm H₂O sütunu) 3,2 kat daha dayanıklı olduğu söylenebilir. Ayrıca yağmurluk kumaş için su geçirmezlik özelliğinin dikiş bölgesinde kumaş yüzeyine göre %85,18'lik bir azalma görülmektedir. Rüzgarlık kumaşında da bu oranın %51,98 olduğu tespit edilmiştir.

Kumaşların patlama mukavemeti davranışlarına bakıldığında, iki kumaş türü için de, dikiş bölümlerinin patlama mukavemetlerinin kumaş yüzeyine göre daha yüksek değer vermiş olması sebebiyle, doğru bir birleşim yöntemi kullanıldığı söylenebilir.

Hava ve su geçirmezlik değerlerinin artırılması için ultrason gücünün artırılması ya da dikim hızının azaltılması gerekmektedir. Ancak bu durumda kumaş yüzeylerinde daha fazla ısı oluşabilmekte ve bu da dikiş (birleşim) hattında mukavemet kayıplarına neden olabilmektedir.

Bu çalışmanın fonksiyonel ürünler (yağmurluk, paraşüt, çadır vb.) üreten işletmeler için yol gösterici olacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte ileriki çalışmalarda bu çalışmada da kullanılan

kaplamalı kumaşların diğer konfeksiyon işlemleri (serim, kesim, ütü gibi) sırasındaki davranışlarının ve dikkat edilmesi gereken noktaların değerlendirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir. Elde edilen test sonuçları gözlemlendiğinde, dokuma tabanlı kaplama kumaşın örme tabanlı kaplamalı kumaşa oranla daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak örme ve dokuma tabanlı kumaşların aralarındaki farkın tam anlamıyla değerlendirilebilmesi için aynı hammadde, gramaj ve kaplama özelliklerine sahip kumaşların da karşılaştırılması önerilmektedir. Ayrıca, ultrasonik dikişin farklı tipte kumaşlarla ve farklı parametrelerde (farklı roller tipleri, farklı işlem hızları) incelenmesi ve bu parametrelerin mukavemet ve geçirgenlik özelliklerine etkilerinin gözlemlenmesi sektöre yol gösterecektir.

5. KAYNAKLAR

1. Kut, D., Güneşoğlu, C. 2005. Poliüretan ve Poliakrilat Kaplanmış Kumaşların Performans Özelliklerinin Karşılaştırılması, *Tekstil Maraton*, 15(80).
2. Bulut, Y., 2010. Kaplamalı Giysilik Kumaşların Mekanik Özellikleri. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 110.
3. Yıldırım, K., Aydın, N., Köstem, A.M., Güçer, Ş., 2005. Poliüretan Kaplamalı Tekstil Yüzeylerinde Ortaya Çıkan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, II. Uluslararası Teknik Tekstiller Kongresi, İstanbul.
4. Kurşun Bahadır, S., Şahin, U.K. 2019. Measured Current Characteristics of Powered E-Textile Transmission Lines with Respect to Welding Process Parameters. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 29(2), 97-104.
5. Şevkan Macit, A. 2019. Investigation of Water Permeability of Ultrasonic Seaming on PU Coated Fabrics. *International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering*, 1, 44-49.
6. Çeven, E.K., Karakan Günaydın, G., 2018. Investigation of Moisture Management and Air Permeability Properties of Fabrics with Linen and Linen-Polyester Blend Yarns. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 26, 4(130), 39-47.

7. Şevkan Macit, A., Tiber, B., 2018. Dokuma Kumaşlarda Ultrasonik Dikiş Üzerine Bir Araştırma. Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 20(59), 566-575.
8. Eryürük, S.H., Karagüzel Kayaoğlu, B., Kalaoğlu, F., 2017. A Study on Ultrasonic Welding of Nonwovens Used for Surgical Gowns. International Journal of Clothing Science and Technology, 29(4), 539-552.
9. Yılmaz Akyürek, B., Güneş, M. 2016. Ultrasonik Dikişin Uygulamalı Olarak İncelenmesi ve Kadın Dış Giyim Tasarımlarında Kullanılması. İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 6(13), 251-261.
10. Shi, H., Wang, J., Chen, X., Shunhua, L., Zhang, L., 2016. Research on the Seam Performance of Waterproof Clothing Based on Continuous Ultrasonic Welding Technology. International Journal of Clothing Science and Technology, 28(2), 171-190.
11. Kayar, M., Mıstık, S.İ., İnan, D., 2015. Analysing Effect of the Factors on Ultrasonic Seam Tensile Properties of Nonwoven Fabrics by Nested Anova Design. International Journal of Clothing Science and Technology, 27(6), 803-817.
12. Kayar, M., Mıstık, S.İ., 2014. Effect of Fiber Type and Polyethylene Film on Mechanical Properties of Ultrasonically Bonded Multi Layer Nonwoven Fabrics. Tekstil ve Konfeksiyon, 24(1), 30-36.
13. Vujasinovic, E., Jankovic, Z., Dragcevic, Z., Petrunic, I., Rogale, D., 2007. Investigation of the Strength of Ultrasonically Welded Sails. International Journal of Clothing Science and Technology, 19, 204-214.
14. Jevsnik, S., Eryürük, S.H., Kalaoğlu, F., Karagüzek Kayaoglu, B., Komarkova, P., Golombikova, V., Stjepanovic, Z., 2017. Seam Properties of Ultrasonic Welded Multilayered Textile Materials. Journal of Industrial Textiles, 46, 1193-1211.
15. Bulut, Y., Sülar, V., 2008. Kaplama veya Laminasyon Teknikleri ile Üretilen Kumaşların Genel Özellikleri ve Performans Testleri. Tekstil ve Mühendis, 15(71), 5-16.
16. Boz, S., 2008. Ultrasonik Enerjinin Konfeksiyon Sanayiinde Kullanımının İncelenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 110.
17. Küçük, M., 2018. Futbolda Kaleci Giysilerinin Fonksiyonelliklerinin Arttırılması Amacıyla Yeniden Tasarlanması. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir, 188.
18. Turan, R.B., 2012. Kumaşların Geçirgenlik Özellikleri ile Yapısal ve Geometrik Özellikleri Arasındaki İlişkiler. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir, 396.
19. Özdil, N., 2003. Kumaşlarda Fiziksel Kalite Kontrol Yöntemleri. Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi Yayınları, Yayın No: 21, İzmir, 136.
20. Şevkan Macit, A., Tiber, B., 2021. Evaluation of Some Physical Performance Properties of Ultrasonic Seaming, Conventional Seaming and Sealing Adhesive Tape on Waterproof Polyester Woven Fabrics with Polyurethane Membrane, The Journal of the Textile Institute, 113(6), 1009-1017.

Derin Öğrenme Modelleri ve Veri Ön İşleme Yöntemleri ile Çeltik Yaprak Hastalıklarının Erken Teşhisi

Cüneyt ÖZDEMİR*¹ ORCID 0000-0002-9252-5888

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

Geliş tarihi: 18.07.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: ÖZDEMİR, C., (2023). Derin Öğrenme Modelleri ve Veri Ön İşleme Yöntemleri ile Çeltik Yaprak Hastalıklarının Erken Teşhisi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 807-817.

Öz

Son yıllarda tarım sektöründe, derin öğrenme temelli bilgisayar destekli sistemler büyük bir önem kazanmış ve farklı uygulama alanlarında etkili bir rol oynamıştır. Bu sistemler sadece hastalıkların erken teşhisine katkı sağlamakla kalmamış, aynı zamanda tarım profesyonellerine önemli bir destek sunmuştur. Bu bağlamda, bu çalışma çeltik yapraklarında mevcut hastalıkların erken teşhisinde derin öğrenme yöntemlerinin etkinliğini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu araştırma için, 13 farklı çeltik hastalığına ait toplam 4160 görüntü içeren Paddy Doctor veri kümesi kullanılmıştır. Veri kümesi üzerinde beş farklı transfer öğrenme modeli titizlikle değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Xception modelinin %93,37'lik doğruluk oranı ile en üstün performansı gösterdiğini açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu çalışma veri ön işleme ve veri artırma tekniklerini optimize etme konusuna da değinerek veri kümesini zenginleştirmeyi ve teşhis doğruluğunu artırmayı amaçlamıştır. Başarılı bulunan modelin çeltik yaprak hastalıklarını teşhis etmedeki performansı ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda, modelin en başarılı olduğu hastalık sınıfları belirlenmiş ve aynı şekilde modelin en zorlandığı veya en düşük doğruluk oranına sahip hastalık sınıfları da tespit edilmiştir. Bu bulgular, çeltik hastalıklarının erken teşhisinde transfer öğrenme modellerinin potansiyelini vurgulayarak tarım sektöründe etkili otomatik teşhis sistemlerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, tarım sektöründe mahsul verimini artırma ve pestisit kullanımını azaltma yolunda umut vadetmektedir. Ayrıca, daha sağlıklı ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etme odaklı bu araştırma, gelecekteki stratejilere de katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Paddy doctor, Xception, derin transfer öğrenme, Çeltik hastalıkları

Early Diagnosis of Paddy Leaf Diseases using Deep Learning Models and Data Preprocessing Techniques

Abstract

In recent years, deep learning-based computer-aided systems have gained significant importance in the agriculture sector and have played an effective role in various application areas. These systems have not only contributed to the early diagnosis of diseases but have also provided crucial support to agricultural professionals. In this context, this study aims to investigate the effectiveness of deep learning methods in the early diagnosis of rice leaf diseases. For this research, the Paddy Doctor dataset, comprising a total of 4160 images from 13 different rice diseases, was utilized. Five different transfer learning models were meticulously evaluated on the dataset. The results clearly indicate that the Xception model achieved the

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Cüneyt ÖZDEMİR, cuneytozdemir33@gmail.com

highest performance with an accuracy rate of 93.37%. Additionally, this study aimed to enrich the dataset and improve diagnostic accuracy by optimizing data preprocessing and augmentation techniques. The performance of the successful model in diagnosing rice leaf diseases was thoroughly assessed. Through this evaluation, disease categories in which the model excelled and those in which it struggled or had the lowest accuracy rates were identified. These findings underscore the potential of transfer learning models in the early diagnosis of rice diseases, facilitating the development of effective automated diagnostic systems in the agriculture sector. Furthermore, this research, with a focus on promoting healthier and sustainable agricultural practices, may contribute to future strategies.

Keywords: Paddy doctor, Xception, deep transfer learning, Paddy diseases

1. GİRİŞ

Çeltik, dünya nüfusunun çoğunluğu tarafından besin kaynağı olarak kullanılan önemli bir üründür. Eğer dünya genelindeki nüfus artış hızı mevcut oranda devam ederse, 2030 yılında çeltik talebini karşılamak için üretimin %50 artırılması gerekmektedir. Çeltik üretiminde dünya genelinde önde gelen ülkeler arasında Çin, Hindistan, Endonezya, Bangladeş ve Vietnam bulunmaktadır. Dünya çeltik verimi 410 kg/da (dekara) olup, Türkiye'nin ortalama dekara çeltik verimi ise 780 kg'dır. Türkiye'de çeltik tarımı 31 ilde gerçekleştirilmekte olup, en çok Edirne, Balıkesir, Çorum, Samsun, Sinop ve Kastamonu illerinde ekilmektedir. Çeltik, beslenme açısından gerekli amino asitler açısından zengin bir içeriğe sahip olan bir üründür ve bu nedenle buğdaydan sonra tercih edilen ürünler arasında yer alır. Çeltik tarımı için toprak seçimi konusunda belirli bir kriter olmasa da, çeltik yetiştiriciliği için en uygun koşulları sağlayan topraklar, az su geçirgenliği, derinlik, tınlı yapısı ve besin maddeleri açısından zengin olmasıdır. Kumlu topraklar, su kaybına ve besin maddeleri eksikliğine neden olabileceği için çeltik yetiştiriciliği için uygun değildir [1].

Çeltik, yurtiçi ve yurtdışı pazarlarda tercih edilen temel bir tarım ürünü olarak tanınan yüksek verimli bir tahıl ürünüdür. Yüksek getiri sağlaması nedeniyle çeltik, üreticiler için önemli bir seçenektir. Dünya nüfusunun artması, refah seviyesinin yükselmesi ve alışkanlıkların değişmesiyle birlikte, Türkiye ve diğer birçok ülkede çeltik tüketiminde artış eğilimi gözlenmektedir [2].

Tarımın ve gıda üretiminin sürdürülebilirliği, çeltik üretiminin verimliliği ile yakından ilişkilidir. Ne yazık ki, çeltik üretimi, çeşitli hastalıkların neden olduğu risklerle karşı karşıyadır. Bu hastalıkların tarımsal üretkenliği olumsuz etkilediği ve ekonomik kayıplara yol açtığı yaygın bir gerçektir. Çeltik yetiştiriciliği, birçok hastalık ve zararlıdan etkilenen karmaşık bir süreçtir. Bu hastalıkların erken teşhisi, tarımcılar ve tarım uzmanları için kritik bir görevdir. Geçmişte çiftçiler, hastalıkları tespit etmek için büyük ölçüde kendi bilgilerine ve çeltik mahsullerini görsel olarak incelemeye güveniyorlardı. Ne yazık ki bu yöntemlerin verimsiz, zaman alıcı ve hataya açık olduğu kanıtlanmıştır. Deneyimli çiftçiler ve tarım uzmanları bile benzer belirtiler gösteren farklı hastalıkları doğru bir şekilde teşhis etmekte zorluklarla karşılaşmaktadır [3-5].

Çeltik hastalıklarının otomatik tespiti, bu zorlukları aşmak için daha etkili, doğru ve ekonomik bir yöntem sunarak hastalıkları tanımlama ve yönetme sürecini iyileştirebilir. Telefon kameraları, standart kameralar, spektrometreler ve termal sensörler dahil olmak üzere çeşitli sensörler, çeltik bitkileri hakkında veri toplamak için otomatik algılama sistemleri tarafından kullanılabilir. Söz edilen sensörler aracılığıyla elde edilen veriler, makine öğrenimi algoritmalarıyla analiz edilerek hastalıkların erken aşamada tespit edilmesi sağlanabilir. Çeltik hastalıklarının otomatik olarak tespit edilmesi, mahsul verimini artırmak, pestisit kullanımını azaltmak ve çevreyi korumak gibi büyük potansiyellere sahiptir. Farklı hastalıkların tanımlanması için makine öğrenimi modellerinin kullanımı son zamanlarda kayda değer bir artış

göstermiştir. Bu modeller, kesin sonuçlar sağlamadaki dikkate değer doğruluklarıyla tanınmıştır.

Ramesh ve Vydeki [6], Çeltik bitkisinin hastalıklarının (Kahverengi leke, Bakteriyel yanıklık, Yaprak yanığı ve Yaprak kımı çürüklüğü) tespiti için optimize edilmiş derin sinir ağları ve Jaya algoritmasını kullanmışlardır. Bu çalışmada, görüntülerdeki arka planın çıkarılması ve hastalıklı ile sağlıklı bitki görüntülerinin ayrıştırılması için RGB renk uzayı, HSV (Ton, Doyma, Değer) renk uzayına dönüştürülmüştür. Toplamda 650 çeltik bitkisinin yaprak görüntüsü kullanılarak elde edilen sonuçlar, %94.25 doğruluk oranı sağlamıştır.

Bhagawati ve arkadaşları [7], çeltik yanıklığı hastalığını öngörmek amacıyla, sıcaklık, bağıl nem, yağış ve rüzgâr hızı gibi hava parametreleri ile bir sinir ağı eğitmişlerdir.

Lu ve arkadaşları [8], 10 farklı çeltik bitkisi hastalığı üzerinde araştırma yapmışlardır. Çeltik yanıklığı, yalancı leke, kahverengi leke, çeltik bakanae, yaprak yanıklığı, yaprak çürümesi, bakteriyel yaprak yanıklığı, bakteriyel yaprak çürümesi, tohum yanıklığı ve bakteriyel solgunluk hastalıklarını sınıflandırmak amacıyla 500 çeltik bitkisi görüntüsü kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, geleneksel yöntemlere göre daha iyi olduğu ancak CNN tabanlı modellerin eğitimi için yeterli veri setine sahip olmadıklarını belirtmişlerdir.

Prajapati ve arkadaşları [9], çeltik bitkisinin üç farklı hastalığını tespit etmek amacıyla görüntü işleme yöntemi ve Destek Vektör Makinesi (SVM) kullanmışlardır. Bu çalışmada elde edilen doğruluk oranı %73,33 olarak saptanmıştır.

Rahman ve arkadaşları [10], çeltik bitkisinin hastalığını tespit etmek için CNN kullanmış ve %93,3 doğruluk oranı elde etmiştir.

Lu ve arkadaşları [11] tarafından yapılan çalışmada, çeltik bitkisine ait on farklı hastalığı sınıflandırmak

amacıyla 500 çeltik bitkisi görüntüsü kullanılarak basit bir evrişimli sinir ağı (CNN) modeli geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bu çalışma kapsamında elde edilen doğruluk oranı %95,48 olarak tespit edilmiştir.

Ökten ve arkadaşları [12], 5000 adet çeltik bitkisi yaprağında hastalığı %91,54 oranında tespit etmiştir. Daha sonra 5000 görüntü veri artırma yöntemi ile 8000 görüntüye çıkarılmış ve CNN mimarisinin hiper-parametrelerini değiştirerek %97,57'lik bir başarı oranı elde edildiği belirtilmiştir.

Bu tarz hastalıklarla etkili bir mücadele yöntemi olarak, güncel teknolojiler arasında makine öğrenmesi öne çıkmaktadır. Makine öğrenmesi, büyük veri setlerini analiz etme yeteneği sayesinde hastalıkların erken teşhisinde ve sınıflandırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle makine öğrenmesinin alt dalı olan derin transfer öğrenme modelleri, bu tür karmaşık ve geniş veri setlerinde yüksek başarı elde etme potansiyeline sahiptir. Derin öğrenme sağlık, gıda, spam filtreleme gibi birçok sektörde geniş bir uygulama potansiyeline sahip olan önemli bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır [13-17]. Bu çalışmada da makine öğrenimi teknolojilerinden derin transfer öğrenme modellerinin kullanılmasıyla, 13 farklı çeltik hastalığının yüksek doğrulukla tespit edilmesi başarılmıştır. Bu sonuçlar, çeltik tarımındaki hastalık teşhisinin iyileştirilmesi ve tarım verimliliğinin artırılmasına yönelik umut verici bir perspektif sunmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışma için paddy doctor [18] veri kümesi kullanılmıştır. Bu veri kümesinde 13 farklı çeltik hastalığına ait veri bulunmaktadır. Her gruptan 320 görüntü olmak üzere toplamda 4160 görüntü kullanılmıştır. Veri setine ait sınıflar ve bunlara ait sayılar Çizelge 1'de gösterilmiştir.

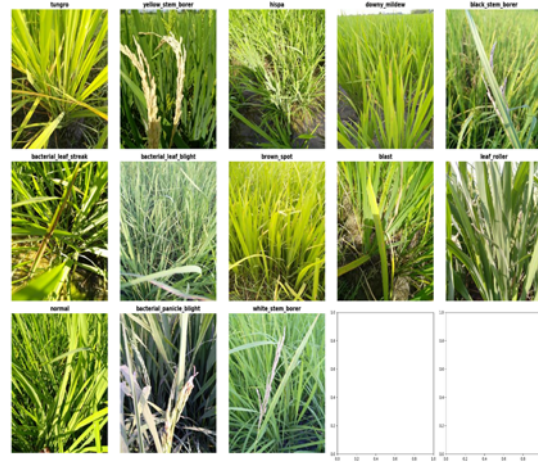
Çizelge 1. Bitki hastalıkları veri seti

Hastalık	Eğitim Sayısı	Test Sayısı
Tungro	320	80
Sarı kök kurdu (Yellow stem borer)	320	80
Hispa	320	80
Tüylü küf (Downy mildew)	320	80
Siyah gövde kurdu (Black stem borer)	320	80
Bakteriyel yaprak çizgisi (Bacterial leaf streak)	320	80
Bakteriyel yaprak yanıklığı (Bacterial leaf blight)	320	80
Kahverengi leke (Brown spot)	320	80
Yanıklık (Blast)	320	80
Yaprak silindiri (Leaf roller)	320	80
Normal	320	80
Bakteriyel salkım yanıklığı (Bacterial panicle blight)	320	80
Beyaz gövde kurdu (White stem borer)	320	80
Toplam	4160	1040

Veri toplama işlemi Şubat ayından Nisan 2021'e kadar, paddy bitkisinin yaşı 40 ila 80 gün arasında olduğu dönemde gerçekleştirilmiştir. Her görüntü, bir tarım görevlisiyle işbirliği yapılarak hastalık belirtilerinin varlığına dayanarak el ile etiketlenmiş ve bir hastalık sınıfı etiketi atanmıştır. Paddy bitki hastalıkları etiketleri şunlardır [18]:

- Bakteriyel Yaprak Solgunluğu (BLB)
- Bakteriyel Yaprak Çizgilenmesi (BLS)
- Bakteriyel Başak Solgunluğu (BPB)
- Kara Gövde Kurdu (BSB)
- Yanıklık
- Kahverengi leke
- Paslanma
- Hispa
- Yaprak Sürücüsü
- Tungro
- Beyaz Gövde Kurdu
- Sarı Gövde Kurdu
- Normal yaprak.

Şekil 1'de veri setinde yer alan farklı sınıflara ait birer örnek içeren görüntüler verilmiştir.



Şekil 1. Her sınıfa ait bir görüntü

Literatür taraması yapıldığında, çeltik hastalıklarının farklı türleriyle ilgili birçok çalışma ve bu hastalıklara ait çeşitli toplanmış veri setleri bulunmaktadır. Bu çalışmada özellikle sürekli olarak güncellenen Paddy Doctor veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti, literatürde çok fazla çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışmalarda, model performansını artırmak için genellikle veri setindeki sınıf sayısı azaltılmıştır. Ayrıca, sınıflar arasındaki görüntü sayılarının dengesizliğini gidermek ve model performansını iyileştirmek için aynı sayıda görüntü kullanılmıştır. Paddy Doctor veri setinin bu dinamik yapısı, farklı araştırma projelerinde benzersiz bir değer ve uyum sağlayıcı bir özellik olarak öne çıkmaktadır.

Bu veri seti sürekli olarak güncellenmekte olup, bu çalışma kapsamında 4160 görüntü içeren veri seti kullanılmıştır.

2.2. Metot

Transfer öğrenimi, makine öğreniminde yaygın olarak kullanılan bir teknik olup, veriden özellik çıkarma konusunda hali hazırda yetkin olan önceden eğitilmiş bir modelin, farklı bir görevi hedefleyen yeni bir model için temel olarak kullanıldığı bir yöntemdir. Bu yaklaşım, bir modeli sıfırdan eğitime ihtiyacını ortadan kaldırarak zamandan ve kaynaklardan tasarruf etme avantajı sunar. Popüler transfer öğrenme modelleri arasında Xception, ResNet, MobileNet, DenseNet ve Inception yer almaktadır.

InceptionV3: InceptionV3, derin öğrenme alanında yaygın olarak kullanılan bir evrişimli sinir ağı (CNN) modelidir. Girdi veriyi çoklu paralel yollarla işleyen ve daha sonra bu parçaları birleştiren "incelemeli" mimariye dayanır. Bu yapı, daha iyi öznetelik çıkarma yeteneği sağlayarak nesne tanıma ve sınıflandırma görevlerinde etkili sonuçlar elde etmeyi amaçlar [19].

ResNet101V2: ResNet101V2, "Derin İlişkili Ağlar" (Residual Networks) olarak da bilinen ResNet ailesinin bir üyesidir. ResNet mimarisi, ağı derinleştikçe performansın düşmesini engellemeyi amaçlar. Residual blokları adı verilen özgün yapılar, girdi ve çıkış arasındaki farkları öğrenerek ağı daha kolay öğrenmesini sağlar [20].

Xception: Xception, temelde InceptionV3'ün geliştirilmiş bir versiyonu olarak kabul edilir. "Derin İlişkili Ağlar" (Residual Networks) olarak da bilinen ResNet ailesinin bir üyesidir. Ancak Xception, girdi verinin özneteliklerini daha detaylı analiz etmek için derinlemesine ayrılmış paralel katmanlar kullanır [21].

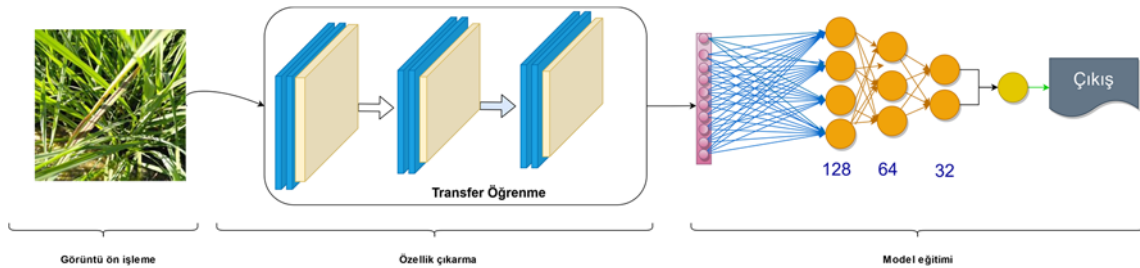
MobileNetV2: MobileNetV2, hafif ve hızlı derin öğrenme modeli olarak tasarlanmıştır. Mobil cihazlar gibi kaynak sınırlı ortamlarda kullanılmak üzere optimize edilmiştir. Yüksek performansı düşük hesaplama maliyetiyle birleştiren bir yapı sunar [22].

DenseNet121: DenseNet, ağ katmanları arasında yoğun bağlantıların kurulduğu bir CNN mimarisidir. Geleneksel CNN'lere kıyasla daha etkili bilgi akışını sağlar. "Yoğun bloklar" olarak adlandırılan yapılarıyla bilgi paylaşımını artırarak daha iyi öznetelik çıkarma yeteneği sunar [23].

Transfer öğrenme modellerinin kullanımı çeşitli avantajlar sunar. İlk olarak, doğruluğu artırırken eğitim süresini önemli ölçüde azaltır. Ayrıca, sınırlı miktarda veriyle bile yüksek doğruluk elde edilmesini sağlayabilir. Bununla birlikte, bu yaklaşımda dikkatli model seçimi gerekliliği, model performansını optimize etmek için ince ayar gerekliliği ve önceden eğitilmiş modeli eldeki veri kümesinin belirli özelliklerine uyarlama ihtiyacı gibi bazı dezavantajları vardır.

Bu çalışmada, transfer öğrenme modellerini Paddy Doctor veri setinin benzersiz özelliklerine uyarlandı. Daha sonra bu uyarlanmış modellerin performansı veri kümesi üzerinde titizlikle incelendi ve analiz edildi.

Bu çalışma için model mimarisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Veri kümesi öncelikle ön işleme tabi tutulmuştur. Ardından, transfer öğrenme modelleri kullanılarak görüntülere ait özellikler çıkarılmıştır. Son olarak, özellikler 128, 64 ve 32 nöronlu 3 katmanlı bir yapay sinir ağına beslenmiştir. Aşağıda, Şekil 2'de gösterilen adımlar adım adım açıklanmıştır.



Şekil 2. Model Mimarisi

Veri ön işleme: Başlangıçta, veriler dikkatli bir ön işleme sürecinden geçirilmiştir. Veri setindeki görüntüler, ilk olarak 256x256 boyutuna yeniden boyutlandırılmıştır. Bu işlem sonrasında, veri

setinin çeşitliliğini artırmak amacıyla çeşitli veri artırma teknikleri özenle uygulanmıştır. Bu teknikler arasında dönüş aralığı (rotation_range) 10 derece, kayma aralığı (shear_range) 0.2 ve

yakınlaştırma aralığı (zoom_range) 0.2 gibi parametreler optimize edilmiştir. Ayrıca, genişlik kayması aralığı (width_shift_range) 0.05, yükseklik kayması aralığı (height_shift_range) 0.05 ve kanal kayması aralığı (channel_shift_range) 0 olarak ayarlanmıştır. Veri artırma işlemleri sırasında, görüntülerin işlenmesini kolaylaştırmak ve normalize etmek amacıyla 1/255 ölçeklendirme (rescale) işlemi uygulanmıştır. Bu parametre değerleri, bir dizi deneysel çalışmanın sonucunda titizlikle belirlenmiş ve en iyi sonuçların elde edildiği değerlerdir. Ayrıca, batch boyutu 128 olarak belirlenmiştir ki bu, deneylerin hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlamıştır.

Özellik çıkarma: Verilerden özelliklerin çıkarılması aşaması, bu noktada evrimsel sinir ağları (CNN) gibi transfer öğrenme modellerinin yardımıyla yapılmıştır. Bu adımın temel amacı, görsel verilerde bulunan karmaşıklığı ve önemi anlamak için verilerden anlamlı özelliklerin çıkarılmasıdır. Özellikle, çeltik yapraklarının hastalıklarının tespit etmek için kritik olan özellikleri belirlemek bu aşamanın odak noktasıdır. CNN modelleri, verilerin içerdiği bilgileri hiyerarşik olarak analiz eder ve bu sayede görüntülerdeki desenleri ve özellikleri tanımlamada son derece etkilidirler. Özellik çıkarmanın bu aşaması, daha sonra modelin eğitiminde kullanılacak olan temel veri temsillerini oluşturur. Bu sayede, farklı çeltik hastalıklarını ayırt etmek için gerekli olan bilgi elde edilmiş olur.

Model eğitimi: Özellikler, başarılı bir hastalık teşhis modeli oluşturmak için model eğitimi aşamasında kullanılırlar. Bu aşama, özelliklerin önceki işlemlerle işlenmesinden sonra elde edilen veri temsillerini modelin anlayabileceği bir formata dönüştürmeyi içerir. Model eğitimi, bu veri temsillerini kullanarak bir yapay sinir ağı oluşturmayı içerir. Bu çalışmada, modelin mimarisi 128, 64 ve 32 nöronlu üç katmandan oluşan bir yapay sinir ağı olarak belirlenmiştir. Bu katmanlar, özelliklerin daha yüksek düzeyde temsil edilmesini sağlar. Model, veriler arasındaki karmaşıklıkları ve ilişkileri öğrenerek, çeltik yaprak hastalıklarını doğru bir şekilde sınıflandırma yeteneğine sahip olur. Model eğitimi aşaması, verilerin üzerindeki desenleri tanımayı öğrenerek, sonunda güvenilir ve

doğru teşhisler yapabilen bir yapay zeka modelinin oluşturulmasını sağlar. Özellikler çıkarıldıktan sonra, bir modeli eğitmek için kullanılırlar. Model eğitimi 128, 64 ve 32 nöronlu 3 katmandan oluşan yapay sinir ağları ile gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, çeltik yaprak hastalıklarının erken teşhisinde derin öğrenme tabanlı transfer öğrenme modellerinin etkinliğini ve bu modellerin performansını değerlendirmek için çeşitli metrikler kullanılmıştır.

2.3. Performans Metrikleri

Accuracy (Doğruluk): Doğru tahmin edilen örneklerin toplam örnek sayısına oranını ifade eder. Bu metrik, genel sınıflandırma başarısını yüzde cinsinden gösterir.

F1 Score: F1 skoru, hassasiyet (precision) ve duyarlılık (recall) metriklerinin harmonik ortalamasını ifade eder. Bu metrik, dengeli sonuçları değerlendirmek için kullanılır.

Recall (Duyarlılık): Duyarlılık, gerçek pozitif sayısının, gerçek pozitif sayısı ve yanlış negatif sayısı toplamına bölünmesi ile hesaplanır. Duyarlılık, yanlış negatiflerin kaçırılma oranını ifade eder.

Precision (Hassasiyet): Hassasiyet, gerçek pozitif sayısının, gerçek pozitif sayısı ve yanlış pozitif sayısı toplamına bölünmesi ile hesaplanır. Hassasiyet, yanlış pozitiflerin oranını ifade eder.

Bu metrikler, çeltik yaprak hastalıklarının tespiti için kullanılan transfer öğrenme modellerinin performansını objektif bir şekilde değerlendirmek ve sonuçları daha iyi anlamak amacıyla kullanılmıştır.

Çizelge 2. Performans metriklerinin matematiksel formülleri

Metrik	Formül
Accuracy	$(TP+TN)/(TP+TN+FP+FN)*100$
Recall	$TP/(TP+FN)$
Precision	$TP/(TP+FP)$
F-Measure	$\{2 \times (\text{Recall} \times \text{Precision})\} / (\text{Recall} + \text{Precision})$

Bu denklemlerde T, F, P ve N sırasıyla Doğru, Yanlış, Pozitif ve Negatif anlamına gelmektedir. Örneğin, TP doğru sınıflandırılmış pozitif örneklerin sayısını; FN ise yanlış sınıflandırılmış negatif örneklerin sayısını göstermektedir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

Ön işlemden sonra veri kümesi eğitim, doğrulama ve test kümelerine ayrılmıştır. Eğitim veri kümesi görüntülerin %75'ini içerirken, görüntülerin kalan %25'i test veri kümesini oluşturmak için kullanılmıştır.

Eğitim veri kümesi, toplamda 4160 görüntüden oluşmaktadır. Bu görüntüler 13 farklı sınıfa ayrılmıştır ve her sınıfta 320 görüntü bulunmaktadır. Doğrulama veri kümesi içinse eğitim veri setinin %15'i ayrılmıştır, toplam 624 görüntüden oluşmaktadır.

