



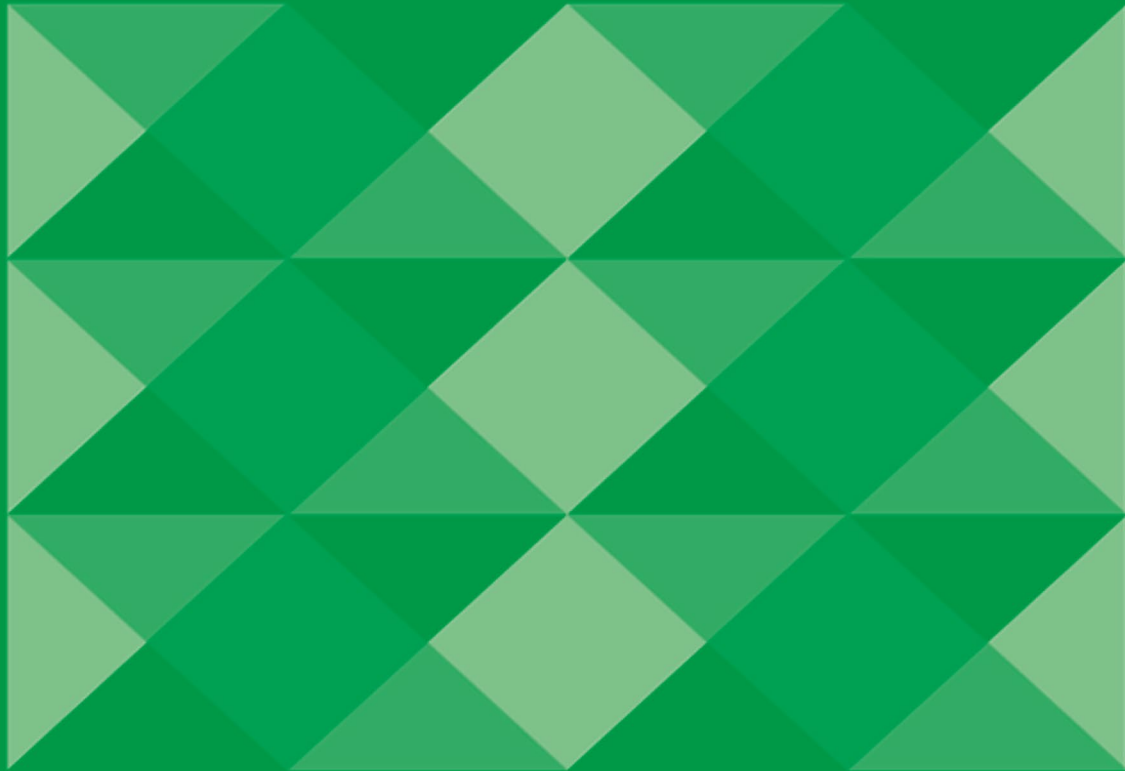
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK
FAKÜLTESİ
DERGİSİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Cilt/Vol: 35

Sayı/Issue: 4

Aralık/December 2020



ISSN 1019-1011



**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ**



Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture

Sahibi (Owner)

Mesut BAŞIBÜYÜK
Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi Dekanı

Editör (Editor)

Özen KILIÇ

EDİTÖR KURULU (Editorial Board)

Selma Ayşe ÖZEL (ÇÜ)	Ulvi Can ÜNLÜGENÇ (ÇÜ)
Mustafa GÜVEN (ÇÜ)	Özen KILIÇ (ÇÜ)
Ahmet Mahmut KILIÇ (ÇÜ)	Olcayto KESKİNKAN (ÇÜ)
Hüseyin AKILLI (ÇÜ)	Ali KESKİN (ÇÜ)
Ulus ÇEVİK (ÇÜ)	R. Tuğrul OĞULATA (ÇÜ)
Ali KOKANGÜL (ÇÜ)	F. Duygu SABAN (ÇÜ)
Mesut BAŞIBÜYÜK (ÇÜ)	Hüseyin R. YERLİ (ÇÜ)
İsmail Hakkı ÇAĞATAY (ÇÜ)	Nil YAPICI (ÇÜ)
Metin GÜRÜ (GÜ)	Serter ATABAY (AUS-BAE)
Mehmet Emin AYDIN (UWE-İngiltere)	Muammer KOÇ (HBKU-BAE)
Azra BİLGİN (UCB-ABD)	Tamio ENDO (MU-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

YAZIŞMA ADRESİ/CONTACT

Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık 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-Mimarlık Fakültesi Dergisi, yılda dört sayı olarak yayımlanan hakemli bilimsel bir dergidir. Dergi akademik ve araştırma kurumlarındaki mühendislik ve mimarlık alanındaki araştırmacı ve uygulamacılara hizmet etmeyi amaçlamaktadır. Daha önce başka bir yerde yayımlanmamış tüm özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları kapsayan yenilikçi, değerli ve yararlı araştırma makaleleri kabul edilmektedir.

AIM and SCOPE

Journal of the Engineering and Architecture of Çukurova University is a peer-reviewed scientific journal which is currently published quarterly. The journal aims to serve researchers and practitioners in the fields of engineering and architecture in academic and research organizations. All innovative, valuable, and useful research articles including original and current scientific research and applications, previously unpublished anywhere else, will be regarded.

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Elektrik Kontak Kesicilerde Kullanabilmek için Aşınma Dirençli Polimer ve Polimer Kompozit Malzemelerin Belirlenmesi..... 835**
Determination of Polymer and Polymer Composites with Wear Resistant for Use in Electrical Contact Breaker
Hüseyin ÜNAL ve Salih Hakan YETGİN
- Çimento Üretim Sektöründe ISO 14001 Çevre Yönetim Sisteminin Enerji Kazanımı ve İklim Değişikliği Üzerine Etkilerinin İncelenmesi 847**
Investigation of the Impacts of ISO 14001 Environmental Management System on Energy Recovery and Climate Change in Cement Production Sector
Bülent SARI, Şeyda Y. GEYİK ve Olcayto KESKİNKAN
- Ülkemiz Madencilik Sektöründe Görülen Meslek Hastalıklarının İncelenmesi 859**
Investigation of Occupational Diseases Seen in Mining Sector in Turkey
İlknur EROL
- Haraptepe (Horzum-Adana) Pb-Zn Cevherleşmesinin Kökenine Genel Bir Yaklaşım..... 873**
A General Approach to the Origin of Haraptepe (Horzum-Adana) Pb-Zn Mineralization
Yusuf URAS, Cihan YALÇIN ve Mesut ÖZEN
- The Effect of Weather Conditions and Some Demographic Data on the Confirmed COVID-19 Cases: Analysis for 12 Statistical Regions of Turkey 883**
Hava Koşullarının ve Bazı Demografik Özelliklerin Doğrulanmış COVID-19 Vakaları Üzerine Etkisi: Türkiye'nin 12 İstatistik Bölgesi Analizi
Selin SARAÇ ve Melik KOYUNCU
- İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Ortofoto ve Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi: Adıyaman Üniversitesi Merkez Kampüs Örneği 891**
Orthophoto and Digital Elevation Model Production using Unmanned Aerial Vehicle (UAV): Adıyaman University Main Campus
Senem TEKİN ve Fatih TEKİR

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Afyonkarahisar-Dinar Dombayova Kömür Sahasının Tektono-Stratigrafik İncelemesi, Saha İçindeki Linyit Depolarının Jeolojik Gelişimi ve Rezerv Olanakları** 897
Tectono-Stratigraphic Investigation of Afyonkarahisar-Dinar-Dombayova Coalsite and Geological Development and Reserve Potential of Lignite Deposits in the Area
Kemal PEKİYİCİ, Ulvi Can ÜNLÜGENÇ ve Hatice KARAKILÇIK
- Tekstil Boya-Terbiye İşletmelerinde Ürün Geliştirme Prosesinin Simülasyonla Modellenmesi-Model Tasarımı** 913
Simulation Modeling of Product Development Process in Textile Dyeing-Finishing Mills-Model Design
Emel Ceyhun SABİR
- Theoretical Analysis on the Thermal and Electrical Properties of Fiber Reinforced Laminates Modified with CNTs**..... 925
Karbon Nanotüp ile Modifiye Edilmiş Fiber Takviyeli Laminelerin Isıl ve Elektriksel Özelliklerinin Teorik Analizi
Fatih DARICIK ve Alparslan TOPCU
- Yüksek Sıcaklığın Doğal Taşların Petrografik, Parlaklık ve Pürüzlülük Özelliklerine Etkisi**..... 937
The Influence of High Temperature on the Petrographical, Gloss and Roughness Properties of Natural Stones
Zehra Funda TÜRK MENOĞLU, Ali ÖZVAN, Elif ERDEVE ÖZVAN, Mehmet TÜRK MENOĞLU, İsmail AKKAYA, Ogün Ozan VAROL, Mucip TAPAN ve Esma KAHRAMAN
- Stereolitografi (SLA) Tekniği ile Basılan 3 Boyutlu Polimer Yapılarda İkincil Kütleme Süresinin Mekanik Özelliklere Etkisi**..... 949
The Effect of Post-Curing Time on Mechanical Properties in 3D Polymer Materials Printed by Stereolithography (SLA) Method
İsmail AKTİTİZ, Kadir AYDIN ve Alparslan TOPCU

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Analysis of Splicing Method on Bursting Strength of the Knitted Fabrics..... 959**
Örme Kumaşların Patlama Mukavemeti Üzerine Düşümleme Metotlarının Analizi
Seval UYANIK
- Kompozit Malzemelerin Delme İşleminde İtme Kuvvetinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu ve Regresyon Analizi ile Tahmini 969**
Optimization of Thrust Force with Taguchi Method and Estimation by Regression Analysis in Drilling of Composite Materials
Gökhan BAŞAR, Yusuf FEDAI ve Hediye KIRLI AKIN
- LiDAR Verisi Yardımıyla Otomatik Dalga Boyu Bandı Yaklaşımı Kullanılarak Hiperspektral Görüntülerde Spektral Değişkenliğin Azaltılması 983**
LiDAR-aided Spectral Variability Decreasing in Hyperspectral Imagery Based on an Automated Waveband Selection Approach
Sevcan KAHRAMAN
- On the Thermo Economical Optimization for Solar Hot Water Heating Systems 993**
Güneş Sıcak Su Isıtma Sistemleri için Termo Ekonomik Optimizasyon Üzerine Bir Çalışma
Mehmet Sait SÖYLEMEZ ve Murtaza YILDIRIM
- Ç2842, MS58 ve Al 6013 Malzemelerin Elektrolitik Ni Kaplanması ve Kaplama Kalınlığı ve Yüzeysel Özelliklerin İncelenmesi..... 1001**
Investigation of Coating Thickness and Surface Properties in Electrolithic Ni Coating of 2842, MS58 and Al 6013 Materials
Harun KOÇAK
- 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depreminin Şartlı Olasılığının Değerlendirilmesi..... 1009**
Evaluation of the Conditional Probability of January 24, 2020 Sivrice (Elazığ) Earthquake
Kaan Hakan ÇOBAN ve Nilgün SAYIL
- Kavisli Delikli Plaka ile Girdap Kaynaklı Türbülanslı Akışın Kontrolü..... 1021**
Control of Vortex-Induced Turbulent Flow by Curved Perforated Plate
Göktürk Memduh ÖZKAN, Tahir DURHASAN ve Engin PINAR
- Analitik Hiyerarşi Süreci ve Veri Önleme Yoluyla Türkiye'nin Güç Sistemi Portföyünün Planlanması..... 1031**
Planning Power System Portfolio of Turkey Through Analytic Hierarchy Process
Üzeyir FİDAN ve Mehmet ATAĞ

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kireçtaşı ve Volkanik Cüruf Filler Kullanımının Dayanıma Etkisinin Araştırılması 1047**
Investigation of the Effect of Using Limestone and Volcanic Slag Filler on Strength in Hot Bituminous Mixtures
Nur Erdem AKGÜL ŞEKER ve Ali SARIŞIK
- Analyses of Current Wind Energy Status of Turkey and its Future Prospect..... 1059**
Türkiye'nin Mevcut ve Gelecekteki Rüzgar Enerjisi Durumunun Analizi
Akın İLHAN, Mehmet BİLGİLİ ve Beşir ŞAHİN
- Antibacterial and Optical Properties of Mn Doped ZnO Nanopowders Synthesized via Spray Drying and Subsequent Thermal Decomposition 1073**
Püskürtmeli Kurutma ve Ardından Termal Bozunma ile Sentezlenen Mn Katkılı
Şeyma DUMAN, Büşra BULUT ve Burak ÖZKAL
- Polyamide 12/Antimony Trioxide/Sepiolite or Boron Composites: Mechanical Properties and Flame-Retardancy..... 1083**
PA 12/Antimon Trioksit/Sepiyolit veya Bor Kompozitleri: Mekanik Özellikler ve Alev Geciktirme
Ahmet ÖZTÜRK, Fırat SARIBAL, Şeyma DUMAN, Meral AKKOYUN, İbrahim ŞEN ve Didem OVALI
- Fonksiyonel Derecelenmiş Sandviç Kirişlerin Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi ile Statik Analizi 1091**
Static Analysis of Functionally Graded Sandwich Beams by the Complementary Functions Method
Ahmad Reshad NOORİ, Hasibullah RASOOLİ, Timuçin Alp ASLAN ve Beytullah TEMEL
- Face Anti-Spoofing Scheme Using Handcraft Based and Deep Learning Methods..... 1103**
El Yapımı Tabanlı ve Derin Öğrenme Yöntemlerini Kullanan Yüz Yanıltma Önleme Şeması
Omid SHARIFI

Elektrik Kontak Kesicilerde Kullanabilmek için Aşınma Dirençli Polimer ve Polimer Kompozit Malzemelerin Belirlenmesi

Hüseyin ÜNAL^{*1}, Salih Hakan YETGİN²

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya

²Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin

Geliş tarihi: 01.07.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Öz

Bu çalışma, elektrik sektöründe kontak kesicilerde aşınma direnci en iyi olan malzeme çiftini belirlemek için yapılmıştır. Aşınma deneyleri için pim-disk aşınma test cihazı kullanılmıştır. Bunun için çalışmada, disk malzemesi olarak %25 oranında uzun cam elyaf takviyeli ve %40 kalsiyum karbonat katkılı doymamış polyeester esaslı termoset kompozit malzeme (%25CE+%40CaCO₃+UPET) kullanılmıştır. Pim malzemeler olarak ise, katkısız poli-eter-sülfon (PES) polimeri, stiren-butadien-stiren elastomer katkılı ve %30 cam elyaf takviyeli poli-fenilen-eter (PPE+SBS+%30CE) kompoziti ve %15 cam elyaf takviyeli poli-butilen-tereftalat/poli-etilen-tereftalat karışımı kompozit (PBT/PET+%15CE) malzemeleri kullanılmıştır. Tribolojik deneyler, kuru kayma şartları altında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneyler, 0,707, 1,415, 2,123 ve 3,538 MPa basınç altında ve 0,5 m/s kayma hızında yapılmıştır. Aşınma ve sürtünme deneyleri sonucunda, malzemelerin sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma hızları belirlenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, en yüksek aşınma hızı katkısız PES polimerinde elde edilirken en düşük aşınma hızı ise PPE+SBS+%30CE kompozitinde elde edilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda kontak kesicilerde kullanmak için PPE+SBS+%30CE/%25CE+%40CaCO₃+UPET termoset kompozit çifti en uygun malzeme çifti olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Temoplastik, Termoset, Aşınma, Polimer, Kompozit

Determination of Polymer and Polymer Composites with Wear Resistant for Use in Electrical Contact Breaker

Abstract

This study was carried out to determine the pair of materials with the best abrasion resistance in contact breakers in the electrical industry. Pin-on-disk wear test machine was used for tribological tests. For this purpose, 25wt.% long glass fiber reinforced and 40wt.% calcium carbonate added unsaturated polyester based thermoset composite material (25wt.%GF + 40wt.%CaCO₃+UPET) was used as the disc material. As pin materials, unfilled poly-ether-sulfone (PES) polymer, 30wt.% glass fiber reinforced poly-

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Hüseyin ÜNAL, unal@subu.edu.tr

phenylene-ether (PPE+SBS+30wt.%GF) composite and 15wt.% glass fiber reinforced poly-butylene-terephthalate/poly-ethylene-terephthalate mixture composite (PBT/PET+15wt.%GF) materials were used. Tribological experiments were carried out under dry sliding conditions and at room temperature. The experiments were carried out under pressure of 0.707, 1.415, 2.123 and 3.538 MPa and at a sliding speed of 0.5 m/s. As a result of wear and friction tests, friction coefficient and specific wear rates of materials used were determined. As a result of the experiments carried out, the highest wear rate was obtained in the unfilled PES polymer, while the lowest wear rate was obtained in PPE+SBS+30wt.%GF composite. As a result of the experiments carried out, PPE + SBS+30wt.%GF/25wt.%GF+40wt.%CaCO₃+UPET thermoset composite pair has been determined as the most suitable material pair for use in contact breakers.