Geriye kalan 3536 görüntü ise eğitim sürecinde kullanılmak üzere ayrılmıştır. Test veri kümesi ise 13 farklı sınıfa ait toplam 1040 görüntüden oluşmaktadır. Her sınıfta 80 görüntü bulunmaktadır. Bu şekilde, veri kümesinin farklı bölümleri arasında benzerlik oluşmasını engellemek ve daha akıcı bir ayrıma ulaşmak

amaçlanmıştır. Çeltik hastalıklarını sınıflandırmak amacıyla, Xception, ResNet101V2, MobileNetV2, DenseNet121 ve InceptionV3 gibi yaygın olarak kullanılan transfer öğrenme modelleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, transfer öğrenme modelleri öznitelik çıkarmak amacıyla kullanılmıştır. Bu modeller, en iyi öznitelikleri çıkararak önerilen modelin en yüksek başarı skorlarını elde etmeye odaklanmıştır. Transfer öğrenme modellerine herhangi bir fine tuning işlemi yapılmamıştır. Tüm modeller için Adam optimizasyon algoritması kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Eğitim sürecinde, öğrenme oranı 0.001 olarak ayarlanmış ve her model 100 epok boyunca çalıştırılmıştır. Optimum performansı sağlamak için ModelCheckpoint ve EarlyStopping yöntemleri, modelin en yüksek performansı sergilediği noktada eğitimi durdurmak için uygulanmıştır. Batch boyutu 128 olarak belirlenmiştir.

Deneyler veri seti üzerinde gerçekleştirilmiş ve transfer öğrenme modellerinin çeltik hastalıklarını sınıflandırmadaki performansları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, farklı transfer öğrenme modellerinin doğruluk, hassasiyet, özgünlük ve F1 skoru gibi ölçütler üzerinden analiz edilerek Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. Transfer öğrenme modelleri performans sonuçları

	Accuracy	F1 score	Recall	Precision
InceptionV3	%89,62	%89,67	%89,62	%89,98
ResNet101V2	% 71,35	%71,46	%71,35	%73,99
Xception	%93,37	%93,42	%93,37	%93,65
MobileNetV2	%87,60	%87,63	%87,60	%88,54
DenseNet121	%92,31	%92,27	%92,31	%92,34

Çizelge 3'e göre, Xception modeli %93,37'lik bir doğruluk oranıyla en iyi sonuçları elde etti. InceptionV3 modeli %89,62, ResNet101V2 modeli %71,35, MobileNetV2 modeli %87,60 ve DenseNet121 modeli ise %92,31 doğruluk elde etti.

Şekil 3, Xception modelinin kayıp ve doğruluk performansının bir grafiğini göstermektedir. Model, eğitim ilerledikçe kayıplarını azaltmış ve doğruluğunu artırmıştır.

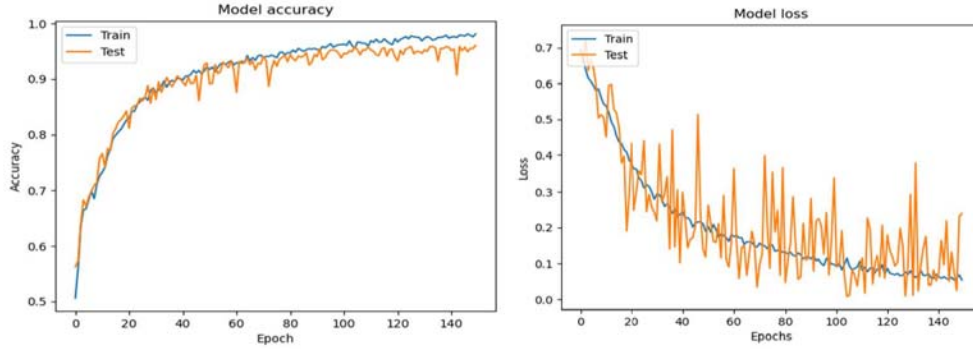
Doğruluk, modelin test veri setindeki görüntüleri ne sıklıkla doğru sınıflandırdığının bir ölçüsüdür. Xception modelinin doğruluğu %93,37'dir, yani görüntülerin %93,37'sini doğru bir şekilde sınıflandırmıştır.

Hassasiyet, modelin pozitif olduğunu tahmin ettiği görüntüleri ne sıklıkla doğru sınıflandırdığının bir ölçüsüdür. Xception modelinin hassasiyeti %93,65'tir; bu da modelin pozitif olduğunu tahmin

ettiği görüntülerin %93,65'inin gerçekten pozitif olduğu anlamına gelir.

Kesinlik, modelin test veri kümesindeki tüm pozitif görüntüleri ne sıklıkla doğru sınıflandırdığının bir

ölçüsüdür. Xception modelinin kesinlik oranı %93,37'dir; bu da modelin test veri kümesindeki tüm pozitif görüntülerin %93,37'sini doğru sınıflandırdığı anlamına gelmektedir.



Şekil 3. Xception modeline ait kayıp ve doğruluk grafiği

Şekil 4, Xception modelinin test veri kümesi üzerindeki sınıflandırma performansını gösteren bir karmaşıklık matrisini göstermektedir. Bu matris, her bir sınıfa göre kategorize edilen model

tarafından doğru ve yanlış sınıflandırılan görüntülerin sayısına ilişkin kapsamlı bir genel bakış sağlar.

		Karmaşıklık Matrisi												
Gerçek Etiket	Bacterial Leaf Blight -	73	0	0	0	2	2	1	2	0	0	0	0	0
	Bacterial Leaf Streak -	0	79	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bacterial Panicle Blight -	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Black Stem Borer -	0	0	0	77	0	0	0	0	0	0	0	2	1
	Blast -	0	0	0	0	71	1	5	2	1	0	0	0	0
	Brown spot -	0	0	0	0	1	72	2	0	0	3	0	0	0
	Downy Mildew -	0	0	0	0	4	0	75	1	0	0	0	0	0
	Hispa -	0	1	0	0	0	0	3	70	1	4	0	1	0
	Leaf Roller -	0	0	0	0	1	0	0	2	77	0	0	0	0
	Normal -	0	0	0	0	0	0	0	6	0	74	0	0	0
	Tungro -	0	0	0	0	3	0	1	3	0	3	70	0	0
	White Stem Borer -	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	78	0
	Yellow Stem Borer -	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	75
			Bacterial Leaf Blight -	Bacterial Leaf Streak -	Bacterial Panicle Blight -	Black Stem Borer -	Blast -	Brown spot -	Downy Mildew -	Hispa -	Leaf Roller -	Normal -	Tungro -	White Stem Borer -
		Tahmin edilen Etiket												

Şekil 4. Xception modeline ait karmaşıklık matrisi

Şekil 4'deki karmaşıklık matrisi, test veri kümesinde Xception modeli tarafından doğru ve yanlış sınıflandırılan görüntülerin sayısını

göstermektedir. Matris, Xception modelinin 971 görüntüyü doğru sınıflandırdığını ve 69 görüntüyü yanlış sınıflandırdığını göstermektedir.

Çizelge 4, 13 farklı sınıfa ayrılmış görüntülerdeki çeltik hastalıklarını kategorize etmek için Xception modelinin uygulanmasıyla elde edilen sınıflandırma sonuçlarını göstermektedir. Bu tablo, her bir sınıftaki görüntülerin başarı oranını yüzde

olarak belirtmek için çeşitli metrikler kullanılmaktadır. Bu metrikler arasında doğruluk, hassasiyet, özgünlük ve F1 skoru gibi ölçütler bulunmaktadır. Ayrıca, her sınıfa ait test görüntü sayıları da belirtilmektedir.

Çizelge 4. Xception sınıflandırma raporu

	Precision	Recall	F1-Score	Support
bacterial_leaf_blight	%96,1	%91,3	%93,6	80
bacterial_leaf_streak	%98,8	%98,8	%98,8	80
bacterial_panicle_blight	%98,8	%100	%99,4	80
black_stem_borer	%98,7	%96,3	%97,5	80
blast	%85,5	%88,8	%87,1	80
brown_spot	%96,0	%90,0	%92,9	80
downy_mildew	%86,2	%93,8	%89,8	80
hispa	%81,4	%87,5	%84,3	80
leaf_roller	%97,5	%96,3	%96,9	80
normal	%88,1	%92,5	%90,2	80
tungro	%100	%87,5	%93,3	80
white_stem_borer	%91,8	%97,5	%94,5	80
yellow_stem_borer	%98,7	%93,8	%96,2	80
accuracy			%93,4	1040
macro_avg	%93,6	%93,4	%93,4	1040
weighted_avg	%93,6	%93,4	%93,4	1040

Çizelge 4, Xception modelinin bakteriyel salkım yanıklığı (bacterial_panicle_blight) sınıfı için %99,4 F1-skoru ile tüm sınıflar için en yüksek F1-skorunu elde ettiğini göstermektedir. Sınıflandırma raporu, modelin bakteriyel yaprak yanıklığı (bacterial leaf blight), bakteriyel yaprak çizgisi (bacterial leaf streak) ve bakteriyel salkım yanıklığı(bacterial panicle blight) sınıfları için en yüksek hassasiyete ve kesinliğe sahip olduğunu göstermektedir. Model, hispa sınıfı için en düşük hassasiyet ve kesinliğe sahip iken, tungro sınıfı için en düşük kesinliğe sahiptir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, çeltik hastalıklarının sınıflandırılmasında transfer öğrenme modellerinin kullanımının yanı sıra yapılan veri ön işleme adımlarının ve yapay sinir ağı nöron seçiminin sonuçlara olan etkisini incelemeyi amaçlamıştır. Xception modeli, test veri kümesinde %93,37'lik bir doğruluk elde ederek en yüksek performansı

sergileyerek dikkat çekmektedir. Ancak, bu başarıya ulaşmadan önce veri ön işleme süreçleri ile çeşitli yapay sinir ağı nöron seçenekleri üzerinde titiz bir çalışma yürütülmüştür. Bu sonuçlar, çeltik hastalıklarının sınıflandırılmasında kullanılan yöntemlerin seçimi ve veri işleme adımlarının sonuçlar üzerindeki etkisinin önemini vurgulamaktadır.

Bu çalışmanın sonuçları, çeltik hastalıklarını etkili bir şekilde sınıflandırmak için transfer öğrenme modellerinin kullanılabilirliğini göstermektedir. Xception modeli en etkili model olarak bulunmuştur, ancak diğer modeller de yüksek doğruluk elde etmiştir. Transfer öğrenme modellerinin kullanımı, bir modeli sıfırdan eğitmek gerekmediği için zaman ve kaynak tasarrufu sağlayabilir. Bu da transfer öğrenme modellerini çeltik hastalıklarının tespitine yönelik otomatik sistemlerin geliştirilmesi için umut verici bir yaklaşım haline getirmektedir.

Bu çalışmanın sonuçları, çeltik hastalıklarının daha etkili ve doğru bir şekilde tespit edilmesi amacıyla kullanılabilir. Bu sistem, çiftçiler tarafından hastalıkları erken aşamada tespit etmek ve yönetmek için kullanılabilir ve bu da ürün kayıplarını azaltmaya yardımcı olabilir. Sistem ayrıca araştırmacılar tarafından çeltik hastalıklarının gelişimini incelemek için de kullanılabilir.

Bu çalışmanın sonuçları, sınırlı bir veri kümesi kullanıldığında elde edilen sonuçlar üzerine odaklanmıştır. Daha büyük bir veri kümesinin kullanılması, transfer öğrenme modellerinin performansını daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanıyacaktır. Bu nedenle, gelecekte yapılacak çalışmaların, çeltik hastalıklarının sınıflandırılmasında transfer öğrenme modellerinin daha yüksek bir veri kümesi üzerindeki performansını daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Elde edilen sonuçlar, daha büyük veri setleri kullanmanın bu tür otomatik teşhis sistemlerinin başarısını daha da artırabileceği bir potansiyeli işaret etmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Yayınları, 2007. Çeltik Hastalık ve Zararlıları ile Mücadele, https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/Uretici_Bilgi_Kosesi/Dokumanlar/celtik.pdf Erişim Tarihi: 16.05.2023, Ankara.
2. Taşlıgil, N., Şahin, G., 2011. Türkiye’de Çeltik (*Oryza Sativa L.*) Yetiştiriciliği ve Coğrafi Dağılımı. Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 4(6), 182-204.
3. Amritha, H., Jeena, T., Ebin D.R., 2023. Deep Learning System for Paddy Plant Disease Detection and Classification. Environmental Monitoring and Assessment, 195, 1(2023),1–28.
4. Leelavathy, B., Rao Kovvur, R.M., 2020. Prediction of Biotic Stress in Paddy Crop Using Deep Convolutional Neural Networks. In Proceedings of International Conference on Computational Intelligence and Data Engineering. Springer Singapore, 337-346.
5. Shrivastava, V.K., Pradhan, M.K., Minz, S., Thakur, M.P., 2019. Rice Plant Disease Classification Using Transfer Learning of Deep Convolution Neural Network. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences XLII-3/W6 (July 2019), 631-635.
6. Ramesh, S., Vydeki, D., 2020. Recognition and Classification of Paddy Leaf Diseases Using Optimized Deep Neural Network with Jaya Algorithm. Information Processing in Agriculture, 7(2), 249-260.
7. Bhagawati, R., Bhagawati, K., Singh, A.K.K., Nongthombam, R., Sarmah, R., Bhagawati, G., 2015. Artificial Neural Network Assisted Weather Based Plant Disease Forecasting System. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, 3(6), 4168-4173.
8. Lu, R., 2004. Multispectral Imaging for Predicting Firmness and Soluble Solids Content of Apple Fruit. Postharvest Biology and Technology, 31(2), 147-157.
9. Prajapati, H.B., Shah, J.P., Dabhi, V.K., 2017. Detection and Classification of Rice Plant Diseases. Intelligent Decision Technologies, 11(3), 357-373.
10. Rahman, C.R., Arko, P.S., Ali, M.E., Iqbal Khan, M.A., Apon, S.H., Nowrin, F., Wasif, A., 2020. Identification and Recognition of Rice Diseases and Pests using Convolutional Neural Networks. Biosystems Engineering, 194, 112-120.
11. Lu, Y., Yi, S., Zeng, N., Liu, Y., Zhang, Y., 2017. Identification of Rice Diseases using Deep Convolutional Neural Networks. Neurocomputing, 267, 378-384.
12. Ökten, İ., Yüzgeç, U., 2022. Evrişimli Sinir Ağı ile Çeltik Bitkisi Hastalığının Tespiti. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(1), 203-217.
13. Kılıç, Ş., Doğan, Y. 2023. Deep Learning Based Gender Identification using Ear Images. Traitement du Signal, 40(4).
14. Dogan, Y., 2023. A New Global Pooling Method for Deep Neural Networks: Global Average of Top-K Max-Pooling. Traitement du Signal, 40(2).

15. Dogan, Y., Atas, M., Özdemir, C., 2014. A New Approach for Plotting Raster Based Image Files. In 2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 1027-1030. IEEE.
16. Özdemir, C., Atas, M., Özer, A.B., 2013. Classification of Turkish Spam E-Mails with Artificial Immune System. In 2013 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 1-4. IEEE.
17. Kılıç, Ş., Kaya, Y., Askerbeyli, İ., 2021. A New Approach for Human Recognition Through Wearable Sensor Signals. Arabian Journal for Science and Engineering, 46, 4175-4189.
18. Petchiammal, A., Briskline Kiruba, S., Murugan, D., Pandarasamy, Arjunan., 2022. Paddy Doctor: A Visual Image Dataset for Automated Paddy Disease Classification and Benchmarking. IEEE Dataport.
19. Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., Wojna, Z., 2016. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2818-2826.
20. He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J., 2016. Identity Mappings in Deep Residual Networks. In Computer Vision–ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11-14, 2016, Proceedings, Part IV 14, 630-645. Springer International Publishing.
21. Chollet, F., 2017. Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1251-1258.
22. Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., Chen, L.C., 2018. Mobilenetv2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. In Proceedings of The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 4510-4520.
23. Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., Weinberger, K.Q., 2017. Densely Connected Convolutional Networks. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 4700-4708).

İki İplik Örne Kumaşlarda Farklı Astar İpliği Oranlarının Kumaş Özelliklerine Etkileri

Seval UYANIK*¹ ORCID 0000-0002-9513-5746

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adıyaman

Geliş tarihi: 19.08.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: UYANIK, S., (2023). İki İplik Örne Kumaşlarda Farklı Astar İpliği Oranlarının Kumaş Özelliklerine Etkileri. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 819-826.

Öz

İki iplik örme kumaşlar zemin ve astar iplikleri olarak iki farklı iplikle elde edilir ve zemin iplikleri kumaş ön yüzünü oluşturan ilmekleri yaparken astar iplikleri uzun atlamalar ve belirli noktalarda askı bağlantıları ile kumaş arka yüzünü oluşturur. Astarlı örgü veya fleece kumaş olarak da adlandırılan iki iplik ve üç iplik yuvarlak örme kumaşlar, iyi termal konforları, düşük hava geçirgenlikleri ve soğuğa karşı korumaları sayesinde son zamanlarda spor ve outdoor giysiler için aranılan kumaşların başında gelmektedir. Çalışma ile iki iplik örme kumaşlarda zemin iplik besleme miktarı sabit tutulup astar iplik kasnak dereceleri değiştirilmek suretiyle elde edilen farklı astar ipliği oranlarının kumaş fiziksel özellikleri, patlama mukavemeti ve boyutsal özellikler üzerine etkilerinin ortaya koyulması amaçlanmıştır. Elde edilen bulgular SPSS 21 paket programı kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları zemin iplik besleme miktarı sabit tutulduğu için ilmek yoğunluğu ile ifade edilen kumaş sıklığının değişmediğini, astar iplik oranının artmasıyla kumaş gramaj ve kalınlığının artarken patlama mukavemetinin kısmen düştüğünü, may dönmesi ve boyutsal değişim oranlarının etkilenmediğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: İki iplik örme kumaş, Astar ipliği, İplik oranı, Patlama mukavemeti, May dönmesi, Boyutsal stabilite

The Effects of Backed Yarn Ratio on Fabric Properties in Two-Fleece Fabrics

Abstract

Two-fleece knitted fabrics are obtained with two different yarns as ground and backed yarns, and while the ground yarns make the loops forming the front of the fabric, the backed yarns form the back of the fabric with long floats and tuck stitches at certain points. Two-fleece and three-fleece circular knitted fabrics, also called lining braided or fleece fabric, are among the most sought-after fabrics for sports and outdoor clothing, thanks to their good thermal comfort, low air permeability and protection against cold. With this study, the ground yarn feeding amount was kept constant, and it was aimed to reveal the effects of different backed yarn ratios obtained by changing its degree of the feeder pulley on the fabric physical properties, bursting strength and dimensional properties in two-fleece knitted fabrics. The obtained results are assessed statistically by using SPSS 21 package programme. The results of the study showed that the fabric tightness, expressed by the loop density, did not change because the ground yarn feed amount was kept constant,

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Seval UYANIK, sevaluyanik27@gmail.com

while the fabric weight and thickness increased with the increase in the backed yarn ratio, the bursting strength partly decreased, and spirality and dimensional changes were not affected.

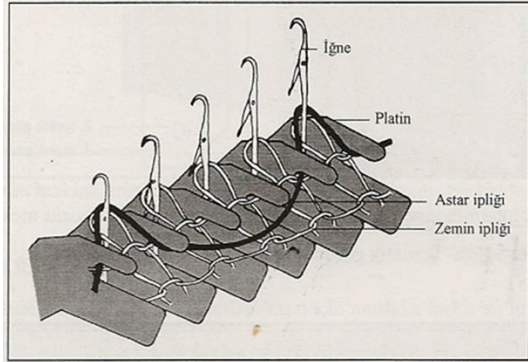
Keywords: Two-fleece fabric, Backed yarn, Yarn ratio, Bursting strength, Spirality, Dimensional stability

1. GİRİŞ

İki iplik örme kumaşlar, belirgin ısı yalıtımı ve su buharı geçirgenliği ile karakterize edilir.

Süprem örme kumaşa göre daha iyi boyut stabilitesine ek olarak iki iplik ve üç iplik kumaşlar son zamanlarda, iyi termal konforları, düşük hava geçirgenlikleri ve soğuğa karşı korumaları sayesinde spor ve outdoor giysiler için kullanılmaktadır.

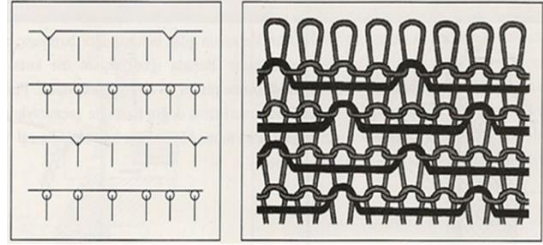
Literatürde astarlı örgü veya fleece kumaş olarak adlandırılan kumaşlardır. Tek çelik yollu süprem yuvarlak örme makinelerinde iki iplik kumaş üretimi de mümkün değildir. Çünkü iki iplik örme kumaş üretimi için astar ve zemin ipliğini sevk edecek iki farklı banda ve dolayısıyla iki farklı kasnağa ihtiyaç vardır. İki iplik süprem makinelerinde uygulanan kasnak ayarları farklıdır. Süprem makineleri, iki iplik makinelerine göre daha yüksek fein değerine (incelik) sahiptir.



Şekil 1. İki iplik kumaşta iğne-platin-iplik konumları [1]

İki iplik örgüler, tek plakalı yuvarlak örme makinelerinde ilmek-askı ve atlama örgü elemanlarının kullanılmasıyla elde edilen örgü çeşididir. Bu örgü tipine farklı özelliklerde veya numaralarda iplikler kullanılarak örme kumaşın ön ve arka yüzeyleri farklı görünüm

oluşturmaktadır. Örme kumaşın ön yüzeyinde ilmekler, kumaşın arka kısmı şardonlamaya müsait atlamalardan oluşan yüzeye sahiptir. Bu yüzden bu tip örgülere astar örgülerde denilmektedir. İki iplik örgülerde atlamalardan dolayı kumaşın bir yüzeyinde atlamalar gözükürken diğer yüzeyi ise süprem kumaş görünümündedir.



Şekil 2. İki iplik kumaş iğne diyagramı ve şematik görünümü [1]

Çift kasnaklı makinede kasnakların birisinden zemin ipliği, diğerinden ise astar ipliği sevk edilmektedir. Örgü yapısını oluşturan zemin ipliğinin miktarı ile astar ipliğinin miktarı eşit değildir. Çünkü astar ipliği, uzun atlamalar ve belirli noktalarda askı bağlantıları yaptığı için zemin ipliğine göre daha az iplik harcar. Bu nedenle, kasnak ayarı yapılırken; zemin ipliğinin verildiği kasnağın çapının astar ipliğinin verildiği kasnağın çapından daha büyük olacak şekilde ayarlanması gerekir. Dolayısıyla iğnelere beslenen zemin iplik miktarı, astar iplik miktarına göre daha fazla olur.

İki iplik kumaşlar üzerine yapılan önceki çalışmalarda Shahbaz ve arkadaşları [2] çalışmalarında kullanılan iplik ve dolayısıyla kumaş incelikle kumaşta hem enine hem de boyuna çekmenin arttığını belirlemişlerdir.

Özcan [3] çalışmasında üç iplik kumaşlarda ilmek iplik uzunluğu ve yıkama işleminin, fiziksel özellikler ve çekme davranışı üzerine etkilerini araştırmış ve yıkama-kurutma işlemleri sonrası kumaşın daha ince ve kompakt olması sebebiyle

fiziksel ve mekanik özelliklerin etkilendiğini ortaya koymuşlardır.

Güneşoğlu ve arkadaşları [4,5] iplik cinsi ve şardon işleminin termal konfor üzerine etkilerini incelemiş ve sıcak-soğuk hissinin şardon işleminden etkilendiğini, iplik cinsi karışım oranının daha az etkili olduğunu ve şardonlu iki iplik kumaşların şardonsuz kumaşlara göre daha ılık hissi verdiğini tespit etmişlerdir.

Fouda ve arkadaşları [6] çalışmalarında astar iplik numarası ve büküm faktörünün iki iplik kumaş özelliklerine etkilerini inceleyerek doğrusal yoğunluğunun artması yani ipliğin kalınlaşmasıyla kumaş gramajı ve kalınlığının arttığını, may dönmesi ve kumaş çekme değerlerinin iyileştiğini, şardon işleminin ısı konfor özelliklerini geliştirdiğini, iplik büküm faktörünün ise kumaş özellikleri üzerinde etkili olmadığını belirlemiştir.

Asker ve arkadaşları [7] tarafından üç iplik kumaşlar üzerine yapılan bir çalışmada ise astar ve zemin iplik cinsleri, atlama sayısı ve astar iplik uzunluğu ve farklı terbiye işlemlerinin şardon haslıkları üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonunda astar iplik cinsi ve terbiye işleminin şardon haslığı üzerinde etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Kaikobad ve arkadaşları [8] yaptıkları çalışmada astar ipliğinin yaptığı askı pozisyonu ve yoğunluğunu değiştirerek kumaş özelliklerini incelemiştir. Çalışma ile üç iplik kumaşlarda astar iplik askı pozisyonu ve yoğunluğu ile kumaş özellikleri arasında önemli ilişkiler olduğunu, kumaş gramajı ile patlama mukavemeti arasında ters yönlü ilişki olduğunu tespit etmişlerdir.

Önceki çalışmalar doğrultusunda iki iplik ve üç iplik kumaşların ısı konfor özellikleri, ağırlık kaybı, büküm etkisi, hava geçirgenliği, patlama mukavemeti, may dönmesi ve boyutsal değişimler açısından incelendiği görülmektedir. Söz konusu özelliklerin araştırılmasında etkileyen faktörler olarak kumaş özelliklerinden çok iplik özellikleri ve terbiye işlemleri faktör olarak alınmıştır. Bu çalışma kapsamında ise kumaş arka yüzünde yer alan astar ipliği besleme miktarındaki değişimler faktör olarak alınarak astar ipliğini besleyen kasnak derecelerinin değiştirilmesiyle farklılaşan astar ipliği oranlarının kumaş özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu sayede olumlu kumaş özelliklerinin elde edilmesinde olması gereken astar ipliği oranının ortaya konulması çalışmanın ana hedefini oluşturmuştur.

2. MATERYAL ve METOT

Çalışmada kumaş numunelerinin üretimi, özel bir örgü işletmesinde %100 pamuk hammaddeli olan Ne 30/1 O.E. zemin ipliği (ön yüz) ve Ne 20/1 O.E. astar ipliği (arka yüz) kullanılarak 20 dev/dk üretim hızında, 28 iğne/inç (E28) makine inceliğinde, çift iplik besleme kasnaklı 32 pus Wellknit yuvarlak örgü makinesinde gerçekleştirilmiştir. Kumaş özellikleri üzerine astar ipliği oranının etkilerini ortaya koymak amacıyla zemin ipliklerini besleyen kasnak sabit tutulup astar ipliklerini besleyen kasnak için farklı kasnak dereceleri belirlenerek beş farklı kumaş elde edilmiştir. İki iplik örgü kumaş numunelerinin fiziksel özellikleri ilgili standartlara [9-11] göre belirlenerek Çizelge 1’de verilmiştir. Astar ipliklerinin kumaşa atlama ve askı hareketleri ile bağlanmasıyla oluşan ve astar iplik yüzmelerinin görüldüğü iki iplik kumaş arka yüz görünimleri Şekil 3’te verilmiştir.

Çizelge 1. İki iplik kumaşların fiziksel özellikleri

Numune	Astar iplik kasnak derecesi	İlmeğe sıra sayısı/cm (cpc)	İlmeğe çubuk sayısı/cm (wpc)	İlmeğe yoğunluğu (ilmeğe/cm ²)	Zemin/Astar oranı	Gramaj g/m ²	Kalınlık mm
1	100	16,0	13,0	208,00	2,80	188,23	0,728
2	105	15,5	13,5	209,25	2,76	193,58	0,760
3	110	15,5	13,5	209,25	2,72	193,83	0,782
4	115	15,5	13,5	209,25	2,62	196,34	0,792
5	120	15,5	13,5	209,25	2,54	197,38	0,806



Şekil 3. İki iplik kumaş arka yüz (astar) görüntüleri

Fiziksel özellikleri belirlenen kumaşların gerilmeye karşı direncini ve boyutsal özelliklerini ortaya koymak için ilgili standartlar [12-14] referans alınarak patlama mukavemeti, boyutsal değişim ve may dönme testleri uygulanmış ve test sonuçları

Çizelge 2’de verilmiştir. SPSS 21 paket programı yardımıyla %95 güven aralığında ANOVA ve Pearson korelasyon testleri uygulanarak da çalışma sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 2. İki iplik kumaşların patlama mukavemet ve boyutsal değişim test sonuçları

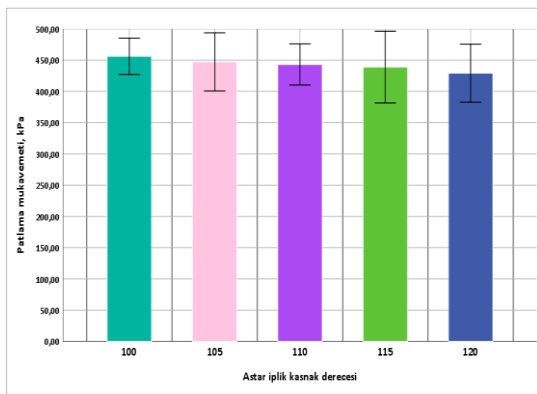
Numune	Astar iplik kasnak derecesi	Patlama mukavemeti (kPa)	Boyutsal değişim (%)		May dönmesi (%)
			En	Boy	
1	100	455,97	-1,67	-7,33	2,67
2	105	447,16	-2,00	-7,00	3,33
3	110	443,06	-2,33	-6,67	3,33
4	115	438,76	-2,33	-7,33	2,67
5	120	429,04	-2,00	-7,00	3,00

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Zemin iplik kasnak derecesi sabit tutulup astar iplik kasnak derecesinin değiştirilmesi sonucunda kumaş fiziksel özelliklerinde değişimler meydana geldiği zemin/astar iplik oranı, gramaj ve kalınlık test sonuçlarının verildiği Çizelge 1’de açıkça görülmektedir. Beklendiği gibi zemin iplik kasnak derecesi değiştirilmediği için zemin iplik tarafından oluşturulan kumaş ön yüzündeki ilmek sıra ve çubuk sayıları ve dolayısıyla ilmek sıra ve çubuk sayılarının çarpımı ile elde edilen ilmek yoğunluğu değerleri de değişmeyip tüm kumaş numuneleri için aynı olarak tespit edilmiştir. Kumaşın arka yüzünde yer alan ve yüzmeler yapan astar ipliği miktarı ise besleme kasnak derecesinin değiştirilmesiyle farklılaşmış ve kasnak derecesinin artmasıyla doğru orantılı olarak astar ipliği de artmıştır. Astar ipliği miktarındaki artış Şekil 3’te verilen kumaş astar kısmı olan arka yüz resimlerinde de görülmektedir. Astar iplik oranı en düşük olan 100 kasnak dereceli kumaştan astar iplik oranı en yüksek olan ve 120 kasnak dereceli kumaşa doğru astar iplik yüzme miktarının veya başka bir ifadeyle atlama uzunluğunun arttığı açık bir şekilde izlenmektedir.

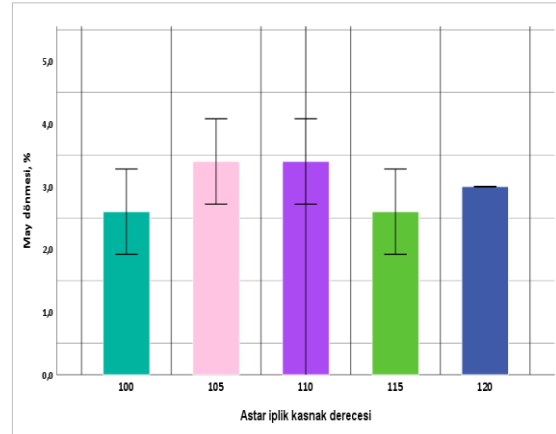
Söz konusu resimlerde görüldüğü üzere atlama uzunluğu yani astar iplik yüzmesi arttığında ipliğin farklı iğnelerde askı hareketi ile kumaşa bağlanmasıyla oluşan çapraz atlama iplik görünümü oluşmuştur. Çapraz askı-atlama yerleşimi neticesinde, aynı ilmek sırasında yer alan astar ipliğinin atlama mesafesi alt veya üst ilmek sırasında yer alan astar ipliğinin kapladığı atlama mesafesine doğru taşma göstermiş ve astar iplik oranı arttıkça da kumaş görüntülerinden açıkça belli olduğu üzere söz konusu taşma mesafesi artmıştır. Bunun sonucunda zemin iplik miktarı sabit iken astar iplik miktarının artmasıyla da Çizelgeden görüldüğü üzere kasnak derecesinin artmasına paralel şekilde iki iplik kumaş numunelerinin zemin/astar oranı düşerken gramaj ve kalınlık değerleri artmıştır. Çizelge 3’te verilen ANOVA sonuçları, elde edilen bulguları istatistiksel olarak desteklemektedir. Söz konusu değişkenler için ($p=,000$) değerleri, astar iplik kasnak derecesinin zemin/astar iplik oranı, gramaj ve kalınlık üzerinde istatistiki olarak anlamlı etkiye sahip olduğunu ifade etmektedir. Çizelge 4’te verilen Pearson korelasyon sonuçlarına göre ($r=-,981^{**}$) katsayı değeri, astar iplik kasnak derecesi ile zemin/astar

iplik oranı arasında ters yönlü ve oldukça kuvvetli bir ilişki olduğunu ve kasnak derecesinin artmasıyla zemin/astar iplik oranının azaldığını göstermektedir. Aynı çizelgeden görülen ($r=,845^{**}$; $r=,889^{**}$) katsayı değerleri ise sırasıyla gramaj ve kalınlık ile astar iplik kasnak derecesi arasında pozitif yönlü ve çok kuvvetli ilişkilerin olduğunu ve astar iplik kasnak derecesinin artmasıyla gramaj ve kalınlık değerlerinin arttığını ortaya koymuştur.



Şekil 4. Patlama mukavemeti

İki iplik kumaş numunelerinin patlama mukavemeti sonuçlarıyla elde edilen grafik Şekil 3'te verilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere astar iplik kasnak derecesinin artması ve paralel olarak kumaşta astar iplik oranının artmasıyla doğru orantılı şekilde patlama mukavemetinin düştüğü görülmektedir. Kumaşların patlama mukavemeti arasındaki farklar çok yüksek olmamakla birlikte astar ipliği oranındaki artışın az da olsa mukavemet düşmesine neden olduğu açıkça ortaya çıkmıştır. Söz konusu mukavemet düşmesinin, kumaş arka yüzeyinde adeta ikinci bir yüzey oluşturan astar iplik yüzmelerinin artarak yüzey gevşekliğinin artması veya başka bir deyişle astar iplik sıklığının azalması kaynaklı olduğu düşünülmektedir. ANOVA sonuçlarında (Çizelge 3) görülen ($p=,805$) değeri, astar iplik kasnak derecesinin patlama mukavemeti üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahip olmadığını gösterirken Pearson korelasyon (Çizelge 4) sonuçlarında izlenen ($r=-,269$) değeri, astar iplik kasnak derecesi ve patlama mukavemeti arasında ters yönlü ve oldukça zayıf bir ilişki olduğunu göstermiştir.



Şekil 5. May dönmesi

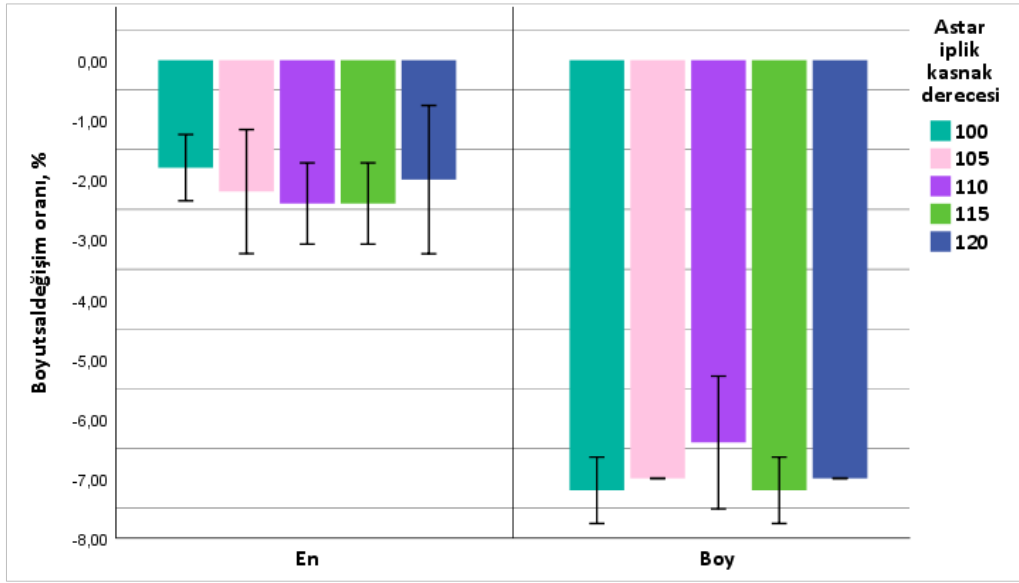
Şekil 3'te iki iplik kumaş numunelerinin may dönme sonuçları ile oluşturulan grafik verilmiş olup bu grafikten kasnak dereceleri 100 ve 115 olan kumaşların en düşük may dönmesi derecesine, kasnak dereceleri 105 ve 110 olan kumaşların en yüksek may dönme derecesine, kasnak derecesi 120 olan kumaşın ise iki değer arasında may dönme derecesine sahip olduğu görülmektedir. 100 ve 110 olan kasnak dereceleri arasında may dönmesinin arttığına ilişkin bir eğilim gözükse de 115 kasnak derecesinde dönme değeri düşmüş ve ardından 120 kasnak derecesinde tekrar artış eğilimi göstermiştir. Ancak bu artış ve azalış eğilimleri kalite kriterleri açısından kabul edilen $\pm 0,5$ tolerans sınırları dâhilindedir. Dolayısıyla kasnak derecesindeki artışla meydana gelen astar iplik oranı artışının iki iplik kumaşların may dönme derecelerini kısmen etkilediği, ancak belirgin bir eğilim yaratmadığı sonucuna ulaşılabilir. Çizelge 3'te verilen ANOVA sonuçlarına göre ($p=,030$) değeri astar iplik kasnak derecesi etkisinin may dönmesi üzerinde istatistiki olarak anlamlı olduğunu gösterirken Çizelge 4'te verilen Pearson korelasyon sonuçlarına göre ($r=,000$) katsayı değeri, astar iplik kasnak derecesi ile may dönmesi arasında herhangi bir ilişki olmadığını göstermiştir.

Şekil 4'te iki iplik kumaşların en ve boy yönünde boyutsal değişim oranlarını gösteren grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde astar iplik kasnak derecesi artışı ve paralel buna bağlı olarak kumaşta astar ipliği oranının artmasıyla hem en hem de boy

yönünde kumaşların çekme değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu ve belirgin bir azalma veya artma eğiliminin olmadığı gözlenmiştir. Çizelge 3-4'te verilen ANOVA ve Pearson korelasyon sonuçlarına göre ($p=,614$; $p=,100$) değerleri astar iplik kasnak derecesinin boyutsal değişim üzerinde istatistiki olarak anlamlı etkiye sahip olmadığını, ($r=-,126$; $r=,054$) katsayı değerleri ise astar iplik kasnak derecesi ile en ve boy yönü çekme oranları arasında oldukça zayıf ilişkilerin olduğunu ortaya koymuştur.

Boyutsal özellikler açısından iki iplik kumaşların may dönme dereceleri ile en ve boy çekme oranları birlikte değerlendirildiğinde astar iplik kasnak derecesi artışı ve buna paralel olarak astar iplik oranı artışının söz konusu özellikleri çok fazla

etkilemediği bulguları elde edilmiştir. Bu sonucun kumaşın ana yapısını oluşturan ilmeklerin zemin ipliğiyle elde edilmesi ve mevcut çalışmada zemin iplik besleme oranlarının sabit tutulması suretiyle ilmek sıra, çubuk sayıları ve ilmek yoğunluklarının sabit olması ve dolayısıyla söz konusu özelliklerin ifade ettiği kumaş sıklıklarının aynı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Başka bir şekilde ifade etmek gerekirse hammadde yani iplik özelliklerinin değişmediği şartlarda kumaş boyutsal özelliklerini en fazla etkileyen faktörün kumaş sıklığı olduğu bilinmektedir [15-17]. Dolayısıyla örne kumaşlarda sıklığı ifade eden sıra-çubuk sayıları ile ilmek yoğunluğunun çalışmada kullanılan iki iplik kumaşlar için aynı olması neticesinde boyutsal özelliklerde herhangi bir önemli farklılık ortaya çıkmamıştır.



Şekil 6. Boyutsal değişim

Çizelge 3. ANOVA sonuçları

Faktör	Bağımlı Değişkenler	Tip III Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Sig.
Astar iplik kasnak derecesi	Zemin/astar oranı	,226	4	,057	7,653E+30	,000
	Gramaj	251,767	4	62,942	21,490	,000
	Kalınlık	,019	4	,005	24,755	,000
	Patlama mukavemeti	1990,400	4	497,600	,402	,805
	En çekme	1,360	4	,340	,680	,614
	Boy çekme	2,160	4	,540	2,250	,100
	May dönmesi	3,200	4	,800	3,333	,030

Çizelge 4. Pearson korelasyon sonuçları

Faktör		Zemin/astar oranı	Gramaj	Kalınlık	Patlama mukavemeti	En çekme	Boy çekme	May dönmesi
Astar iplik kasnak derecesi	Korelasyon katsayısı	-,981**	,845**	,889**	-,269	-,126	,054	,000
	Sig. (2-yönlü)	,000	,000	,000	,193	,549	,799	1,000

** . Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlıdır (2-yönlü)

* . Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlıdır (2-yönlü)

4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında zemin (ön) ve astar (arka) iplikleriyle elde edilen iki iplik yuvarlak örme kumaşlarda zemin iplik beslemesi sabit tutulup astar iplik besleme kasnak dereceleri değiştirilmiş ve böylece kumaşta meydana gelen astar iplik oranı değişimlerinin kumaş fiziksel özellikleri ile patlama mukavemeti ve boyutsal özellikler üzerine etkilerinin ortaya koyulması amaçlanmıştır.

Çalışma ile zemin ipliğin sabit şekilde beslenmesinin bir sonucu olarak ilmek sıra-çubuk sayılarıyla ifade edilen kumaş sıklığının astar iplik oranındaki değişimlerden etkilenmediği, ancak astar iplik oranı arttıkça kumaş gramaj ve kalınlık değerlerinde paralel bir artış olduğu tespit edilmiştir.

İki iplik kumaşların patlama mukavemeti, astar iplik oranı değişimlerinden kısmen etkilenmiştir. Astar iplik oranının artmasıyla kumaş arka yüzünde iplik yüzmelerinin artıp astar iplik sıklığının azalmasıyla iki iplik kumaşların patlama mukavemeti paralel olarak önemsiz miktarlarda düşüş göstermiştir.

Boyutsal özellikler açısından astar iplik oranındaki değişimler, iki iplik örme kumaşların en ve boy yönündeki boyutsal değişim oranları ile may dönme derecelerini etkilememiştir. Bunun zemin iplik besleme miktarının sabit olması ve buna bağlı olarak boyutsal özellikleri etkileyen en önemli faktörlerden biri olan zemin kumaş sıklığının değişmemesi kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır.

Tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde astar iplik oranındaki değişimlerin iki iplik örme kumaş özelliklerine çok etkisi olmamakla birlikte astar iplik oranı arttıkça kısmen mukavemet kaybının

meydana gelmesi nedeniyle mümkün olduğu kadar astar iplik oranı düşük besleme derecelerinde çalışılması önerilmektedir.

Önemli bir husus olarak mevcut çalışmanın şardonsuz iki iplik örme kumaşlarda gerçekleştirildiği ve şardon işleminin tüm sonuçları etkileme olasılığının olduğunu belirtmek gerekmektedir. Dolayısıyla ileriki çalışmalarda şardonlu iki iplik kumaşlar esas alınarak söz konusu özelliklerin veya diğer kumaş özelliklerinin hem şardonlu hem de şardonsuz iki iplik örme kumaşlar için yeniden araştırılması oldukça fayda sağlayacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Çalışma kapsamında kumaş numunelerinin üretimini gerçekleştiren ve testlerin yapılmasında laboratuvar desteği veren MEGA POLİETİLEN A.Ş.'ye, testlerin yapılmasına yardımcı olan öğrencim Hilal Karakuş'a teşekkürlerimi sunarım.

6. KAYNAKLAR

1. Yakartepe, M., Yakartepe, Z., 1995. Yuvarlak Örme Kumaş Tanıtımı ve Analizi. T.K.A.M. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Merkezi, 12, 652-739, İstanbul.
2. Shahbaz, B., Jamil, N.A., Rafi, S., 2002. Shrinkage Control of Fleece Knit Fabrics by Some Yarn and Knitting Variables. Pakistan Journal of Applied Sciences, 2(77), 715-718.
3. Ozcan, G., Candan, C., 2005. Properties of Three-Thread Fleece Fabrics, Textile Research Journal, 75(2), 129-133.
4. Gunesoglu, S., Meric, B., Gunesoglu, C., 2005. Thermal Contact Properties of 2-Yarn Fleece Knitted Fabrics. Fibres & Textiles in Eastern Europe, 13(2), 46-50.

5. Gunesoglu, S., Meric, B., 2006. Heat and Mass Transfer Properties of 2-Yarn Fleece Knitted Fabrics. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 31(3), 415-421.
6. Foudaa, A.E., 2018. Effect of Backed Yarn Characteristics on Two Thread Fleece Knitted Fabric Properties. *Indian Journal of Fibre & Textile Research* 43, 247-251.
7. Asker, G., Akkus, E., Arslan, I., Sevilmiş, M., Pektas, K., Balci, O., 2019. Investigation of the Fibre Loss Effect of Raised 3-Thread Fleecy Fabric. *Tekstil ve Mühendis*, 26(116), 346-352.
8. Kaikobad, Mahmud, F., Sayam, A., Paul, S.C., Reza, M.A., Faruque, O., Apel, N.A., Sarker, E., 2023. Evaluation of Physical and Mechanical Characteristics of Three-Thread Fleece Knit Fabric for Their Structural Changes. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4441339> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4441339>
9. TS EN 14971, 2013. *Tekstil-Örölmüş Kumaşlar-Birim Uzunluk ve Birim Alan Başına Örgü İlmeği Sayısının Tayini*.
10. TS EN 12127, 1999. *Tekstil-Kumaşlar-Küçük Numuneler Kullanarak Birim Alan Başına Kütleinin Tayini*.
11. TS 7128 EN ISO 5084, 1998. *Tekstil-Tekstil ve Tekstil Mamullerinin Kalınlık Tayini*.
12. TS EN ISO 13938-2- *Tekstil-Kumaşların patlama özellikleri - Bölüm 2: Patlama Mukavemetinin ve Patlama Gerilmesinin Tayini için Pnömatik Metot*.
13. TS EN ISO 5077, 2012. *Yıkama Kurutmadan Sonra Boyut Değişmesinin Tayini*.
14. *In House Test Method-May Dönme Testi*
15. Lazar, K., 1991. Connection Between the Areal Density of the Plain Single Jersey Fabric, the Loop Length and the Yarn Count. *Melliand English* (8), E20.
16. Emirhanova, N., Kavusturan, Y., 2008. Effects of Knit Structure on the Dimensional and Physical Properties of Winter Outerwear Knitted Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 16(67), 69-74.
17. Uyanık, S., 2017. *Vortex Eğirme Sisteminde Pamuk ve Yeni Nesil Lif Karışımlarının Eğilmesi ve Örne Kumaştaki Performanslarının Belirlenmesi*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı,
Adana/Türkiye, 469.

Titanyum Nanoparçacık Katkılı Polyamid Kumaşların Fiziksel, Elektromanyetik ve Optik Özelliklerinin Araştırılması

Banu YILMAZ AKYÜREK*¹ ORCID 0000-0003-3526-5343

İlhami İLHAN¹ ORCID 0000-0003-3165-531X

Ali MARALCAN² ORCID 0009-0004-8416-4877

¹Mersin Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü, Mersin

²Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çerkezköy Meslek Yüksekokulu, Tekstil Teknolojisi Bölümü, Tekirdağ

Geliş tarihi: 30.08.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: YILMAZ AKYÜREK, B., İLHAN, İ., MARALCAN, A., (2023). Titanyum Nanoparçacık Katkılı Polyamid Kumaşların Fiziksel, Elektromanyetik ve Optik Özelliklerinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 827-840.

Öz

Bu çalışmanın hedefi, lif çekimi sırasında polimere titanyum (Ti) nanopartikül katkılama yoluyla elde edilen Poliamid 6 (PA6) ipliklerin ve bu ipliklerden üretilen dokuma kumaşların fiziksel, elektromanyetik ve optik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmaktır. Çalışma kapsamında; farklı oranlarda (%0,05-0,10-0,15) Ti nanopartikül katkılanmış PA 6 nanokompozit tekstüre iplikler (70 denye, kesitte 24 filament) üretilmiş ve deneysel olarak karakterize edilmiştir. Kontrol kumaş üretimi için Ti katkılanmamış standart PA 6 multifilament iplik de üretilmiştir. Sonuç olarak, Ti nanopartikül katkılama, PA 6 multifilament ipliklerin ve dokuma kumaş örneklerinin mekanik özellikleri üzerinde düşük seviyede anlamlı bir etki göstermiştir. Uygulanan Ti katkılama oranlarının, kontrol kumaşa göre katkılanmış kumaş örneklerinin elektromanyetik koruma etkinliği (EMSE) değerleri üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Uygulanan oranlarda Ti katkılama, kumaş örneklerinin optik geçirgenliğini azaltma yönünde etki etmiş, dalgaboyu büyüdükçe bu etki artma eğilimi göstermiştir. Uygulanan katkılama oranları optik soğurma üzerinde pozitif yönde bir etki göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: PA 6, Titanyum, Nanokompozit, Elektromanyetik girişim, Optik özellikler

Investigation on Physical, Electromagnetic and Optical Properties of Titanium Nanoparticles Doped Polyamide Fabrics

Abstract

The aim of this study is to investigate the effect of titanium (Ti) nanoparticle doping on the physical, electromagnetic and optical properties of Polyamide 6 (PA 6) yarns and woven fabrics produced from these yarns. In this context, PA 6 nanocomposite textured yarns (70 denier, 24 filaments in cross section) doped with Ti NPs in different ratios (0.05%-0.10-0.15) were produced and experimentally characterized.

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Banu YILMAZ AKYÜREK, banuyilmaza@mersin.edu.tr

Standard PA 6 multifilament yarn without Ti doped was produced for the production of control fabrics. As a result, it was concluded that Ti nanoparticle doping has a low-level significant effect on the mechanical properties of PA 6 multifilament yarn and woven fabric. It was determined that the applied Ti doping ratios did not significantly affect the electromagnetic shielding efficiency (EMSE) values of the doped fabric samples compared to the control fabric. At the applied rates, Ti doping had a decreasing effect on the optical transmittance of the fabric samples, and this effect tended to increase as the wavelength increased. The applied doping ratios increased the absorption rate.

Keywords: PA 6, Titanium, Nanocomposite, Electromagnetic interference, Optical properties

1. GİRİŞ

Günümüzde, polimerden filament elde edilmesi sırasında eriyik içerisine nanopartikül ilavesi yöntemiyle Tekstilde kullanılan liflere farklı fonksiyonlar kazandırmak ve var olanları ileri seviyeye taşımak sıklıkla üzerinde çalışılan konular arasındadır Polimere nanopartikül ekleme yöntemi, nanoteknoloji biliminin tekstil teknolojisi alanında uygulanmasına önemli bir göstergesidir. ISO (International Organization for Standardization) standartları, nanoteknolojiyi “Tekil atomlar, moleküller ya da belli bir hacime sahip malzemelerden farklı olarak, boyut ve yapıya dayalı özellik ve fenomenlerden yararlanmak adma, maddenin nano ölçekte düzenlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla bilimsel bilginin uygulamaya geçirilmesidir.” biçiminde tanımlamaktadır [1]. Burada nano ölçeğin bilimsel ifadesi, 1-100 nm aralığıdır. Nanomalzeme ise standart bir malzemenin nanoteknoloji yardımıyla yeni özellikler kazandırılmış veya var olanların değiştirilmiş hali olarak tanımlanır. Yapay (kimyasal) polimerlere nanoparçacıklar katıldıktan sonra lif çekimiyle nanokompozit malzeme elde edilmektedir [2].

Tekstilde nanoteknoloji uygulamaları başlıca üç grup altında toplanabilir:

Nanokompozit iplikler: Lif çekimi sırasında polimer formundaki matriks içerisine nanoparçacıkların eklenmesi yoluyla nanokompozit iplik üretimi yapılabilmektedir. Katkılamanın yanısıra ince film kaplama yöntemi ile de nanokompozit iplik elde etmek mümkündür.

Bitim işlemleri: Sol-gel, plazma gibi kimyasal ya da fiziksel kaplama, emdirme vb. yöntemler

kullanılarak kumaş yüzeyine nano malzemelerin muamele edildiği terbiye işlemleridir [3].

Nanolif üretimi: Elektro eğirme gibi yeni gelişen teknolojiler sayesinde nano ölçekte çapa sahip lifler, iplikler ve dokular elde edilebilmektedir.

Elektromanyetik girişim (EMI) ve ultraviyole (UV) koruması günümüzde önemli bir sorun olup bu sorunun çözümüne yönelik etkili ürünler geliştirmek amacıyla önemli miktarda araştırma yapılmaktadır. Bu bağlamda, insan sağlığı ve hassas cihazlar üzerinde olumsuz etkileri bulunan bu radyasyonlardan korunma sağlayacak tekstil ürünleri büyük ilgi görmektedir. Ayrıca, giyilebilir elektronikler son dönemde moda ve eğlence, elektronik, medikal, koruma, spor, fitness, ulaşım gibi pek çok sektörden yoğun talep görmektedir. Bu nedenle, içinde bulunduğumuz modern çağda elektronik cihazların kullanımı her geçen gün yoğunlaşmakta olup, bu elektronik cihazların yaydığı radyasyon her geçen daha fazla artmaktadır. Bunun yanı sıra küresel ısınmanın da etkisi ile insanlar her geçen gün daha fazla UV radyasyonuna maruz kalmaktadırlar. Bu durum insan sağlığı üzerinde çok ciddi olumsuz etkiler yapmaktadır. Dolayısıyla, EMI ve UV koruyucu ürünler geliştirme üzerine çalışma yapmak önem taşımakta olup oldukça fazla sayıda çalışma yapılmaktadır. Özellikle tekstil malzemeleri, erişilebilirlik, düşük maliyet, hava geçirgenlik, esnek yapıya sahip olması vb. özellikleri nedeniyle EMI ve UV koruma için ideal bir seçenek oluşturmaktadır [4-7].

Bu çalışma kapsamında, polimer matriks (PA 6) içerisine nanoparçacıklar (%99,9 Ti, 30-50 Nm) katılarak yumuşak eğirme yöntemi kullanılarak elementler elde edilmiş ve bu katkılı iplikler daha sonra atkıda kullanılarak dokuma kumaş

örneklerine dönüştürülmüştür. Çalışmada; ipliklere Ti nanopartikül katkılanmanın bu ipliklerden üretilen kumaşın elektromanyetik girişim ve optik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak hedeflenmiştir. Son yıllarda, nanoteknoloji yardımıyla kumaşlara üstün özellikler kazandırmayı amaçlayan bilimsel çalışmalara daha sık rastlanmaktadır. İnsan sağlığı ve hassas cihazlar üzerinde olumsuz etki yapan elektromanyetik girişim ve optik etkileşimlerden kaynaklı olumsuz etkileri azaltacak veya bertaraf edecek tekstil malzemeleri geliştirmeyi amaçlayan çok sayıda bilimsel çalışma mevcuttur. Konuya ilişkin yapılmış, literatürde rastlanan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Nanoteknoloji, 1-100 nm boyutunda nanopartiküller (NP) içeren çeşitli nanomateryallerin sentezi ve geliştirilmesiyle ilgilenen yeni bir bilim dalıdır [8]. Son yıllarda elektronik, çevre bilimi, insan üremesi, ilaç ve tıp gibi çeşitli alanlarda NP'lerin kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Ayrıca mekanik endüstride, enerji üretiminde ve yeni özelliklere sahip malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadırlar [9]. Cu, Zn, Ti, Mg, Au ve Ag gibi metaller kullanılarak farklı metalik nano yapılar sentezlenmektedir [10]. Titanyum nanoparçacıkları (Ti NP'ler), mekanik güçleri, biyouyumlulukları ve uzun kullanım geçmişi nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir metaldir [11]. Titanyumun en önemli özelliklerinden birisi korozyona karşı olağanüstü dirençli bir element olmasıdır [12]. Titanyum dioksit (TiO₂), nanopartiküller, nanoteller ve nanofiberler formunda en yaygın kullanılan yarı iletkenlerdir [13]. TiO₂ NP'leri büyüleyici optik, elektriksel ve fotokatalitik özellikleri, ekonomik olmaları, güvenlikleri, kirleticileri filtreleme yetenekleri, kimyasal stabilite ve toksik olmamalarından dolayı önemli bir uygulama potansiyeline sahiptir. TiO₂ NP'lerin tekstillere (lif, iplik, kumaş vb.) eklenmesi birçok yeni ve geliştirilmiş özellikler sunmaktadır. Ayrıca, güç tutuşur tekstillerin imalatında da TiO₂ NP'ler kullanılmaktadır [14]. Ayrıca TiO₂'in çekici bir antibakteriyel madde olduğu kanıtlanmıştır. Yapılan önceki bir çalışma, TiO₂'in çeşitli testlerde çeşitli Gram-pozitif ve Gram-negatif bakterilere karşı güçlü antifungal ve antibakteriyel aktiviteler

sergilediğini ortaya çıkarmıştır [15]. Radetić 2013 yılında yaptığı çalışmada, TiO₂ nanopartikülleri fotokataliz yöntemi ile uyguladığı kumaşların kendi kendini temizleme özelliklerinin yanı sıra UV koruma özelliklerinin de geliştiğini aktarmıştır. [16]. Bununla beraber, Batur ve Akyıldız 2021 yılında, lif üretimi esnasında TiO₂ nanopartikül katkıladıkları polietilen tereftalat liflerinin (PET) mekanik özelliklerinde ve kristallenme davranışlarında fotokatalitik etki yardımıyla kendi kendine temizlenme özelliği kazandırılabilceğini belirlemişlerdir [17].

Felipe ve arkadaşları (2022) azot katkılı grafen kuantum (N-GQD) ve titanyum dioksit (TiO₂) nanopartiküller ile kapladıkları pamuklu kumaşın fotoluminesans ve anti-UV özelliklerini incelemişlerdir. UV koruma değerlendirmesine göre her iki malzemenin de mükemmel UV emici olduğu ve ultraviyole koruma faktörünün (UPF) nanokaplama yapılmış pamuklu kumaşlarda kullanılan konsantrasyonlara oldukça bağlı olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, TiO₂, N-GQD ve TiO₂/N-GQD ile nanokaplanmış olan pamuklu kumaşa +50'lik bir UPF değeri elde edildiği, buna ilaveten UV radyasyonuna karşı koruma etkinliğinin sağlandığı ve UPF'de hiçbir değişiklik olmadan 20 yıkama döngüsüne kadar dayanım sağlandığı belirtilmiştir [18]. Zhu ve arkadaşları ise 2004 yılında yaptıkları çalışmada, PA6/Nano-TiO₂ kompozit ipliklerin üretimi ve lif yapılabilme yöntemlerini araştırmışlardır. Çalışmalarında, yüzeyi değiştirilmiş TiO₂'in kümelenme eğiliminin azaldığını ve elde edilen PA6 nanopartikül katkılanmış ipliklerin kopma mukavemeti, modül ve uzama değerlerinin artış gösterdiğini kanıtlamışlardır. [19]. Kumartaşlı 2021 yılında yaptığı çalışmada nano zeoliti farklı oranlarda polimer polimere ekleyerek kompozit iplik elde etmiştir. Nano zeolitin üretilen ipliklerde ve bu ipliklerden dokunan kumaşlarda bazı iplik ve kumaş özellikleri üzerindeki etkileri araştırmıştır. Elde edilen sonuçlar oldukça ilgi çekicidir. UV koruyuculuk ve ses yutumu seviyesinin nanopartikül katkılama sayesinde arttığı, ısı iletkenlik değerinde azalma olduğu ve güç tutuşurluk özelliğinin ise değişmediği gösterilmiştir [20]. Attia ve arkadaşları, PA/PES ve yün kumaşlara, TiO₂ ve

ZnO nanopartiküllerle kaplayarak, kumaş örneklerinin UV koruyuculuğunun, fiziksel özelliklerinin, su iticilik ve antibakteriyel aktivitesinin iyileştirilebileceğini 2016 yılında yaptıkları çalışmayla göstermişlerdir. Wu ve arkadaşları (2017) nano boyuttaki Cu, Fe ve TiO₂ nanopartikül (NP) katkısı ile besledikleri ipek böceklerinden elde ettikleri ipek lifleri üzerine yaptıkları çalışmalarında, özellikle Cu katkılanmış ipek ipliğinin mukavemet/uzama değerlerinin kontrol ipliğine göre sırasıyla %89 ve %36 oranında daha yüksek elde edildiğini göstermişlerdir.

TiO₂ sıklıkla kullanılan nanomalzemelerden birisi olduğu halde literatürde %100 titanyum nanopartiküllerin kullanılan benzer bir bulgu görülmemiştir.

2. YÖNTEM

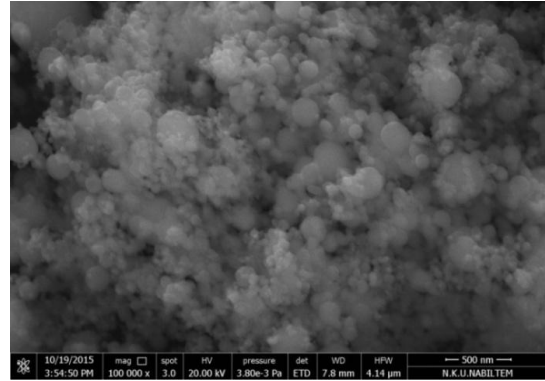
2.1. Materyal

Hammadde: PA 6 filamentleri, sentetik lifler içerisinde en kullanım alanı oldukça geniş liflerden birisidir. Bu lifler; giyim (elbise, kadın ve çocuk çorabı, özellikle bayan iç giyim, deniz kıyafetleri, mayo, korse, , gömlek, bluz, astar gecelik), ev tekstili (halı, kilim, yatak örtüsü), endüstriyel tekstiller (paraşüt bezi, emniyet kemeri, filtre kumaşları, kayışlar, çadır, yağmurluk, şemsiye bezi, balık ağı, dikiş ve nakış iplikleri, otomobil lastiği takviyeleri, otomotiv döşemelikleri) alanlarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Böylesine geniş kullanım alanı bulunan ve yüksek katma değere sahip olan ürünlerin eldesinde sıklıkla kullanılan PA6 liflerinin, yüksek mukavemetli, sıkışmaya dirençli, yumuşak tutumlu, kolay renklendirilebilir olması, canlı renkler elde edilebilmesi, kolay işlenebilir olması, yüksek nem alma özelliği, çözücülere ve bazlara karşı dayanıklı olması gibi avantajlarına karşın UV ışınlarına karşı direncinin az olması, kuvvetli asit oksitleyici maddelerden etkilenmesi gibi olumsuz yönleri de vardır. Bu olumsuz özellikleri kullanım alanını daraltmaktadır. Örnekte; UV ışınlarına karşı dayanıksız olması sebebiyle perde olarak kullanılamamaktadır. Çizelge 1’de PA 6 liflerinin karakteristik özellikleri sunulmuştur.

Çizelge 1. PA6 liflerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri [23]

Erime sıcaklığı	212-220°C
Kopma mukavemeti	2,5-5 cN/dtex
Uzama oranı	%35-55
Yoğunluk	1,14 g/cm ³
Rutubet	%4
Asitlere karşı direnç	Düşük
Bazlara karşı direnç	İyi
Mikroorganizma dayanımı	İyi
UV ışınlarına direnç	Düşük

Katkı Malzemesi: %99,9 Metal Titanyum (30-50 Nm); alerji riski olmaması, insan sağlığına zararlı toksik madde içermemesi ve ağır metal olmamasının yanısıra yüksek mukavemete sahip olması nedeniyle endüstride kullanılmaktadır. Şekil 1’de Ti NP’lerin SEM görüntüsü sunulmuştur.