Keywords: Thermoplastic, Thermoset, Wear, Polymer, Composite

1. GİRİŞ

Plastikler günlük yaşantımızın vazgeçilmez malzemelerinden birisidir. Son yıllarda geleneksel malzemeler olan ahşap, metal, seramik ve demir dışı malzemelerin yerini hızla almaktadır. Bunun sebebi ise hafiflik, renklendirilebilme, kimyasallara direnç, elektriksel yalıtkanlık, kolay şekillendirilme ve düşük maliyet gibi özelliklerdir. Yüksek performanslı mühendislik termoplastiklerinden birisi olan poli-eter-sülfon (PES) polimeri amorf yapıya sahip olup, üstün kimyasal kararlılık, yüksek ısıl direnç, yüksek mukavemet ve elastiklik modülü, 180°C'ye kadar çalışma sıcaklığı, yüksek yanmayı geciktiricilik özelliği ile elektriksel yalıtım gibi mükemmel özelliğe sahiptir. Bu yüksek performanslar göz önüne alındığında, poli-eter-sülfon polimeri otomobil, elektrik-elektronik, havacılık, mikro-elektronik gibi endüstrilerde yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadır [1-6]. Bu özelliklere ilave olarak PES polimeri, nispeten yüksek sürtünme katsayısı ve aşınma oranı gibi özellikler göstermektedir [2]. Daha önce yapılan çalışmalarda, PES polimerinin kuru kayma koşullarında yüksek sürtünme katsayısı ve aşınma oranı gösterdiği gözlenmiştir [7-9].

Poli-etilen-tereftalat (PET) ve poli-bütillen-tereftalat (PBT) polimerleri de çok önemli ticari yarı-kristal termoplastik poliester polimerleridir. PET polimeri, düşük maliyetli olmasıyla PBT termoplastik polyesterine göre üstün özellikleri gösterir. Bu özelliği ile en yaygın kullanılan ticari polyesterdir. PET, ayrıca, mükemmel termal ve

mekanik özelliklere, yüksek kimyasal direnç, yüksek şeffaflığa, oksijen ve su buharına karşı iyi bariyer özelliklerine sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı PET, tekstil elyafları, meşrubat şişeleri, ambalaj filmleri, gibi gıda endüstrisinde, otomotiv yapısal bileşenlerinde, makine imalat sektörü ve elektrik/elektronik sanayinde endüstriyel parçaların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Poli-bütillen-tereftalat polimeri de ticari aromatik bir termoplastik polyester çeşididir. PBT, yüksek sıcaklıklarda iyi boyutsal kararlılık, düşük su emme, yüksek rijitlik ve çekme mukavemeti gibi mekanik özellikler, kimyasal bozunmaya karşı iyi direnç, gibi özelliklere sahiptir [10-12]. Bu özellikleri ile PBT günümüzde elektrik/elektronik, otomotiv ve mekanik uygulamalar gibi endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Katkısız PET ve PBT polyesterleri benzer kimyasal yapıya sahip olmalarından dolayı üretim esnasında uyumlaştırıcıya gerek kalmadan birbirleriyle kolaylıkla karıştırılabilmektedir. Belirli oranlarda karıştırılan PET/PBT karışımları, işlenebilirliği, yüzey kalitesini, ısıl deformasyon sıcaklığını (HDT), darbe dayanımını ve boyutsal kararlılık özelliklerini geliştirmektedir. PET/PBT karışımları, yüksek rijitlik ve mukavemet, yüksek ısıl ve kimyasal direnç ile tribolojik özellikleri ile ev araç-gereçlerinin üretiminde, elektrik ve otomotiv sektöründe farklı uygulamalarda kullanım alanını sürekli olarak artırmaktadır [11-12].

Poli-fenilen-eter (PPE) polimeri, 207°C gibi yüksek camsı geçiş sıcaklığı, düşük su emme, iyi

boyutsal kararlılık ve yüksek süneklik gibi özelliklere sahip amorf bir mühendislik polimeridir. PPE polimerinin yüksek yumuşama sıcaklığı ve yüksek ergiyik viskozitesi nedeniyle üretim zorluğu ve ayrıca zayıf çözücü direnci gibi dezavantajları da mevcuttur. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması sebebiyle geleneksel enjeksiyon makinaları ile üretimi zor olup fiyatının da yüksek olması dezavantajlı yönleridir [14-16]. Polistiren (PS) ve PPE polimerlerinin termodinamik olarak karışabilirliği olduğundan PPE/PS karışımları son yıllarda endüstriyel olarak en iyi bilinen polimer karışımı haline gelmiştir. PPE polimeri aynı zamanda poliamitler [16,17], poli-etilen-tereftalat (PET) [18], polipropilen (PP) [19] ve yüksek yoğunluklu polietilen [14] polimerleri ile de kullanılabilir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Harshavardhan ve arkadaşları [20] kısa karbon fiber miktarının PES polimerinin termal özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Karbon fiber ilave edilmesi ile PES/Karbon fiber kompozitin ısı iletkenliği artmış ve %30 karbon fiber içeriğinde 0,238 W/m °K elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, %30 karbon fiber katkılı PES polimerinin yüksek mukavemet ve iletkenlik gerektiren rulmanlar, burçlar gibi uygulamalarda faydalı olabileceği belirtilmiştir. Marek [12] ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemi ile değişik oranlarda (100/0; 95/5; 90/10; 80/20; 70/30; 50/50; 25/75; 0/100) ürettikleri PET/PBT karışımlarının mekanik ve termal özelliklerini incelemiştir. PET/PBT karışımlarının özellikle darbe dayanımını arttırdığını belirtmiştir. Çalışmasında artan PBT polimer oranının artması ile kristallenme sıcaklığının azaldığı, kristallenme oranının ise arttığı belirtilmiştir. Benzer şekilde Aravinthan ve Kale [10] farklı oranlardaki (100/0; 80/20; 70/30; 60/40; 50/50; 40/60; 20/80; 0/100) PET/PBT karışımların mekanik, termal, elektriksel ve reolojik özelliklerini incelemişlerdir. Katkısız PET ve PBT'ye göre tüm karışımların yüksek darbe dayanımı gösterdiği belirtilmiştir. PBT ilave edilmesi ile PET'in işlenebilirliği artmıştır. Tüm karışımlar için tek bir camsı geçiş sıcaklığı piki

elde edilmiştir. Karışımların ergime sıcaklığı değişmezken artan PBT miktarı ile camsı geçiş sıcaklığı azalmıştır. PBT ilavesi ile arıza geriliminin azaldığı belirtilmiştir. Hazer ve arkadaşları [13] indirgenmiş grafen oksit katkılı PET/PBT karışımı kompozitleri ergiyik karıştırma yöntemi ile üretmişler ve kompozitlerin mekanik, termal ve termo-mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitteki grafen oksit miktarının artmasına bağlı olarak PET/PBT karışımının kristallenme oranı ve ergime sıcaklığı artmıştır. Aynı zamanda, artan grafen oksit miktarı ile kopma uzaması azalırken çekme dayanımının hafif şekilde değiştiği belirtilmiştir. Endüstriyel uygulamalarda bazı kullanım alanlarında katkısız polyester kullanılırken mukavemet istenen alanlarda ise cam elyaf takviyeli polyesterlerin kullanımı ön plana çıkmıştır. Literatürde yapılan araştırmalar neticesinde, özellikle son yıllarda polietersülfon, cam elyaf takviyeli ve stiren-butadien-stiren elastomer katkılı poli-fenilen-eter kompozitleri ve cam elyaf takviyeli poli-butadien-tereftalat/poli-etilen-tereftalat karışımı kompozit malzemelerin aşınma ve sürtünme davranışları üzerine pek çalışmaya rastlanmamıştır. Buna ilaveten yukarıdaki malzemelerin karşı disk malzemesi olan doymamış polyester kompozit kullanımı üzerine çalışmaya da rastlanmamıştır. Ancak katkısız polyester ve cam elyaf takviyeli termoset polyester esaslı malzemelerin aşınma davranışları farklı ortam şartları ve parametreler altında deneysel olarak incelendiği gözlenmiştir. Polimer esaslı kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışları uygulanan yük, kayma hızı, kayma mesafesi gibi test parametrelerine bağlıdır. Yingjun ve arkadaşları [21] poli-fenilen-sülfid (PPS), poli-eter-sülfon (PES) ve poli-sülfon (PSU) polimerlerinin aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları yükün (25-250 N) ve hızın (0,1-0,6 m/s) artması ile PPS polimeri maksimum sürtünme katsayısı (0,96) değeri gösterirken PES ve PSU polimerlerinin sürtünme katsayısı değerlerinde hafif bir şekilde azalma gözlenmiştir. Yüksek yük ve kayma hızlarında PPS polimerinin aşınma oranı PES ve PSU polimerlerinden daha düşük elde edilmiştir. Sürtünme ve aşınma özelliklerini

etkileyen en önemli parametrenin ısıya karşı gösterdikleri direnç olduğunu belirtmişlerdir. Amorf PES ve PSU polimerlerinin sürtünme yüzeyleri yumuşadığı zaman, sıvı gibi davranarak karşı yüzeye yapışarak düşük sürtünme özelliği göstermektedir. Kristal yapılı PPS polimeri ise yüksek mekanik özellikler ve sıcaklıklara dayanıklı olduğu için benzer sıcaklıklarda katı madde gibi davranarak yük taşıyabilirlik özelliği gösterir. Bu özellik PES ve PSU polimerlerine göre PPS polimerine daha yüksek aşınma direnç özelliği sağlamaktadır. Shicheng ve arkadaşları [2] genişletilmiş grafitten elde ettikleri nano-boyutlu grafit oksit (GO) katkılı Poli-eter-sülfon (PES) polimerinin mekanik, termal ve tribolojik performanslarını incelemişlerdir. GO ilave edilmesi ile PES kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri artmıştır. Katkısız PES polimeri ile karşılaştırıldığında PES/GO kompozitinin sürtünme katsayısının azaldığı, aşınma direncinin arttığı belirtilmiştir. %0,6 GO ilavesinde en düşük sürtünme katsayısı (0,17) ve aşınma oranı ($1,07 \times 10^{-14} \text{ m}^3/\text{N.m}$) elde edilmiştir. Yan ve arkadaşları [22] ise Sodyum-Montmorillonit (Na-MMT) nanopartikül katkılı PES/Politetrafloretillen (PTFE) polimerinin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, ağırlıkça %10 Na-MMT içeren PES/PTFE kompozitin optimum sürtünme ve aşınma performansı gösterdiğini belirtmişlerdir. PES/PTFE karışımı ile karşılaştırıldığında sürtünme katsayısı %19,1 ve aşınma oranı ise %97,2 oranında azalmıştır. Aşınma oranındaki azalmanın sebebi ise kendinden yağlamalı özelliğe sahip PTFE polimerinin oluşturduğu transfer film tabakası olarak açıklanmıştır. Mohit ve arkadaşları [8] karbon elyaf takviyeli farklı moleküler ağırlığa sahip PES polimerlerinin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda uygulanan yükün artması ile sürtünme katsayısı değeri azalırken aşınma oranının ise arttığı belirlenmiştir. Moleküler ağırlığın artması ile hem sürtünme katsayısının hem de aşınma oranının arttığı gözlenmiştir. Zhao ve arkadaşları'nda [9] kısa karbon elyaf (KE) ve kısa cam elyaf (CE) takviyeli PES polimerinin mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda

karbon elyaf ve cam elyaf oranının artması ile kompozitin mekanik özelliklerinin arttığı belirtilmiştir. %30 karbon elyaf takviyeli PES polimer kompozitinin sürtünme katsayısı %48,8 oranında artarak maksimum değere ulaşmıştır. Ancak, artan karbon elyaf oranının artması ile sürtünme katsayısı değerleri azalırken %20 karbon elyaf takviyeli PES polimer kompozitinin sürtünme katsayısında %29,8 oranında maksimum azalma elde edilmiştir. PES polimerinin aşınma oranı karbon elyaf ve cam elyaf ilavesi ile azalmıştır. %20 KF ve CF ilavesinde PES polimer kompozitlerin aşınma oranları yaklaşık olarak sırasıyla %71 ve %95 oranlarında azaldığı belirtilmiştir. Georgescu ve arkadaşları [23] cam küre, karbon siyahı, PTFE ve aramid fiber katkılı PBT kompozitlerin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, %10 aramid fiber takviyeli PBT kompozitin en düşük aşınma değerleri gösterdiğini ve uygulanan kayma hızı aralıklarında (0,25 m/s-0,75 m/s) çok düşük hassasiyete sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, elektrik sektöründe kontak kesicilerde kullanabilmek amacıyla gerçekleştirilen tribolojik deneyler sonucunda en iyi aşınma dirençli ve en ekonomik olan polimer çiftini belirlemektir. Çalışmada, vazgeçilmez olan ve mutlaka kullanılması gereken %25 oranında uzun cam elyaf takviyeli ve %40 oranında kalsiyum karbonat katkılı doymamış polyester termoset kompozit malzemesi seçilmiş ve üretilmiştir. Bu malzeme, deneylerde karşı disk malzeme olarak kullanılmıştır. Polyester kompozit malzemeye alternatif olacak ve onunla en iyi tribolojik performansı gösterecek üç farklı polimer ve polimer kompozit malzeme seçilmiştir. Seçilen bu malzemeler, poli-eter-sülfon polimeri, stiren butadien stiren elastomer katkılı %30 oranında cam elyaf takviyeli poli-fenilen-eter polimer kompoziti ve %15 oranında kısa cam elyaf takviyeli poli-butilen-tereftalat/poli-etilen-tereftalat polimer karışımı kompozitidir. Tribolojik deneyler, 0,707, 1,415, 2,123 ve 3,538 MPa basınç altında ve kuru kayma şartlarında yapılmış olup, sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma oranı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, elektrik

sektöründe kontak kesicilerde kullanılacak en uygun aşınma dirençli ve ekonomik malzeme çifti belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu deneysel çalışmada, karşı disk malzeme olarak %25 uzun cam elyaf takviyeli ve %40 kalsiyum karbonat katkılı doymamış polyester esaslı termoset kompozit malzemesi (%25CE+%40CaCO₃+UPET) kullanılmıştır (Şekil 1). Aşınma ve sürtünme deneylerinde ağırlık olarak %40 oranında kalsiyum karbonat ve %25 oranında uzun cam elyaf takviyeli termoset polyester esaslı kompozit malzeme, karşı disk malzeme olarak kullanılmış olup mutlaka kullanılması gereken ve vazgeçilmez özelliği olan bir malzemedir. Karşı disk malzemeyi üretmek için Poliya Polyester, İstanbul firmasından doymamış polyester satın alınmıştır. 13 µm çaplı ve 12 mm boyundaki uzun cam elyaflar, Cam Elyaf Sanayi, İstanbul'dan, 10 µm partikül boyutlu kalsiyum karbonat dolgu maddesi ise OMYA Madencilik firması, İstanbul'dan temin edilmiştir. Pim malzeme olarak ise katkısız polietersülfon (PES) polimeri, Stiren-butadien-stiren (SBS) elastomer katkılı ve %30 cam elyaf takviyeli poli-fenilen-eter (PPE+SBS+%30CE) kompoziti ve %15 cam elyaf takviyeli poli-butadien-tereftalat/poli-etilen-tereftalat karışımı kompozit (PBT/PET+%15CE) malzemeleri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan polimer ve polimer

kompozitlerin fiziksel, mekanik, termal ve elektriksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. %25CE+%40CaCO₃+UPET kompozit karşı disk

Aşınma deneyleri, ASTM G99 standardına uygun olarak pim-disk aşınma cihazında ve kuru ortam şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan termoplastik pim malzemeler, özel olarak imal edilmiş enjeksiyon kalıpları kullanılarak ERAT marka bir enjeksiyon makinası kullanılarak 6mm çapında ve 50 mm uzunluğunda olacak şekilde kalıplanmıştır. Enjeksiyonla kalıplama işleminden önce matris malzemeleri 120°C fırın ortamında 4 saat süre ile kurutulmuştur. Enjeksiyon makinesinde ise numune proses şartlarına uygun olarak basılmıştır. Tribolojik testlerde, karşı disk malzeme olarak ağırlık olarak %25 oranında uzun cam elyaf takviyeli ve %40 oranında kalsiyum karbonat katkılı doymamış polyester termoset kompozit malzemesi kullanılmıştır.

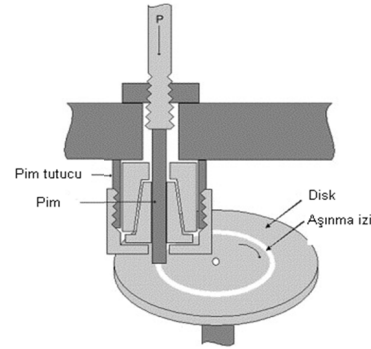
Çizelge 1. Deneylerde kullanılan polimer ve polimer kompozitlerin fiziksel, mekanik, termal ve elektriksel özellikleri

Özellikler	Katkısız PES	PPE+SBS+%30CE	PBT/PET+%15CE
Yoğunluk (g/cm ³)	1,37	1,26	1,43
Çekme mukavemeti (MPa)	90	110	90
Elastiklik modülü (MPa)	2700	9000	5000
Darbe mukavemeti, (kJ/m ²)	7	4	6
Ergime sıcaklığı (°C)	-	-	225
Heat deflection temperature, 1,8 MPa (°C)	75	141	175
Nem emme (%)	0,7	0,3	0,06
Dielektrik mukavemeti (KV/mm)	37	90	-
Yüzey direnci (ohm)	>1xE15	1xE14	1xE14
Dielektrik sabiti (1 MHz)	3,8	2,9	-
CTI	100	-	-
Yanmazlık sınıfı, 1,5 mm (UL94)	V0	HB	HB

Disk malzemeler ise 100 mm çapında ve 5 mm kalınlığında olacak şekilde yine hacim kalıplama tekniği (BMC) ile sıcak preste üretilmiştir. Doymamış polyester esaslı termoset kompozitler, bir elektrik imalat parçaları üreten bir firmanın desteği ile firma bünyesindeki cihaz ve makineler kullanılarak üretilmiştir. Termoset esaslı polyester kompozitler üretmek için önce doymamış polyester akışkanlığı sağlayıcı stiren ile 100:25 oranında karıştırılmıştır. Sonra çapraz bağlama ajanı olarak metil-etil-keton-peroksit (MEKP), geciktirici olarak BC500, stabilizatör olarak çinko sterat ve yoğunlaştırıcı olarak ise magnezyum oksit, viskozite azaltıcı ve renklendiricilerin tamamı 10 dakika süre ile karıştırıcıda karıştırılmıştır. Sonrasında elde edilen hamur karışımı Z-tipi bir karıştırıcıya alınıp kalsiyum karbonat ilave edilerek yarım saat, daha sonra da uzun cam elyaflar ilave edilerek 15 dakika karıştırılmıştır. Hazırlanan hamur karışımı, karşı disk malzeme üretmeden önce 7 gün boyunca şartlandırılmıştır. Disk malzemeler 120 mm çaplı ve 10 mm kalınlığında olacak şekilde kalıpta 1500 MPa basınç altında, 150°C sıcaklıkta 60 saniye boyunca kürlenmiştir. Aşınma ve sürtünme deneylerinden önce, pim polimer malzemeler ve karşı malzeme disk yüzeyleri 1200 nolu zımpara ile zımparalanmıştır. Her test öncesinde hem disk yüzeyleri hem de pim yüzeyleri asetonla temizlenip kurutulmuştur.

Şekil 2’de tribolojik testlerin gerçekleştirildiği çalışma ortamı ve pim-disk aşınma cihazının şematik resmi verilmiştir. Aynı zamanda deneylerde kullanılan termoplastik esaslı polimerlerinin tribolojik deneylerin proses şartları Çizelge 2’de verilmiştir. Bir elektrik motorunun tahriği ile dönen diskin üzerine deneylerde kullanılan disk malzemeler bir vida yardımıyla

sabitlenmiştir. Kol üzerinde bulunan bir mekanizma ile 6 mm çapındaki polimer pim malzemeler de kola bir bağlama aparatı ile bağlanır. Makine çalıştırıldığında, pim numunesinin diske sürtünmesiyle pim numunesinin bağlı olduğu kol aparatı da diskin dönme yönüne hareket etmek istemektedir. Bu ileriye doğru olan hareket yanal kuvveti vermektedir. Bu yanal kuvvet ise bir yük hücresi (Load-cell) ile ölçülmüştür. Alınan veriler aynı zamanda direk bilgisayarda Excel programında depolanmıştır. Deneylerde dakikada 1000 yanal yük verisi alınmış ve deneylerde kullanılan yük bölünerek Excel programında grafik haline getirilmiştir.



Şekil 2. Çalışma ortamı ve pim-disk aşınma test cihazı şematik gösterimi

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan polimer ve kompozit malzemelerin tribolojik test şartları

Malzeme	Test Sıcaklığı (°C)	Kayma mesafesi (m)	Hız (m s ⁻¹)	Uygulanan yük (MPa)	Nem (%)
Katkısız PES	21±1	1000	0,5	0,707	31±3
PPE+SBS+%30CE				1,415	
PBT/PET+%15CE				2,123	
				3,538	

Sürtünme katsayısı yanal kuvvetin, normal uygulanan kuvvete oranı olarak ifade edilir ve Eşitlik 1 ile hesaplanır. Burada, μ : Sürtünme katsayısını, F_S : Yanal sürtünme kuvveti (N) ve F_N ise Normal kuvveti (N) ifade eder.

$$\mu = \frac{F_S}{F_N} \quad (1)$$

Her bir aşınma testinden önce ve sonra kompozit pimlerin ağırlıkları ölçülmüş ve ağırlık kaybı (Δm) tespit edilmiştir. Eşitlik 2'de formül kullanılarak, aşınma test numunelerinin spesifik aşınma hızları (K_o) hesaplanmıştır. Spesifik aşınma hızı;

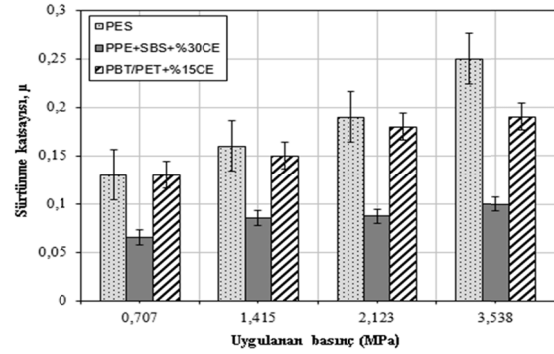
$$K_o = \frac{\Delta m}{L * \rho * F} \quad (2)$$

Burada; Δm : ağırlık kaybı (g), L: kayma mesafesi (m), ρ : malzemenin yoğunluğu (g/cm^3), F: uygulanan yük (N).

4. DENEY SONUÇLARI

Şekil 3'de katkısız PES polimeri ile PPE+SEBS+%30CE ve PBT/PET+%15CE kompozitlerin 0,5 m/s kayma hızında artan basınca bağlı olarak sürtünme katsayılarındaki değişim verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi deneylerde kullanılan tüm polimer ve polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı değerleri uygulanan basıncın artması ile artmaktadır. Katkısız PES polimerinin sürtünme katsayısı 0,129 iken uygulanan basıncın artması ile birlikte artmış ve 3,53 MPa basınç altında 0,249 değerine ulaşmıştır. PPE+SEBS+%30CE kompozitinin sürtünme katsayısı incelendiğinde ise 0,707MPa basınç altında 0,056 olan sürtünme katsayısı, basıncın %400 oranında artırılması ile 0,098 değerine ulaşmıştır. PPE+SEBS+%30CE polimer kompozitinin sürtünme katsayısı da uygulanan basınca bağlı olarak %75 oranında artmıştır. PBT/PET+%15CE polimer kompozitinin sürtünme katsayısı ise uygulanan basıncın 0,707 MPa'dan 3,538 MPa'a artırılması ile %46,7 oranında artmıştır. Sürtünme katsayısındaki artışın sebebi

ise uygulanan basıncın artması ile birlikte abrasif aşınmanın baskın hale gelmesi ile açıklanabilir. Yani basıncın artması ile pim-disk gerçek temas yüzey alanının arttığı söylenebilir. 0,707 MPa basınç altında, katkısız PES polimerinin sürtünme katsayısı PPE+SEBS+%30CE kompozitinden %152 oranında, PBT/PET+%15CE kompozitinden ise %31 oranında daha yüksek elde edilmiştir.



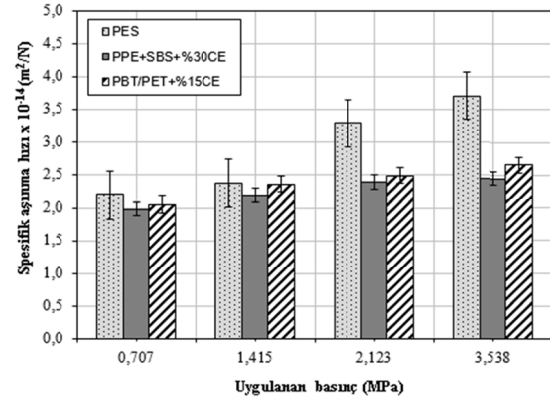
Şekil 3. PES, PPE+SEBS+%30CE ve PBT/PET+%15CE kompozitlerin sürtünme katsayısı-uygulanan basınç ilişkisi (Hız: 0,5 m/s)

Uygulanan basınç aralıklarında en yüksek sürtünme katsayısı 3,538 MPa basınç altında 0,249 değeri ile katkısız PES polimerinde elde edilirken en düşük sürtünme katsayısı 0,707 MPa basınç altında 0,056 değeri ile PPE+SEBS+%30CE kompozitinde elde edilmiştir. Katkısız PES polimerine göre cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları azalma göstermiştir. Bilindiği gibi, kompozit içerisindeki cam elyaf uygulanan basıncı karşılamaktadır ve temas alanını azaltmaktadır. Bu yüzden artan cam elyaf oranı ile kompozitlerin sürtünme katsayısı azalmaktadır. Bu sonuçlar da daha önce literatürde yapılan çalışmalarla uyum göstermektedir [24-27].

Şekil 4'te ise PES, PPE+SEBS+%30CE ve PBT/PET+%15CE kompozitlerin 0,5 m/s kayma hızında artan basınca bağlı olarak spesifik aşınma oranlarındaki değişim verilmiştir. Genel olarak, PES, PPE+SEBS+%30CE ve PBT/PET+%15CE kompozitlerin spesifik aşınma oranı 10^{-14} m²/N olarak belirlenmiştir. En düşük aşınma oranı $1,96 \times 10^{-14}$ m²/N değeri ile PPE+SEBS+%30CE

kompozitinde elde edilirken en yüksek aşınma oranı $3,70 \times 10^{-14}$ m²/N değeri ile PES polimerinde elde edilmiştir. PES polimerinin aşınma oranı PPE+SEBS+%30CE kompozitin aşınma oranından %52 oranında, PBT/PET+%15CE kompozitin aşınma oranından ise %38 oranında daha yüksek elde edilmiştir. Aşınma direncindeki bu artışın, polimerin deformasyonunu engelleyen ve kompozitin mekanik özelliklerini artıran cam elyaf mukavemet artırıcılar nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Uygulanan 0,707-3,538 MPa basınç aralıklarında, katkısız PES, PPE+SEBS+%30CE ve PBT/PET+%15CE kompozitlerin aşınma oranı uygulanan basıncın artması ile artmıştır. Aşınma oranındaki bu artış, katkısız PES polimeri için %68 oranında iken PPE+SEBS+%30CE kompoziti için %23, PBT/PET+%15CE kompoziti için ise %30 oranında elde edilmiştir. Uygulanan basıncın artması ile karşı yüzeye yapışma artmakta ve polimer yüzeyinden daha kolay partiküller kopmaktadır. Bu da uygulanan basıncın artması ile aşınma oranının artmasına sebep olmaktadır. Fakat katkısız PES polimerine göre polimer matris bünyesindeki cam elyaf katkıları kompozit malzemelerin çekme mukavemeti ve elastiklik modülünün artmasına yani rijitliğinin artmasına dolayısıyla kompozitlerin aşınma direncinin artmasına da sebep olmaktadır. Çizelge 1 ve Şekil 4. Elde edilen bu sonuçlar ve sebepler daha önce literatürde Mohit ve arkadaşları [8], Zhao ve arkadaşları [9] ve Yingjun ve arkadaşları [20]'nın yaptığı çalışmalarda elde ettiği sonuçlar ile uyum göstermektedir. Ana matris bünyesindeki cam elyaf oranının artması, kompozitlerin ağırlık kaybının kontrol edilmesinde önemli bir rol oynadığı ifade edilebilir. Ana polimer matris bünyesindeki cam elyaf oranının artması ile sürtünen yüzeyler arasındaki cam elyaflar kırılmakta ve aşınma miktarı artmaktadır ve düşük yüklerde bu kırılan cam elyaflar kayma süresince ara yüzeyden uzaklaşmaktadır. Ancak, uygulanan basıncın artması ile kırılan cam elyaflar daha küçük parçalara ayrılarak aşınma yüzeylerine (karşı disk malzeme veya pim polimer) yapışmaktadır. Bu durum ise hem yüzey sertliğinin ve rijitliğinin artmasına bunun sonucu olarak da

daha düşük aşınma oranları elde edilmiştir Şekil 4-6. Elde edilen sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla uyum içindedir [24,27].