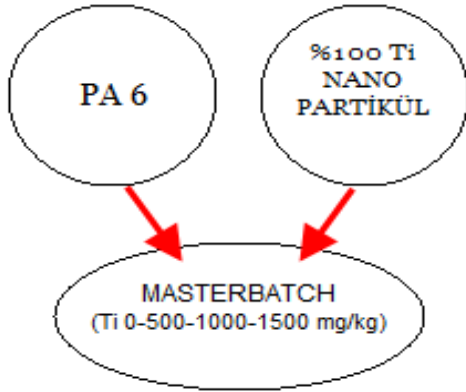
Şekil 1. Ti nanopartiküllerin SEM görüntüsü

2.2. Yöntem

2.2.1. Ti Nanopartikül Katkılı İplik ve Kumaş Üretimi

Yapay lif çekimi sırasında, polimer eriyik veya çözeltisine karıştırılan renklendirici pigmentler veya özel bir işlev sağlayacak yardımcı kimyasal veya fiziksel maddelere ve/veya bu şekilde elde edilen ciplere “masterbatch” adı verilmektedir. Masterbatch üretimi, SETAŞ Kimya Sanayi A.Ş. tarafından, işletme şartlarında çift vidalı ekstrüder kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nanopartiküller cips üretimi sırasında dozajlama sistemi ile polimer

eriyiğine dahil edilmiştir. PA6 polimer eriyiğine üç farklı oranda (500-1000-1500 mg/kg) metal bazlı (%99,9) Ti NP'ler dozajlı olarak katkılanmak suretiyle NP katkılı polimer tanecikleri (masterbatch cipsi) elde edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Ti NP katkılı masterbatch cips [24]

Eriyikten çekme sürecinde, önceden üretilmiş olan Ti NP katkılı tanecikler (cips) polimer eriyiğine karıştırılarak kesitinde 24 adet filament bulunan PA6 multifilament iplik örnekleri üretilmiştir. Nihai ipliklerdeki NP oranları ağırlıkça %0,05 - %0,10 ve %0,15 olacak şekilde 3 seviye şeklinde uygulanmıştır. Bunun yanında, kontrol iplik örneği olarak, NP katkılanmaksızın standart bir PA6 ipliği de üretilmiştir. Lif çekimi sonrasında multifilament iplik örnekleri, yumuşatma, büküm, fiksaj prosesi kullanılarak tekstürize edilmiş ve nihayet POY (Partially Oriented Yarn) iplik elde edilmiştir. Şekil 3'te tekstüre edilmiş bir iplik örneğinin genel görünümü sunulmuştur.



Şekil 3. Kesitinde 24 filament bulunan Ti katkılanmış PA 6 tekstürize iplik [24]

İplikler üretildikten sonra iplik testleri yapılmış ve daha sonra iplik örnekleri dokuma kumaşa dönüştürülmüştür. Numune iplikler yalnızca atkı yönünde kullanılmak üzere dokuma kumaş örnekleri 1/3 S dimi örgüsüyle üretilmiştir. Çözümlü ipliği olarak Ne 48/2 %100 yün ipliği kullanılmıştır. Çizelge 2'de çalışmanın deney planı ve numune kodları verilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan deney tasarımı

Kodu	Kumaş cinsi	Ti katkı oranı
Kontrol	Dokuma	% 0,00
1	Dokuma	% 0,05
2	Dokuma	% 0,10
3	Dokuma	% 0,15

2.2.2. Fiziksel Testler

Üretilen dört farklı iplik örneğine, doğrusal yoğunluk ve mukavemet/uzama testleri uygulanmıştır. Mukavemet/uzama testleri Proser Tenso Tester cihazında İngiliz test standardı BS 1932'ye göre gerçekleştirilerek mukavemet (g/denye) ve uzama (%) değerleri ölçülmüştür. Ti NP katkılanmak suretiyle üretilen iplik örnekleri dokuma sırasında yalnızca atkı olarak kullanıldığı için, mukavemet (kg-f) ve uzama (%) testleri yalnızca atkı yönünde uygulanmıştır. Testler James Heal Titan test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Testler, BS 2576 kodlu İngiliz standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Nanopartikül eklenerek elde edilen multifilament ipliklerin içindeki nanopartiküllerin dağılımını ve liflerin önceden belirlenmiş bazı özelliklerindeki

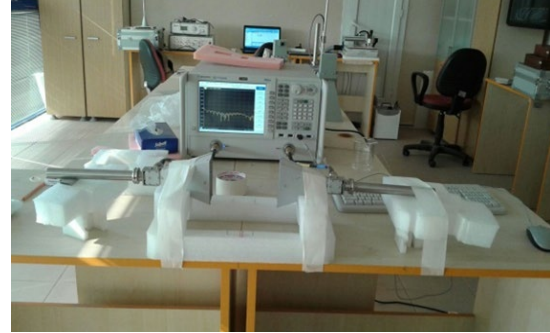
değişimi incelemek amacıyla kumaş örneklerine SEM-EDX cihazında görsel analiz de uygulanmıştır.

2.2.3. Yüzeysel Elektriksel Özdirenç Ölçümü

Kumaşın yüzeysel elektriksel özdirenç, iletkenliğinin bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Çalışmada uygulanan metal nanoparçacık ilavesinin üretilen kumaşların iletkenlikleri üzerindeki etkisini anlamak için yüzeysel özdirenç ölçümleri yapılmıştır. Numunelerin yüzeysel özdirençleri, “ELME MULTIMEG Megaohmmeter” cihazıyla ölçülmüştür. Ölçümlerde elektrotlar arası mesafe 20 cm olarak uygulanmış ve kumaşın farklı yönleri için ölçümler yapılmış, bu değerlerin ortalaması dikkate alınmıştır. Ölçüm sonuçları, tüm örneklerin yüzeysel özdirenç değerlerinin 2×10^{12} ohm/kare’den fazla olduğunu göstermiştir. Bulgular, tüm kumaş örneklerinin yalıtkan sınıfına girdiğini ve çalışmada kullanılan oranlarda Ti NP katkılamasının kumaş örneklerinin iletkenliği üzerinde herhangi bir etki yapmadığını ortaya koymuştur.

2.2.4. EMI Ölçümü

Elektromanyetik testlerde, serbest uzay (free space) ölçüm metodu kullanılmıştır. Kaynak taramasında, bu yöntemin tekstil ile çeşitli kompozit malzemelerin elektromanyetik koruma etkinliği (EMSE, electromagnetic shielding effectiveness) ölçümlerinde sıklıkla tercih edildiği görülmektedir. EMI ölçümleri, N5224A PNA Microwave Network Analyzer cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sırasında, örnek kumaş cihazda bulunan karşılıklı iki antenin arasına, tam orta noktaya yerleştirilmiştir. Antenler aynı eksen üzerine konumlandırılmıştır (Şekil 4). EMSE, numune malzeme var iken ve yok iken ölçülen elektrik alanı veya güç yoğunluğu arasındaki oranın logaritmik bir şekli olarak tanımlanmaktadır. EMSE değerleri 1 nolu eşitlik kullanılarak dB cinsinden hesaplanmıştır. Eşitlikte; E, elektrik alan yoğunluğunu, H, manyetik alan şiddetini, P, güç yoğunluğunu, “0” alt simgesi, numune olmadan ölçümü, “T” alt simgesi, numune var iken ölçümü temsil etmektedir [5].



Şekil 4. EMI ölçümü için kullanılan Mikrodalgalı Network Analiz cihazının bir görseli

Ölçümler, 3–18 GHz frekans aralığında yapılmıştır. Bu aralık belirlenirken, haberleşme frekans bandlarını (uydu haberleşme, yeni nesil kablosuz haberleşme vb.) kapsamaya gözetilmiş ve kullanılan cihazın teknik kapasitesi dikkate alınmıştır.

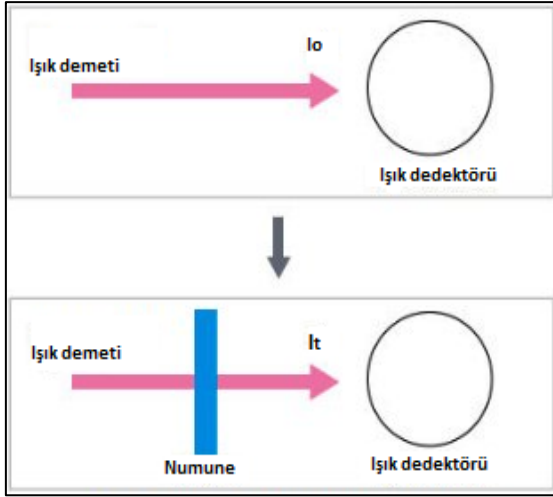
$$EMSE_T = 20 \cdot \log \left| \frac{E_0}{E_T} \right| = 20 \cdot \log \left| \frac{H_0}{H_T} \right| = 10 \cdot \log \left| \frac{P_0}{P_T} \right| \quad (1)$$

Çizelge 2’de verilen kumaş örneklerine ek olarak, 3-1 kodlu kumaşlar ve 3-2-1 kodlu kumaşlar EMI ölçümü sırasında üst üste konularak ölçüm de yapılmıştır. Bunun amacı, üretim sırasındaki katkı oranı artırmadığından, bu yöntemle daha yoğun Ti nanopartikül katkı oranı sağlayarak performans artışı elde edilip edilemeyeceğini araştırmaktır.

2.2.5. Optik Ölçümler (UV-VIS-NIR)

Tüm kumaş örneklerine, UV (morötesi), VIS-görünür bölge (~450-700 nm arası) ve NIR (yakın kızılötesi) bölgeleri için optik geçirgenlik ve soğurma (absorpsiyon) testleri uygulanmıştır. Bu testler UV-VIS-NIR Spektrofotometresi kullanılarak yapılmıştır. Test sırasında, cihazın karanlık kabini içerisinde kumaş örneklerine 300-1200 nm dalgaboyu aralığında ışık gönderilmekte, ışığın örnek tarafından soğurulma ve karşıda bulunan alıcıya iletilme oranları (%) ölçülmektedir. Şekil 5’te açıklandığı gibi, ışık demetinin yoğunluğu, örnek yok iken (I_0) ve örnek var iken (I_t) ölçülmektedir. Sonrasında, 2 nolu eşitlik kullanılarak UV geçirgenlik değeri (T) hesaplanmaktadır.

$$T (\%) = I_0 / I_t \cdot 100 \quad (2)$$



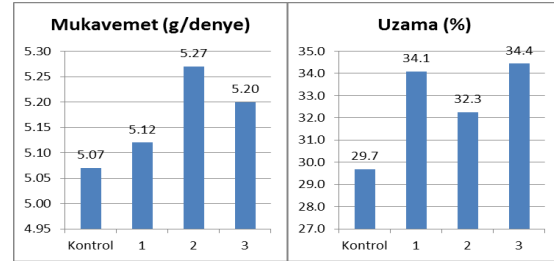
Şekil 5. UV-VIS-NIR spektrofotometresinin çalışma prensibi [24]

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. İplik Mukavemeti ve Uzama Testleri

Kesitinde 24 filament bulunan iplik örneklerine uygulanan mukavemet/uzama testi sonuçlarına göre; Ti nanopartikül (NP) katkılanmış iplik örneklerinin mukavemeti, NP katkı oranının artması ile kontrol ipliğine nazaran hafif bir artış göstermiştir. Benzer şekilde, NP katkılanmış ipliklerin uzama değerleri de katkılama yapılmamış olan kontrol iplik örneklerine nazaran bir miktar artış göstermiştir (Şekil 6). Bulgular ışığında, %100 Ti NP katkılama uygulamasının PA6 ipliklerin mukavemet/uzama değerleri üzerinde düşük seviyede olumlu etki yaptığı söylenebilir. Ancak bu olumlu etkinin doğrusal bir seyir izlemediği, %0,10'luk Ti NP katkısından sonra mukavemette bir miktar azalma olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni, Ti NP miktarının artmasıyla belli bir noktadan sonra aglomerasyon meydana gelmesi ve katkı maddesi ile matriks arasındaki arayüzey bağlarının zayıflamaya başlaması olduğu düşünülmektedir. Uzama grafiğinde, mukavemet ile uzama arasında ters bir orantı olduğu gözlenmektedir. Bu durum, mukavemet artışını sağlayan faktörlerin (kristal yapının artması, rijit

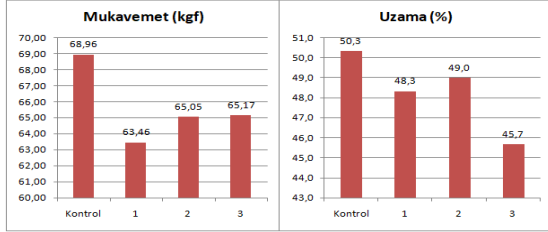
yapı vb.) uzama üzerindeki olumsuz etkisinden kaynaklanabilir.



Şekil 6. Üretilen iplik örneklerinin mukavemet ve uzama değerleri [24]

3.2. Kumaş Örneklerine Uygulanan Mukavemet/Uzama Testleri

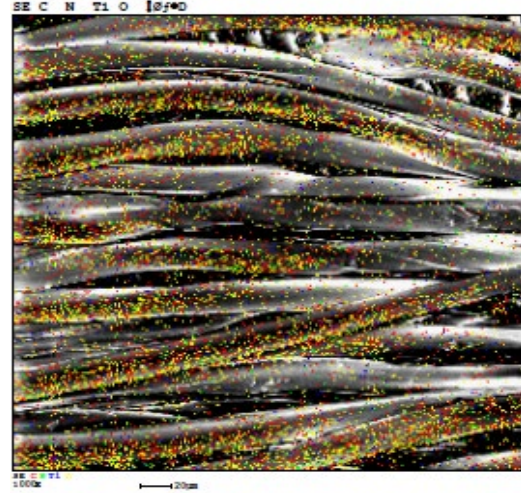
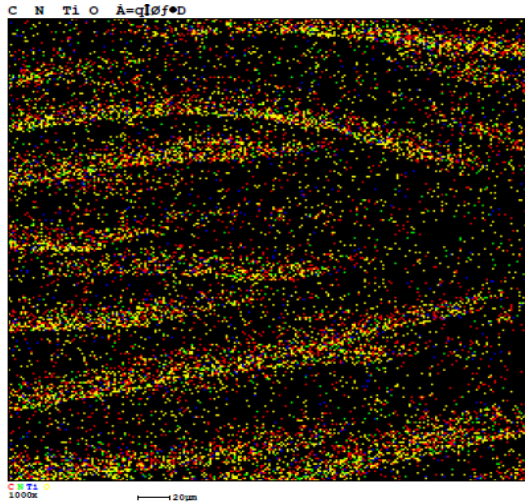
Çalışmada, dokuma kumaşlara atkı doğrultusunda uygulanan mukavemet ve uzama testlerinin sonuçları değerlendirildiğinde, Ti NP katkılanmış atkı iplik örnekleri ile dokunmuş kumaşların mukavemet değerlerinin, Ti NP katkılama oranının artması ile düşük seviyede arttığı söylenebilir. Fakat, katkılanmış ipliklerle dokunan tüm kumaşların mukavemet değerleri, katkılanmamış kontrol iplikleri ile dokunmuş olan kontrol kumaşına nazaran daha düşük seviyededir (Şekil 7). Ti NP katkılanmış tüm iplik örneklerinin mukavemet değerleri kontrol ipliğine nazaran daha yüksek iken (Şekil 6) aynı ipliklerle dokunan kumaş örneklerine ait mukavemet değerlerinin kontrol kumaşinkine nazaran daha düşük (Şekil 7) olduğu belirlenmiştir. Bu durum, kumaşın özgün geometrisi ve katkılanan Ti nanopartiküllerin ipliğin kesme kuvvetlerine karşı direncini olumsuz etkilemesi nedeniyle ortaya çıkmış olabilir. Öte yandan, Ti NP katkılama oranının artması ile kumaşın uzama değeri azalma eğilimi göstermiştir. Ti NP katkılanmış tüm iplik örneklerinin uzama oranları kontrol ipliğinkine nazaran daha fazla iken, aynı ipliklerle dokunan Ti katkılanmış kumaşların uzama oranları kontrol kumaşinkinden daha az bulunmuştur. Yine bu durum, kumaşın özgün geometrisi ve Ti NP katkılama nedeniyle ipliklerin kesme kuvvetlerine karşı direncinin azalması sonucu ortaya çıkmış olabilir.



Şekil 7. Üretilen numune kumaşların atkı yönünde mukavemet/uzama grafikleri [24]

3.3. Kumaş SEM Görüntüleri

Katkılanmış Ti nanopartiküllerin lif içinde ve yüzeyinde nasıl dağıldığını incelemek için üretilen dokuma kumaşların SEM-EDX cihazında analizleri yapılmıştır (Şekil 8). Analiz sonuçları Şekil 8'de sunulmuş olup ipliği ve kumaşı oluşturan liflerin üzerine dağılan Ti NP'lerin belli noktalarda oligomerizasyon nedeniyle kümelenmediği ve düzgün bir dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Oligomerizasyonun gerçekleşmesi yani NP'lerin kümelenerek gruplar oluşturması ve birbirine bağlanması durumunda, bu gruplar arasındaki mesafelerin açılması ve iletkenliğin olumsuz etkilenmesi, kümeleşme sonucunda matriks-katkı arasındaki arayüzey bağlarının bozulması gibi istenmeyen durumlar meydana gelebilmektedir. NP dağılımının homojen olmaması ve iletkenliğin azalması da optik özellikler üzerinde doğrudan olumsuz etkiler göstermektedir.

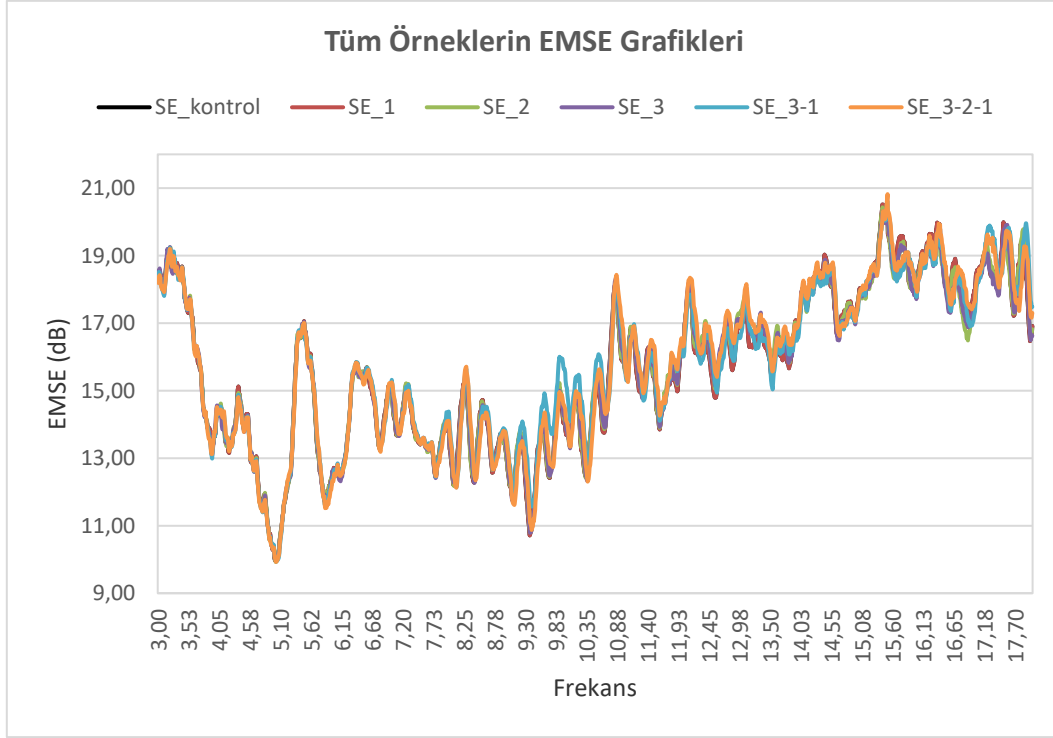


Şekil 8. Kumaş numunelerinde atomların dağılımının görüntüsü [24]

3.4. EMI Ölçüm Sonuçlarının Analizi

Kompozit bir malzemenin elektromanyetik koruma verimliliği (EMSE), katkılanan maddenin cinsi, matriks malzemenin iletkenlik, dielektrik, en boy oranı gibi pek çok özelliğine bağlıdır.

Çoğunlukla, liflerin yapısını teşkil eden polimerler yalıtkan olduğundan EMSE değerleri üzerine doğrudan bir etki yapmamaktadır, fakat katkılanan maddenin iletkenlik seviyesini etkilemek suretiyle dolaylı bir etki yapması söz konusu olabilir. Katkılanan nanopartiküllerin matriks malzeme içinde dağılımı ise, işlem şartlarına, polimer matriksin yüzey gerilimine, kristalleşme düzeyine, polarizasyonuna ve molekül ağırlığına bağlı olmaktadır [25]. Yapay liflere nanopartikül katkılama önemli kısıtlardan birisi katkı oranının artmasıyla lifin fiziksel özelliklerinin ve üretim kalitesinin olumsuz etkilenmesidir. Bu durum çalışmada gerçekleştirilen lif üretimi sırasında gözlemlenmiştir. Katkı oranının artırılmasıyla katkılanan maddeden beklenen etkinin de artması doğal olarak beklenir, fakat katkılama oranını artırma seviyesi katkılanan nanopartiküller ile polimer matriks arasında zayıf bağlar olması nedeniyle sınırlanmaktadır. Bundan dolayı, lif çekim sürecinde problemler artmakta ve katkılama oranı arttıkça lifin mekanik özellikleri negatif yönde etkilenmektedir.



Şekil 9. Ölçülen tüm örneklere ait EMSE grafiklerinin karşılaştırılması

Bu nedenle, çalışma kapsamında gerçekleştirilen lif çekimi sürecinde, başlangıç olarak daha yüksek NP katkı oranları uygulanmış olsa da, standart üretim süreçlerinde uygulanan 275 °C’de ve basınç değerlerinde sağlıklı lif çekimi yapılamadığından katkılama oranları azaltılmıştır. Çünkü yapılan değişik sıcaklık ve basınç değerleri ile çok sayıda deneme yapılmasına karşın düzelerde sağlıklı ve düzgün filament akışı elde edilememiştir. Elektromanyetik girişim testine tabi tutulan tüm örnekler için EMSE değerleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 9’da grafik halinde sunulmuştur. Sonuçlar analiz edildiğinde; genel olarak katkılanmış numunelerin EMSE değerlerinde kontrol kumaşa göre anlamlı bir artış olmadığı söylenebilir. Yalnızca 9,64-10,23 GHz Aralığında 3 ve 1 nolu örneklerin EMSE performansı üzerinde çok küçük bir olumlu etki yaptığı gözlenmektedir. Bu sonucun, liflere katkılanan Ti NP miktarının EMSE değerlerini artıracak seviyede olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha etkili sonuçlar elde etmek için NP katkı oranını artırmak

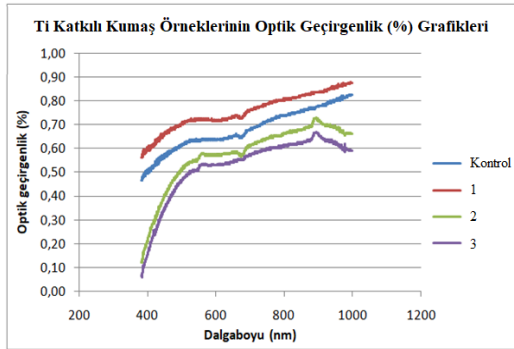
üzere PA üretim prosesinde geliştirici çalışmalar yapmak ve/veya PA matriks yerine polyster ya da polipropilen matriks kullanmak düşünülebilir. Nanopartikül miktarının ve dağılımının yeterli düzeyde olmaması iletkenliği ve elektromanyetik dalgalar ile girişim yaratma potansiyelini azaltmaktadır.

3.5. Optik Ölçüm Sonuçlarının Analizi

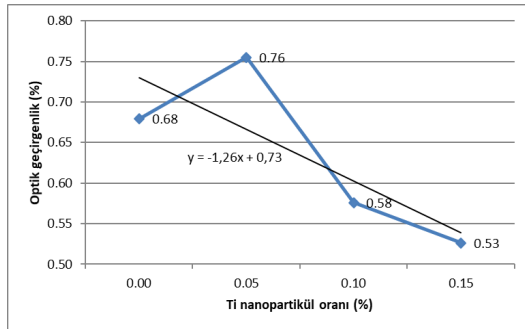
3.5.1. Optik Geçirgenlik Analizi

Dokuma kumaş örneklerine ait optik geçirgenlik grafikleri, Şekil 10’da sunulmuştur. Bu grafikte, katkılanan Ti NP oranındaki artışın optik geçirgenlikte bir azalmaya neden olduğu açıkça görülmektedir. Tüm örnekler için grafikler, dalgaboyu yükseldikçe optik geçirgenlikte de artış eğilimi olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak; PA 6 filament liflerine Ti NP katkılama, liflerin ve bu liflerden üretilen kumaşların optik geçirgenlik özelliğini azaltma yönünde etki göstermiş, dalgaboyu yükseldikçe söz konusu etki seviyesinde

artış eğilimi belirlenmiştir. Ti NP oranı arttıkça özellikle %0,10 ve %0,15 seviyesinde düşük dalgalı boylarında (400-450 nm) geçirgenlik etkinliğinin daha büyük artışlar gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu etki çok daha düşük de olsa 900-1000 nm dalgalı boyu aralığında da gözlenmektedir.



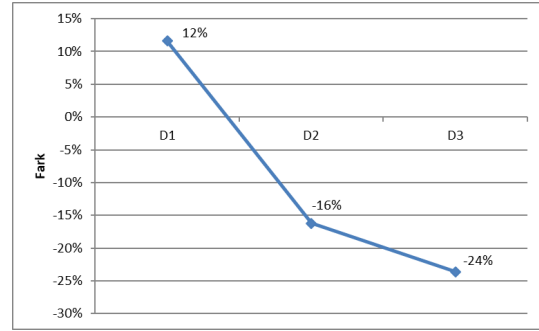
Şekil 10. Kumaş örneklerine ait optik (UV-VIS-IR) geçirgenlik grafikleri



Şekil 11. Ti NP katkı oranı ile optik geçirgenlik değeri arasındaki ilişki

Ti NP katkı miktarına bağlı olarak kumaş numunelerinin optik geçirgenlik seviyesindeki değişimi analiz etmek ve çalışmada kullanılan katkı oranlarından farklı değerlerden yola çıkarak optik geçirgenlik tahmini yapabilmek için, Şekil 10'da sunulan veriler yardımıyla Şekil 11'deki grafik çizilmiştir, iki değişken arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon modeli sunulmuştur. Optik geçirgenlik değerleri tüm dalgalı boylarına ait değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Şekil 11'deki grafik Ti NP katkı oranındaki artış ile optik geçirgenlik değeri arasında negatif doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. Grafikte sunulan

regresyon eşitliğinin ileride yapılacak çalışmalarda katkı oranından yola çıkarak optik geçirgenlik seviyesinin tahmin edilmesinde faydalı olması beklenmektedir.



Şekil 12. Ti NP katkılanmış örneklerin optik geçirgenlik değerlerinin kontrol kumaşından farkları

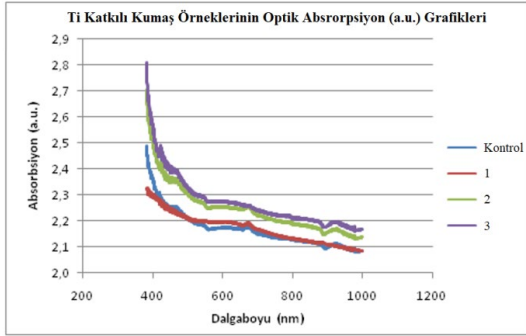
Şekil 12'de sunulan grafik, Ti katkılanmış kumaş örneklerinin optik geçirgenlik değerlerinin kontrol kumaşından farklarını göstermektedir. Ti NP katkı oranının artmasıyla optik geçirgenlik seviyesinde doğrusal olarak azalma olduğu görülmektedir. En düşük optik geçirgenlik değerini Ti NP katkı oranı % 0,15 olan 3 kodlu örnek sağlamış ve bu örnekte kontrol kumaşına göre % 24'lük bir azalma gerçekleşmiştir.

Kristal yapıya sahip polimer malzemelerin ışık geçirgenlik seviyesi, malzemenin boyutuna, şekline, yerleşim düzenine, eşyönlülüğüne ve yapısındaki kristalitlerin düzenine bağlı olmaktadır. Işık geçirgenlik düzeyinin, ışığın saçılması ve filtrelenmesine bağlı olarak ölçülmesi, polimer malzemenin yapısal karakterizasyonunu sağlamaktadır [26]. Bundan dolayı, kontrol kumaş örneğinin sağladığı optik koruma seviyesinin, kumaşı oluşturan liflerin yapısındaki kristal bölgelerin bir sonucu olduğu söylenebilir.

3.5.2. Optik Soğurma Analizi

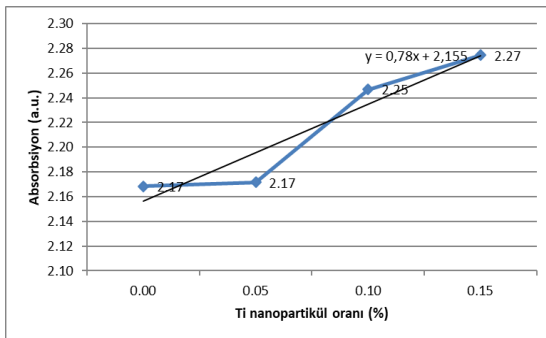
Şekil 13'teki grafik tüm kumaş örneklerinin optik soğurma (absorbsiyon) değerlerinin dalgalı boyuna göre değişimini göstermektedir. Grafikte, tüm örneklere ait soğurma değerlerinin düşük dalgalı boylarında en yüksek seviyede iken, dalgalı boyu arttıkça başlangıçta hızlı sonra gittikçe

yavaşlayan bir eğimle azalmaktadır. Genel olarak, Ti NP katkı oranının artmasının, optik soğurma değerini artırma yönünde etki etmektedir. Ti NP katkı oranı en yüksek olan 3 kodlu numune en yüksek soğurma değerini sağlamıştır.



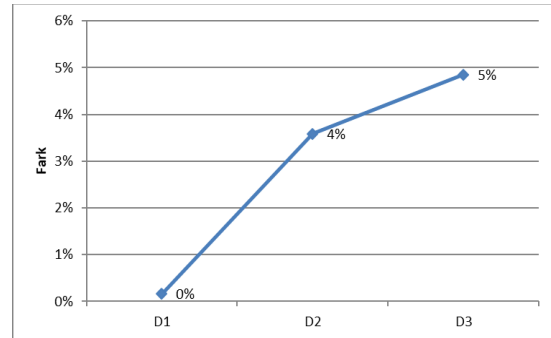
Şekil 13. Kumaş örneklerinin optik (UV-VIS-IR) soğurma değerlerinin değişimi

Ti NP katkı oranının optik soğurma ile ilişkisini ortaya koymak ve farklı katkı miktarları için optik soğurma değerlerini tahmin edebilmek amacıyla Şekil 14'teki grafik çizilmiştir. Grafikteki soğurma değerleri tüm dalga boylarına ait değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Grafik, Ti NP katkı oranı ile soğurma değerleri arasında pozitif doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. Tahminlemede kullanılabileceği düşünülerek, regresyon eşitliği de grafikte verilmiştir. Veriler, % 0,05 oranında Ti NP katkısının kontrol kumaşa nazaran soğurma üzerinde neredeyse hiç etki yapmadığını, fakat %0,10 ve % 0,15 katkılama oranlarının soğurma değeri üzerinde belirgin oranda pozitif etki yaptığını göstermektedir.



Şekil 14. Ti nanopartikül katkı oranı ile optik absorpsiyon değerleri arasındaki ilişki

Şekil 15'deki grafik, Ti NP katkılanmış kumaş örneklerinin kontrol örneğine nazaran soğurma değerlerindeki farklarını göstermektedir. Grafikten, Ti NP katkılama miktarının artmasıyla soğurma değerlerinde doğrusal bir artış olduğu anlaşılmaktadır. Veriler, kütlece % 0,15 Ti NP katkısı ile optik soğurma değerinde kontrol kumaşına göre %4,8'lik bir artış sağlandığını göstermiştir.



Şekil 15. Ti NP katkılanmış örneklere ait soğurma değerlerinin kontrol kumaşına göre farkları

4. SONUÇ

Günümüzde, tekstil ürünlerine elektromanyetik girişimden koruma, yüksek mukavemet, ısı yalıtımı, antibakteriyel özellik, iletkenlik vb. işlevsel özellikler kazandırmak ve bu özellikleri geliştirmek, tekstil malzemelerinin kendine özgü yapısı nedeniyle, çok çalışılan konular arasındadır. Bu kapsamda, yapay lif çekimi esnasında, polimer eriyiği ya da çözeltisi içerisine çeşitli oranlarda NP katkılanması yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntem nanoteknoloji biliminin tekstil alanındaki başlıca uygulamalarından biridir. Bu çalışma kapsamında, %100 metal Ti nanopartiküllerin lif çekimi sırasında PA 6 filamentleri içerisine katkılanmasının bu lifler ve ipliklerden dokunmuş kumaşların mekanik özellikleri ile kumaşın elektromanyetik ve optik koruma özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İpliklere uygulanan fiziksel testler, Ti NP katkısının iplik örneklerinin mukavemet/uzama değerlerini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Kumaş örneklerine

uygulanan fiziksel testler ise, en yüksek mukavemet değerini kontrol kumaşı sağlasa da, NP katkı oranındaki artışın kumaş mukavemetini düşük seviyede pozitif yönde etkilediğini göstermiştir. %0,05 ve %0,15 oranındaki düşük seviyelerde Ti NP katkılama, PA6 filament iplik örneklerinin mukavemet/uzama özellikleri üzerinde olumlu etki yapmıştır. NP katkı oranındaki artış kumaş mukavemetinde az da olsa artış sağlamıştır. Kontrol ipliğinin mukavemeti, NP katkılı ipliklerin mukavemetinden daha düşük olmasına rağmen, kontrol ipliği ile (atkıda) dokunan kontrol kumaşın diğerlerine göre daha yüksek mukavemet sağladığı görülmüştür. Bunun, atkı atma ve yerleştirilmesi esnasında kontrol ipliğinin diğer ipliklere göre farklı davranmasından (kumaş geometrisi) ve metal Ti NP katkılamasının ipliklerin kesme kuvvetlerine karşı direncini düşürmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. İplik ve kumaş uzama değerleri için de aynı durum gözlenmiştir. Öte yandan, SEM görüntülerinden, kumaş ve lifler üzerinde oligomerizasyonun olmadığı ve Ti NP'lerin düzgün dağılım gösterdiği anlaşılmıştır. Nihayet, Ti NP katkılamasının PA 6 filament iplik ve bu ipliklerden dokunmuş kumaş örneklerinin mekanik özellikleri üzerinde düşük düzeyde anlamlı bir etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır. EMI ölçüm verilerinin analizi; çalışmada uygulanan oranlarda Ti NP katkılamasının, kumaşların EMSE değerlerinde kontrol kumaşa nazaran anlamlı iyileşme sağlamadığını göstermiştir. PA 6 lif çekimi esnasında daha yüksek oranda NP katkısı, üretim ve kalite problemlerine neden olmuştur. İleride katkılama oranlarının artırılmasına yönelik çalışmalar yapılması önerilebilir. Optik ölçüm sonuçları analiz edildiğinde ise uygulanan Ti katkılama, kumaşın optik geçirgenliği üzerinde negatif yönde etki yapmış, dalgaboyu büyüdükçe bu etki artış eğilimi göstermiştir. Ti NP katkısı, optik soğurma değeri üzerinde pozitif yönde etki göstermiş ve en yüksek soğurma değeri, Ti katkısı en yüksek olan 3 kodlu numune ile elde edilmiştir. %0,15 Ti NP katkısı, kontrol kumaşa göre kumaşların optik geçirgenliğini %24, optik soğurma düzeyini ise %5 artırmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (Proje no: FYL-2015-4405) tarafından desteklenmiştir. Ayrıca, yazarlar katkıları nedeniyle, Elasteks Elastik İplikler San. ve Tic. A.Ş., Yünsa Yünlü Sanayi ve Tic. A.Ş.'ne teşekkür ederler.

6. KAYNAKLAR

1. International Organization for Standardization, ISO. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:80004:-1:en>. Erişim Tarihi: Mayıs 2018.
2. Greßler, S., Simkó, M., Gázsó, A., Fiedeler, U., Nentwich, M., 2010. Nano-Textiles. NanoTrust Dossier. Nr. 015en-December 2010.
3. Chaudhari, S.B., Shaikh, T., Pandey, P., 2013. A Review on Polymer TiO₂ Nanocomposites. International Journal of Engineering Research and Applications, 3(5), 1386-1391.
4. Akram, S., Ashraf, M., Javid, A., Abid, H.A., Ahmad, S., Nawab, Y., Nosheen, A., 2023. Recent Advances in Electromagnetic Interference (EMI) Shielding Textiles: A Comprehensive Review. Synthetic Metals, 294, 117305.
5. İlhan, İ., Esen, M., Karaaslan, M., Akyürek, B. Y., 2023. Investigation of EMI and UV-IR Shielding Properties of Wool And Cotton/Elastane Nanocomposite Fabrics. J Coat Technol Res., 20, 1407-1422.
6. İlhan, İ., Esen, M., Karaaslan, M., Akyürek, B. Y., Çelikel, Ö., 2023. Investigation of EMI and UV-IR Shielding Properties of Kevlar and Polyester/Elastane Nanocomposite Fabrics Coated By ECR and Evaporation Methods. The Journal of the Textile Institute, 1-14.
7. Pakdel, E., Wang, J., Kashi, S., Sun, L., Wang, X., 2020. Advances in Photocatalytic Self-Cleaning, Superhydrophobic and Electromagnetic Interference Shielding Textile Treatments. Advances in Colloid and Interface Science, 277, 102116.
8. Jeevanandam, J., Barhoum, A., Chan, Y.S., Dufresne, A., Danquah, M.K., 2018. Review on Nanoparticles and Nanostructured Materials:

- History, Sources, Toxicity and Regulations. *Beilstein J. Nanotechnol.*, 9, 1050-1074.
9. Martinez-Gutierrez, F., Olive, P.L., Banuelos, A., Orrantia, E., Nino, N., Sanchez, E.M., Ruiz, F., Bach, H., Av-Gay, Y., 2010. Synthesis, Characterization, and Evaluation of Antimicrobial and Cytotoxic Effect of Silver and Titanium Nanoparticles. *Nanomed. Nanotechnol. Biol. Med.*, 6, 681-688.
 10. Jamkhande, P.G., Ghule, N.W., Bamer, A.H., Kalaskar, M.G., 2019. Metal Nanoparticles Synthesis: An Overview on Methods of Preparation, Advantages and Disadvantages, and Applications. *J. Drug Deliv. Sci. Technol.*, 53, 101174.
 11. Jorge, J.R.P., Barao, V.A., Delben, J.A., Faverani, L.P., Queiroz, T.P., Assunção, W.G., 2013. Titanium in Dentistry: Historical Development, State of the Art and Future Perspectives. *J. Indian Prosthodont. Soc.*, 13, 71-77.
 12. Schabes-Retchkiman, P.S., Canizal, G., Herrera-Becerra, R., Zorrilla, C., Liu, H.B., Ascencio, J.A., 2006. Biosynthesis and Characterization of Ti/Ni Bimetallic Nanoparticles. *Opt. Mater.*, 29, 95-99.
 13. Kumari, M., Perera, C.S., Dassanayake, B.S., Dissanayake, M., Senadeera, G.K.R., 2019. Highly Efficient Plasmonic Dye-Sensitized Solar Cells with Silver Nanowires and TiO₂ Nanofibres Incorporated Multi-Layered Photoanode. *Electrochim. Acta*, 298, 330-338.
 14. Ochiai, T., Fujishima, A., 2012. Photoelectrochemical Properties of TiO₂ Photocatalyst and Its Applications For Environmental Purification. *J. Photochem. Photobiol. C Photochem. Rev.*, 13, 247-262.
 15. Dicastillo, C.L., Correa, M.G., Martínez, F.B., Streitt, C., Galotto, M.J., 2020. Antimicrobial Effect of Titanium Dioxide Nanoparticles. In *Antimicrobial Resistance-A One Health Perspective*; IntechOpen: London, UK.
 16. Radetić M., 2013. Functionalization of Textile Materials with TiO₂ Nanoparticles. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 16, 62-76.
 17. Batur, Z., Akyıldız, H.İ., 2021. Polietilen Teraftalat (PET) Liflerde Katkılanan TiO₂ Konsantrasyonunun Fotokatalitik Kendini Temizleme Özelliklerine Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 24(1), 121-129.
 18. Felipe B.H.S., Cabral R.L.B., Ladchumananandasivam R., Zille A., Kim S., Fechine P.B.A., Nascimento J.H.O., 2022. Nanocoating on Cotton Fabric with Nitrogen-Doped Graphene Quantum Dots/Titanium Dioxide/PVA: An Erythematous UV Protection and Photoluminescent Finishing. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 2435-2450.
 19. Zhu, M., Xing, Q., He, H., Zhang, Y., Chen, Y., Pötschke, P., Adler, H., 2004. Preparation of PA6/ Nano Titanium Dioxide (TiO₂) Composites and Their Spinnability. *Macromol. Symp.*, 251-261.
 20. Kumartaşlı, S., 2021. Nanopartikül Takviyeli Pet Polimeri Esaslı Nanokompozit Fonksiyonel Lif Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, Türkiye, 84.
 21. Attia, N.F., Moussa, M., Sheta, A.M.F., Taha, R., Gamal, H., 2017. Effect of Different Nanoparticles Based Coating on the Performance of Textile Properties. *Progress in Organic Coatings*, 104, 72-80.
 22. Wu, G., Song, P., Zhang, D., Liu, Z., Li, L., Huang, H., Zhao, H., Wang, N., Zhu, Y., 2017. Robust Composite Silk Fibers Pulled Out of Silkworms Directly Fed with Nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 533-538.
 23. Seventekin, N., 2003. *Kimyasal Lifler*. E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Yayını, İzmir, 134.
 24. Maralcan, A., 2018. Nanoparçacık Katkılı Poliamid 6 Lifi Üretimi ve Kumaş Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana, Türkiye, 82.
 25. Mohanty, A. K., Ghosh, A., Sawai, P., Pareek, K., Banerjee, S., Das, A., Voit, B., 2014. Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of MWCNT Filled Poly(ethersulfone) and Poly(etherimide) Nanocomposites. *Polymer Engineering & Science*, 54(11), 2560-2570.

26. Clough, S., Rhodes, M.B., Stem, R.S., 1967.
The Transmission of Light by Films of
Crystalline Polymers. Journal of Polymer
Science: Polymer Symposia, 18(1), 1-32.

Strength Investigation of Slag-Based Geopolymer Composites Incorporating Different Amounts of Colemanite Waste and Silica Fume Under Different Exposure Conditions

Metin MEHMETOĞLU*¹ ORCID 0000-0002-1646-5879

¹Istanbul Gelisim University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Istanbul, Türkiye

Geliş tarihi: 04.09.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: MEHMETOĞLU, M., (2023). Strength Investigation of Slag-Based Geopolymer Composites Incorporating Different Amounts of Colemanite Waste and Silica Fume Under Different Exposure Conditions. Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 38(3), 841-849.

Abstract

In this study, it is aimed to investigate the strength performance of slag-based geopolymer mortar with different percentages of silica fume and colemanite waste by mixing Na_2SiO_3 and NaOH as the alkaline activator for the geopolymerization reaction, and cured at room temperature were prepared, in terms of compressive strength, flexural strength, ultrasonic pulse velocity and freeze-thaw resistance parameters. Five different mixtures were prepared by using different amounts of silica fume and colemanite waste by using the same amount of ground granulated blast furnace slag, sand and 8M sodium hydroxide for these five mixtures. The mixture, including a paste proportion of 20% slag, 40% colemanite waste, and 40% silica fume, was used as a control mix. The maximum compressive strength (21.24 MPa, 38.32 MPa) flexural strength (5.86 MPa, 6.98), weight loss caused by freeze-thaw effect (0.56%) and ultrasonic pulse wave test (3082 m/s) results were noted as for 7th and 28th day, respectively. After -60 cycles [1 cycle consists of (-18 °C) for 90 minutes and (+4 °C) for 30 minutes], the maximum compressive and flexural strength was observed as (40.18 MPa and 4.92 MPa, respectively). The results indicated that the strength results were consistently increased as silica fume increased. The addition of a certain amount of silica fume gave promising results both in terms of the strength and durability aspects. Overall, according to this experimental study, the utilization of 30% colemanite waste and 50% silica fume can be recommended so as to balance both sustainability and engineering aspects.

Keywords: Compressive strength, Geopolymer, Freeze-thaw, Colemanite waste, Silica fume

Farklı Miktarlarda Kolemanit Atığı ve Silika Dumanı İçeren Cüruf Esaslı Geopolimer Kompozitlerin Farklı Maruz Kalma Koşullarında Dayanımlarının İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada, Geopolimerizasyon reaksiyonu için alkali aktivatör olarak Na_2SiO_3 ve NaOH karıştırılarak oda sıcaklığında kürlenmiş, farklı yüzdelerde silis dumanı ve kolemanit atığı içeren cüruf bazlı geopolimer

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Metin MEHMETOĞLU, mashhadani@gelisim.edu.tr

harcının mukavemet performansının araştırılması amaçlanmaktadır. Basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrasonik hızı ve donma-çözülme direnci parametreleri açısından. Bu beş karışım için aynı miktarda öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu, kum ve 8M sodyum hidroksit kullanılarak farklı miktarlarda silis dumanı ve kolemanit atığı kullanılarak beş farklı karışım hazırlanmıştır. Macun oranında %20 cüruf, %40 kolemanit atığı ve %40 silis dumanı içeren karışım, kontrol karışımı olarak kullanıldı. Maksimum basınç dayanımı (21,24 MPa, 38,32 MPa), eğilme dayanımı (5,86 MPa, 6,98), donma-çözülme etkisinden kaynaklanan ağırlık kaybı (%0,56) ve ultrasonik hız testi (3082 m/s) sonuçları ise 7. ve 7. sıralarda kaydedildi. Sırasıyla 28. gün. -60 döngüden sonra [1 döngü 90 dakika süreyle (-18 °C) ve 30 dakika süreyle (+4 °C) oluşur] maksimum basınç ve eğilme dayanımı (sırasıyla 40,18 MPa ve 4,92 MPa) olarak gözlemlendi. Sonuçlar, silika dumanı arttıkça mukavemet sonuçlarının tutarlı bir şekilde arttığını gösterdi. Belli bir miktar silis dumanının ilavesi hem mukavemet hem de dayanıklılık açısından ümit verici sonuçlar vermiştir. Genel olarak, bu deneysel çalışmaya göre, hem sürdürülebilirlik hem de mühendislik yönlerini dengelemek amacıyla %30 kolemanit atığı ve %50 silis dumanı kullanımı önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Basınç dayanımı, Geopolimer, Donma-çözülme, Kolemanit atığı, Silis dumanı

1. INTRODUCTION

The modern construction industry majorly relies on ordinary Portland cement to develop every infrastructure. Portland cement is highly criticized for its massive amount of poisonous substances, hazarding natural ecosystems, and its contribution to global warming. Carbon dioxide (CO₂) is one of the significant substances in this worry; CO₂ emissions from the cement industry only constitute nearly 6%–7% of total CO₂ outflows around the globe [1]. Another concern is that the cement sector is considered unsustainable and energy-intensive [2].

Ordinary Portland Cement consists of calcium carbonate (limestone) calcination at very high temperatures of about 1450-1500 °C, and silico-aluminous material. This means that the production of every 1 metric tonne of cement generates 1 metric tonne of CO₂ [3]. As a result of this, the more consumption of cement, the more contribution to the devastation of the ecosystem and atmosphere. The cement industry is one of the biggest causes of atmospheric pollution amongst the industries.

As a result of this situation, the current trend is that cement production and utilization to be transformed to a more sustainable and eco-friendly in practice. In this regard, to mitigate the negative impacts of clinker production in conventional construction practices, several scholars made a significant effort to minimize the environmental footprint of

conventional cement by introducing eco-friendly alternative materials, such as geopolymer, in the current construction sector [4].

The main benefit of geopolymer cement is that it reduces carbon dioxide emissions since the chemical process emits zero carbon dioxide, consuming fuel much less. As a result of this, carbon dioxide emissions are decreased by 80%–90%. It also contributes to the reuse of industrial wastes (fly ash, ground granulated blast furnace slag, silica fume, etc.) and diminishes global warming.

Nowadays, fly ash, metakaolin, ground granulated blast furnace slag (GGBS), silica fume (SF), and others are regarded as the most widely utilized pozzolanic materials in the cement industry [5]. Generally, these materials are large enough to combine with Portland cement or (with) each other forming a sustainable binder to produce a mortar and concrete. GGBS, which is classified among supplementary cementitious materials utilized in geopolymer development, primarily constitutes lime, silica, alumina, and magnesia [6]. Studies showed that the combination of slag with low calcium pozzolanas could significantly improve the setting and hardening time of the geopolymer matrix at standard conditions. Apart from this, it has a valuable impact on the resulting matrix's short and long-term strength parameters. Susan et. al. [7] stated that the availability of calcium compounds, which are dominantly found in slag, speeds up the

geopolymerization process. Davidovits [8], in his study, demonstrated that the combination of slag with metakaolin produces composites possessing excellent engineering and durability properties.

Rostami and Behfarnia [9] examined the influence of replacing slag with SF on compressive performance and permeability of alkali-activated slag under water-curing conditions. The outcomes indicated that the inclusion of SF has enhanced the compressive strength and reduced the permeability of the resulting concrete matrix. As a result, the existence of SF positively contributes to the mechanical and durability characteristics of alkali-activated slag.

Francis et. al. [10] analyzed the effect of SF on the durability aspect of fly ash-based geopolymer concrete. The results showed that the specimens containing SF were found to be highly resistant to the harsh (sulfate and chloride attack) environment compared to the samples without SF. Also, Okoye et. al. [11] revealed the direct relationship between compressive strength and SF content in the geopolymer concrete. The possible reasons for improving mechanical strength and durability characteristics of geopolymer concrete incorporating silica fume could be attributed to enhanced geo-polymerization, reduction in pore diameter, and permeability of acid solution in the concrete matrix.

Boron is among Turkey's most widely available resources, estimated at around 60% of the global boron reserves. Colemanite, tincal, and ulexite are widely marketed forms of boron ores in the country [12]. The term "colemanite" is used when the basic form of boron compounds (B_2O_3 and H_2BO_3) is found with calcium, whereas with calcium-sodium, it is named "ulexite" [13]. Several studies have examined the effect of boron waste inclusion on the different properties of mortar and concrete matrices. Abali et. al. [14] investigated the effect of tincal waste in combination with other materials such as fly ash, volcanic tuff, and bentonite. The results showed that the compressive strength of the specimens reduced with the increase of tincal waste content. Also, Elbeyli [15] has reported the same result whilst hiring borax wastes.

On the other hand, Samir Ushah El-Kameesy et. al. [16] developed material as nuclear radiation protection using boron and rubber. The boron addition has improved the shielding effect of the resulting matrix. It is essential to consider that the concrete hired in the nuclear application must also possess desirable structural and mechanical properties. Therefore, the utilization of CW in the cement industry has dual advantages in terms of environmental protection and engineering application. However, only a limited number of studies have addressed the effect of this material on geopolymeric products.

SF is a material consisting of very fine spherical particles, containing a high percentage of amorphous silica; it is obtained from the decomposition of high purity quartz containing coal in electric arc furnaces in the production of silicon and ferrosilicon alloys.

SF displays an excellent pozzolanic material feature because of its high amount of SiO_2 content and its very fine amorphous structure. It is mostly a grey coloured nano-sized powder. SF grains fill the spaces between large cement granules, enhancing granulometry and generating a denser structure.

SF is known that strengthen the bonding at the aggregate interface of the cement matrix, fill the spaces in the concrete microstructure, create a more composite and denser structure with high composite, increase the compressive and tensile strengths, prevent the formation of bleeding and plastic shrinkage, reduces permeability, strengthens the concrete structure against harmful chemicals.

In this experimental study, the influence of SF and CW on the various properties of slag-based geopolymer composites was investigated. The properties of the resulting matrix were assessed using compressive strength, flexural strength, freeze-thaw, and the magnitude of ultrasonic pulse velocity (UPV) results of the composites.

Similarly, the previous studies in the literature increasing silica fume affects geopolymer positively. So, this study supports the other studies in this regard.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

GGBS was obtained from Bolu Cement Company situated in Turkey, and colemanite was provided from Eti Mine Bigadic Boron Works located in Turkey. The specific gravities of GGBS and CW were evaluated as 2.91 g/cm³ and 2.42 g/cm³, respectively. The chemical composition of GGBS was SiO₂: 41%, CaO: 36%, Al₂O₃: 13%, and MgO: 5.8%. These oxides only constitute approximately 95% of the total makeup of the GGBS used. The total of remaining compounds such as Fe₂O₃, TiO₂, K₂O, Na₂O, and loss on ignition contributes only 5%. In the case of CW, B₂O₃, LOI, CaO, and SiO₂ hold around 97% of the total composition, i.e. 40, 25, 27, and 5%, respectively. The oxides such as MgO, Fe₂O₃, Al₂O₃, and Na₂O share only the aggregate proportion of 3%. The SF used in this study contains more than 91% of SiO₂. The proportion of MgO, K₂O, LOI, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, and Na₂O were 4.1%, 2.6%, 1.7%, 0.38%, 0.15%, 0.32%, and 0.55%, respectively. SF was collected from Eti Antalya Electrometallurgy Inc. (Kepez-Antalya/Turkey), having a specific gravity of 2.20 g/cm³.

In the study, Rilem sand complying with the BS EN 196-1 [17] and Rilem Cembureau standards were utilized. The NaOH with the concentration of 8M and Na₂O₃ with a molar ratio (SiO₂/Na₂O) of 3.29 was used as alkaline activators.

2.2. Experimental Procedure

The details of mixtures experimented in this study is given in Table 1 and Figure 2, Respectively. Due to the lack of standard codes to prepare geopolymer mortar, previous works of literature are used as a

code of reference in the mixing process. The incorporation of SF and CW was considered a partial substitution with GGBS to prepare five mix designs as listed in Table 1. For all mixes, the GGBS ratio was adjusted to 20% of the total binder content. However, the different proportions of CW (Figure 1a) and SF (Figure 1b) were added to each independent mix design to determine the most appropriate proportion of the variable ingredients. In the beginning, SF and CW were mixed with alkaline solutions, and then 160 g GGBS was added to the mixing pan. Afterward, the prepared paste was mixed with sand to produce geopolymer mortar. The mortar was cast into oiled moulds with lubricating oil, and cured at room temperature until an intended date of the tests.

A compressive strength test was conducted after the 7th and 28th days using the (50×50×50) mm cubes; the procedure was done according to ASTM C 109 [18]. A flexural strength test was performed on 40×40×160 mm prismatic specimens after 7 and 28 days of curing period according to ASTM C 348 [19] standard procedure. Each series of mixes were checked for freeze-thaw cycles; they have been exposed to freeze-thaw cycles for a total of 60. The freezing and thawing period was done per cycle, with the temperature fluctuating between -18 °C for 90 minutes to 4 °C for 30 minutes. Also, ultrasonic pulse velocity tests were conducted in order to inspect the homogeneity of the manufactures matrix, the existence of possible cracks and defects. In this investigation, ultrasonic pulse velocity test was carried out for the manufactured samples to evaluate the performance of the matrix with the studied parameters and the investigated categories. After freezing-thaw exposure, the specimens were removed from the testing machine. The freezing-thaw effect on mortar specimens was investigated, and compressive strength, flexural strength, UPV, and weight loss were noted.

Table 1. Details of mixtures used

Mix ID	SF (gr)	CW (gr)	GGBS (gr)	SAND (gr)	SS (gr)	SH (8 M)
20S40C40SF (Control)	320	320	160	2400	270	90
20S45C35SF	280	360	160	2400	270	90
20S35C45SF	360	280	160	2400	270	90
20S50C30SF	280	400	160	2400	270	90
20S30C50SF	400	280	160	2400	270	90

*SF: silica fume, CW: colemanite waste, GGBS: ground granulated blast furnace slag, SAND: Rilem sand, SS: sodium silicate, SH: sodium hydroxide.



Figure 1. a) Colemanite waste sample, b) Silica fume sample

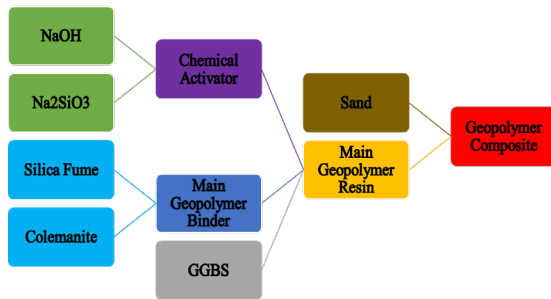


Figure 2. Mixing process in the conducted study

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. Compressive Strength

As illustrated in Figure 3, the 7th and 28th days comparison of the compressive strength results of the geopolymer mortars produced with the partial replacement of SF and CW is seen.

Overall, all series of the mixtures gained slightly more than 50% of their 28 days compressive strength on the 7th day. The compressive strength of the mortar samples increased with the increase of the SF ratio.

The 28-day compressive strength of the mortar mixture containing an equal proportion of SF and CW (20S40C40SF) stood at 33.31 MPa, around 47% higher than its 7-day compressive strength. This result dropped by around 4.77% with the application of 45% CW and 35% SF. However, the compressive strength of 20S35C45SF (35% CW

and 45% SF) rose to 36.27 MPa, increased by approximately 9% compared to specimens produced using an equal share of CW and SF. For the following mixture forms 20S50C30SF and 20S30C50SF, the 28-day compressive strength values were found as 28.65 MPa and 38.32 MPa, respectively. The maximum strength value was monitored in the mixture 20S30C50SF among the whole five mixtures. In contrast to this, the addition of 50% CW and 30% SF recorded the lowest strength result in comparison to the rest. However, the value obtained was still acceptable for use in the practical construction sector.

The further substitution of CW may negatively affect the compressive strength of the resulting specimen. As a result, the partial replacement of CW should be limited to a certain amount. According to this study, CW addition of up to 35% of the total binder ratio resulted in a better compressive strength. On the other hand, adding SF content up to 50% (maximum SF used in this study) positively contributed to the strength development throughout the mixes produced. These results are consistent with the studies conducted by Mucteba et. al. [20] and Ertugrul Erdogmus [21].

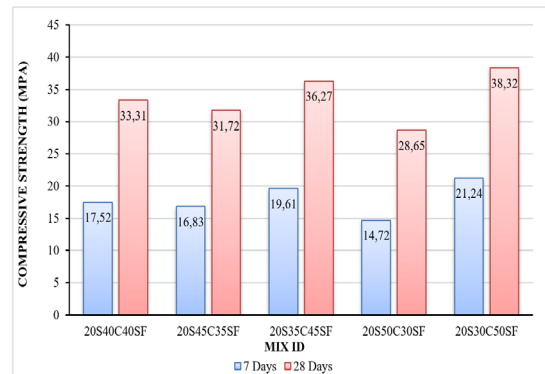


Figure 3. Compressive strength results of the mixtures at the 7th and 28th days

3.2. Flexural Strength

As illustrated in Figure 4, the 7-day and 28-day flexural strength results followed the same pattern as the compressive strength results.

In the beginning, the 7-day and 28-day flexural strength results of the mortar specimens prepared by adding an equal amount of SF and CW into slag (20S40C40SF) were recorded at 4.74 and 6.26 MPa, respectively. These values reduced by around 22.6% and 23% as the proportion of CW increased to 45% and SF decreased to 35% of the total paste content, where the slag ratio remained constant. In the third series of the mixture (20S35C45SF), where SF was 45%, and CW 35%, the 7-day and 28-day flexural strength rose to 5.63 and 6.58 MPa, respectively, which is approximately 18.8 and 5.1% higher than the flexural strength of specimens manufactured from a one-to-one ratio of SF and CW (20S40C40SF). According to this experimental study, the mortar specimens containing the highest percentage (50% of the total paste content) of CW reached the maximum reduction in flexural strength. However, the samples with the higher SF content (50%) gave the highest strength results.

Generally, the flexural strength rose consistently as the proportion of SF increased. In contrast, the strength decreased continuously as the percentage substitution of SF with CW increased. It was also observed that the specimens with a higher amount of SF could achieve more than 83% of their 28 days flexural strength in 7 days.

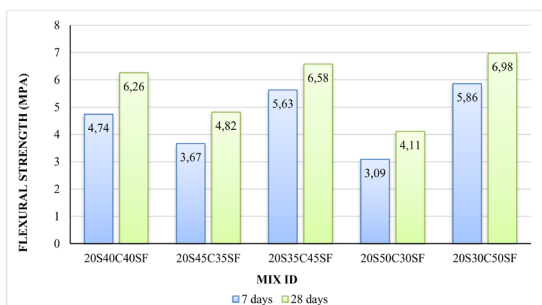


Figure 4. Flexural strength results at the 7th and the 28th days

3.3. Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

UPV test is a non-destructive test used to assess the homogeneity of the matrix and the dynamics in the structure of the mortar or concrete products. An ultrasonic pulse velocity test was carried out in this study, and the results are displayed in Figure 5.

According to Mouhcine et al. [22], the UPV test is illustrated as an appropriate method to determine qualitative properties of the concrete, such as the existence of defects, uniformity, and homogeneity of the matrix.

As observed from Figure 5, the increase in silica fume content caused a continuous rise in ultrasonic pulse velocity. For instance, the velocity of a mortar sample prepared from 50% SF content gave 2964 m/s, which is around 5.48% and 8.3% higher than the samples produced by adding 40% and 35% SF content, respectively. On the other hand, the results of the specimens with a higher amount of CW experienced a similar trend to that of compressive and flexural strength results. The samples with 50% CW resulted in the lowest ultrasonic pulse velocity, whereas those with 35% CW gave the highest velocity.

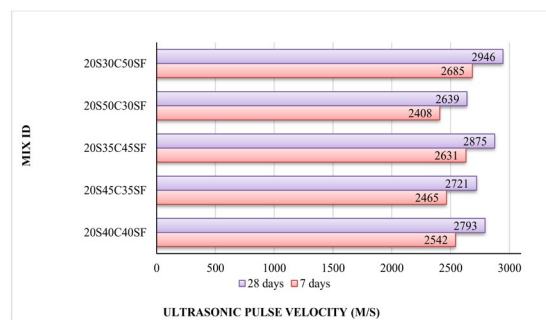


Figure 5. Ultrasonic pulse velocity test results at the 7th and 28th days

3.4. Freeze-Thaw Resistance

The impact of freezing-thawing on the geopolymer mortar mixtures was investigated in terms of Compressive strength, flexural strength, weight loss, and UPV. In Table 2, the quantitative details of all the parameters (compressive strength, flexural strength, UPV and weight loss) were given.

As shown in Table 2, both compressive strength and UPV results arose after being subjected to freeze-thaw cycles. On top of these, the specimen's weight was also increased after exposure to the freezing-thaw cycle. This can be attributed to the development of dense and compact structures due

to exposure to iterative freeze and thaw cycles. Therefore, water could not penetrate the mortar matrix easily. Also, it can be justified as the continuation of the geopolymerization process due to the surrounding environment, which enhanced the geopolymer matrix's microstructural characteristics. This result is in line with the study

by Yunsheng et. al. [23]. On the other hand, the flexural strength of mortar samples saw a reduction after being subjected to freeze-thaw cycles. Based on the experimental results and analysis, the addition of SF and CW into slag-based geopolymer mortar exhibits excellent resistance to freeze-thaw cycles.

Table 2. The results before and after the freeze-thaw test

Mix ID	Compressive strength (MPa)		Flexural strength (MPa)		UPV (m/s)		Weight loss (%)
	Before	After	Before	After	Before	After	
20S40C40SF	33.31	36.65	6.26	4.31	2793	2875	0.34
20S45C35SF	31.72	34.93	4.82	3.45	2721	2814	0.49
20S35C45SF	36.27	38.79	6.58	4.59	2875	2956	0.27
20S50C30SF	28.65	31.45	4.11	2.85	2639	2743	0.56
20S30C50SF	38.32	40.18	6.98	4.92	2946	3082	0.19

3.5. Correlation Between Some Properties of the Resulting Matrix

To assess the consistency between the properties of the samples, the correlation relationship between 'compressive strength vs. UPV' and 'compressive strength vs. flexural strength' was carried out by using Linear Regression Analysis with Microsoft Office Excel program. The coefficient of correlation (R^2), which represents the degree of

correlation, between the 'compressive strength vs. UPV' and 'compressive strength vs. flexural strength' were calculated as 0.9956 (99.5%) and 0.9095 (90.9%), respectively (strong positive relationship) which is significantly higher than the expected minimum correlation factor of 75% as can be seen from Figures 6 and 7. According to these values, it can be stated that the Linear Regression Analysis showed a satisfactory relation between the investigated parameters. cycles.