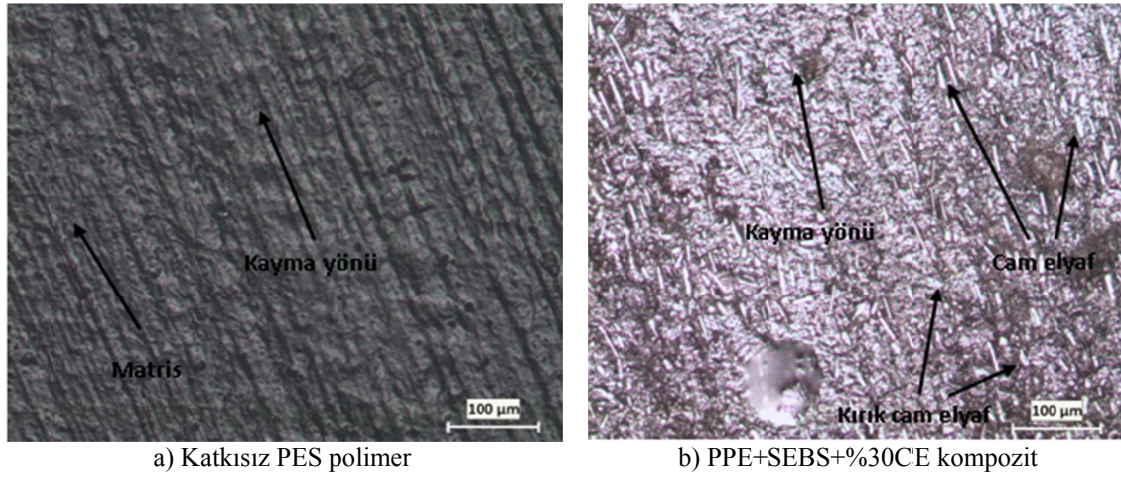


Şekil 4. PES, PPE+SEBS+%30CE ve PBT/PET+%15CE kompozitlerin spesifik aşınma oranı-uygulanan basınç ilişkisi (Hız: 0,5 m/s)

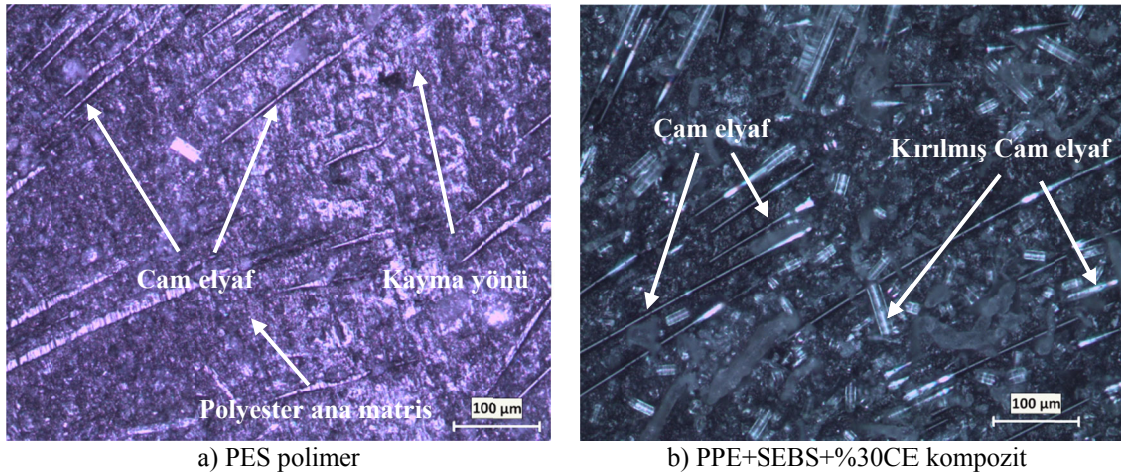
Şekil 5 (a,b) sırasıyla katkısız PES polimeri ile PPE+SEBS+%30CE kompozitinin 3,538 MPa basınç altında ve 0,5 m/s kayma hızında karşı disk malzeme ile çalışması durumunda elde edilen aşınma yüzeyinin optik mikroskopta alınan mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 6 (a,b) ise katkısız PES polimeri ve PPE+SEBS+%30CE kompozitinin 3,538 MPa basınç altında ve 0,5 m/s kayma hızında aşınma deneyine maruz kalması durumunda %25CE+%40CaCO₃+UPET kompozit karşı disk malzeme yüzeyinde elde edilen aşınma yüzeyinin optik mikroskopta alınan mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Şekilde 5a dikkatli bir şekilde incelendiğinde katkısız PES polimerinin aşınma yüzeyinde derin ve geniş aşınma izleri tespit edilmiştir. Yani PES polimeri için abrazyon aşınma mekanizması şeklinde bir aşınma gözlenmiştir. Karşı disk malzemesi olan %25CE+%40CaCO₃+UPET kompozit malzemesi bünyesindeki cam elyaflar katkısız PES polimerinin aşınma yüzeylerinde kazıyıcı etki yaparak abrazyon aşınmasına sebep olmuştur. Karşı disk malzemenin aşınma yüzeyinde ise PES polimerinden gelen aşınma partikülleri beyaz renkli ve yapışmış olarak görünmektedir, Şekil 6a,

Şekil 5b ise PPE+SEBS+%30CE kompozitinin ve Şekil 6b ise %25CE+%40CaCO₃+UPET karşı kompozit disk malzeme aşınma yüzeyinin birbirleriyle çalışması durumunda elde edilen optik mikroskop görüntülerini göstermektedir. Şekil 5b'de PPE+SEBS+%30CE kompozitinin bünyesinde bulunan cam elyaflar karşı disk malzeme bünyesinde bulunan cam elyaflar ile temas ederek ana matris malzemenin aşınmasını önlemektedir. Katkısız PES polimerinin aşınma yüzey görüntüsünden farklı olarak

PPE+SEBS+%30CE polimer kompozitinin aşınma yüzeyinde daha az aşınma izleri ve düzgün bir yüzey olduğu gözlenmiştir. Yine Şekil 6b'de ise PPE+SEBS+%30CE/%25CE+%40CaCO₃+UPET karşı disk aşınma çiftinde karşı disk malzeme yüzeyinde de cam elyaf oranından dolayı daha az abradif aşınma izleri görülmektedir. Hatta yüzeyde kırılmış cam elyaflar malzeme yüzeyinde matris malzemeye yapışarak aşınma direncinin artmasına dolayısıyla daha az aşınmasına sebep olmaktadır (Şekil 4).



Şekil 5. PES polimer ve PPE+SEBS+%30CE kompozitinin aşınma yüzeyi optik mikroskop mikroyapı görüntüleri (Uygulanan basınç:3,538 MPa, Kayma hızı 0,5 m/s)



Şekil 6. PES polimer ve PPE+SEBS+%30CE kompozit ile çalışan diskin aşınma yüzeyi optik mikroskop mikroyapı görüntüleri (Uygulanan basınç: 3,538 MPa, Kayma hızı 0,5 m/s)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmada, gerçekleştirilen deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan tüm polimer esaslı malzemelerin sürtünme katsayıları uygulanan basıncın artırılması ile artış göstermektedir. En düşük sürtünme katsayısı PPE+SBS+%30CE kompozitinde elde edilmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı ise PES polimerinde elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan her üç polimer malzeme için, spesifik aşınma hızları uygulanan yükün artması ile artış göstermiştir. Uygulanan basınç aralığında en düşük spesifik aşınma hızı yaklaşık olarak $1,96 \times 10^{-14}$ m²/N değeri ile PPE+SBS+%30CE kompozitinde elde edilmiştir. En yüksek spesifik aşınma hızı ise ortalama $3,70 \times 10^{-14}$ m²/N değeri ile PES polimerinde elde edilmiştir. Doymamış polyester kompozit malzemesine göre elektrik endüstrisinde kontak kesicilerde kullanma amaçlı gerçekleştirilen çalışma neticesinde PPE+SBS+%30CE kompozit malzemesi en uygun malzeme olarak tespit edilmiştir. Deneylerde kullanılan malzemeler arasında PES polimerinin aşınma oranı PPE+SEBS+%30CE kompozitin aşınma oranından %52 oranında, PBT/PET+%15CE kompozitin aşınma oranından ise %38 oranında daha yüksek elde edilmiştir. Sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma hızları gözönüne alındığında PBT/PET+%15CE kompoziti, PPE+SBS+%30CE kompozitine göre daha ucuz olduğundan maliyet açısından PBT/PET+%15CE kompozitinin seçilmesi daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Chunguang, L., Rongfeng, L., Yang, S., Manyu, H., Taishan, C., Wei, X., Xiaofeng, Y., 2011. Mechanical and Tribological Properties of PTW/PTFE/PPS/PES Composites. *Advanced Materials Research*, 284-286, 205-209.
2. Shicheng, Y., Yulin, Y., Laizhou, S., Xiaowen, Q., Yahong, X., Changsheng, D., 2018. Tribological Behavior of Graphite Oxide Reinforced Polyethersulfone Composite under Drying Sliding Condition. *Polymer Composites*, 39(7), 2320-2335.
3. Jianbing, C., Qiang, G., Zhengping, Z., Xianli, S., Xiaoming, W., Chunlai, D., 2013. Thermal, Crystalline, and Tribological Properties of PEEK/PEI/PES Plastics Alloys. *Journal of Applied Polymer Science*, 2220-2226.
4. Galal, S., Dilyus, C., Victor, T., Valerii, T., 2019. Effect of Formation Route on the Mechanical Properties of the Polyethersulfone Composites Reinforced with Glass Fibers. *Polymers*, 1364, 1-11.
5. Zhen, Z., Laizhou, S., Yulin, Y., 2015. Tribological Behavior of Polyethersulfone-Reinforced Polytetrafluoroethylene Composite Under Dry Sliding Condition. *Tribology International*, 86, 17-27.
6. Yuan-Qing, L., Sen-Sen, D., Li-Yuan, L., Fei, L., De-Bo, L., Ze-Kun, Z., Hong-Mei, X., Ning, H., Shao-Yun, F., 2019. Synergistic Effects of Short Glass Fiber/Short Carbon Fiber Hybrids on the Mechanical Properties of Polyethersulfone Composites, *Polymer Composites*, 40(S2), 1725-1731.
7. Ye, Z., Yingshuang, S., Haibo, Z., Lianjun, D., Yunping, Z., Yuntao, H., Zhenghua, J., 2018. Friction and Wear Properties of Poly (Ether Sulfone) Containing Perfluorocarbon end Group. *High Performance Polymers*, 30(2), 247-253.
8. Mohit, S., Jayashree, B., Kuldeep, S., 2011. Studies for Wear Property Correlation for Carbon Fabric-Reinforced PES Composites. *Tribology Letters*, 43, 267-273.
9. Ze-Kun, Z., Sen-Sen, D., Fei, L., Hong-Mei, X., Yuan-Qing, L., Wei-Gang, Z., Ning, H., Shao-Yun, F., 2018. Mechanical and Tribological Properties of Short Glass Fiber and Short Carbon Fiber Reinforced Polyethersulfone Composites: A Comparative Study. *Composites Communications*, 8, 1-6.
10. Aravinthan, G., Kale, D.D., 2005. Blends of Poly (Ethylene Terephthalate) and Poly (Butylene Terephthalate). *Journal of Applied Polymer Science*, 98, 75-82.
11. Mohammadreza, N., Hazal, O., 2019. Development of PBT/Recycled-PET Blends and the Influence of Using Chain Extender.

- Journal of Polymers and the Environment, 27, 1404–1417.
12. Marek, S., 2004. Mechanical and Thermal Properties of PET/PBT Blends. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 416(1), 209-215.
 13. Hazer, S., Mehmet, Ö., Ayse, A., 2018. Characterization of Poly (Ethylene Terephthalate)/Poly (Butylene Terephthalate) Based Nanocomposites Reinforced with Reduced Graphene Oxide. 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials (ISLAC'18), 22-24 Mart, Karabük, 35-39.
 14. Mohammed, A.B.R., David, A.S., Joao, M., 2018. Property/Morphology Relationships in SEBS-Compatibilized HDPE/Poly (Phenylene Ether) Blends. *Macromolecules*, 51(16), 6513-6523.
 15. Edward, N.P., 2017. Poly (Phenylene Ether) Based Amphiphilic Block Copolymers. *Polymers*, 9(9), 433-457.
 16. Do Kyun, K., Kwang Ho, S., Chong Min, K., Soon Man, H., Dong Wook, C., 2015. Characterization of Compatibilized Blends of Nylon 66/poly(2,6-dimethyl-1,4-phenylene ether)/high-impact Polystyrene Filled with Phosphinate-based Flame Retardants: Mechanical Property, Rheological Behavior and Flame Retardancy. *Journal of Fire Sciences*, 33(5), 339-357.
 17. Alper, A., Teresa, M., Merve, A., Volker, A., 2020. Properties of Styrene–Maleic Anhydride Copolymer Compatibilized Polyamide 66/Poly (Phenylene Ether) Blends: Effect of Maleic Anhydride Concentration and Copolymer Content. *Materials*, 13, 1237-1253.
 18. Lo, D., Chiang, C., Chang, F., 1997. Reactive Compatibilization of PET and PPE Blends by Epoxy Couplers. *J. Appl. Polym. Sci.* 65(4), 739-753.
 19. Akkapeddi, M.K., 2014. Commercial Polymer Blends. In *Polymer Blends Handbook*, 2nd ed.; Utracki, L.A., Wilkie, C.A., Eds.; Springer: Dordrecht, 1733-1883.
 20. Harshavardhan, B., Ravishankar, R., Suresha, B., Srinivas, S., Arun, C.D.U., 2020. Influence of Short Carbon Fiber Content on Thermal Properties of Polyethersulfone Composites. *Materials Today: Proceedings*, Available online 16 October 2020, In Press.
 21. Yingjun, D., Peihong, C., Xujun, L., Tongsheng, L., 2009. Comparative Study of Tribological Properties of Polyphenylene Sulfide (PPS), Polyethersulfone (PES), and Polysulfone (PSU). *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, 48, 269-281.
 22. Yan, S., Yahong, X., Yahui, H., Shoujun, W., 2020. Thermal, Mechanical and Tribological Properties of Sodium–montmorillonite-nanoparticle-reinforced Polyethersulfone and Polytetrafluoroethylene Ternary Composites. *Friction*, 1-18.
 23. Georgescu, C., Mihail, B., Lorena, D., 2014. Influence of Adding Materials in PBT on Tribological Behaviour. *Materiale Plastice*, 51(4), 350-354.
 24. Yi-Lan, Y., Du-Xin, L., Gao-Jie, S., Ruo-Yun, L. Xin, D. 2016. Improvement in the Tribological Properties of Polyamide 6: Talc, Glass Fiber, Graphite and Ultrahigh-molecular-weight Polyethylene. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 29(4), 494-507.
 25. Autay, R., Missaoui, S., Mars, J., Dammak, F., 2019. Mechanical and Tribological Study of Short Glass Fiber-reinforced PA 66. *Polymers and Polymer Composites*, 27(9), 587-596.
 26. Anay, A., Kalyan, K.S., 2017. Friction and Wear Behaviour of Glass Fibre Reinforced Polymer Composite (GFRP) under Dry and Oil Lubricated Environmental Conditions. *Materials Today: Proceedings*, 4, 7285-7292.
 27. Sudhir, K., Panneerselvam, K., 2015. Research on Tribological Behaviors of Pure and Glass Fiber Reinforced Nylon 6 Composites against Polymer Disc. *Journal of Material Science and Mechanical Engineering (JMSME)*. 2(6), 24-28.