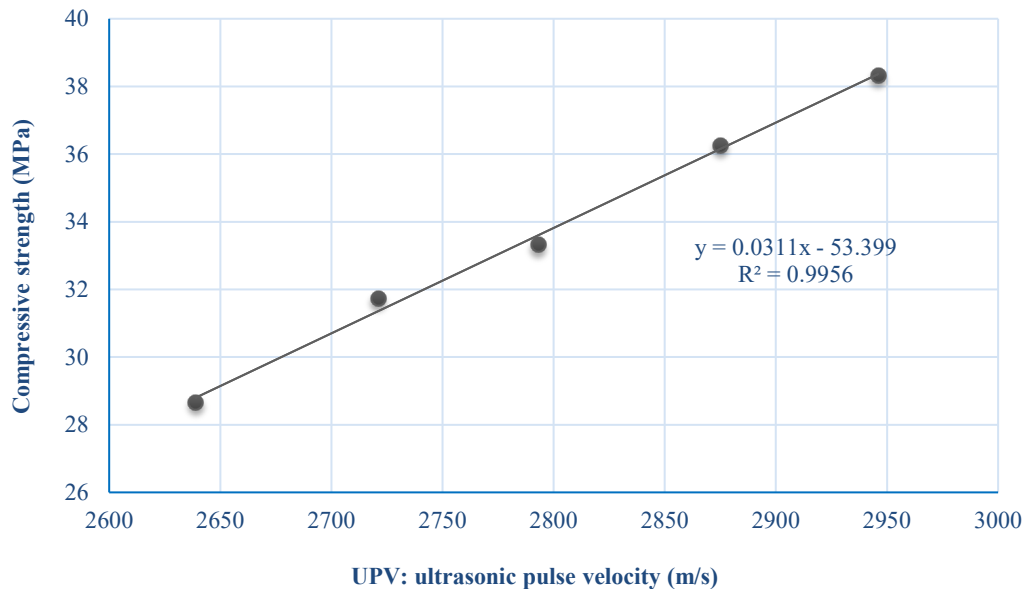


Figure 6. Linear regression analysis between UPV and compressive strength (28-day results)

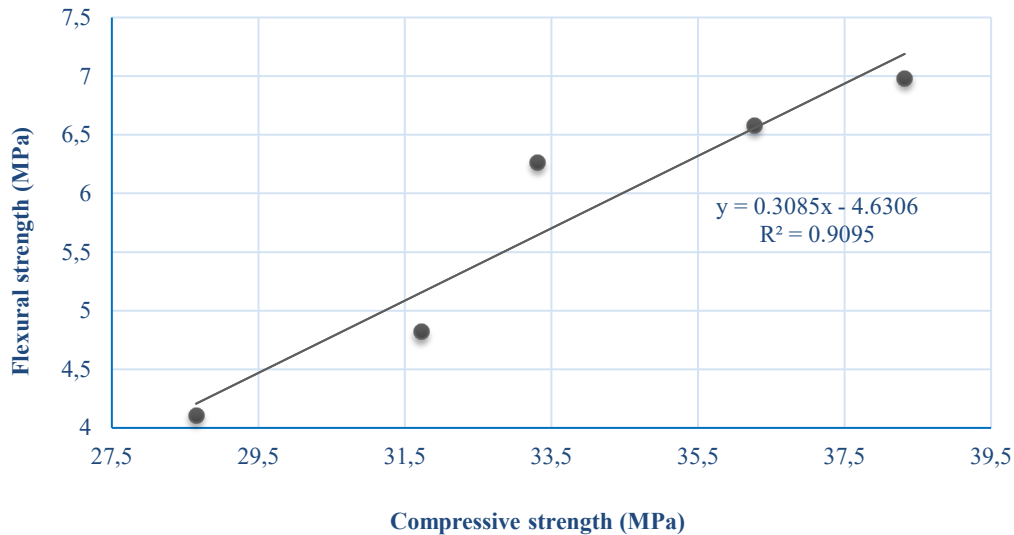


Figure 7. Linear regression analysis between compressive strength and flexural strength (28-day results)

4. CONCLUSION

The impact of the various proportions of SF and CW in slag-based geopolymer mortar on strength properties and freeze-thaw resistance were investigated, and the results were discussed. The geopolymer mortar containing higher SF gives better compressive strength, flexural strength and UPV results comparing to the specimens produced using a higher proportion of CW. In general, these values increased with the increase of SF content. According to this research, 50% inclusion of SF recorded the highest strength results, and the correlation relationship is satisfactory among different properties of the resulting mortar samples. However, to maintain sustainability and reduce the possible upcoming pressure on a single source of materials, the diversified use of materials should be practised without compromising core environmental and engineering properties. Therefore, the inclusion of a certain amount of CW must be practised since it does not cause a significant reduction in the overall strength of the resulting samples.

In conclusion, geopolymer concrete might be considered an eco-friendly, innovative, groundbreaking alternative as a material to traditional Portland cement concrete. In the future,

by using geopolymer, the detrimental effects of the cement industry on the environment and atmosphere can be minimised, and the reusing of the industrial wastes can be increased. However, further investigations are required so as to decide if geopolymer can be replaced with Portland cement.

5. REFERENCES

1. Malhotra, V.M., 2002. Introduction: Sustainable Development and Concrete Technology. *Concrete International*; 24(7), 1-22.
2. Yang, K.H., Song, J.K., Song, K.II, 2013. Assessment of CO₂ Reduction of Alkali-activated Concrete. *Journal of Cleaner Production*, 39, 265-272.
3. Madhavi, T.C., Rameshwaran, P.M., 2020. Geopolymer Concrete-The Eco Friendly Alternate to Concrete. *NBM and CW Infra Construction and Equipment Magazine*.
4. Abdel Wahab, M., Abdel Latif, I., Kohail, M., Almasry, A., 2017. The Use of Wollastonite to Enhance the Mechanical Properties of Mortar Mixes. *Construction and Building Materials*, 152, 304-309.
5. Mayhoub, O.A., El-Sayed, A.R.N., Yehia, A., Kohail, A., 2021. Properties of Slag Based

- Geopolymer Reactive Powder Concrete. *Ain Shams Engineering Journal*, 12, 99-105.
6. Black, L., 2016. Low Clinker Cement as a Sustainable Construction Material. In: *Sustainability of Construction Materials* (2nd ed), University of Leeds, Leeds, United Kingdom, 416-457.
 7. Bernal, S.A., Rodri'guez, E.D., de Gutie'rrez, R.M., Gordillo, M., Provis, J.L., 2011. Mechanical and Thermal Characterization of Geopolymer Based on Silicate-Activated Metakaolin/Slag Blends. *Journal of Material Science*, 46, 5477-5486.
 8. Davidovits, J., 1991. Geopolymers: Inorganic Polymeric New Materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 37, 1633-1656.
 9. Rostami, M., Behfarnia, K., 2017. The Effect of Silica Fume on Durability of Alkali-Activated Slag Concrete. *Construction and Building Materials*, 134, 262-268.
 10. Okoye, F.N., Prakasha, S., Singh, N.B., 2017. Durability of Fly Ash Based Geopolymer Concrete in the Presence of Silica Fume. *Journal of Cleaner Production*, 149, 1062-1067.
 11. Okoye, F.N., Durgaprasada, J., Singh, N.B., 2016. Effect of Silica Fume on The Mechanical Properties of Fly Ash. *Ceramics International*, 42, 3000-3006.
 12. Demir, D., Keles, G., 2006. Radiation Transmission of Concrete Including Boron Waste for 59.54 and 80.99 keV Gamma Rays. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 245(2), 501-504.
 13. Bideci, Ö.S., 2016. The Effect of High Temperature on Lightweight Concretes Produced with Colemanite Coated Pumice Aggregates. *Construction and Building Materials*, 113, 631-640
 14. Abalı, Y., Bayca, S.U., Targan, S., 2006. Evaluation of Blends Tincal Waste, Volcanic Tuff, Bentonite and Fly Ash for use as Cement Admixture. *Journal of Hazardous Materials*, B131, 126-130.
 15. Elbeyli, İ.Y., Derun, E.M., Gülen, J., Pişkin, S., 2003. Thermal Analysis of Borogypsum and Its Effects on The Physical Properties of Portland Cement. *Cement and Concrete Research*, 33, 1729-1735.
 16. Kaplan, M.F., 1989. *Concrete Radiation Shielding*. Press: John Wiley and Sons, New York, 448.
 17. BS EN 196-1, 2016. BSI Standards Publication *Methods of Testing Cement Part 1: Determination of Strength*.
 18. ASTM, 2010. *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens) 1. Chemical Analysis, (C109/C109M – 11b)*, 1-9.
 19. ASTM C348, 1998. *Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars ASTM C348, Annu. B. ASTM Stand. 4, 2-7*.
 20. Uysal, M., Al-Mashhadani, M.M., Aygörmöz, Y., Canpolat, O., 2018. Effect of Using Colemanite Waste and Silica Fume as Partial Replacement on the Performance of Metakaolin-Based Geopolymer Mortars. *Construction and Building Materials*, 176, 271-282.
 21. Erdogmus, E., 2014. Combined Effect of Waste Colemanite and Silica Fume on Properties of Cement Mortar. *Science and Engineering Composite Materials*, 21(3), 369-375.
 22. Benaicha, M., Jalbaud, O., Alaoui, A.H., Burtshell, Y., 2015. Correlation Between the Mechanical Behavior and the Ultrasonic Velocity of Fiber-Reinforced Concrete. *Construction and Building Materials*, 101, 702-709.
 23. Yunsheng, Z., Sun, W., Li, Z., Zhou, X., Eddie, Chau, C. 2008. Impact Properties of Geopolymer Based Extrudates Incorporated With Fly Ash and PVA Short Fiber. *Construction and Building Materials*, 22, 370-383.

EYM ile Üretilen YMK Yapılı Numunelerde Kenar Genişliğinin Basma Dayanımı Üzerine Etkisinin Araştırılması

Oğuz TUNÇEL*¹ ORCID 0000-0002-6886-6367

Mümin TUTAR² ORCID 0000-0002-7286-3433

¹Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Siirt

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Yenisehir İbrahim Orhan Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Bursa

Geliş tarihi: 29.08.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/How to cite: TUNÇEL, O., TUTAR, M., (2023). EYM ile Üretilen YMK Yapılı Numunelerde Kenar Genişliğinin Basma Dayanımı Üzerine Etkisinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 851-858.

Öz

Bu çalışmada, 3 boyutlu baskı (3D printing) kullanılarak üretilen farklı kenar genişliklerine sahip yüzey merkezli kübik YMK yapıları numunelerin basma dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. PLA malzemesi kullanılarak Eriyik Yığılma Modellemesi (EYM) yöntemi ile numuneler üretilmiştir. Kenar genişliği arttıkça, maksimum basma yüklerinde ve basma dayanımlarında artışlar gözlemlenmiştir. En düşük yük 1,2 mm kenar genişliğinde 2849 N iken, en yüksek yük 2,4 mm kenar genişliğinde 6351 N olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde, en düşük basma gerilimi 34,76 MPa ile 1,2 mm kenar genişliğinde, en yüksek basma gerilimi ise 40,15 MPa ile 2,4 mm kenar genişliğinde kaydedilmiştir. Kenar genişliğinin artmasıyla birlikte maksimum yük/kütle değeri %33,1 oranında artış göstermiştir. Sonuçlar, 3D baskı üretiminde kenar genişliğinin tasarım faktörü olarak önemini vurgularken, daha geniş kenar genişliklerinin ürünlerin mekanik dayanıklılığını artırabileceğini ve uygulama gereksinimlerine uygunluğunu sağlayabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Eriyik yığılma modelleme, Basma dayanımı, Yüzey merkezli kübik kafes, Kenar genişliği

Investigation of the Effect of Edge Width on Compressive Strength of FCC Structured Specimens Produced with FDM

Abstract

In this study, the effect of different edge widths of face-centered cubic (FCC) lattice structures, manufactured using the Fused Deposition Modeling (FDM) method with PLA material, on compressive strength was investigated using 3D printing technology. As the edge width increased, an increase in maximum compressive loads and compressive strengths was observed. The lowest load was measured as 2849 N for the sample with a 1,2 mm edge width, while the highest load was recorded as 6351 N for the sample with a 2,4 mm edge width. Similarly, the lowest compressive stress was 34,76 MPa for the 1,2 mm

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Oğuz TUNÇEL, oguz.tuncel@siirt.edu.tr

edge width, and the highest compressive stress was 40,15 MPa for the 2,4 mm edge width. An increase in edge width led to a 33,1% increase in the maximum load-to-mass ratio. The results emphasize the significance of edge width as a design parameter in 3D printing production, suggesting that wider edge widths could enhance the mechanical robustness of products and cater to application-specific requirements. This study highlights the importance of considering edge width during the design phase, and further investigations involving various sample designs or material selections could provide deeper insights into the influence of edge width on compressive strength.

Keywords: Fused deposition modelling, Compressive strength, Face centered cubic lattice, Edge width

1. GİRİŞ

Ekleme imalat (Eİ) yöntemi evrensel olarak savunmadan havacılık ve uzay sanayine, otomotivden biyomedikal sektörüne kadar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Ön plana çıkan ve geniş bir kesimin ilgi odağı haline gelen 3 boyutlu baskı teknolojisi ise mevcut ve gelecekteki imalat sürecini şekillendirecek önemli bir teknolojik gelişmedir [1-3]. Eİ çeşitli teknikler kullanır ve bunlar arasında Eriyik Yığıma Modellemesi (EYM) en yaygın kullanılan ve popüler işlemlerden biridir. EYM işlemi ile termoplastik filament malzeme eritilir ve istenen geometriyi elde etmek için hareketli bir nozul ile katman katman birleştirilir. Ayrıca bu yöntemde Polilaktik asit (PLA), Polipropilen (PP), Akrlonitril bütadien stiren (ABS), Polikarbonat (PC) gibi farklı polimerik malzemeler ve kompozitler kullanılabilir ve böylece farklı mukavemet ve termal gereksinimlere göre yapılar üretilmektedir[4-7].

Kafes yapılar, yüksek özgül mukavemet ve sertlikleri, yüksek darbe direnci ve iyi enerji emme kapasiteleri nedeniyle otomobil, havacılık, denizcilik ve ulusal savunma gibi çok çeşitli mühendislik alanlarında önemli uygulama potansiyeline sahiptir [8,9]. Araştırmacılar, yapısal geometrileri ve mekanik özellikleri arasındaki temel ilişkileri ortaya çıkarmaya odaklanmışlardır. Bal peteği, Kagome, sekizli kafes, yüz merkezli kübik (YMK), hacim merkezli kübik (HMK) ve benzeri birim hücrelerin periyodik olarak bir araya getirilmesiyle birçok kafes yapı inşa edilmiştir [10,11]. Son zamanlarda, Eİ teknolojisinin hızlı gelişimi, karmaşık 3B kafes yapıların imalatını önemli ölçüde kolaylaştırmış ve böylece kafes

yapıların benzeri görülmemiş özelliklerini keşfetmek için avantajlı bir yaklaşım sağlamıştır. Geçtiğimiz on yıl boyunca, mekanik özelliklerini keşfetmek için çeşitli kafes yapıların modellenmesi, üretilmesi ve test edilmesine yönelik bir çok çaba sarf edilmiştir [12-14].

Eİ teknolojisinin hızlı gelişimi, kafes yapılar üzerine yapılan araştırmalara son derece kolaylık ve hatırı sayılır bir özgürlük kazandırmıştır [15]. Yüksek enerji emme performansı elde etmek için birçok yeni ve karmaşık kafes yapı tasarlanmış ve üretilmiştir[16]. Cho ve arkadaşları [17] dört farklı kafes yapısı için gerilme dağılımı ve deformasyon dağılımı doğrulanmıştır. Çalışmalarında YMK yapısında yükün kafes boyunca dağıtıldığı görülmüştür. Dönmez [18] Pla'dan üretilen basit, YMK ve elmas kübik yapıların basma yükü altındaki karakterizasyonunu incelemiştir. İçi boş kafes parametrelili elmas kübik kafes, tek eksenli sıkıştırma yükleme koşulu altında en iyi performansı gösteren kafes olmuştur. Aziz ve arkadaşları [19] ticari olarak temin edilebilen bir PLA polimerin eklemeli imalat ile üretilen kafes yapılarının mekanik özellikleri üzerindeki boyut durumları araştırılmaktadır. Hacim merkezli kübik numunelerde kenar uzunluğu dört kat artırıldığında basınç dayanımının yaklaşık %18 arttığı gösterilmiştir. Bouteldja ve arkadaşları [20] YMK, HMK ve YMK+HMK kafes yapıları Tough-PLA ve ABS malzemelerinden üretilmiş kafes yapıların basma dayanımlarını ölçmüştür. Basma dayanımları sıralaması büyükten küçüğe YMK-HMK, YMK, HMK şeklinde olmuştur. Ayrıca Tough-PLA malzemesi ABS'ye göre daha yüksek dayanım göstermiştir. Garcia ve Chua [21] çalışmalarında eşit miktar malzeme kullanarak

HMK, YMK ve Oktet kafes yapısına sahip 3 dikme tabanlı numuneye basma testi uygulamışlardır. Sonuçlar HMK, YMK ve Oktet kafes yapılarının sırasıyla 11,25 MPa, 8,47 MPa ve 7,44 MPa basınç dayanımına sahip olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada, Şekil 1'de gösterildiği gibi, geleneksel YMK kafes yapılarına dayanarak geliştirilmiş yeni bir yapı önerilmiştir. Bu yeni yapıdan dört farklı kenar genişliğine sahip numune EYM yöntemi ile üretilerek kenar genişliğinin basma dayanımı üzerene etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

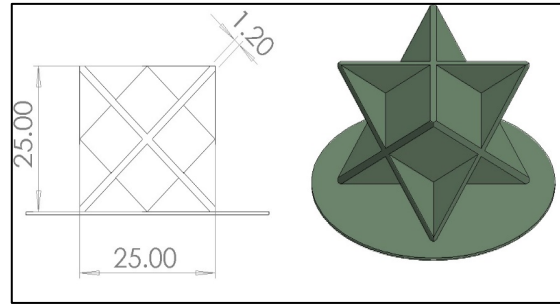
EYM malzeme çeşitleri arasında mühendislik polimerleri (örn. naylon ve PETG), termoplastikler (örn. PLA ve ABS) ve kompozit malzemeler (örn. karbon fiber kompozit ve cam fiber kompozit) yer almaktadır; bunların arasında PLA, biyolojik olarak parçalanabilirliği, toksik olmaması, düşük camı geçiş sıcaklığı, düşük fiyatı ve orta düzeyde esnekliği nedeniyle en yaygın kullanılan filamenttir. Bu çalışmada, numune üretimi için kullanılan malzeme 1,75 mm çapında PLA filamentidir. Simplfy3D dilimleme yazılımı ve Creality Ender3 Pro çalışmada deneysel baskıları üretmek için kullanılmıştır (Çizelge 1). Kullanılan PLA malzeme 56 MPa çekme mukavemeti, 2850 MPA elastik modül, %7 kopma uzaması ve 14.2 kJ/m² çentik darbe dayanımına sahiptir.

Çizelge 1. Üretimde kullanılan yazıcı, dilimleme programı ve sabit parametreler.

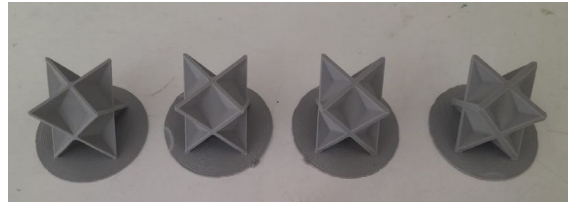
Yazıcı	Creality Ender3 Pro
Dilimleme programı	Simplfy3D
Katman yüksekliği (mm)	0,2
Tabla sıcaklığı (°C)	50
Nozul sıcaklığı (°C)	200

Kafes yapı tasarımı için, araştırma çalışmalarında en yaygın kullanılan türlerden biri olan kübik yapı dikkate alınarak incelenmiştir. Kafes yapı tasarımı için YMK birim hücre tasarlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan birim hücre ve kafes yapılarının bilgisayar destekli tasarım (CAD) modelleri Şekil 1'de sunulmuştur. Yazarlar,

kullanılan birim hücre tipinden bağımsız olarak kenar genişliğinin mekanik özellikler üzerindeki etkisinin ne olduğunu tespit etmek için 4 farklı kenar genişliğinde numuneler üretilmişlerdir (Şekil 2). 6 hat içeren 2,4 mm kenar genişliğine sahip numunenin yakından görünümü Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 1. 1,2 mm kenar genişliğine sahip bir numunenin çizimi



Şekil 2. EYM yöntemi ile üretilen farklı kenar genişliklerinde YMK kafes yapısına sahip numuneler



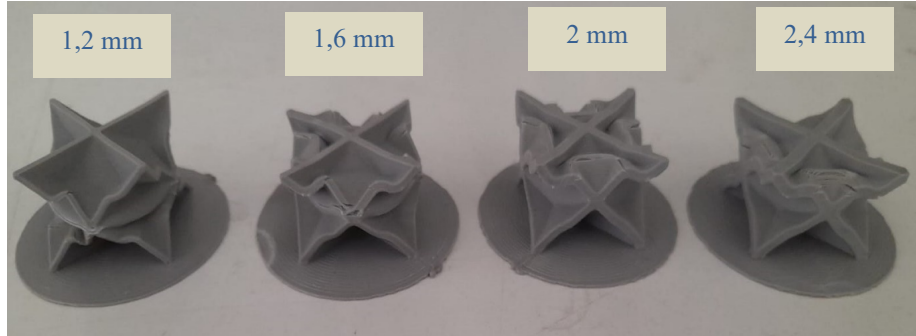
Şekil 3. 6 hat içeren numunenin kenarının (2,4 mm) yakından görünümü. 1 hat 0,4 mm genişliğindedir

Basma testleri, 20 kN yük kapasitesine sahip GUNT WP 300 üniversal malzeme test cihazı kullanılarak 5 mm/dk basma hızı ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz ve basma testi sonrası numunelerin görüntüleri sırasıyla Şekil 4 ve 5'te gösterilmiştir. Deneyler

sırasında çene hızı 5 mm/dk seçilmiş ve deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Kuvvet değerleri basınç transdüserinden alınmıştır. Her bir kenar genişliği değeri için 4 numune test edilmiştir.



Şekil 4. Deneylerde kullanılan GUNT WP 300 marka üniversal test cihazı

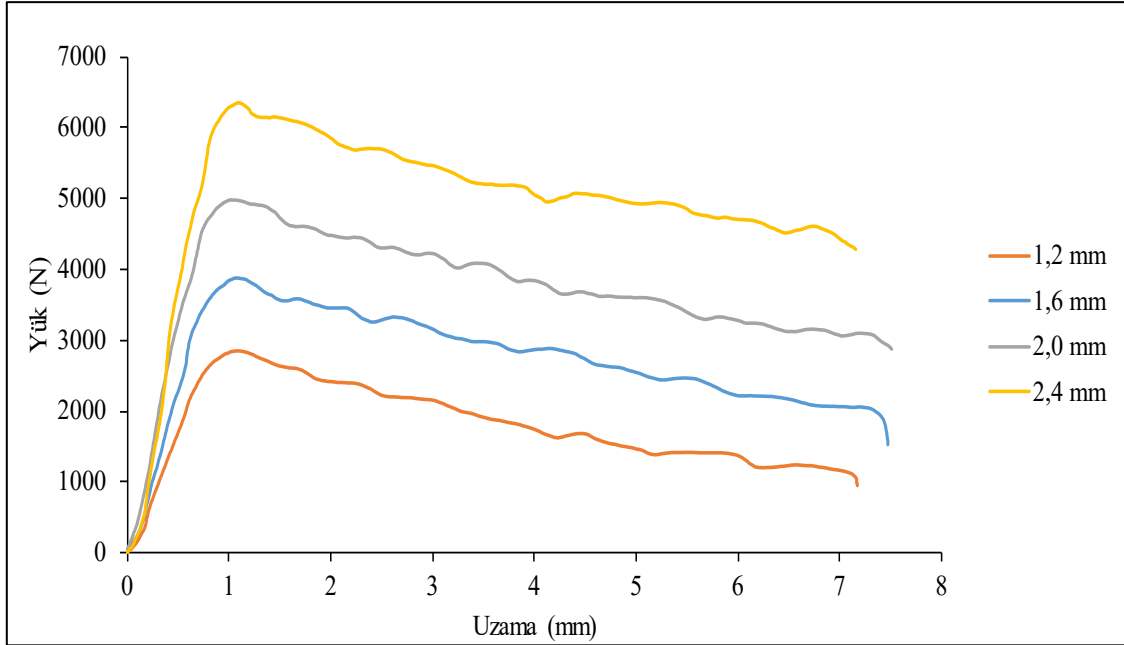


Şekil 5. Basma deneyi sonrası farklı kenar genişliklerindeki numunelerin görünümü

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Dört farklı kenar genişliğine sahip PLA 3 boyutlu baskılı numuneler için basma testi grafikleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Verilere dayanarak, PLA 3 boyutlu baskılı numunelerin basma dayanıklılığı üzerinde kenar genişliğinin belirgin bir etkisi olduğunu söyleyebiliriz. Kenar genişliğindeki artış

ile birlikte basma yükünde artışlar olmuştur. Dört numune içerisinde en düşük basma yükü 1,2 mm kenar genişliğine sahip numunede 2849 N iken, en yüksek basma yükü 2,4 mm kenar genişliğine sahip numunede 6351 N'dur. Kenar genişliğinin 1,2 mm'den 2,4 mm'ye artışı ile basma yükünde %123'lük bir artış gerçekleşmiştir.



Şekil 6. Farklı kenar genişliklerinde yük-uzama değişim eğrileri

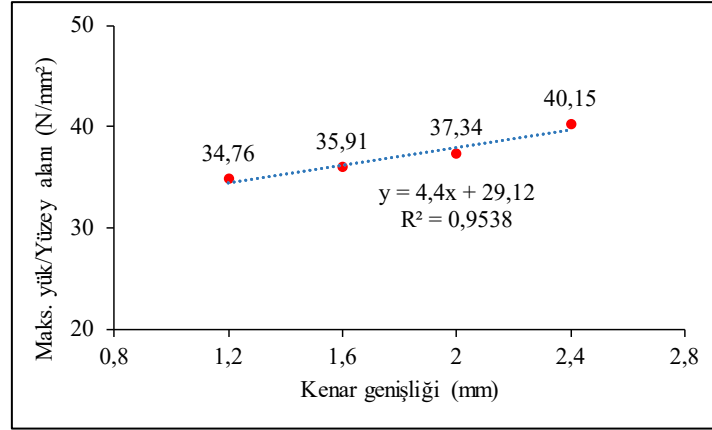
Basma numunelerinin yüzey alanları ile ilişkili olan gerilme değerlerinin karşılaştırılabilmesi için CAD modeli üzerinden yüzey alanı hesabı yapılmıştır. Ayrıca özgül dayanımları değerlendirebilmek için de 0,01 g hassasiyetli Super Scale SS-H modeli hassas terazi ile kütle ölçümleri yapılmıştır. Kenar genişliği ile değişen yüzey alanı (mm^2) ve ölçülen kütle (g) değerleri Çizelge 2’de gösterilmiştir. Daha geniş bir kenar genişliği, daha büyük bir yüzey alanı ve daha yüksek bir kütleyle yol açmıştır.

Çizelge 2. Kenar genişliği değişimi ile yüzey alanı ve kütle değişimi.

Kenar Genişliği (mm)	Yüzey alanı (mm^2)	Kütle (g)
1,2	81,97	4,30
1,6	108,02	5,25
2,0	133,42	6,20
2,4	158,19	7,70

Şekil 6’da gösterilen maksimum basma kuvvetlerinin Çizelge 2’de verilen yüzey alanlarına bölünmesi sonucu basma dayanımları N/mm^2

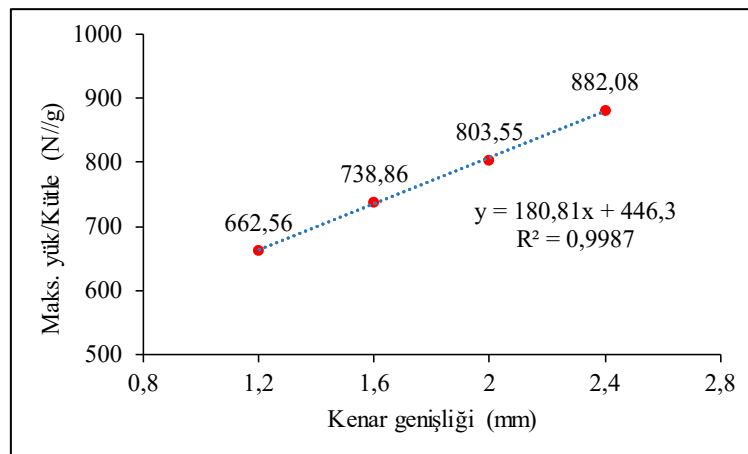
(MPa) cinsinden Şekil 7’de gösterilmiştir. Şekil 7’de sunulan basma dayanımı sonuçları, numunelerin mekanik performansının daha ayrıntılı bir açıdan değerlendirilmesini sağlar. Kenar genişliği artışı ile birlikte basma gerilmesinde lineere yakın ($R^2=0,9538$) bir artış olmuştur. Bu, kenar genişliği ile basma dayanımı arasında güçlü ve pozitif bir ilişki olduğunu gösterir. En düşük basma gerilmesi 34,76 MPa ile 1,2 mm kenar genişliğine sahip numunede olurken, en yüksek basma gerilmesi 40,15 MPa ile 2,4 mm kenar genişliğine sahip numunededir. Kenar genişliğinin 1,2 mm’den 2,4 mm’ye artışı ile basma gerilmesindeki artış % 15,5 olmuştur. Kenar genişliği artışıyla birlikte basma dayanımında meydana gelen artış, numunelerin daha geniş kesitlere sahip olmalarının etkisi olarak görülmektedir. Bu, tasarım aşamasında kenar genişliği seçiminin ürünün istenilen mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Uzama değerlerine bakıldığında ise genel itibariyle 1 mm basma sonucu yükün maksimum seviyeyi çıktığı görülmektedir.



Şekil 7. Kenar genişliği ile maksimum yük/yüzey alanı değişimi

Kütle artışı ile maksimum yükteki artış kullanılan malzeme miktarı ile elde edilen yük arasında kıyaslama yapmamızı sağlamaktadır. Kenar genişliği ile değişen kütle değişimleri Çizelge 2’de verilmiştir. Dört farklı kenar genişliği için elde edilen maksimum yüklerin kütlelere bölünmesi ile Şekil 8 oluşturulmuştur. Kuvvet ve gerilme grafiklerinde olduğu gibi maksimum yüklerin kütlelere bölünmesi ile elde edilen değerler kenar genişliği artışı ile artmıştır. Bu artış lineer olmuştur ($R^2=0,9987$). Minimum yük/kütle değeri 1,2 mm kenar genişliğine sahip numunede 662,56 N/g olurken, maksimum yük/kütle değeri 2,4 mm kenar genişliğine sahip numunede 882,08 N/g’dir. Kenar genişliğinin 1,2 mm’den 2,4 mm’ye artması ile maksimum yük/kütle değeri % 33,1 kadar artmıştır.

Bu sonuçlar, 3 boyutlu baskı üretiminde kenar genişliğinin önemli bir tasarım faktörü olduğunu vurgulamaktadır. Daha büyük kenar genişlikleri, ürünün mekanik dayanıklılığını artırabilir ve uygulama gereksinimlerine göre daha yüksek yükler altında çalışabilme yeteneği sunabilir. Bu nedenle, tasarım aşamasında kenar genişliği seçiminin dikkatlice yapılması önemlidir. Aynı zamanda, numune boyutları ve geometrisi gibi diğer faktörlerin de sonuçları etkileyebileceğini unutmamak önemlidir. Farklı numune tasarımları veya malzeme seçimleri, kenar genişliğinin basma dayanıklılığına olan etkisini daha ayrıntılı bir şekilde anlamamıza yardımcı olabilir.



Şekil 8. Kenar genişliği ile maksimum yük/kütle değişimi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada EYM prosesi için YMK yapılı numunelerde kenar genişliğinin basma dayanımı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Bu araştırmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Verilerin analizi, PLA malzemesi kullanılarak 3 boyutlu yazıcıyla oluşturulmuş dört farklı kenar genişliğine sahip örneklerin basma dayanıklılığı üzerinde kenar genişliğinin belirgin bir biçimde etkili olduğunu ortaya koymuştur.
- Numune kenar genişlikleri arttıkça, maksimum yük de neredeyse lineer bir şekilde artmıştır. En düşük yük, 1,2 mm kenar genişliğinde 2849 N iken, en yüksek yük 2,4 mm kenar genişliğinde 6351 N olarak ölçüldü. Kenar genişliği 1,2 mm'den 2,4 mm'ye çıktığında basma yükü %123 arttı.
- 1,2 mm kenar genişliğine sahip numunede en düşük basma gerilimi 34,76 MPa olarak kaydedildi, 2,4 mm kenar genişliğine sahip numunede ise en yüksek basma gerilimi 40,15 MPa olarak ölçüldü. Kenar genişliği artışıyla basma geriliminde %15,5 oranında bir artış gözlemlendi.