Çimento Üretim Sektöründe ISO 14001 Çevre Yönetim Sisteminin Enerji Kazanımı ve İklim Değişikliği Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

Bülent SARI¹, Şeyda Y. GEYİK², Olcayto KESKİNKAN^{*1}

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

²Sönmez Çimento Yapı ve Madencilik San. Tic. A.Ş. Yumurtalık Serbest Bölgesi, Ceyhan/Adana

Geliş tarihi: 27.10.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Öz

Bu çalışmada çimento sektöründe faaliyet gösteren bir endüstriyel firmada ISO 14001 Çevre Yönetim Sisteminin enerji kazanımı ve iklim değişikliği üzerine etkileri incelenmiştir. CO₂ emisyonunun engellenmesine ek olarak, fosil yakıt kazancı elde edilerek de doğal kaynakların verimli kullanımına katkı sağlanmıştır. Çimento endüstrisi üretim sürecinde ön ısıtıcı ve soğutucudan çıkan ısının yeniden kullanımı ve atık malzemelerin geri kazanımı ile enerjiden büyük oranda tasarruf edilebileceği bu çalışmada ortaya konulmuştur. Enerji verimliliğinin iyileştirilmesinin, elektrik ve yakıt tüketiminden kaynaklı CO₂ salınımını azalttığı ve ISO 14001 yönetim sistemi kapsamında enerji tüketimleri ve emisyon salımlarının değerlendirilmesi ile CO₂ emisyonunun 6811,87 ton oranında azaldığı bulunmuştur. Böylece atmosfere yapılan ton cinsinden CO₂ salınımının engellendiği ve hedeflerde bu oranın düştüğü hesaplanmıştır. Kurulan yönetim sistemi ile firma bünyesinde proaktif çevre kültürü oluşturulmaya başlanmış ve bunun sonucunda iklim değişikliğine olumlu katkı sunan sonuçlar alınmaya başlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çevre yönetim sistemi, Çimento, Enerji, Çevre, İklim değişikliği

Investigation of the Impacts of ISO 14001 Environmental Management System on Energy Recovery and Climate Change in Cement Production Sector

Abstract

In this study, the effects of ISO 14001 Environmental Management System on energy gain and climate change in an industrial company operating in the cement industry were examined. In addition to preventing CO₂ emissions, it has contributed to the efficient use of natural resources by obtaining fossil fuel savings. In this study, it has been demonstrated that a great deal of energy can be saved by reusing the heat from the preheater and cooler in the production process of the cement industry and recovering waste materials. It has been found that improving energy efficiency reduces CO₂ emissions from electricity and fuel consumption and CO₂ emission decreased by 6811.87 tons by evaluating energy consumption and release of emissions within the scope of ISO 14001 management system. Thus, it has been calculated that the CO₂ emission to the atmosphere in tons was prevented and this rate decreased in the targets. With the established management system, a proactive environmental culture has been created within the company, and as a result, positive contributions to climate change have been obtained.

Keywords: Environmental management system, Cement, Energy, Environment, Climate change

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Olcayto KESKİNKAN, olcayto@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Çimento, günümüzde en temel yapı malzemesi olan betonun su ile birlikte temel bağlayıcısıdır [1]. Üretimine başlandığı 1845 yılından bu yana, çimento, en önemli yapı malzemesi olma niteliğini kaybetmemiştir. Türkiye ekonomisinin son yıllarda kaydettiği hızlı büyümede inşaat sektörü ve sektörün en önemli bileşenlerinden birisi olan çimento sanayi önemli bir katkıya sahiptir [2]. Ülkemizde 54 adet entegre çimento fabrikası bulunmaktadır. Bu fabrikaların hepsi özel sektöre ait olup, iki tanesi yaş diğerleri ise kuru sistemle üretim yapmaktadır [1]. Faaliyet gösteren çimento fabrikaları Avrupa Standartları (EN) ile uyumlaştırılmış olan ve Ülkemizde TS EN olarak adlandırılan standartlar çerçevesinde üretim gerçekleştirmektedir. Türkiye’de çimento üretimi 2015 yılında 72,8 milyon ton iken 2016 yılında yaklaşık 76,9 milyon ton olarak gerçekleşmiş ve %5,6 oranında bir artış görülmüştür [3]. Çimento sektörü enerji tüketimi en yüksek sektörler arasında yer almaktadır. Enerji tüketiminin yüksek olduğu bu tip sanayi kollarında, enerji tasarrufu ile hedeflenen; enerji girdilerinde sürekliliği yakalayarak düşük maliyetin ve ürün kalitesinin elde edilmesidir [4]. Bu nedenle çimento sanayinde enerjinin etkin kullanımı, enerji verimliliği, enerji tasarrufu, çevresel etkilerin azaltılması gibi konularda Ar-Ge çalışmaları ve temiz üretim yöntemleri uygulama çabaları yoğunlaşmıştır [5,6].

Sanayi kuruluşları üretim faaliyetleri için ihtiyaç duyulan enerji tüketimini ve üretim sırasında ortaya çıkan çevresel etkileri azaltmak ve ayrıca zorlu rekabet koşulları ile mücadele edebilmek amacıyla çeşitli yönetim sistemlerini kuruluşlarında hayata geçirmektedir [7]. Bu kapsamda Çevre Yönetim Sistemi (ÇYS), sanayi kuruluşlarının en çok başvurdukları yönetim sistemlerinden birisidir [8].

Bu çalışmada çimento sektörüne ISO 14001 ÇYS’nin uygulamalarının incelenmesi amaçlanmıştır. Belirlenen amaç doğrultusunda ulaşılmaması beklenen hedefler ise çimento sektöründeki ISO 14001-ÇYS uygulaması ile sağlanacak enerji kazanımı ve bunun iklim

değişikliğine olan katkısının ortaya konmasıdır. Bu amaç ve hedefler kapsamında ISO 14001 ÇYS uygulama alanı olarak Adana da bulunan bir entegre çimento üretim tesisi seçilmiştir. Çimento sektöründe ISO 14001 ÇYS uygulanması ve bunun iklim değişikliği özelinde sağlayacağı katkıların ortaya konulmasının, hem yönetim sisteminin uygulanmasının teşvik edilmesi hem de günümüzün en önemli problemlerinden birisi olan iklim değişikliğine dikkat çekmek açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu araştırmanın konusuyla ilgili olarak yapılmış önceki çalışmalar incelendiğinde, Doğanay [9] tarafından yapılan çalışmada ÇYS incelenerek, tekstil endüstrisinde ÇYS uygulanması esasları üzerinde durulmuştur. Araştırma sonucunda Türkiye’de büyük kuruluşlar hariç, gönüllü olarak bu sistemin kuruluşunu gerçekleştiren kuruluş sayısının oldukça az olduğu tespit edilmiştir. Türkiye’de kuruluşlar kaynak yönetimine geçemediği için bunların doğurduğu organizasyonel problemler herhangi bir sistemin hayata geçirilmesini engellemektedir. Ayrıca veri eksiklikleri büyük problemler yaratmaktadır. Ofori ve arkadaşları [10] şirketlerin ISO 14000-Çevre Yönetim Standartları’na yaklaşımlarını anlamak gayesi ile Singapur’da bir anket araştırması yapmıştır. Yapılan anket araştırmasında inşaat sektöründeki firmaların uygulama maliyetinin yüksek olduğu belirtilmiştir. Böylece elde edilecek faydaların uygulama maliyetinden daha az öneme sahip olması düşüncesi oluşmuştur. Khurana ve arkadaşları [11], çalışmalarında Hindistan’da bulunan ve yıllık klinker kapasitesi 1 milyon ton olan bir çimento üretim fabrikasını incelemiştir. Çimento üretiminde harcanan ısı enerjisinin yapılan hesaplamalara göre %35’inin sıcak gaz hatlarında yitirildiği ve yaklaşık olarak da 4,4 MW atık ısıdan elektrik enerjisi elde edilebileceği görülmüştür. Yapılan hesaplamalar fabrikanın harcadığı enerjinin yaklaşık %30’luk bir bölümüne denk gelmiştir. Çalışma sonunda enerji verimliliğinin %10 oranında iyileştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Melnyk ve arkadaşları [12], çalışmalarında ÇYS'nin yürütülmesinde firmaların 3 farklı yol izlediğini tespit etmişlerdir: ÇYS'nin gayri resmi yürütülmesi (1), ÇYS'nin resmi olarak yürütülmesi fakat standart ile belgelendirilmemesi (2) ve ÇYS'nin resmi olarak yürütülüp ISO 14001 standardı ile belgelendirilmesi (3). Gayri resmi ÇYS uygulamasında performansın çok düşük olduğu ifade edilmiştir. ÇYS'nin resmi olarak uygulandığı ancak standartlar ile belgelendirilmediği durumlarda performans ve çevresel seçimlerin orta düzeyde olduğunu bildirilmiştir. Resmi olarak yürütülen ve standartlarla belgelendirilmiş ÇYS'nin uygulanması durumunda ise özellikle atık azaltılması konusunda pozitif performans gösterdiği bildirilmiştir. Fryxell ve arkadaşları [13], yaptıkları çalışmada ÇYS belgelendirilmesi için Çin'deki firmaların üzerine inceleme yapmışlardır. Çalışmada sonuç olarak ÇYS için en güçlü yönleri; mevzuata uygunluğun güvence altına alınması, firma imajının güçlü tutulması ve çevresel performansın iyileştirilmesi olarak tespit edilmiştir. Bektaş [14], TS EN ISO14001 çevre yönetimi standardının kuruluşlarda nasıl şekillendiğini ve madencilik sektöründe uygulamaya nasıl geçebileceğini araştırmıştır. Araştırmanın sonucunda; bu sistemi kuran ve belli bir süre işleten kuruluşların, belgelendirme talebi için başvurabileceği, bu belge ile sektörlerinde çevrenin korunması ve çevre bilinçli üretim konularında önder olabileceği, "Kalite ve Çevre Yönetim Sistemleri için Kılavuz" standardı ile ikisini bir arada belgelendirilebileceği belirlenmiştir. Erdoğan [2]'in çalışmasında, Türk ve Dünya çimento sanayisinin üretim, tüketim ve dış ticaret gibi temel verileri ile sektörün üretim teknolojisi, enerji tüketimi, sektör kaynaklı emisyonlar ve Türkiye'nin emisyonların azaltılması konusunda mevcut ve muhtemel yükümlülükleri incelenmiştir. AB emisyon ticaret planının (ETS) getireceği maliyet artışlarının sektörün rekabet gücünü nasıl etkileyeceği analiz edilmiştir. Bu yükümlülükler kapsamında enerji verimliliğinin artırılarak emisyonların azaltılmasına yönelik olarak sektörde yapılabilecek çeşitli uygulamalar tespit edilmiştir. Tespit edilen uygulamaların Türk çimento sanayisine uygulanma imkanlarına yer verilmiştir. Worrell ve arkadaşları [15]'nin yaptığı çalışmada, endüstriyel enerji

verimliliği teknolojilerinin, enerji kullanımının ve sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar azaltma politikalarının potansiyel katkısı tartışılmaktadır. Sonuç olarak; Endüstri doğrudan ve dolaylı olarak küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %37'sine katkıda bulunmaktadır. Enerji kaynaklı toplam endüstriyel emisyonlar 1971'den bu yana %65 oranında arttığı belirtilmiştir. Bilgideki temel boşluklar, özellikle geçiş ekonomilerinde, enerji yoğun olmayan sanayilerde potansiyel enerji verimliliği iyileştirme potansiyeli, ortak faydaların belirlenmesi, sürdürülebilir kalkınma azaltma seçenekleri ve tüketici tercihlerinin etkisi olduğu tespit edilmiştir. Wang ve arkadaşları [16]'nın yaptığı çalışmada çimento üretimi faaliyetlerinin çok fazla enerji tükettiği üzerinde durulmuştur. Araştırmanın sonucunda ön ısıtıcıdan döner fırın bacasına giden atık ısının geri kazanılması ile enerji kazanımı öngörülmüştür. Sistem matematiksel olarak modellenmiştir. Hasanbiegi ve arkadaşları [17], yaptıkları çalışmada 16 adet çimento fabrikasını incelemişlerdir. Çimento için kıyaslama ve enerji tasarruf aracı (best-cement) yöntemi ile uluslararası uygulamaları incelemişlerdir. Ayrıca fabrikaların tükettiği enerji göz önüne alınarak Çin'deki yerli uygulamalar ile de karşılaştırmalar yapılmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda ortalama olarak %12'lik bir enerjinin tasarruf edileceği kanaatine ulaşmışlardır. Aydın ve Bedük [18], Karaman'daki imalat işletmelerinin çevre yönetimiyle ilgili mevcut durumlarını tespit etmek amacıyla anket yapmışlar ve sonuçları değerlendirmişlerdir. Çalışmada çevresel hassasiyetler küçük ve orta ölçekli işletmelerin ÇYS standartlarına ne kadar uzak olduklarını anlamak üzere değerlendirilmiştir. Yapılan anket değerlendirmesi sonucunda bu işletmelerde çevre yatırımlarını yönlendirebilecek uzman personelin bulunmadığı, bu yatırımları bir rekabet fırsatına çevirme bilinci oluşmadığı ve çevre yatırımlarının yetersiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Madlool ve arkadaşları [19], Çimento endüstrisinin farklı bölümlerinde enerji kullanımı, spesifik enerji tüketimi, enerji kullanım tipleri, çimento üretim işlemlerinin detayları, çeşitli enerji tasarruf önlemlerini gözden geçirmişlerdir. Uygulama maliyetiyle birlikte tasarruf edilebilecek enerji miktarı dikkate alınarak çeşitli enerji tasarruf önlemlerini eleştirel bir şekilde analiz etmişlerdir.

Enerji analizinin üretim hattında uygulanmasının, sistemin performansını iyileştirmek ve enerji maliyetlerini düşürmek için etkili bir yol olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ertuğrul ve Şavlı [20], yaptıkları çalışmada bakır sanayinde faaliyet gösteren bir sektöre, standartların kullanım kılavuzundan yararlanılarak ÇYS'nin nasıl uygulanacağını açıklamışlardır. ÇYS'nin verimli bir şekilde yürütülebilmesi için çalışan herkesin tam katılım sağlamasının önemini vurgulamışlardır. Sonuç olarak, çevre yönetim sistemleri işletmeler için maliyetli olsa da işletmenin müşteriler için önemini ve firma imajını güçlendirmek gibi daha birçok yarar sağladığını belirtmişlerdir. Hasanbeigi ve arkadaşları [21], yaptıkları çalışmada 19 çimento ve beton üretim tesisi için ortaya çıkan enerji verimliliği ve CO₂ emisyonu azaltma teknolojilerini açıklamışlardır. Gelişmekte olan veya gelişmiş enerji verimliliği ve düşük karbonlu teknolojiler konusunda çimento sektörüne ait bilgilerin sınırlı olduğunu ifade etmişlerdir. Bunun yanında, enerji cezalarını en aza indirmek için bu teknolojileri geliştirmek ve optimize etmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu ifade etmişlerdir. Mikulčić ve arkadaşları [22], küresel sera gazı yayılımlarında çimento sektörünün önemli payı olduğunu, daha temiz ve daha enerji verimli çimento üretiminin giderek artan bir ilgi gördüğünü, diğer sanayilerin yan ürünleri gibi alternatif yakıtların ve hammaddelerin kullanım oranının arttığını ifade etmiştir. Çimento endüstrisinde 2020 yılı ve sonrası için öncelikli hedef CO₂ emisyonunun azaltılması olarak belirlenmiştir. Özellikle kireçtaşı ayrışmasından ve fosil yakıt yanmasından kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltacak Ar-Ge faaliyetleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Sonuç olarak, farklı atık ve malzemelerin çimento sektöründe alternatif yakıt/enerji kaynağı olarak kullanılmasının uygunluğu bu çalışmada desteklemiş ve pekiştirilmiştir. Van Ruijven ve arkadaşları [23], çimento üretiminde daha verimli teknolojilerin kullanımı yönünde istek olduğunu ifade etmiştir. Karbon yakalama ve ayrıştırma işlemlerinin büyük salım azaltmalarına ulaşmak için önemli bir teknoloji olduğunu vurgulamıştır. Bilgiç [3], çalışmasında iklim değişikliği ile mücadelede emisyon ticareti ve Türkiye uygulamasını araştırmıştır. İklim değişikliği ve

emisyon ticaretinin yer aldığı mevzuatlar incelendiğinde kapsayıcı bir yasal mevzuatın bulunmadığı görülmüştür. Gelecekte ülkemizde bu çalışmaların tasarlanması halinde yasal, kurumsal ve finansal alt yapı boşluklarının analiz edilmesi gerektiğini değerlendirmiştir. Topçu [24], iklim değişikliği ve enerji politikaları bağlamında düşük karbon ekonomisine geçiş hedefi için fosil yakıt sektörünün belirleyiciliğinin devam etmekte olduğunu, düşük karbon teknolojilerinin sağlayıcısı olarak gelişmiş ülke ve endüstrilerin tekel konumlarını sürdürmekte olduğunu ve emisyon ticareti gibi piyasa temelli mekanizmaların şirketler açısından yeni kazanç alanları olarak desteklenmekte olduğunu örneklerle sunmuştur. Orhan [25]'in yaptığı çalışmada entegre bir pilot tesis seçilmiştir. Pilot tesisten alınan veriler doğrultusunda IPCC (Uluslararası İklim Değişikliği Paneli) kılavuzunda yer alan Tier 1, Tier 2 ve Tier 3 yöntemleriyle baz alınan 2015, 2016 ve 2017 yılları için sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada sonuç olarak, en güvenilir yöntemin Tier 3 olduğu bulunmuştur. Yoğun enerji kullanan sektörlerden olan çimento sektöründe sera gazı emisyonlarının azaltılması ve doğal kaynak tüketiminin sınırlı tutulabilmesi açısından alternatif yakıt kullanımının büyük önem taşıdığı tespit edilmiştir. Ülkemizin nüfusu artışı yüksek bir ülke olduğundan mevcut durumdaki atıkların gelecekte daha da fazla olacağı ve katı atık bertarafı için daha fazla alan kullanımı söz konusu olacağı ve atık kullanımı ile katı atık depolama alanları açısından da kazanç sağlanacağı tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. İşletme Bilgileri

Uygulama, ISO 14001 ÇYS'nin enerji kazanımı ve iklim değişikliği üzerine etkilerini gerçekleştirmek isteyen Sönmez Çimento Fabrikası'nda yapılmıştır. 413 dönümlük sahası ve 230 çalışanıyla hammadde kaynaklarına çok yakın olan Sönmez Çimento, serbest bölgeler içerisinde kurulmasına izin verilen Türkiye'deki ilk çimento fabrikasıdır.