Kenar genişliğinin 1,2 mm'den 2,4 mm'ye artması ile maksimum yük/kütle değeri %33,1 kadar artmıştır. Numunelerin yük taşıma kapasitesinin numune kütlesi ile lineer bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Mohanavel, V., Ashraff Ali, K.S., Ranganathan, K., Allen Jeffrey, J., Ravikumar, M.M., Rajkumar, S., 2021. The Roles and Applications of Additive Manufacturing in the Aerospace and Automobile Sector. *Materials Today: Proceedings*, 47, 405-409.
2. Bandyopadhyay, A., Heer, B., 2018. Additive Manufacturing of Multi-material Structures. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 129,1-16.
3. Yusuf, S. M., Cutler, S., Gao, N., 2019. Review: The Impact of Metal Additive Manufacturing on the Aerospace Industry. *Metals*, 9(12),1286.
4. Penumakala, P.K., Santo, J., Thomas, A., 2020. A Critical Review on the Fused Deposition Modeling of Thermoplastic Polymer Composites. *Composites Part B: Engineering*, 201, 108336.
5. Demirci, E., Şenaysoy, S., Tuğcu, S.E., 2023. the Effect of Nozzle Diameter and Layer Thickness on Mechanical Behaviour of 3d Printed Pla Lattice Structures Under Quasi-Static Loading. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 7(1), 105-113.
6. Phan, D.D., Horner, J.S., Swain, Z.R., Beris, A. N., Mackay, M.E., 2020. Computational Fluid Dynamics Simulation of the Melting Process in the Fused Filament Fabrication Additive Manufacturing Technique. *Additive Manufacturing*, 33, 101161.
7. Ergene, B., Bolat, C., 2023. Simulation of Fused Deposition Modeling of Glass Fiber Reinforced ABS Impact Samples: The Effect of Fiber Ratio, Infill Rate, and Infill Pattern on Warp and Residual Stresses. *Hittite Journal of Science and Engineering*, 10(1), 21-31.
8. Ergene, B., Yalçın, B., 2023. Investigation on Mechanical Performances of Various Cellular Structures Produced with Fused Deposition Modeling (FDM). *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(1), 201-217.
9. Çakan, B.G., Ensarioğlu, C., Küçükakarsu, V. M., Tekin, I.E., Cemal Çakır, M., 2021. Experimental and Numerical Investigation of In-Plane and Out-of-Plane Impact Behaviour of Auxetic Honeycomb Boxes Produced by Material Extrusion. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(3), 1657-1667.
10. Borikar, G.P., Patil, A.R., Kolekar, S.B., 2023. Additively Manufactured Lattice Structures and Materials : Present Progress and Future Scope. *Korean Society for Precision Engineering*.
11. Sun, Z.P., Guo, Y.B., Shim, V.P.W., 2021. Characterisation and Modeling of Additively-Manufactured Polymeric Hybrid Lattice Structures for Energy Absorption. *International Journal of Mechanical Sciences*, 191.
12. Wang, P., Yang, F., Li, P., Zheng, B., Fan, H. 2021. Design and Additive Manufacturing of a

- Modified Face-Centered Cubic Lattice with Enhanced Energy Absorption Capability. *Extreme Mechanics Letters*, 47, 101358.
13. Tutar, M., 2023. A Comparative Evaluation of the Effects of Manufacturing Parameters on Mechanical Properties of Additively Manufactured PA and CF-Reinforced PA Materials. *Polymers*, 15, 38.
 14. Chen, L.Y., Liang, S.X., Liu, Y., Zhang, L.C., 2021. Additive Manufacturing of Metallic Lattice Structures: Unconstrained Design, Accurate Fabrication, Fascinated Performances, and Challenges. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 146, 100648.
 15. Verma, S., Yang, C.K., Lin, C.H., Jeng, J.Y., 2022. Additive Manufacturing of Lattice Structures for High Strength Mechanical Interlocking of Metal and Resin During Injection Molding. *Additive Manufacturing*, 49, 102463.
 16. Zhang, J., Huang, H., Liu, G., Zong, H., Zhang, C., 2021. Stiffness and Energy Absorption of Additive Manufactured Hybrid Lattice Structures. *Virtual and Physical Prototyping*, 16(4), 428-443.
 17. Cho, S.G., Lee, J.S., 2021. FEM Analysis of 3D Lattice Structures of ABS Material, *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(6), 648-652.
 18. Dönmez, A., 2022. Production and Characterization of Simple, Face Centered and Diamond Cubic Lattices by Fused Deposition Modeling Using Polylactic Acid. Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Bilimleri Ana Bilim Dalı, 94.
 19. Aziz, A.R., Zhou, J., Thorne, D., Cantwell, W. J., 2021. Geometrical Scaling Effects in the Mechanical Properties of 3d-Printed Body-Centered Cubic (BCC) Lattice Structures. *Polymers*, 13(22), 3967.
 20. Bouteldja, A., Louar, M.A., Hemmouche, L., Gilson, L., Miranda-Vicario, A., Rabet, L., 2023. Experimental Investigation of the Quasi-Static and Dynamic Compressive Behavior of Polymer-Based 3D-Printed Lattice Structures. *International Journal of Impact Engineering*, 180, 104640.
 21. Garcia, R.F., Chua, A., 2022. High Compressive Strength 3D Printed Infill Based on Strut-Based Lattice Structure. *ASEAN Engineering Journal*, 12(4), 89-94.

Eşit Kanallı Açısal Presleme Yönteminde Kanal Açılarının ve İç Köşe Kavisinin Deformasyona Etkisinin Sonlu Elemanlar Metodu ile İncelenmesi

Erhan BAYSAL¹ ORCID 0000-0002-2767-8722

Oğuz KOÇAR*² ORCID 0000-0002-1928-4301

Nergizhan ANAÇ² ORCID 0000-0001-6738-9741

Ferudun DARICI² ORCID 0000-0003-2036-6387

¹Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Alaplı Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Zonguldak

²Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

Geliş tarihi: 13.07.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: BAYSAL, E., KAÇAR, O., ANAÇ, N., DARICI, F., (2023). Eşit Kanallı Açısal Presleme Yönteminde Kanal Açılarının ve İç Köşe Kavisinin Deformasyona Etkisinin Sonlu Elemanlar Metodu ile İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 859-873.

Öz

Aşırı plastik deformasyona maruz bırakılma işlemi, malzemenin mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla ultra ince tanelerin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Aşırı plastik deformasyon yöntemlerinden biri olan Eşit Kanallı Açısal Presleme (EKAP) yöntemi de malzeme kesitinde herhangi bir değişiklik olmadan, malzemenin kayma gerilmelerine maruz kalması sonucu mekanik özelliklerin iyileşmesine imkân sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemle malzemelerin mekanik özelliklerin daha da artması hem işlem parametrelerine ve hem de işlem parametrelerinin optimizasyonuna bağlıdır. Özellikle, malzemenin kanal içerisinden geçişi sırasında kalıp açıları kritik öneme sahiptir. Bu açıları, uygulanacak olan kuvvet ve deformasyon miktarı üzerinde doğrudan etkilidir. Deneysel süreç başlamadan malzemede meydana gelebilecek deformasyonu önceden tahmin etmek sürecin doğru ilerlemesi açısından çok önemlidir. Bu çalışmada tane boyutu üzerinde en etkili parametrelerden olan kanal açısı, dış kavis açısı ve iç köşe kavis değeri dikkate alınmıştır. Kanal açısı (Φ) 90° ve 120° , dış kavis açısı (ψ) 0° ve 20° , iç köşe kavis değerleri ise 0, 2, 4, 6, 8, 10 mm olarak alınmıştır. Kalıp ile numune arasındaki temas şekli, sürtünmesiz olarak kabul edilerek numunenin uğradığı deformasyon miktarı tespit edilmiş ve gerekli olan kuvvet değeri hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre en yüksek gerilme değeri $\Phi=90^\circ$, $\psi=20^\circ$ ve $r=0$ mm olan modelde gözlenmiştir. Kanal açısının artırılması kuvvet değerini azaltırken deformasyon miktarını da düşürmektedir. İç köşe kavis değerinin artması $\Phi=90^\circ$ kanal açısı için gerilme değerlerinde önemli değişiklikler göstermesine rağmen $\Phi=120^\circ$ kanal açısı için kayda değer değişiklikler gözlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Eşit kanallı açısal presleme (EKAP), Sonlu elemanlar modeli (SEM), Aşırı plastik deformasyon (APD), Mekanik özellikler

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Oğuz KOÇAR, oguz.kocar@yahoo.com.tr

Investigation of the Effect of Channel Angles and Corner Radius on Deformation in Equal Channel Angular Pressing Method by Finite Element Method

Abstract

The process of subjecting to severe plastic deformation enables the formation of ultra-fine grains in order to enhance the mechanical properties of the material. Equal Channel Angular Pressing (ECAP), which is one of the methods of extreme plastic deformation, is a technique that allows the improvement of mechanical properties by subjecting the material to shear stresses without any change in the material cross-section. The improvement of mechanical properties in materials through this method is dependent on both the process parameters and the optimization of these parameters. In particular, the die angles are of critical importance during the passage of the material through the channel. These angles directly influence the applied force and the amount of deformation that will occur. Predicting the deformation that may occur in the material prior to the start of the experimental process is crucial for the proper progression of the process. In this study, the channel angle, outer corner angle, and inner corner radius value, which are among the most influential parameters on grain size, have been taken into account. The channel angle (Φ) has been set to 90° and 120° , the outer corner angle (ψ) to 0° and 20° , and the inner corner radius values to 0, 2, 4, 6, 8, and 10 mm. The contact between the die and the sample is assumed to be frictionless, and the amount of deformation undergone by the sample has been determined, and the required force value has been calculated. According to the obtained data, the highest stress value was observed in the model with $\Phi=90^\circ$, $\psi=20^\circ$, and $r=0$ mm. Increasing the channel angle reduces the force value while also decreasing the amount of deformation. Increasing the inner corner radius value results in significant changes in stress values for the $\Phi=90^\circ$ channel angle, but no significant changes were observed for the $\Phi=120^\circ$ channel angle.

Keywords: Equal channel angular pressing (ECAP), Finite element analysis (FEM), Severe plastic deformation (SPD), Mechanical properties

1. GİRİŞ

Endüstride önemli rol oynayan çelik ve alaşımlarına alternatif olarak Al ve Mg alaşımları gibi performansı yüksek ve ağırlığı azaltacak malzemelere ihtiyaç her geçen gün artmaktadır [1-3]. Hafif malzemelerin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar devam ederken bir yandan da malzeme üretim metodlarının, üretimden sonra uygulanan farklı ısıl işlemlerin ve şekillendirme işlemlerinin malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için kullanılabilirliği araştırılmaktadır [4,5].

Hafif metallerde mekanik özelliklerin iyileştirilmesinde en çok kullanılan yöntemler yaşlandırma ve termomekanik işlemdir. Yaşlandırma ile matris içinde ikincil faz partikülleri tane sınırlarında çökelti oluşturur ve dislokasyon hareketlerini engelleyerek malzemenin mukavemetini artırır [6]. Plastik deformasyon ve yeniden kristalleşmenin kombinasyonu olan

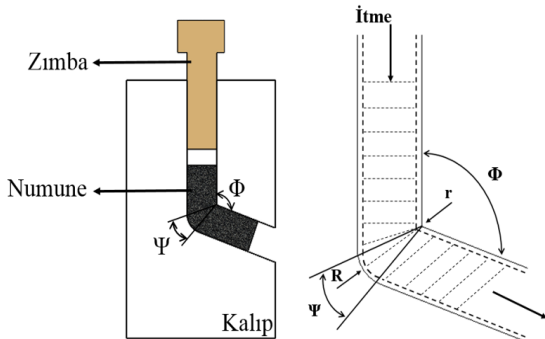
termomekanik işlem ise malzemenin iç yapısında tane boyutunu inceltmek mukavemeti artırmaktadır [7]. Fakat termomekanik işlemler ile $10 \mu\text{m}$ 'den daha küçük tane boyutları üretilmesi zordur [8]. Bu yöntemler sonunda ulaşılabilecek tane büyüklüğü; uygulanan deformasyon, süneklilik ve malzemenin kesit alanındaki değişiklikler nedeniyle sınırlı seviyede kalmaktadır. Termomekanik işlemler ile tane boyutlarının inceltilmesi sonrasında ısıl işlem uygulanması maliyeti de artırmaktadır. Bu nedenlerle $1 \mu\text{m}$ altı ultra yapısına ulaşmak için geleneksel yöntemlerin (ekstrüzyon, haddeleme, dövme) dışında yeni proseslerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır [9]. Son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan "Aşırı Plastik Deformasyon (APD)" yöntemi, malzeme boyutlarında herhangi bir değişiklik oluşturmadan yüksek oranda deformasyon uygulamaya imkân tanımaktadır. APD yöntemleri, sahip olduğu mükemmel tane inceltme kabiliyeti ile ultra ince taneli yapı elde edilmesi, özellikle Al alaşımlarının

mukavemet ve tokluğunun artırılmasında başarılı olması sayesinde büyük ilgi görmüştür [10-15].

APD yöntemlerinden biri olan Eşit Kanallı Açısal Presleme (EKAP) yöntemi, kesit değişikliği olmadan yüksek dayanım ve tokluğa sahip, artırılmış süper plastiklik gibi ultra ince taneli yapıların üretilmesinde etkili bir yöntemdir [16-18]. EKAP işlemi için bir kalıp, itme kuvveti için bir hidrolik pres ve gerektiğinde ısıtıcı bir fırın gereklidir. Hazırlanan numune kalıbın içine yerleştirildikten sonra zımba sayesinde kalıbın diğer tarafına doğru itilir. Numune kalıp kanalındaki açılı bölgeden geçtiğinde, yüksek miktarda kayma gerinmesine maruz kalır. Oluşan bu gerilme, ultra ince taneli bir yapı oluşumuna neden olmaktadır [19-21].

EKAP yönteminin etkilerinin incelenmesi iki farklı başlık altında incelenebilir. Birincisi EKAP yönteminin farklı malzemelerde (titanyum [22-24], alüminyum [25-27], magnezyum [28,29], çelik [30,31], pirinç [32], altın [33], kompozit [34-36]) iç yapıya olan etkisinin incelenmesidir. İkincisi ise EKAP işlem parametrelerinin (kanal açısı (Φ) ve dış kavis açısı (ψ), rota, geçiş sayısı, işlem sıcaklığı, kalıp şekilleri) optimizasyonuna ve tane inceliği üzerine etkilerinin incelenmesidir.

Deformasyon sırasında gerilmenin parça içinde homojen dağılmasını kontrol eden ana parametre, iç ve dış köşe yarıçapları (sırasıyla R ve r) ile tanımlanan Ψ açısıdır. Kanal açısı (Φ ise mekanik davranış ve sertlik değerinin yanı sıra malzemedeki mikroyapısal değişiklikler, malzeme akışı ve gerinim homojenliğinde büyük öneme sahiptir [37].

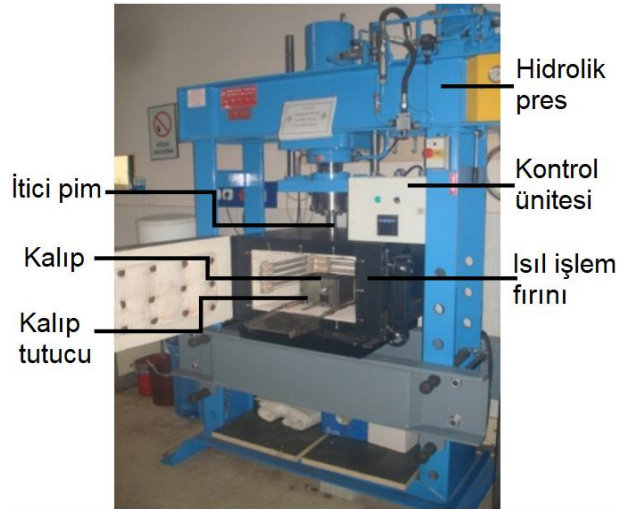


Şekil 1. EKAP şematik gösterimi ve kalıp açıları

Özyürek ve arkadaşları üç farklı kanal açısının (75° , 90° ve 120°) AA7075 deformasyonu sırasında oluşturduğu gerilme değerlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak kanal açısı arttıkça gerilmenin azaldığını ve 120° kanal açısına sahip kalıpta deformasyon işlemi sırasında kalıp dirsek kısmında boşluk oluştuğunu belirtmişlerdir [38]. Fadhil ve arkadaşları, deformasyon davranışı ve gerinim dağılımının kalıp geometrisi ve işleme parametrelerinden etkilendiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, kalıp iç köşe (0, 3, 4, 5 ve 8 mm) ve dış köşe (0, 10, 12, 14, 15 ve 20 mm) kavislerini değiştirmişlerdir. İç ve dış köşe kavis arttıkça ortalama maksimum gerilme ve gerinim önemli ölçüde azalmıştır. Sonlu elemanlar modeli ile alınan sonuçlar A356 alüminyum alaşımı malzeme için maksimum gerilme/ gerinme ve eşdeğer gerilme/gerinme için en iyi kalıp kavis değerlerinin $r=4$ mm, $R=12$ mm olduğu belirtilmiştir [39]. Diğer bir çalışmada $\Phi=90^\circ$ ve $\psi=10^\circ$ olmak üzere sürtünme katsayılarının (0, 0.05, 0.075 ve 0.1) etkileri Von-Mises akma kriterine göre değerlendirilmiştir. Deneysel ve sonlu elemanlar metoduyla elde edilen kuvvet-yol ile maksimum yük sonuçları karşılaştırılmış ve uyumlu oldukları belirlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin artmasıyla malzemeyi kalıp içinde itirmek için gerekli kuvvetin arttığı ve aralarında iyi bir korelasyon olduğunu tespit edilmiştir [40]. Kapoor ve arkadaşları, AZ61 Mg alaşımı için sonlu elemanlar metodu kullanarak EKAP işlem ve kalıp tasarım parametrelerini incelemişlerdir. Kanal açısı ve köşe kavisini literatürde tavsiye edilen $\Phi=90^\circ$ ve $\psi=20^\circ$ olarak almış ve tek geçiş sayısı kullanmışlardır. İşlem sırasındaki gerekli kuvvet, gerinim ve sıcaklık değerleri elde edilmiştir. En düşük kanal açısı, malzeme üzerinde en yüksek sıcaklık etkisini ve deformasyon bölgesinde en yüksek gerilme/gerinimi oluşturmuştur. Ayrıca kanal açısı ve köşe kavis arttıkça kayma gerilmesinin azaldığı belirtilmiştir [41]. Samsudin ve arkadaşları, AZ80 Mg alaşımında kanal açısının gerinim dağılımına etkisini incelemişlerdir. Bunun için $\Phi=90^\circ$ ve dış kanal kavis 8 mm, iç kanal kavis 4 mm ve $\Phi=120^\circ$ dış kanal kavis 11 mm, iç kanal kavis 7 mm olarak kalıbı tasarlamışlardır. Kanal açısı 90° olduğunda gerilmenin daha yüksek olduğu ve her iki kanal açısı içinde köşe kavis büyüdükçe gerilme/gerinimin azaldığı belirtilmiştir [42]. Bir

diğer çalışmada ise üç farklı kanal açısı (90°, 110° ve 120°), dış/iç kalıp kavisi 16/4 mm ve farklı hidrostatik basınç değerleri altında gerinme değerleri incelenmiştir [43].

Literatür çalışmaları değerlendirildiğinde, EKAP yönteminde işlem parametrelerinin etkisinin gerilme/gerinme, sıcaklık, deformasyon ve kuvvet üzerindeki etkilerinin çoğunlukla sonlu elemanlar metodu kullanılarak incelendiği belirlenmiştir. Plastik deformasyona etkileri sebebiyle iç ve dış kavis açıları aynı kombinasyonla farklı oranlarda alınarak sonlu elemanlar metodu incelemesi yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada EKAP işleminde kalıp içerisinde malzeme akışını en çok etkileyen kanal açısı (90° ve 120°), dış kavis açısı (0° ve 20°) ve iç kavis değerleri (0-2-4-6-8-10 mm) değiştirilerek etkileri incelenmiştir. Gerilme, kuvvet-yol değerleri ve belli noktalarda tanımlanan plastik deformasyon değerleri karşılaştırılarak genel bir değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 2. EKAP deney düzeneği [44,45]

Malzemede etkili bir tane inceltme için EKAP parametrelerinin seçimi oldukça önemlidir. Bu parametreler kanal açısı, dış kavis açısı, sıcaklık, geçiş sayısı, presleme hızı ve uygulanan rotasyondur. Kanal açılarına bağlı olarak yapılan çalışmalarda keskin kanal köşelerinin malzemede ölü bölgenin artmasına yol açtığı belirtilmiştir [46]. Bu sebeple kalıp modelleri oluşturulurken kanal

2. MATERYAL VE METOT

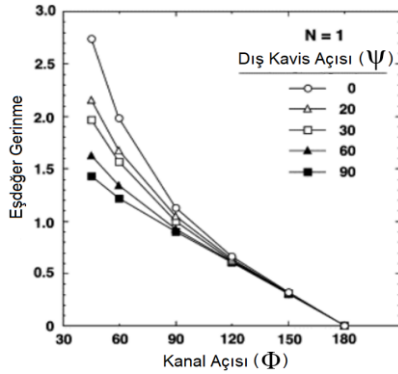
2.1. Eşit Kanallı Açısal Presleme (EKAP)

Yöntem, esas olarak malzemenin kanal içerisinde ilerlemesi prensibine dayanır. Zımba tarafından itilen malzeme, kalıbın köşe noktasında yoğun bir plastik deformasyona uğratılır. Yoğun plastik deformasyon neticesinde malzeme içyapısında tane boyutları küçülür ve mekanik özelliklerde iyileşme elde edilir.

2.1.1. Deney Ekipmanları

İşlem ekipmanları; zımbanın kanal içerisinde hareketini sağlayan bir pres, gerekli itmeyi sağlayan itici uç, EKAP kalıbı ve işlemin oda sıcaklığından farklı bir sıcaklıkta gerçekleşmesi halinde kalıbı ısıtan bir fırın ya da fişek rezistanslardan oluşur (Şekil 2).

açısı ve dış kavis açısının kombinasyonu önemlidir. Şekil 3'te kanal ve dış kavis açısına bağlı olarak oluşan gerinme değerleri görülmektedir. Bu grafiğe göre kanal ve kavis açısının malzeme üzerinde oluşan gerinme ve dolayısıyla malzeme içyapısında tane incelmesinde önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır.



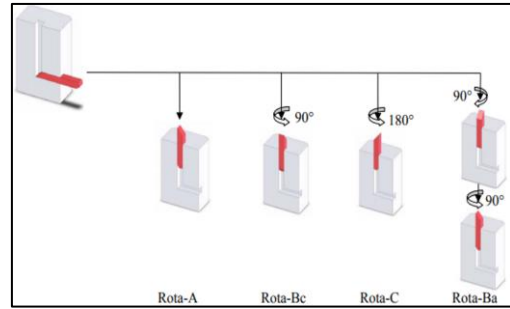
Şekil 3. Kalıp açılına bağlı eşdeğer gerinim grafiği

EKAP işlem sıcaklığı malzemenin süneklik ve kırılabilirlik özelliklerine göre belirlenmektedir. Sıcaklık artmasıyla malzemede yeniden kristalleşme ile tane büyümesi meydana geldiğinden oda sıcaklığında yapılan işleme göre mekanik özelliklerde düşme eğilimi görülür [47]. Geçiş sayısına bağlı olarak uygulanan plastik deformasyonun artışı ile birlikte daha iyi mekanik özellikler elde edilmektedir. Özellikle 1, 4 ve 8 geçiş sayılarında en yüksek akma ve çekme değerleri elde edilen çalışmalar bulunmaktadır [48-50].

Presleme hızına bağlı meydana gelen deformasyon şekilleri incelendiğinde presleme hızına bağlı önemli bir gelişmenin olmadığı fakat düşük presleme hızlarında daha dengeli tane yapısı elde edildiği ortaya konmuştur [51].

Uygulanan rotasyona bağlı tane boyutunda meydana gelen değişimler önemlidir. Genel olarak 4 rota üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır (Şekil 4). Fakat bu rotaların kombine edildiği farklı rota çalışmaları da bulunmaktadır [11,52]. Bu rotalardan A rotası için numune ilk geçişten sonra döndürülmeden diğer geçişlerini tamamlar. B_C rotasında ilk geçişten sonra numune her geçişte aynı

yönde 90° döndürülmektedir. C rotasında ilk geçişten sonra numune her geçişte 180° döndürülmektedir. B_A rotasında ise ilk geçişten sonra numune 90° döndürülür ve takip eden her geçişte bir önceki yön doğrultusuna ters olacak şekilde 90° döndürülerek geçiş sayısı tamamlanır. B_C rotası ortalama tane boyutu olarak en iyi değerleri sağlamaktadır ve yapılan çalışmalar B_C rotası üzerinde yoğunlaşmıştır [53].



Şekil 4. EKAP rotaları

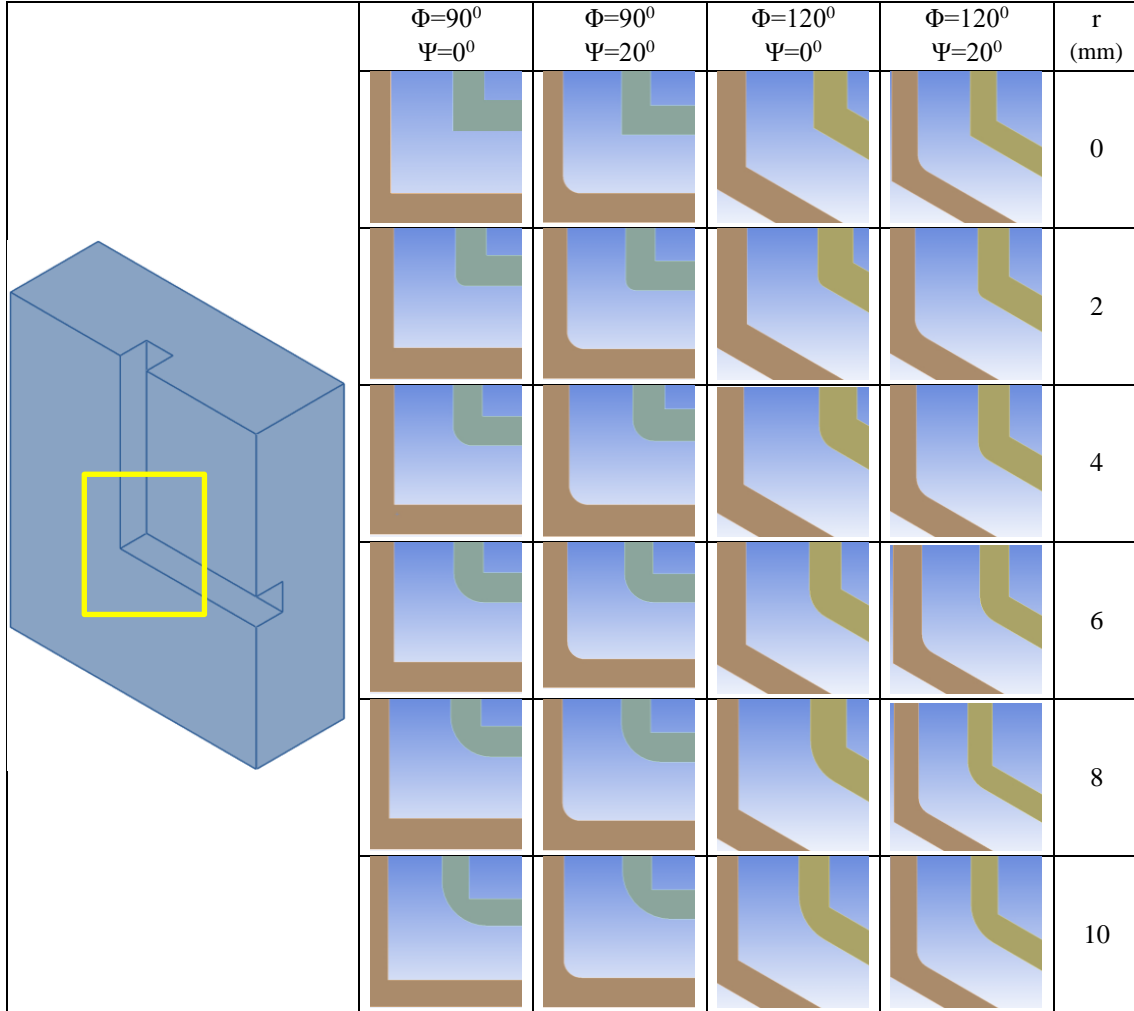
Bu parametrelerin belirlenmesi deneme yoluyla yapılmaktadır. Bu durum maliyetin artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden malzemeye göre işlem parametrelerinin optimizasyonu ve sürecin doğasının anlaşılması için ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

2.2. Malzeme ve Kalıp Geometrisi

Çalışmada ANSYS malzeme kütüphanesinden kalıp malzemesi olarak çelik ve numune malzemesi olarak bakır alaşımı seçilmiştir. Malzeme özellikleri Çizelge 1'de belirtilmiştir. Numune boyutu 12x12x70 mm'dir. Analiz için kullanılan kalıp modelleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Dış kavis açısı tüm modellerde $\Psi=0^\circ$ ve $\Psi=20^\circ$ olarak belirlenmiş kanal açıları ise iki farklı değer olarak $\Phi=90^\circ$ ve $\Phi=120^\circ$ seçilmiştir. İki ayrı model için sadece iç köşe kavis (r) değeri değiştirilmiş ve bu değerler 0, 2, 4, 6, 8, 10 mm olarak alınmıştır.

Çizelge 1. Numune ve kalıp malzemesinin özellikleri

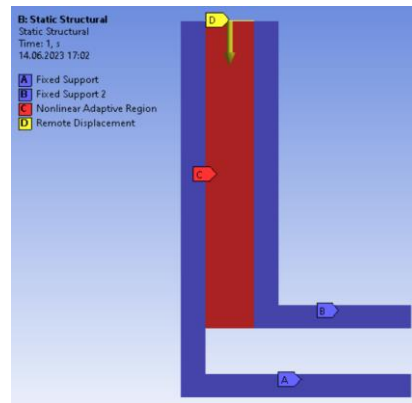
Malzeme	Elastisite modülü (GPa)	Akma mukavemeti (MPa)	Çekme mukavemeti (MPa)	Poisson oranı
Bakır Alaşımı	110	280	430	0,34
Çelik	200	250	460	0,30



Şekil 5. Kanal açılarının gösterimi

2.3. Sonlu Elemanlar Modeli

Bu çalışmada ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. İşlem süresini azaltmak ve hesapların hassasiyeti için kalıp modelleri 2 boyutlu olarak oluşturulmuştur. Kalıp malzemesi, numuneden daha az deformasyona uğradığı için kalıp rijit gövde olarak modellenmiştir. Bu nedenle kalıbın gerilme değerleri analiz edilmemiştir. Numunenin üst tarafından deplasman uygulanmıştır. Numune ile kalıp arasında sürtünmesiz temas şekli tercih edilmiştir. Şekil 6'da analiz için belirlenen sınır şartlarını gösteren örnek model verilmiştir.



Şekil 6. Örnek model

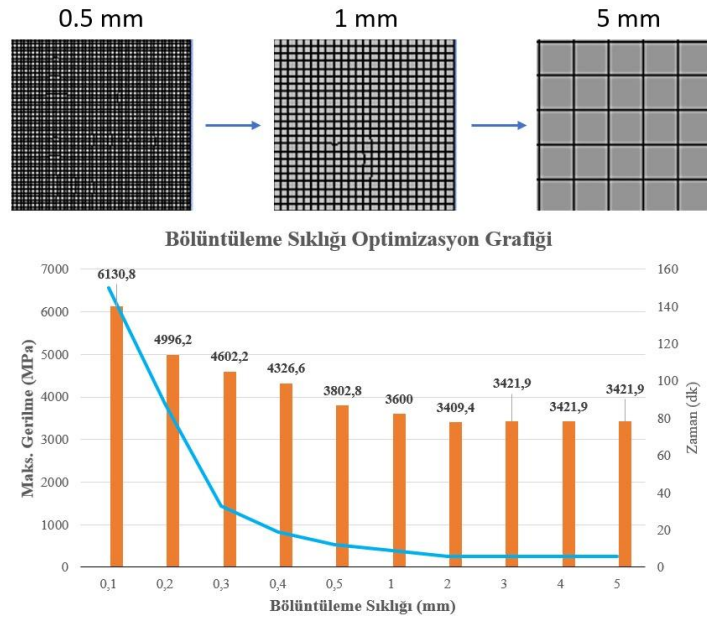
Sonlu elemanlar modelinde yapılan kabullerde numune kalıp sürtünmesi yağlayıcı kullanılmasından dolayı sıfır kabul edilmiştir. Üst taraftan zımba itme uygulayacağı için malzeme üst yüzeyi itme noktası olarak alınmıştır. Verilen deplasman değerli numune boyuna göre ve numunenin köşeden dönerek yatay düzlemde ilerleyebilecek şekilde belirlenmiştir.

2. TARTIŞMA VE SONUÇ

2.1. Sonlu Elemanlar Metodu Bölüntüleme Sayısının Optimizasyonu

Analizler sırasında numune malzemesine uygulanan bölüntüleme sıklığı çözümü etkilemektedir. Bu sebeple, farklı bölüntüleme büyüklüklerinin sonuca etkileri incelenerek bölüntüleme sıklığının optimizasyonu yapılmalıdır.

Yapılan optimizasyonda 0.1-5 mm bölüntüleme sıklıkları ile analizler gerçekleştirilmiş ve Şekil 7’de bölüntüleme sıklığının, gerilme ve analiz çözdürme süresi üzerindeki etkisi verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde özellikle 1 mm ve üzerindeki bölüntüleme sıklıklarında gerilme değerinin fazla değişmediği, 0.1-0.5 mm aralığında ise devamlı azaldığı belirlenmiştir. Özellikle 0.1 mm bölüntüleme aralığından 0.2 mm bölüntüleme aralığına geçildiğinde gerilme değerinde hızlı bir düşüş olmuştur. Bununla beraber bölüntüleme sıklığı azalırken analiz süreleri artmaktadır. 0.3 mm bölüntüleme sıklığından 0.2 mm bölüntüleme sıklığına geçiş ile analiz süresinin yaklaşık 3 katına ve 0.1 mm bölüntüleme sıklığına göre ise analiz süresinin beş katına çıktığı görülmüştür. Bütün değerlendirmeler dikkate alındığında bu çalışmada yapılan EKAP işleminde bölüntüleme sıklığı değeri 0.3 mm olarak kullanılmıştır.