3.2. Metod

Tesiste klinker üretimi ve yakıtların yanmasından kaynaklanan CO₂ emisyonlarının hesaplanmasında Hesaplama Temelli Yöntemi'nden (HTY) yararlanılmıştır. HTY uygulanırken yakıtların yanması ve proseten kaynaklanan sera gazı emisyonları göz önünde bulundurulur. Bu şekilde Faaliyet Verisi belirlenir. Yakıtların yanması sırasında tüketilen yakıtı ait veriler kullanılırken; proseten kaynaklanan emisyonlarda giren ve çıkan malzemeye ait veriler ya da kütle denge yöntemi kullanılır. HTY, ölçüm sistemleri vasıtasıyla kaynak akışlarından elde edilen faaliyet verilerinin, laboratuvar analizlerinden elde edilen veya varsayılan ilave parametrelerin kullanılarak emisyonların belirlenmesi anlamına gelir [Bkz. İ&R Tebliği Madde 19 (1)]. Klinker stok değişiminin yanı sıra klinker sevkini ve klinker teminini dikkate alan malzeme dengesi vasıtası ile çimento teslimatlarına bağlı olarak Eşitlik 1 kullanılır:

$$\dot{U}K = \left[(TE\dot{C} - \dot{C}SD) \cdot \frac{K}{\dot{C}} \right] - (TEK) + (DK) - (KSD) \quad (1)$$

Eşitlikte; $\dot{U}K$, Üretilen klinker, TE \dot{C} , Teslim edilen çimento, $\dot{C}SD$, Çimento stok değişimi, K, Klinker, \dot{C} , Çimento, TEK, Temin edilen klinker, DK, Dağıtılan klinker, KSD, Klinker stok değişimi olarak tanımlanmıştır.

3.2.1. ISO 14001 ÇYS'nin Kurulması

Firma, 10 maddeden oluşan TS EN ISO 14001 ÇYS standardına uygun olarak dokümantasyon çalışmaları yapmıştır. Öncelikli olarak taahhüt edilen çevre politikası oluşturulmuştur. Ardından birimler enerji kazanımlarını ve iklim değişikliğine olan etkilerini çevre boyutları formuna işlemiştir. Böylece CO₂ emisyonunun ve elektrik tüketiminin azaltılması için Atık Isıdan Elektrik Enerjisi Üretimi (WHR) tesisinin projelendirilmesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

WHR Tesisinin maksimum kapasitesi, çimento fabrikasının maksimum klinker üretim miktarı üzerinden hesaplanmıştır. Fabrikaların enerji

verimliliği şartlarına bağlı olarak, WHR ile elektrik üretimi 30-45 kw/ton-klınker aralığında değişmektedir. Atık ısıdan enerji kazanımı hesaplama sonuçları bulgular kısmında verilmiştir.

3.2.2. Enerji Verimliliği ve İklim Değişikliğine Etkisi

ISO 14001 ÇYS kurulumunda enerji kazanımı için WHR tesisinin kurulumu planlanmıştır. Bu doğrultuda kurulacak tesis için araştırmalar yapılmıştır. Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik kapsamında sera gazlarının izlenmesine dair çalışmalar başlatılmıştır. Bu bağlamda ton başına düşen CO₂ emisyon miktarları hesaplanmıştır. Hesaplama kullanılan eşitlikler Çizelge 1 ve 2'de verilmiş ve tanımlanmıştır.

Çizelge 1. Yakıtların yanması için emisyon hesaplama formülü

Emisyon= FV * EF * NKD * YF	
Parametre	Birim
Emisyon	tCO ₂
FV: Faaliyet Verisi	TJ, t ya da Nm ³
NKD: Net Kalorifik Değer	TJ/Gg
EF: Emisyon Faktörü	tCO ₂ /TJ, tCO ₂ /Nm ³
YF: Yükseltgenme Faktörü	birimsiz

Çizelge 2. Proses emisyonları için hesaplama formülü

Emisyon= FV * EF * DF	
Parametre	Birim
DF: Dönüşüm Faktörü	Birimsiz

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Çimento Sektöründe ISO 14001 Standart Maddeleri Bazında Uygulama Değerlendirilmesi

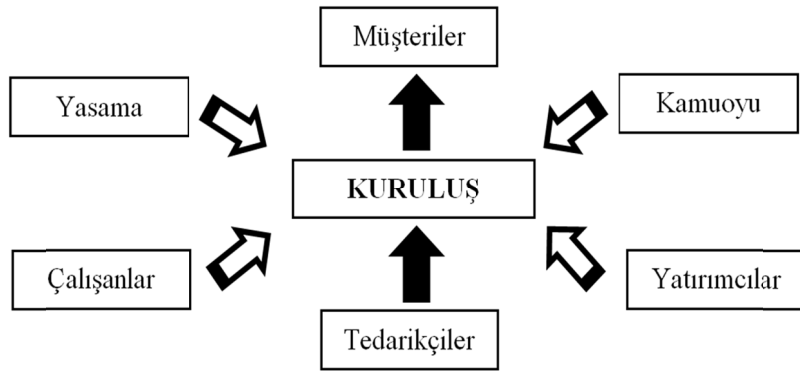
Model alınan çimento fabrikasında çevre uygulamaları ISO-14001 ÇYS standartlarına uygun biçimde yürütülmüştür. Standart enerji kazanım hedeflerine ve iklim değişikliğine entegre olarak hazırlanan programın yürütülmesi ve

güvenilirliği akredite belgelendirme kuruluşu denetimi ile desteklenmiştir.

4.1.1. Kuruluşun Bağlamı

Terrados ve arkadaşları [27], bu aşamada ilk olarak Şekil 1’de yer alan ilgili taraflar oluşturulmuştur. Tehditleri (riskleri) ve fırsatları belirlemek için de SWOT analizi yapılmıştır. SWOT analizinde kurum içi güçlü ve zayıf yanlar ile kurum dışı

fırsatlar ve tehditler (riskler) tespit edilmiştir. Çizelge 3’de örnek alınan tesis için hazırlanan SWOT Analizi verilmiştir. Fryxell ve arkadaşları [13], ÇYS açısından Çin’deki firmaların en güçlü yönlerini yasalara uyumluluğu sağlamak, firma imajını güçlendirmek ve çevresel performansı artırmak olarak tespit etmiştir.



Şekil 1. İlgili taraflar

4.2. Atık Yönetimi

Tesisin üretim sürecindeki faaliyet, ürün ve hizmetlerinden kaynaklanan, çevreye doğrudan veya dolaylı etkileri olan atıkların etkin bir şekilde yönetilmesi ve bertaraf edilmesi amacı ile “Atık Yönetimi Prosedürü” oluşturulmuştur. Atıklar, rutin prosesler, uygunsuzluklar, acil durumlar veya taşeron faaliyetleri sonucu oluşmaktadır. Taşeronların atık yönetimi ile ilgili yükümlülükleri taşeronlarla yapılan sözleşmelerde belirtilmiştir. ÇYS kurulmadan önce ayrı ayrı toplanmayan atıklar, ÇYS sürecinde atıkların kaynağında azaltılması, geri kazanılması veya tekrar kullanılabilmesi için cinslerine göre ayrı toplanmaya ve depolanmaya başlanmıştır.

Tehlikeli Atıklar için geçici atık depolama alanı yapılmıştır ve atık alanındaki tüm bölmeler kilitlenmiştir. Hurda atıklar, tahta palet atıkları ve diğer tehlikesiz atıklar için ayrı alanlar yapılmıştır. Böylece atık ayrıştırımda %95 verim sağlanmıştır.

4.2.1. Alternatif Hammadde Kullanımı

Klinker üretimi, ihtiyaç duyulan ısı enerjisi ve kalsinasyon etkisi ile açığa çıkan CO₂ emisyonu sebebiyle çimento üretiminin iklim değişikliğine olan etkisinin en belirgin şekilde ortaya çıktığı proseslerdir. Bu nedenle çimento içindeki klinker oranı ne kadar yüksek olursa üretilen çimentonun iklim değişikliği faktörü de o denli yüksek olacaktır. Modern çimento üretim teknolojisi uygulamalarıyla, klinkerin alternatif hammaddelerle ikame edilmesi olarak dahilindedir. Bu modern uygulamalarla üretilen yüksek performanslı, katkılı çimento türleri, üretim için harcanan toplam enerji miktarını ve CO₂ emisyonunu düşürmektedir. Mikulčić ve arkadaşları [22], çimento sektöründe iklim değişikliğinin modern toplumun karşılaştığı en büyük zorluklardan biri olduğunu ifade etmiştir. Bu kapsamda sektörün 2020 yılı hedeflerine ulaşması için CO₂ emisyonunun azaltılması önem kazanmıştır. Bunun için farklı atık yakıt ve

malzemelerin alternatif enerji kaynağı ve hammadde olarak kullanılmasının uygunluğu desteklenmiştir.

Yürütülen çalışmada kaynakların daha verimli kullanılabilmesi için alternatif hammadde

kullanımının artırılması ÇYS hedeflerine eklenmiştir. 2020 yılının ilk yarısında katkı maddesi olarak uçucu kül kullanımı %50 oranında artırılmıştır.

Çizelge 3. SWOT analizi

GÜÇLÜ YÖNLER	FIRSATLAR
<ul style="list-style-type: none">• Filtre seçiminin torbalı filtre oluşu sayesinde daha sağlıklı ortam oluşturma• Geçici Depolama Alanının yanında bulunan kör kuyu sayesinde dış ortamın kirliliğinin önlenmesi• Üst yönetimden yeterli desteğin alınabilmesi• Sürekli emisyon ölçüm sisteminin online olarak izlenebilmesi ve rutin bakımlarının zamanında yapılabilmesi• Güncel çevre eğitimlerinin fabrika tarafından sunulması	<ul style="list-style-type: none">• Hava emisyonu ve atık kabul tesisi konulu Çevre İzin ve Lisans Belgesinin alınmış olması• Alternatif hammadde olarak uçucu kül, arıtma çamuru ve işlenmemiş cüruf atıklarının kullanım lisansının alınmış olması• Tehlikeli Madde Faaliyet Belgesi ve Tehlikeli Madde Uygunluk Belgesinin alınmış olması• Sera Gazı ve Çevre Danışmanları ile çalışıyor olmak.• Petrokok kullanım izninin oluşu
ZAYIF YÖNLER	TEHDİTLER
<ul style="list-style-type: none">• Çevre konusunda çalışanların yeterince bilinçli olmaması• Çevre kirliliğine yeterli önem verilmemesi• Saha içerisinde tehlikesiz atıkların belirli noktalar dışında da muhafaza edilmesi• Tehlikeli atık alanında atıkların düzenli olarak istiflenmemesi	<ul style="list-style-type: none">• NO_x, SO₂ ve toz değerlerinin artması ile hava kirliliğinin artış göstermesi• Sera gazı emisyonu olan CO₂ yıl içerisinde artması hava kirliliğinin artış göstermesi

4.2.2. Alternatif Hammaddelerin Tesise Kabulü, Hazırlanması ve Kullanılması

Alternatif hammadde olarak kullanılacak atıkların tesise kabulü “alternatif hammaddelerin kabulü ve kullanımı talimatı” kapsamında gerçekleştirilmiştir. Tesise kabul edilen alternatif hammaddeler Uçucu Kül, Arıtma Çamuru ve Cüruf işleme atıklarıdır. Uçucu kül klinker kullanım oranını azaltırken arıtma çamuru ve cüruf işleme atıkları da farin üretiminde kalite parametrelerinin ayarlanmasında katkı sağlamaktadır. Bu sayede atık geri kazanımı ve değerlendirilmesi ile birlikte baca gazı karbon emisyonlarında yüksek oranda düşüş yaşanacağı öngörülmektedir.

4.2.3. Alternatif Yakıt Kullanımı

Orhan [25] tarafından yapılan çalışmada, Çimento sektörü enerjiyi yoğun kullanan bir sektör olarak tanımlanmış ve sera gazı emisyonlarının azaltılması ve doğal kaynak tüketiminin sınırlı tutulabilmesi açısından alternatif yakıt kullanımının büyük önem taşıdığı bildirilmiştir. Çalışmaya konu olan tesiste atık yakma lisansı henüz alınmamıştır. Ancak, konu ÇYS SWOT analizinde incelenmiştir. Üretimde alternatif yakıt kullanımı hedefler arasına alınarak konuyla ilgili çalışmalar devam etmektedir.

4.3. Kimyasal Malzeme Yönetimi

ÇYS kapsamında kimyasal malzeme yönetimi için “Kimyasalların Depolanma ve Kullanım Talimatı” oluşturulmuştur. Bu doküman sayesinde kimyasal

malzemelerle çalışan personel kimyasalların etkileri, kullanma biçimleri, acil durumlarda yapılacak işlemler hakkında eğitilmiştir. Bu sayede hem kendi sağlık ve güvenlikleri hem de fabrikaya ve çevreye gelecek olası zararlar engellenerek azaltılmıştır.

4.4.1. Atık Isı Kazanımı

Fabrikada enerji tasarrufu ve verimli kullanılması amacıyla WHR projesi başlatılmıştır. Proje ile ısıl değeri yüksek atık gazların enerjisi buhar kazanlarında buhara dönüştürülmektedir. Oluşan buhar, sonrasında, türbine gönderilmekte ve “Jeneratör” yardımıyla elektrik enerjisi üretilmektedir. WHR tesisinin kurulu gücü 9,9 MWh olarak hesaplanmıştır.

Sönmez Çimento Farikası için atık ısıdan üretilecek enerji miktarı aşağıda hesaplanmıştır;

Yıllık klinker üretimi	1.815.000 ton/yıl
Yıllık çalışma süresi	330*24=7.920 saat
Yıllık elektrik üretimi	1.815.000*43,2=78,408 MW
Saatlik elektrik üretimi	78.408/7920≈9,9 MWh
Termal Isıl Güç	9,9/0,21≈47,14 MWt

Bu durumda projeye konu WHR tesisinin ısıl gücü maksimum 47,14 MWt olarak saptanmıştır.

Benzer şekilde Khurana ve arkadaşları [11] atık ısı geri kazanım sistemiyle, yaklaşık olarak 4,4 MW elektrik enerjisi üretilebileceğini ortaya koymuşlardır.

WHR projesi ile, sektörel enerji yoğunluğunun düşmesine katkıda bulunulması, enerji maliyetlerinin azaltılması ve karlılığın artırılması, enerji fiyatlarında artış riskinin azaltılması, elektrik arz güvenilirliğinin artırılması, çevre imajının güçlendirilmesi ve CO₂ emisyonları azaltılarak ticareti için fırsat yaratılması gibi kazanımların elde edilmesi öngörülmektedir. Bunun yanında, WHR fabrika üretim hattında gereksinim duyulan

elektrik enerjisinin bir bölümünü de karşılayacak ve enerji giderini azaltacaktır. Ayrıca, ISO 14001 ÇYS ile amaçlanmış olan çevre dostu yaklaşım, baca/sera gazı emisyonlarının azalmasına yol açacaktır. Böylece SWOT analizinde belirtilen riskler fırsata çevrilmiş olacaktır. Nitekim, Wang ve arkadaşları [25] yaptıkları çalışmada, çimento sektöründe enerji kullanımının yoğun olması nedeniyle, ön ısıtıcıdan bacaya giden atık ısının geri kazanılarak değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

4.5. İklim Değişikliğine Etkisi

ÇYS'nin tesiste uygulanmasıyla iklim değişikliğinde etken olan sera gazı emisyonlarını azaltmak da bir hedef olarak belirlenmiştir. Bu amaçla sera gazı emisyonlarını kontrol altına alabilmek için prosedürler ve talimatlar oluşturulmuştur. Tesiste klinker üretimi ve yakıtların yanmasından kaynaklanan CO₂ emisyonlarının hesaplanmasında HTY'den yararlanılmıştır. HTY, yakıtların yanmasını ve proseten kaynaklanan sera gazı emisyonlarını göz önünde bulundurularak uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde emisyonlar, ölçüm sistemleri aracılığıyla kaynak akışlarından elde edilen faaliyet verisinin laboratuvarında analiz edilmesiyle ya da emisyonların varsayılan ilave parametrelerinden yararlanılarak hesaplanmaktadır. Yakıtların yanması esnasında tüketilen yakıtta ait veriden yararlanılırken, proseten kaynaklı emisyonlarda, giren ve çıkan malzemeye ilişkin veriye ya da Kütle Denge Yöntemi'ne başvurulmaktadır. Bu şekilde Faaliyet Verisi belirlenmektedir.

Bu çalışmada HTY ile emisyonların hesaplanması için standart yöntem uygulanmıştır. Proses emisyonlarının hesaplanmasında Tebliğin Ek 3'ünde verilen tesisler ile ilgili faaliyete özgü izleme yöntemi kullanılmıştır. Tesiste sera gazı emisyonlarının ÇYS'ye entegre edilmesi ile Sera Gazı Emisyonlarını İzleme ve Raporlama Prosedürü oluşturulmuştur. Prosedürde tanımlanmış olan, 2019 yılına ait faaliyetler Çizelge 4'de, tesisin 2019 yılına ait emisyon kaynakları ise Çizelge 5'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 2019 yılı sera gazı emisyonları tanımlanmış faaliyetler

Etiket	Faaliyet	Toplam Faaliyet Kapasitesi	Birim	Sera Gazları
F1	Klinker Üretimi	5,500	ton/gün	CO ₂
F2	Yakıtların Yanması	320,44	MWth (saatte ton MW)	CO ₂

Çizelge 5. 2019 yılı sera gazı emisyonları emisyon kaynakları

Etiket	Kaynak	İlişkili Faaliyetler
K1	Döner Fırın	Klinker Üretimi
K2	Kalsinatör	Klinker Üretimi
K3	Jeneratör 1	Yakıtların Yanması
K4	Jeneratör 2	Yakıtların Yanması
K5	Jeneratör 3	Yakıtların Yanması
K6	Jeneratör 4	Yakıtların Yanması
K7	Yangın Pompası	Yakıtların Yanması
K8	HGG 1	Yakıtların Yanması
K9	HGG 2	Yakıtların Yanması
K10	Şalomalar	Yakıtların Yanması

Orhan [25] yaptığı çalışmada, çimento üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının çimento üretiminde CO₂ klinkerleşme sürecinde meydana geldiğini ve karbonat içerikli hammaddelerin yüksek ısı ile reaksiyona girmesi sonucu CO₂ açığa çıktığını bildirmiştir. Çimento sektörünün enerjiyi yoğun kullanan sektörlerin başında gelmesinden dolayı sera gazı emisyonlarının azaltılması ve doğal kaynak tüketiminin sınırlı tutulabilmesi açısından alternatif yakıt kullanımının büyük önem taşıdığını belirtmiştir. Bu çalışmada da yakıt tüketimlerinin azaltılması ve alternatif hammadde kullanımının artması için ISO 14001 ÇYS kapsamında hedefler konulmuş olup böylece enerji kazanımını artırma yönünde olumlu dönüşler

alınmıştır. Çizelge 6 ve Çizelge 7’de sırasıyla 2017 ve 2019 yıllarına ait kullanılan yakıtlar ve bu yakıtların yanması sonucu salınan CO₂ emisyonları hesaplanmıştır. Hesaplama Başlık 3.2. Metotta tanımlanan yöntem kullanılmıştır. 2017 yılında çalışma konusu fabrikada ÇYS uygulamaları henüz hayata geçirilmemiştir ve 2019’a kadar geçen iki yıl süresince ÇYS yürürlüğe alınmış ve özellikle yakıt tüketimlerinin azaltılması ve alternatif hammadde kullanımının artması için ISO 14001 ÇYS kapsamında hedefler yakalanmaya çalışılmıştır. Buna göre, 2017 ve 2019 yılları arasında CO₂ emisyonu azalması 6811,87 ton olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 6. 2017 yılı örnek hesaplama

	Faaliyet Verisi (t)	NKD (GJ/t)	EF tCO ₂ /TJ	tCO ₂ e
Klinker	1.758.396,95		0,53	931.950,39
KOK	1.758.396,95		0,011358	19.971,87
Petrokok	124.197,31	32,24	97,28	389.520,92
İthal Linyit	53.827,86	26,85	95,84	138.515,45
Motorin	85,59	43,33	73,38	272,14
Propan	3,15	47,3	63,1	9,40
TOPLAM				1.480.240,17

Çizelge 7. 2019 yılı örnek hesaplama

	Faaliyet Verisi (t)	NKD (GJ/t)	EF tCO ₂ /TJ	tCO ₂ e
Klinker	1.746.544,22		0,53	929.161,53
KOK	2.707.143,54		0,011358	11.813,97
Petrokok	144.255,78	31,95	91,54	421.905,31
İthal Linyit	47.712,15	23,78	97,10	110.169,17
Motorin	172,10	43,00	74,10	548,36
LPG	0,63	47,30	63,10	1,88
Kömür	0,12	28,20	94,60	0,32
Propan	9,27		2,99	27,75
TOPLAM				1.473.628,29

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İklim değişikliği günden güne önem kazanan bir konudur. Bu nedenle insan faaliyetlerinin sebep olduğu sera etkisine sebep olan gazlara yönelik önlem alınması son derece önem arz etmektedir. Bunun yanında enerjinin etkin kullanımı ve tasarrufuna yönelik çalışmalar da günümüzde oldukça üzerinde durulan konulardır.

Bu kapsamda Sönmez Çimento fabrikasında yürütülen bu çalışmada, oluşturulan ÇYS ile emisyonların izlenmesi ve raporlanması hususunda takip edilebilir ve sürdürülebilir bir başarı elde edilmiştir. Fabrikanın CO₂ salınımı iki yılda 6811,87 ton oranında azaltılmıştır. Bunun yanında atık ısının geri kazanılması için kurulan WHR tesisi sayesinde 47,14 MWt oranında bir enerji kazanımı elde edilmiştir. CO₂ azalması ve enerji kazanımı paralelinde alternatif hammadde kullanımı ise %30 oranında artmıştır.

Bu sayede fabrikanın toplum, müşteriler ve yatırımcılar üzerinde sağlam bir güven duygusu yaratacağı öngörülmektedir. Bunun paralelinde çevreye duyarlı bir firma imajının da artacağı düşünülmektedir. Çimento üretiminde enerjinin etkin kullanılması, tüketiminin azaltılması ve iklim değişikliğine olan etkisinin düşürülmesi için sürekli iyileştirme faaliyetlerinin takip edilebilir ve sürdürülebilir bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. TCMB, 2019. <https://www.tcmb.org.tr/> Erişim Tarihi: 08.10.2019 saat:17:05
2. Erdoğan, A., 2008. İklim Değişikliği ile Mücadele Faaliyetlerinin Türk Çimento Sanayiine Etkileri, Uzmanlık Tezi, 174.
3. Cembureau, Activity Report, <https://cembureau.eu/media/1635/activity-report-2016.pdf>, 2016
4. Sögüt, Z., Oktay, Z., Karakoç, H., Yörü, Y., 2010. Kuru Tip Çimento Üretiminde Farin Değirmenin Termoekonomik Analizi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Eskişehir, 30(1), 59-72.
5. Syed, R.H., Istiak, A., Ferdous, S.A., Monjorul, H., 2020. Empirical Investigation of Energy Management Practices in Cement Industries of Bangladesh. Energy, 212, 1-13. 118741.
6. Zhang, S., Xie, Y., Sander, R., Yue, H., Shu, Y., 2021. Potentials of Energy Efficiency Health Improvement and Energy Emission Health Nexus in Jing-Jin-Ji's Cement Industry, Journal of Cleaner Production, 278, 1-15, 123335
7. Özdenkoş, O., 2010. Çimento Fabrikalarında Kalite ve Çevre Yönetimi Sistemleri: Sektörde Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 178.
8. Kuleli, Ö., 2010. Çimento Mühendisliği El Kitabı, Ankara, 11.1
9. Doğanay, M., 2000. Tekstil Endüstrisinde Çevre Yönetim Sistemi Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 160.

10. Ofori, G., Gang, G., Briffett, G., 2002. Implementing Environmental Management Systems in Construction: Lessons from Quality Systems. *Building and Environment* 37, 1397-1407.
11. Khurana, S., Banerjee, R., Gaitonde, U., 2002. Energy Balance and Cogeneration for a Cement Plant, *Applied Thermal Engineering*. 22(5), 485-494.
12. Melnyk, S., 2003. A Model of Site- Specific Antecedents of ISO 14001 Certification, *Production and Operations Management*, 12(3), 369- 385.
13. Fryxell, G., Lo, C., Chung, S., 2004. Influence of Motivations for Seeking ISO 14001 Certification on Perceptions of EMS Effectiveness in China. *Environmental Management* 33(2), 239- 251.
14. Bektaş, H., 2005. Madencilikte Çevre Yönetim Sistemi Uygulaması: TS EN ISO 14001. Ankara, Madencilik ve Çevre Sempozyumu
15. Worrell, E., Bernstein, L., Roy, J., Price, L., Harnisch, J., 2008. Industrial Energy Efficiency and Climate Change Mitigation. *Energy Efficiency*, 2, 109-123.
16. Wang, J., Dai, Y., Gao, L., 2009. Exergy Analyses and Parametric Optimizations for Different Cogeneration Power Plants in Cement Industry. *Applied Energy*, 86(6), 941-948.
17. Hasanbeigi, A., Price, L., Lu, H., Lan, W., 2010. Analysis of Energy-efficiency Opportunities for the Cement Industry in Shandong Province, China: A Case Study of 16 Cement Plants, *Energy*. 35(8), 3461-3473.
18. Aydın, M.E., Bedük, F., 2010. İşletmelerde Çevre Yönetimi ve Karaman İli için Bir Örnek Uygulama. *SÜ İİBF Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 10(19), 403-414.
19. Madloul, N.A., Saidur, R., Rahim, N.A., Islam, M.R., Hossian, M.S., 2012. An Exergy Analysis for Cement Industries: An Overview, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 16(1), 921-932.
20. Ertuğrul, İ., Şavlı, A., 2013. ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi ve Bakır Mamulleri Sanayine Uyarlanması. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt 3, Sayı 2, 223-238
21. Hasanbeigi, A., Price, L., Lin, E., 2012. Emerging Energy-efficiency and CO₂ Emission-reduction Technologies for Cement and Concrete Production: A Technical Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(8), 6220-6238.
22. Mikulčić, H., Klemeš, J.J., Vujanović, M., Urbanec, K., Duić, N., 2016. Reducing Greenhouse Gasses Emissions by Fostering the Deployment of Alternative Raw Materials and Energy Sources in the Cleaner Cement Manufacturing Process. *Journal of Cleaner Production*, 136, 119-132.
23. Van Ruijven, Bas, J., Detlef, P., Vuuren, V., Boskaljon, W., Maarten L., Neelis, Saygin, D., Martin, K., Patel., 2016. Long-term Model-based Projections of Energy Use and CO₂ Emissions from the Global Steel and Cement Industries. *Resources, Conservation and Recycling*, 112, 15-36.
24. Topçu, F.H., 2018. Düşük Karbon Ekonomisine Geçme(me): İklim Değişikliği ve Enerji Politikaları Bağlamında Bir Bakış. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, 115-154.
25. Orhan, A.E., 2018. Çimento Üretiminden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 156.
26. Wang, J., Dai, Y., Gao, L., 2009. Exergy Analyses and Parametric Optimizations for Different Cogeneration Power Plants in Cement Industry. *Applied Energy*, 86(6), 941-948.
27. Terrados, J., Almonacid, G., Hontoria, L., 2007. Regional Energy Planning Through SWOT Analysis and Strategic Planning Tools: Impact on Renewables Development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11(6), 1275-1287.

Ülkemiz Madencilik Sektöründe Görülen Meslek Hastalıklarının İncelenmesi

İlknur EROL*¹

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

Geliş tarihi: 05.10.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Özet

Madencilik iş kazaları ve meslek hastalıklarına sebep olan tehlike ve risk faktörleriyle çok sık karşılaşılan sektörlerin başında gelmektedir. İş sağlığı ve güvenliğinin temel amaçlarından birisi çalışma ortamında çalışanların sağlığını olumsuz etkileyebilecek risk etmenlerinden çalışanları korumak ve meslek hastalıklarını önlemektir. Bu çalışmada, meslek hastalıklarına neden olan etkenler ile madencilik sektöründe görülen meslek hastalıklarına sebep olabilecek tehlike ve risk faktörleri incelenmiştir. Ülkemizde 2010-2018 yılları arasında madencilikte ve diğer sektörlerde faaliyet gösteren işletme, çalışan ve meslek hastalıkları sayılarındaki değişim analiz edilmiştir. Sosyal Güvenlik Kurumu'na bildirilen meslek hastası ile çalışan sayılarına göre beklenen meslek hastası sayıları arasında büyük fark olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu hastalıklar ile mücadele konusunda korunma politikaları önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Meslek hastalığı, Madencilik sektörü, İş sağlığı ve güvenliği

Investigation of Occupational Diseases Seen in Mining Sector in Turkey

Abstract

Mining is one of the main sectors in which danger and risk factors causing occupational accidents and diseases are frequently encountered. One of the main goals of occupational health and safety is to keep employees from the risk factors that may adversely affect the health of employees in the working environment and to obstruct occupational diseases. In this work, the factors that may cause occupational diseases in the mining industry were examined. The changes in the number of mining companies, employees with in the number of occupational diseases emerged in mining and other sectors between 2010 and 2018 in Turkey were analyzed. It was determined that there was a huge difference between the number of those who caught an occupational disease reported to the Social Security Institution and the number of occupational patients expected according to the number of employees. In addition, protection policies were proposed to fight against these diseases.