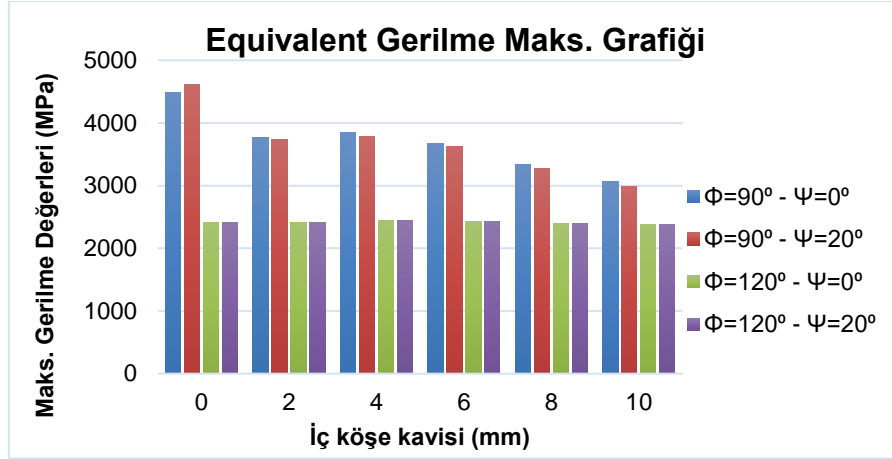


Şekil 7. Bölüntüleme sıklığının optimizasyonu

3.2. Gerilmenin Değerlendirmesi

Kanal açlarına bağlı olarak değişen maksimum gerilme değerleri Şekil 8’de verilmiştir. Kanal açısı 90° olan modelde iç kanal kavisi arttıkça gerilme değerleri düşme eğilimi göstermektedir. İç kanal kavisinin sıfır olduğu modelde maksimum gerilme

değeri elde edilirken dış köşe kavisinin değişmesi gerilme değerlerini fazla etkilememiştir. Kanal açısı 120° olan modelde ise iç kanal ve dış köşe kavisinin gerilmeye kayda değer bir etkisi görülmemiştir. Kanal açısı 90°’den 120°’ye artırıldığında ise gerilme değerlerinde önemli düşüşlerin meydana geldiği belirlenmiştir.



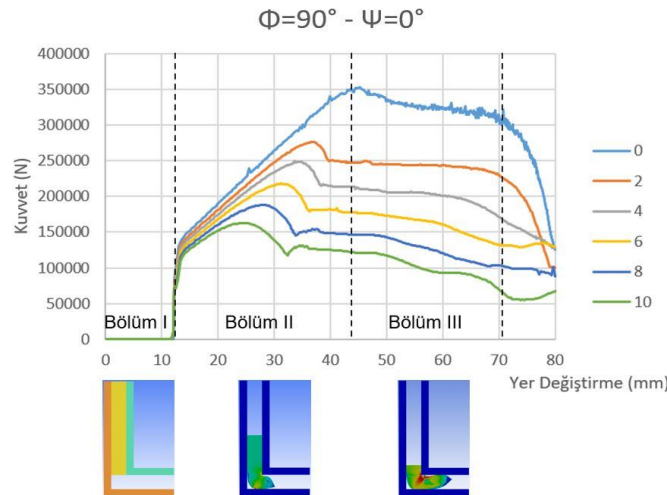
Şekil 8. Kanal açılara bağlı maksimum gerilme değerleri

3.3 Yol-kuvvet grafikleri

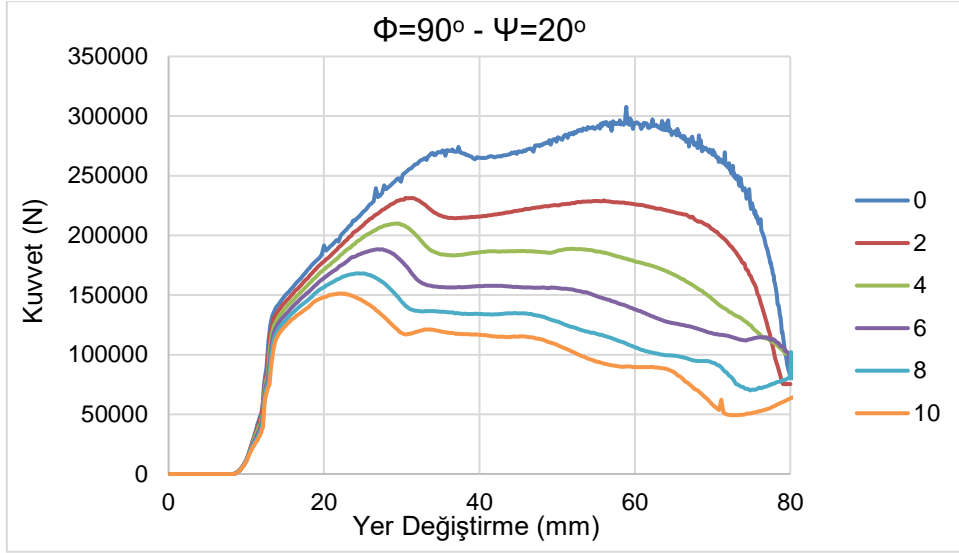
EKAP işlemi için uygun olan hidrolik pres seçimi için parçanın kalıptan geçirilmesinde gerekli olan kuvvetin bilinmesi gerekir. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak malzemeyi kalıptan geçirmek için gerekli olan kuvveti bulmak mümkündür. İç köşe kavisine bağlı olarak kuvvet değerinin değişimi Şekil 9'da gösterilmiştir. Bölüm 1'de malzeme köşe noktasına kadar herhangi bir engelle karşılaşmayacağı için kuvvet değerinde değişim görülmemektedir. Bölüm 2'de ise kalıp köşesiyle ilk temas gerçekleşmektedir. Malzeme kanal köşesini dönmekte zorlanırken geçişi sağlamak için

kuvvet değerinin artması gerekmektedir. Bölüm 3'te ise malzemenin yarısından fazlası kanal köşesini geçmiş ve kalan kısım için gerekli kuvvetin zamanla azaldığı görülmektedir. Kanal açısı 90°, dış kavis açısı ve iç köşe kavisini sıfır olduğunda gerekli itme kuvveti 352210 N olurken iç köşe kavis değerinin 10 mm'ye kadar artırılması gerekli itme kuvvetini 162900 N seviyelerine düşmüştür.

Şekil 10'da ise kanal açısı 90° ve dış kavis açısı 20° olduğundaki gerekli kuvvet değerleri verilmektedir. İç kavis sıfır olduğunda gerekli itme kuvveti 307700 N seviyelerini görürken iç kavis değeri artırıldıkça kuvvet değeri düşmektedir.



Şekil 9. Φ=90° - Ψ=0° olan kalıp modeline ait kuvvet-yol grafiği

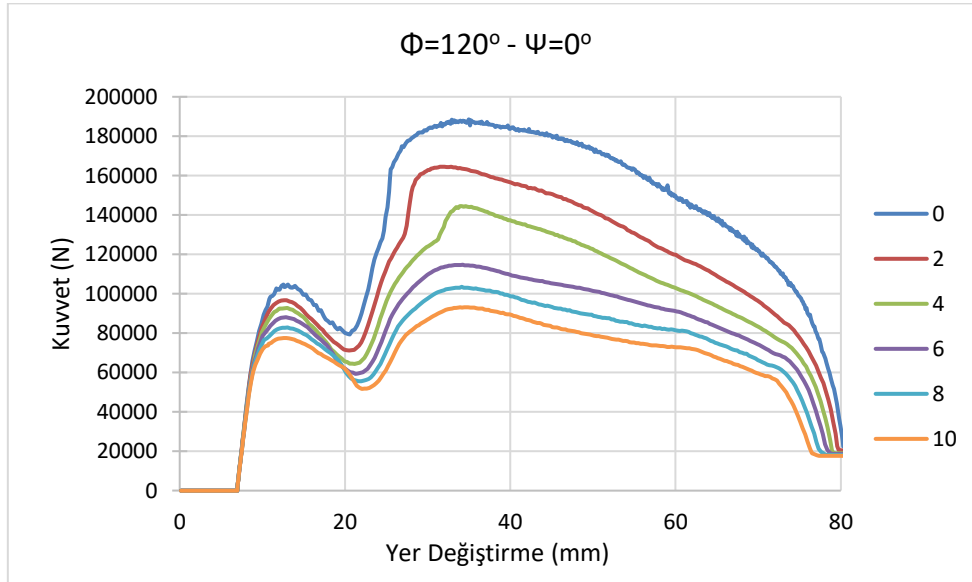


Şekil 10. $\Phi=90^\circ - \Psi=20^\circ$ olan kalıp modeline ait kuvvet-yol grafiği

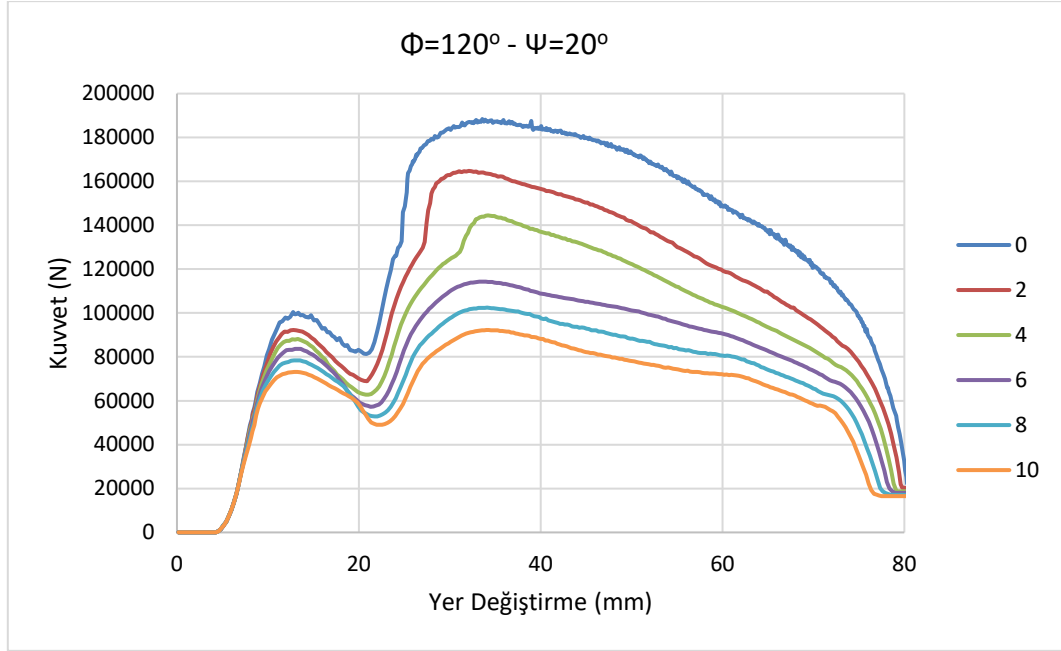
Şekil 11’de ise 120° kanal açısına sahip dış kavis açısı sıfır olan modelde gerekli itme kuvvet değerinin iç kavis değerine göre değişimi verilmiştir. İç kavis değeri arttıkça gerekli itme kuvveti ihtiyacı azalmaktadır. Burada ise kanal açısının artması sonucu numunenin köşe noktasını daha rahat döndüğü anlaşılmaktadır. Çünkü burada

gerekli itme kuvveti 200000 N seviyelerinin altında kalmaktadır.

Şekil 12’de dış kavis açısı 20° olduğunda ise iç kavisin değişimine bağlı itme kuvveti değerlerinde yine bir düşüş gözlenmiştir fakat dış kavis açısına bağlı olarak kayda değer bir değişim gözlemlenmemiştir.



Şekil 11. $\Phi=120^\circ - \Psi=0^\circ$ olan kalıp modeline ait kuvvet-yol grafiği



Şekil 12. $\Phi=120^\circ - \Psi=20^\circ$ olan kalıp modeline ait kuvvet-yol grafiği

Verilen modeller arasında maksimum kuvvet değerleri ayrıca Çizelge 2'de verilmiştir. Kanal açısının 90° dış kavis açısı 0° olan tasarım en fazla kuvvet gerektiren modeli ifade ederken dış kavis açısının artması gerekli kuvvet değerini 44510 N düşürmektedir. Kanal açısının 90° yerine 120° olarak seçilmesi gerekli kuvvet değerini yaklaşık yarı yarıya düşürmektedir. Kanal açısı 120° olan modelde kavis açısının artması ise gerekli kuvvet değerinde önemli bir azalma sağlamamıştır.

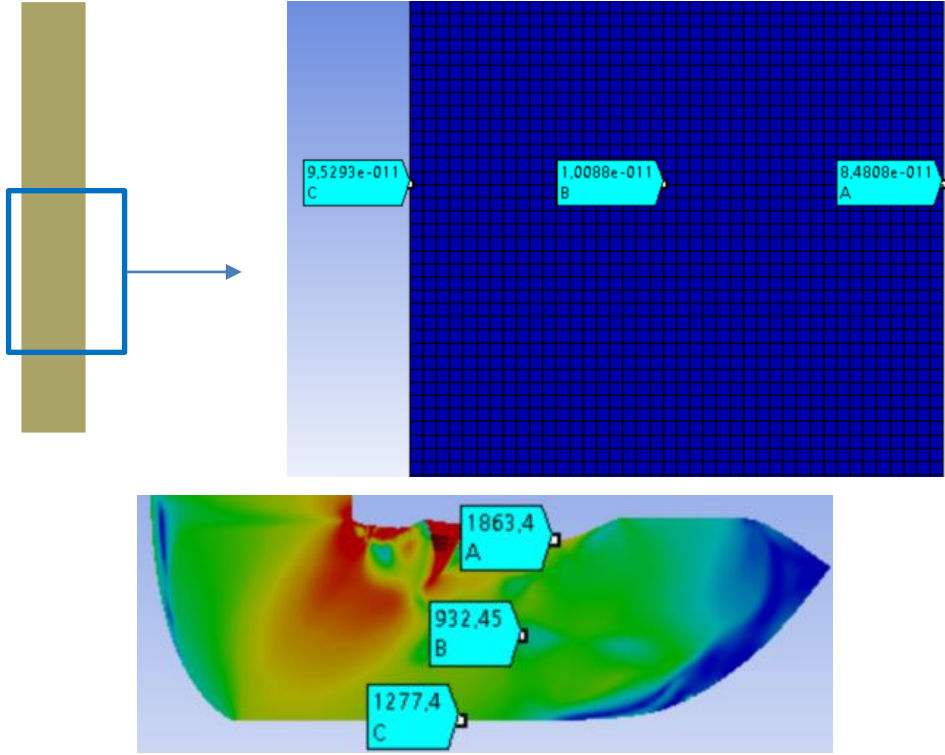
Çizelge 2. Modellere göre maksimum kuvvet değerleri

Kanal Açıları	Kuvvet Değerleri (N)
$\Phi=90^\circ - \Psi=0^\circ$	352210
$\Phi=90^\circ - \Psi=20^\circ$	307700
$\Phi=120^\circ - \Psi=0^\circ$	188600
$\Phi=120^\circ - \Psi=20^\circ$	188330

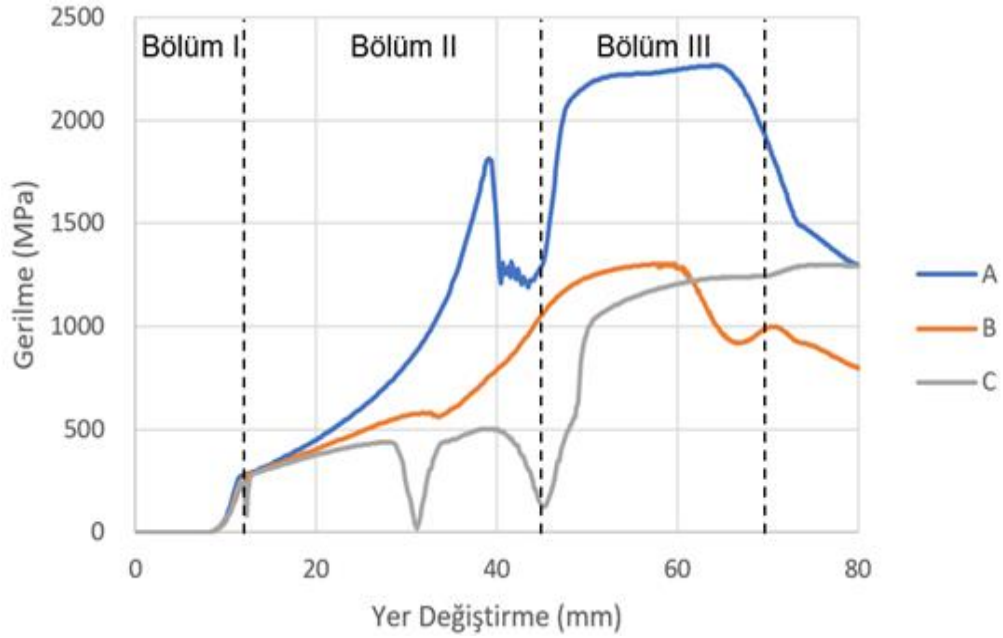
3.4. Noktasal Gerilme

Noktasal gerilme değerlerini belirlemek için gerilme değerinin en fazla olduğu $\Phi=90^\circ, \psi=20^\circ$ ve $r=0$ mm modeli seçilmiştir. Şekil 13'te belirtildiği gibi başlangıçta belirlenen A, B, C noktaları numunenin henüz işlem başlangıcında 0.1 sn sürede gösterdiği gerilme değerleridir. Plastik deformasyon esnasında A ve C noktalarında gerilme değerlerinin farklı olduğu gözükmektedir. Bu durum aslında numunenin kenar bölgelerinde bir deformasyon farkı olduğunu ispatlamaktadır. EKAP işlemlerinde plastik deformasyonun daha homojen dağılımı için işlem parametrelerinden biri olan rotasyonun kullanılması gerekmektedir.

Şekil 14'te ise A, B ve C noktaları için toplam yer değiştirmeye bağlı gerilme değerleri verilmiştir. Grafikte A noktası en fazla gerilmeye maruz kalırken B noktası en az gerilme değeri gösteren nokta olarak belirlenmiştir.



Şekil 13. $\Phi=900$, $\psi=200$ ve $r=0$ mm modeli için noktasal gerilme değerlerinin gösterimi



Şekil 14. A, B ve C noktaları için gerilme - yer değişirme grafiği

Şekil 14'te gösterilen Bölüm 1'de numune kanal içerisinde dönme noktasına ilerlemekte ve 10 mm ilerlemeden sonra belirtilen noktalar için gerilme değerleri artmaya başlamaktadır. Bölüm 2'de ise A noktası kanal köşesine yaklaşmakta ve numune köşe noktasını dönmeye başlamıştır. Bölüm 2'nin sonuna doğru gerilme değerinde belirgin değişim olmaması köşe açısını döndüğü kısmı ifade eder. Bölüm 3'te artık A noktası köşe açısını dönmüş ve gerilme maksimum değerine ulaşmıştır.

B noktası konumu itibariyle orta noktada bulunmasından dolayı gerilme artışı daha düzgün bir eğri çizmiştir. 30 mm ile 60 mm arası B noktası köşe dönüşünü tamamlamıştır.

C noktası 50 mm'ye kadar dikey kanal yoluna malzemenin akması gerçekleştiğinden belli bölümlerde kalıp yüzeyine temas gerçekleşmemiş ve gerilme değeri sifira kadar düşmüştür. 50 mm'den sonra köşe noktasını dönmeyi tamamlamış ve gerilme değeri kanal çıkışına kadar C noktasında artış göstermiştir.

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada EKAP işleminde malzemede ince taneli yapı oluşunda önemli rol oynayan kanal açısı (90° ve 120°), dış kavis açısı (0° ve 20°) ve iç köşe kavisinin (0, 2, 4, 6, 8, 10 mm) etkileri incelenmiştir. EKAP işleminde en yüksek deformasyon kanal açısı 90°, dış kavis açısı 20° ve iç kavis 0 mm olan kalıpta elde edilmiştir. İtme kuvvetine göre değerlendirildiğinde kanal açısı 90°, dış kavis açısı 0° ve iç kavis 0 mm olan kalıptan malzemenin geçirilmesi için yaklaşık en az 35 ton (352210 N), kanal açısı 90°, dış kavis açısı 0° ve iç kavis 10 mm olan kalıpta ise yaklaşık 16 ton (162900 N) hidrolik prese gerek vardır.

Kanal açısı 90° yerine 120° alındığında kanal içerisinde malzeme akışı kolaylaştığı için itme kuvveti ve malzemede oluşan deformasyon azalmıştır. Kanal açısı 120° olduğunda dış kavis açısının ve iç kavis değerinin gerilme üzerinde etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Kanal açısı 90° olduğunda ise iç kavis değerinin artmasıyla birlikte malzeme üzerinde oluşan gerilme değeri önemli ölçüde azalmıştır. Malzemenin üç farklı

noktasındaki gerilme değişimleri incelendiğinde EKAP işlemi boyunca farklı deformasyonlara maruz kaldıkları belirlenmiştir. Malzemenin iç yapısında daha homojen bir tane yapısı için birden fazla geçiş sayısı yapılmalıdır.

Sonraki çalışmalarda kalıp, numune ve zımba arasındaki farklı sürtünme senaryoları da hesaba hesaplanarak sonlu elemanlar çözümleri yapılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Skiba, J., Kossakowska, J., Kulczyk, M., Pachla, W., Przybysz, S., Smalc-Koziorowska, J., Przybysz, M., 2020. The Impact of Severe Plastic Deformations Obtained By Hydrostatic Extrusion on the Machinability of Ultrafine-Grained AA5083 Alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 58, 1232-1240.
2. Mishra, B., Mohapatra, S.K., Ranjan, V., Maity, K., 2020. Equal Channel Angular Pressing of The Aluminium Alloy: A Numerical Investigation. *Materials Today: Proceedings*, 26, 2173-2178.
3. Verlinden, B., 2018. Severe Plastic Deformation of Metals. *Metallurgical and Materials Engineering. The Netherlands Press, Amsterdam*, 166.
4. Mirzakhani, B., Payandeh, Y., 2015. Combination of Severe Plastic Deformation and Precipitation Hardening Processes Affecting The Mechanical Properties in Al-Mg-Si alloy. *Materials & Design*, 68, 127-133.
5. Mohapatra, S.K., Mishra, S.B., Joshi, K.K., Pradhan, S., 2019. Effect of the Hot Deformation on Mechanical and Wear Characteristics of the P/M AMC. *Materials Today. Proceedings*, 18, 5040-5047.
6. Demir, M., Tekin, O., Demir, A., 2020. T6 Yaşlandırma Isıl işlemi Uygulanan Ekstrude AA 7075 Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Davranışları. *Academic Perspective Procedia*, 3, 763-771.
7. Güral, A., Tekeli, S., Aytaç, A., Türkan, M., 2012. Eşit Kanal-Açısız Presleme (Ekap) Yöntemiyle Aşırı Deformasyon Yapılmış 7075 Alüminyum Alaşımının Mikroyapısı

- Karakterizasyonu. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27.
8. Roven, H.J., Werenskiold, J.C., 2004. Conventional Light Alloys Towards the Bottom-A Physical Metallurgical Approach. In Proceedings of the Nanomat Conference, Oslo, 32-40.
 9. Baysal, E., Koçar, O., Kocaman, E., Köklü, U., 2022. An Overview of Deformation Path Shapes on Equal Channel Angular Pressing. *Metals*, 12, 1800.
 10. Segal, V., 1995. Materials processing by simple shear. *Materials Science and Engineering: A*, 197, 157-164.
 11. Furukawa, M., Horita, Z., Nemoto, M., Valiev, R.Z., Langdon, T.G., 1998. Factors Influencing The Flow and Hardness of Materials with Ultrafine Grain Sizes. *Philosophical Magazine A*, 78, 203-216.
 12. Harsha, R., Kulkarni, V.M., Babu, B.S., 2018. Severe Plastic Deformation-A Review. *Materials Today. Proceedings*, 5, 22340-22349.
 13. Langdon, T., 2008. Processing of Ultrafine-Grained Materials Using Severe Plastic Deformation: Potential for Achieving Exceptional Properties. *Revista de Metalurgia*, 44, 556-564.
 14. Wang, C., Li, F., Chen, B., Yuan, Z., Lu, H., 2012. Severe Plastic Deformation Techniques for Bulk Ultrafine-Grained Materials. *Rare Metal Materials and Engineering*, 41, 941-946.
 15. Valiev, R.Z., Langdon, T.G., 2006. Principles of Equal-Channel Angular Pressing as a Processing Tool for Grain Refinement. *Progress In Materials Science*, 51, 881-981.
 16. Shin, D., Kim, Y.-S., Lavernia, E., 2001. Formation of Fine Cementite Precipitates By Static Annealing of Equal-Channel Angular Pressed Low-Carbon Steels. *Acta Materialia*, 49, 2387-2393.
 17. Chang, S.-Y., 2005. Ahn, B.-D., Hong, S.-K., Kamado, S., Kojima, Y., Shin, D.H. Tensile Deformation Characteristics of a Nano-Structured 5083 Al Alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 386, 197-201.
 18. Xu, C., Furukawa, M., Horita, Z., Langdon, T.G., 2004. Severe Plastic Deformation as a Processing Tool for Developing Superplastic Metals. *Journal of Alloys and Compounds*, 378, 27-34.
 19. Valiev, R., Alexandrov, I., Zhu, Y., Lowe, T., 2002. Paradox of Strength and Ductility in Metals Processed by severe Plastic Deformation. *Journal of Materials Research*, 17, 5-8.
 20. Ivanisenko, Y., Wunderlich, R., Valiev, R., Fecht, H.-J., 2003. Annealing Behaviour of Nanostructured Carbon Steel Produced by Severe Plastic Deformation. *Scripta Materialia*, 49, 947-952.
 21. Alkorta, J., Sevillano, J.G., 2003. A Comparison of FEM and Upper-Bound Type Analysis of Equal-Channel Angular Pressing (ECAP). *Journal of Materials Processing Technology*, 141, 313-318.
 22. Koujalagi, M.B., Siddesha, H., 2021. ECAP of Titanium Alloy by Sever Plastic Deformation: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 45, 71-77.
 23. Haase, C., Lapovok, R., Ng, H.P., Estrin, Y., 2012. Production of Ti-6Al-4V Billet Through Compaction of Blended Elemental Powders by Equal-Channel Angular Pressing. *Materials Science and Engineering: A*, 550, 263-272.
 24. Li, Z., Cheng, X., 2007. Deformation Temperature and Postdeformation Annealing Effects on Severely Deformed TiNi Alloy by Equal Channel Angular Extrusion. *Journal of University of Science and Technology Beijing, Mineral, Metallurgy, Material*, 14, 533-537.
 25. Horita, Z., Fujinami, T., Nemoto, M., Langdon, T., 2001. Improvement of Mechanical Properties for Al Alloys Using Equal-Channel Angular Pressing. *Journal of Materials Processing Technology*, 117, 288-292.
 26. Llorca-Isern, N., Gonzalez, P., Luis-Pérez, C., Laborde, I., 2006. Severe Plastic Deformation of a Commercial Aluminium-Lithium Alloy (AA8090) by Equal Channel Angular Pressing. In Proceedings of the Materials Science Forum, 871-876.
 27. Jafarlou, D., Zalnezhad, E., Hassan, M., Ezazi, M., Mardi, N., Hamouda, A., Hamdi, M., Yoon, G., 2016. Severe Plastic Deformation of Tubular AA 6061 via Equal Channel Angular Pressing. *Materials & Design*, 90, 1124-1135.

28. Jahadi, R., Sedighi, M., Jahed, H., 2014. ECAP Effect on the Micro-Structure and Mechanical Properties of AM30 Magnesium Alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 593, 178-184.
29. Figueiredo, R.B., Langdon, T.G., 2010. Grain Refinement and Mechanical Behavior of a Magnesium Alloy Processed by ECAP. *Journal of Materials Science*, 45, 4827-4836.
30. Huang, C., Yang, G., Gao, Y., Wu, S., Zhang, Z., 2008. Influence of Processing Temperature on the Microstructures and Tensile Properties of 304L Stainless Steel by ECAP. *Materials Science and Engineering: A*, 485, 643-650.
31. Fan, Z., Hao, T., Zhao, S., Luo, G., Liu, C., Fang, Q., 2013. The Microstructure and Mechanical Properties of T91 steel Processed by ECAP at Room Temperature. *Journal of Nuclear Materials*, 434, 417-421.
32. Radhi, H.N., Mohammed, M.T., Aljassani, A.M., 2021. Influence of ECAP Processing on Mechanical and Wear Properties of Brass Alloy. *Materials Today. Proceedings*, 44, 2399-2402.
33. Suzuki, T., Vinogradov, A., Hashimoto, S., 2004. Strength Enhancement and Deformation Behavior of Gold After Equal-Channel Angular Pressing. *Materials Transactions*, 45, 2200-2208.
34. Chen, W., Feng, P., Dong, L., Liu, B., Ren, S., Fu, Y., 2018. Experimental and Theoretical Analysis of Microstructural Evolution and Deformation Behaviors of Cuw Composites During Equal Channel Angular Pressing. *Materials & Design*, 142, 166-176.
35. Maziarz, W., Greger, M., Długosz, P., Dutkiewicz, J., Wójcik, A., Rogal, Ł., Stan-Głowińska, K., Hilser, O., Pastrnak, M., Cizek, L., 2022. Effect of Severe Plastic Deformation Process on Microstructure and Mechanical Properties of AlSi/SiC Composite. *Journal of Materials Research and Technology*, 17, 948-960.
36. Goussous, S., Xu, W., Xia, K., 2010. Developing Aluminum Nanocomposites via Severe Plastic Deformation. In *Proceedings of the Journal of Physics, Conference Series*, 240, 012106.
37. Caruso, S., Imbrogno, S., 2021. Finite Element Modelling of Microstructural Changes During Equal Channel Angular Drawing of Pure Aluminium. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 114, 1487-1495.
38. Özyürek, D., Yıldırım, M., Tunçay, T., Kalyon, A., Yavuzer, B., 2015. Eşit Kanal Açısal Presleme (EKAP) İşlemi ile Şekillendirilen AA7075 Alüminyum Alaşımının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi. *Uluslararası Hakemli Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5, 93-101.
39. Fadhil, A., Alkhfaji, S.S., Ismael, M.K., 2021. Design Parameters for Equal-Channel Angular Pressing (ECAP) via Numerical Approach. In *Proceedings of the Journal of Physics: Conference Series*, 012103.
40. Nagasekhar, A., Yoon, S., Tick-Hon, Y., Kim, H., 2009. An Experimental Verification of the Finite Element Modelling of Equal Channel Angular Pressing. *Computational Materials Science*, 46, 347-351.
41. Kapoor, A., Wahid, M.A., Goel, P., Agarwal, K.M., Mohan, U., 2021. 3D FEM Simulation on Deformation and Strain analysis for grain refinement of Mg Alloy passed through ECAP. In *Proceedings of the IOP Conference Series, Materials Science and Engineering*, 012024.
42. Samsudin, M., Kurniawan, D., Nor, F.M., 2015. Strain Distribution Equal Channel Angular Pressing of Magnesium Alloy at 90 and 120 Corner Angles. *Procedia Manufacturing*, 2, 230-235.
43. Venkatraman, R., Raghuraman, S., Raj Mohan, R., 2012. Modeling and Analysis on Deformation Behavior for AA 6061 through Equal Channel Angular Pressing Die. In *Proceedings of the International Conference on Intelligent Robotics, Automation, and Manufacturing*, 520-525.
44. Kaya, H., Uçar, M., Cengiz, A., Samur, R., Özyürek, D., Çalışkan, A., 2014. Novel Molding Technique for ECAP Process and Effects on Hardness of AA7075. *Mechanics*, 20, 5-10.
45. Bulutsuz, G.A., 2017. Mekanik Özellikleri Geliştirilmiş Biyouyumlu Implant Malzemelerinin Üretiminde Aşırı Plastik Deformasyon Tekniğinin Uygulanma Koşullarının Araştırılması. *Doktora Tezi*, Yıldız

- Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 166.
46. Al-Mufadi, F., Djavanroodi, F., 2014. Effect of equal Channel Angular Pressing Process on Impact Property of Pure Copper. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 8, 30-34.
 47. Gautam, P.C., Biswas, S., 2021. Effect of ECAP Temperature on the Microstructure, Texture Evolution and Mechanical Properties of Pure Magnesium. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2914-2918.
 48. Bayat Asl, Y., Meratian, M., Emamikhah, A., Mokhtari Homami, R., Abbasi, A., 2015. Mechanical Properties and Machinability of 6061 Aluminum Alloy Produced by Equal-Channel Angular Pressing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B. Journal of Engineering Manufacture*, 229, 1302-1313.
 49. Djavanroodi, F., Ebrahimi, M., Rajabifar, B., Akramizadeh, S., 2010. Fatigue Design Factors for ECAPed Materials. *Materials Science and Engineering: A*, 528, 745-750.
 50. Klu, E.E., Song, D., Li, C., Wang, G., Zhou, Z., Gao, B., Sun, J., Ma, A., Jiang, J., 2019. Development of a High Strength Mg-9Li Alloy via Multi-Pass ECAP and Post-Rolling. *Metals*, 9, 1008.
 51. Lee, S., Berbon, P.B., Furukawa, M., Horita, Z., Nemoto, M., Tsenev, N.K., Valiev, R.Z., Langdon, T.G., 1999. Developing Superplastic Properties in an Aluminum Alloy Through Severe Plastic Deformation. *Materials Science and Engineering: A*, 272, 63-72.
 52. Lee, S., Langdon, T.G., 1999. Influence of equal-Channel Angular Pressing on the Superplastic Properties of Commercial Aluminum Alloys. *MRS Online Proceedings Library (OPL)*, 601.
 53. Avvari, M., Narendranath, S., Nayaka, H.S., 2014. Effect of Processing Routes on AZ31 Alloy Processed by Severe Plastic Deformation. *Procedia Materials Science*, 5, 1560-1566.

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 yansıtabilmelidir. **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.