Keywords: Occupational disease, Mining sector, Occupational health and safety

*Sorumlu yazar (Corresponding author): İlknur EROL, ierol@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

İş kazaları ve meslek hastalıkları tüm dünyada ve ülkemizde çalışma hayatının en önemli sorunları arasında yer almaktadır. Çalışanların sağlık ve güvenliklerinin sağlanması son derece önemlidir. Bu nedenle, çalışanların fiziksel ve ruhsal olarak iyilik hallerinin sağlanması gerekmektedir. Bu durum ancak iş sağlığı ve güvenliği politikalarının doğru ve eksiksiz uygulanması ile mümkündür.

İşyeri ortam koşullarının tozlu, gürültülü, aşırı sıcak ya da soğuk olması, nemli, oksijensiz çalışma koşulları ve bedensel çalışma zorunluluğu gibi mesleki riskler bir süre sonra karşımıza meslek hastalığı olarak çıkmaktadır. Meslek hastalıklarında hastalığa sebep olan etken, kişinin çalıştığı işyerinde olduğu için, bu hastalıklarda yapılan iş ile hastalık arasında nedensellik ilişkisi vardır.

Madencilik dünyanın en eski iş kollarından birisi olup, öteden beri emek-yoğun ve tehlikeli bir iş kolu olarak bilinmektedir. Çalışma ortamlarındaki sağlık ve güvenlik tehlikelerinden dolayı madencilik işletmelerinde çalışanlar arasında hem iş kazaları, hem de meslek hastalıkları çok sık görülmektedir. Bu amaçla ülkemizde madencilikte ve diğer sektörlerde görülen meslek hastalıkları analiz edilmiştir. Madencilikte ve diğer mesleklerde faaliyet gösteren işletmeler ve çalışan sayıları incelenmiş, madencilik faaliyetleri bazında meslek hastalığına yakalananlar belirlenmiştir. Ayrıca ülkemizde 2010-2018 yılları arasında Sosyal Güvenlik Kurumu'na (SGK) bildirim yapılan meslek hastalıkları sayısı ile çalışan sayılarına göre beklenen meslek hastalıkları sayıları hesaplanmış ve aradaki fark değerlendirilmiştir.

2. MESLEK HASTALIKLARI

Meslek hastalıkları; Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ-WHO) ve Uluslararası Çalışma Örgütü (UÇÖ-ILO) gibi genel olarak Dünya'da kabul edilmiş kaynaklarda, zararlı etkenlerle bundan etkilenen insan vücudu arasında, çalışılan işe özgü bir neden-sonuç, etki-tepki ilişkisinin ortaya

konabildiği hastalık grubu olarak tanımlanmaktadır. 5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununun 14. maddesinde: "Meslek hastalığı, sigortalının çalıştığı veya yaptığı işin niteliğinden dolayı tekrarlanan bir sebeple veya işin yürütüm şartları yüzünden uğradığı geçici veya sürekli hastalık, bedensel veya ruhsal özürülük halleridir." şeklinde açıklanmaktadır [1].

2012 yılında yayımlanan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununda ise "Meslek Hastalığı, mesleki risklere maruziyet sonucu ortaya çıkan hastalıktır." şeklinde tanımlanmaktadır. Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu ve İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunundaki tanımlamalarda "Tekrarlanan Bir Sebeple" ve "Mesleki Risklere Maruziyet" ifadeleri yer almaktadır [2]. Bu ifadelerden anlaşılacağı üzere, meslek hastalığının meydana gelmesi için, iş yeri ortamındaki etkenlere uzun süreli bir maruziyet söz konusudur. İlgili mevzuatlarda (5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu ve 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununda) meslek hastalıklarıyla ilgili olarak, maruziyet süreleri yer almaktadır.

2.1. Meslek Hastalıklarının Sınıflandırılması

Bir hastalığın meslek hastalığı olarak kabul edilmesi, hastalık ve meslek arasında bir nedensellik bağı bulunmasını gerektirmektedir [3].

Ülkemizde meslek hastalıkları 5 grupta incelenmektedir (Çizelge 1). Meslek hastalıkları listesi "Sosyal Sigortalar Kanunu Sağlık İşlemleri Tüzüğü" ekinde mevcuttur [3].

Çizelge 1. Ülkemizde meslek hastalıklarının sınıflandırılması

Gruplar	Hastalıklar
A Grubu	Kimyasal maddelerden kaynaklı olan meslek hastalıkları
B grubu	Mesleki cilt hastalıkları
C grubu	Pnömonkozlar ve diğer mesleki solunum sistemi hastalıkları
D Grubu	Mesleki bulaşıcı hastalıklar
E Grubu	Fiziksel etkenlerle olan meslek hastalıkları

2.2. Meslek Hastalıklarına Neden Olan Etkenler

Meslek hastalıklarına neden olan etkenler kimyasal, fiziksel, biyolojik, psikolojik ve ergonomik olarak sınıflandırılmaktadır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Meslek hastalıklarına neden olan etkenler

Meslek Hastalıkları	Neden Olan Etkenler
Kimyasal Kaynaklı	-Ağır Metaller -Aromatik ve alifatik bileşikler (Çözücüler) -Gazlar
Fiziksel Kaynaklı	-Gürültü ve titreşim -Tozlar -Sıcak ve soğuk ortamda çalışma -Radyasyon (iyonize olan olmayan)
Biyolojik Kaynaklı	-Bakteriler -Virüsler -Biyoteknolojik varlıklar
Psikolojik Kaynaklı	-İş stresi -Gelecek kaygısı -İş güvencesizliği
Ergonomiye Özensizlikten Kaynaklı	-Ağır yük taşıma -Duruş bozuklukları -Hızlı iş -Uzun çalışma süreleri

2.2.1. Kimyasal Etkenlerin Neden Olduğu Meslek Hastalıkları

İşyeri ortamında en çok karşılaşılan etkenler kimyasal maddelerdir. Bu maddelerin hepsi insan sağlığı bakımından sakıncalı etki göstermemektedir. Kimyasal maddeye bağlı meslek hastalığında en çok karşılaşılan örnekler: kurşun, cıva gibi ağır metallerle meydana gelen zehirlenmeler, karbon monoksit, hidrojen siyanür, kükürt dioksit gibi zehirli ve tahriş edici gazların yol açtığı hastalıklar, benzen, toluen, hekzan, trikloretilen vb. solventlerin neden olduğu sağlık problemleri, asit ve alkali maddeler, pestisitler, kanserojen maddelerdir. Bu maddelerin bazıları öldürücü olabilen zehirlenmelere yol açmakta,

bazıları davranış bozuklukları oluşturmaktadır [4,5].

2.2.2. Fiziksel Etkenlerin Neden Olduğu Meslek Hastalıkları

2.2.2.1. Toza Bağlı Meslek Hastalıkları

Tozlardan meydana gelen hastalıkların genel adları “pnömokonyozdur”. Bu hastalıklar en önemli grubu oluşturmaktadır. Pnömkonyoz (akciğer toz hastalığı), akciğerlerde tozun birikmesi sonucu ortaya çıkan hastalıktır. Madenciler tarafından veya diğer meslek grubundaki çalışanlar tarafından solunan tozların bir kısmı belirli bir zaman sonra akciğerlerde depolanmakta ve fibroz oluşumuna neden olmaktadır. Bu durum kronik solunum sistemi hastalıklarına veya kanser gelişimine (asbest vb.) yol açmaktadır. Hastalığa neden olan toza göre silikoz, asbestoz, berillioz, bisinoz gibi hastalıklar meydana gelmektedir.

Özellikle maden ocaklarında, galeri açmada, karayolu, demiryolu ve baraj yapımındaki tünel kazılarında, krom, cıva, bakır, demir madeni filiz eldesinde çalışanlarda, döküm işçileri, seramik, cam sanayinde hammadde hazırlamada, kırma, öğütme işinde çalışanlarda hastalığın oluşma riski fazladır [6].

2.2.2.2. Gürültüye Bağlı Meslek Hastalıkları

Gürültü endüstriyel açıdan çok önemli sağlık riski oluşturmaktadır. Gürültünün zararlarını ikiye ayırmak mümkündür. Birincisi kulağa verdiği zararlarıdır. Diğerisi ise kulak dışı organlara yaptığı etkidir [6,7]. Kulağa verdiği zararlar:

a) Geçici İşitme Kayıpları: Kısa süre şiddetli gürültüye maruz kalan kişilerde geçici işitme kayıpları oluşmaktadır. Sonradan durum normale dönmektedir.

b) Uzun Süreli Maruziyet Sonucu Oluşan Kayıplar: Gürültülü ortamda uzun süre çalışanlarda (ortalama 10 yıl etkilenmeden sonra), kalıcı olarak işitme kayıpları meydana gelmektedir.

2.2.2.3. Titreşime Bağlı Meslek Hastalıkları

Titreşimin insan sağlığındaki etkisi el-kol ve tüm vücut şeklindedir. Martopikör, matkap, testere, parlatma ve rende makinaları kullananlarda görülmektedir ve bu kişilerde dolaşım sistemi, kemik ve eklem sistemleri, sinir sistemi ve kaslarda hasarlar oluşmaktadır. Beyaz Parmak Hastalığı olarak tanımlanan hastalık meydana gelmektedir. Bu hastalık el bilekleri ve ellerde dolaşım bozukluğu ve nörolojik bozuklukla kendini göstermektedir [6,7].

Tüm vücut sistemine bağlı meslek hastalıkları ise; konstrüksiyon ve çimento sanayinde, dokuma tezgahlarında, delik delme makinalarının kullanımında görülmektedir. Bu tür işlerde çalışanlarda bel ağrısı, sindirim bozuklukları, üriner sistem bozuklukları, denge bozuklukları, görme bozuklukları, baş ağrısı ve uyku bozuklukları söz konusudur.

2.2.2.4. Sıcak ve Soğukta Çalışmanın Neden Olabileceği Meslek Hastalıkları

Çimento, demir-çelik sanayi, açık havada çalışanlarda, yeraltı çalışmalarında sıcağa maruz kalma söz konusudur. Sıcakta çalışmaya ek olarak nemli ortam da söz konusu olursa sıcağa karşı tolerans iyice azalmaktadır. Sıcaktan etkilenme kişinin fiziksel durumu ve yaptığı işe göre değişmektedir. Sıcaktan etkilenme; ısı çarpması, ısı bitkinliği ve ısı krampları şeklinde meydana gelmektedir.

Kışın açık havada çalışanlarda, yol işçilerinde, denizcilerde, tarım ile uğraşanlarda soğuğa maruz kalma söz konusudur. Soğuk ortamda vücut ürettiği ısıdan fazlasını kaybederek soğumaya başlar. Dolaşım bozukluğuna bağlı Raynaud fenomeni gelişebilir, mesleki deri hastalıkları görülebilir [6,7].

2.2.2.5. Basınç Altında Çalışmanın Neden Olabileceği Meslek Hastalıkları

Basınç artışına bağlı sağlık sorunları inşaat, tünel ve kazı işlerinde çalışanlarda, denizin altında

petrol ve maden arama işlerinde çalışanlarda görülmektedir.

Vücut sıvılarında erimiş olarak bulunan azot gazının ani basınç düşmesiyle gaz haline geçmesi sonucunda damarlarda meydana gelen gaz kabarcıkları, damarları tıkararak dokuların oksijen alımını önler ve doku kayıplarına varan etkiler oluşmaktadır. Ağır felç ve komaya varan rahatsızlıklar söz konusudur [6,7].

2.2.2.6. Radyasyona Bağlı Meslek Hastalıkları

Mor ötesi (ultraviyole) ve kırmızı ötesi (infrared) ışınlar noniyonizan gruptadır. Mor ötesi ışınlar yüzeysel yanıklara, deri kanserine yol açmaktadır. İyonizan radyasyon alfa, beta partikülleri veya gama ışınları şeklindedir. Bu tür radyasyonun en önemli etkisi kanserojen olmasıdır. Mesleki olarak; haberleşme, metalürji, kaynak işlemleri, radyoaktif madenlerin çıkarılması ve işlenmesinde radyasyondan etkilenmek olasıdır [6,7].

2.2.3. Biyolojik Etkenlerin Neden Olduğu Meslek Hastalıkları

İş hayatı sırasında ortaya çıkan enfeksiyon hastalıklarıdır. Biyolojik kaynaklı meslek hastalıkları, sağlık personeli, madenciler, dökümcüler, kanalizasyon işçileri, orman, inşaat ile tarım ve hayvancılık işlerinde çalışanlarda görülmektedir. Hastalığın oluşumuna mikro organizmaların neden olmaktadır. Bu grupta yer alan hastalıklar hem insanlarda hem de hayvanlarda görülebilir. Biyolojik nedenli meslek hastalıklarının en çok bilinen örnekleri; tüberküloz, şarbon, brusellozis ve parazit hastalıklarıdır [5,6].

2.2.4. Psikolojik Etkenlerin Neden Olduğu Meslek Hastalıkları

Meslek hastalıklarına neden olan psikolojik etkenler; duyuşal denge, reaksiyon zamanı, zeka düzeyi, özel yetenekler, psikolojik yorgunluk, algı hızı, dikkat, bellek bozukluklarıdır. Hastalığa neden olan etkenler monoton iş ortamı, dikkat gerektiren işler, çalışma saatlerinin düzensizliği, vardiyalı çalışma, yalnız çalışma, fazla mesai, aşırı sorumluluk gibi iş şartlarıdır. Bu durum stres ve

aşırı yüklenmelere, çalışanlarda uyku bozukluklarına, tükenme sendromuna ve depresyona neden olabilir. İş stresi kalp-damar sistemi hastalıklarına ve hipertansiyonda artışa sebep olmaktadır. Büyük kaza ve facialar da, çalışanlarda psikolojik bozukluklara yol açmaktadır [5,6].

2.2.5. Ergonomiye Özensizlikten Kaynaklanan Meslek Hastalıkları

Mesleki sağlık açısından ergonomik riskler çalışanların özellikle kas-iskelet sistemini etkilemektedir. Bilinçsiz bilgisayar kullanımı, uzun süre bilgisayar başında çalışırken oturma bozuklukları, ağırlık kaldırma ve taşıma, çalışma temposu kişilerde önemli sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Bu rahatsızlıklar, çoğunlukla boyun, omuz, kol ve el bileğinde sinirlerde, tendonlarda kaslarda meydana gelmektedir [6,7].

2.3. Madencilik Sektöründe Meslek Hastalıklarına Neden Olan Tehlikeler

Madencilik sektörü içerdiği riskler nedeni ile dünyanın en ağır ve tehlikeli iş kollarından birisi olup 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği kanununa göre çok tehlikeli işler sınıfına girmektedir [8]. Madenlerde görülen sağlık ve güvenlik tehlikeleri fiziksel faktörler, kimyasal faktörler, biyolojik tehlikeler, ergonomik faktörler ve kazalardan oluşmaktadır.

2.3.1. Fiziksel Faktörler

Madencilikle ilgili en önemli sorun tozudur. Tüm madencilik yöntemlerinde maden damarına ulaşınca kadar çok miktarda kayanın parçalanması ve taşınması söz konusudur. Bu işlemler sırasında ortamda oluşan tozlar çalışanlar tarafından solunmakta ve çalışanlarda solunum sistemi hastalıklarına neden olmaktadır.

Kömür madenlerinde kömür tozunun yanı sıra silis tozu maruziyetine bağlı sorunlar daha çok görülmektedir. Değişik madenlerde farklı toz etkilenimleri (asbest tozu, kömür tozu vb.) de oluşabilmektedir.

Yeraltı madenlerinde gürültü önemli bir sorun olmaktadır. Gürültünün nedeni çalışan makinelerdir [9]. Ortamın kapalı olması gürültünün yankılanmasına ve gürültü düzeyinin artmasına neden olmaktadır.

Yeraltı madenlerinde sıcaklık, nem ve aydınlatmanın yetersiz olması da önemli sorunlardandır. Ağır bedensel çalışmanın yanı sıra yeterli havalandırmanın olmayışı, ortamdaki nemin yüksek oluşu dikkate alındığında yeraltındaki termal konfor koşullar değişmekte ve buna bağlı olumsuz etkiler ortaya çıkmaktadır [10].

Delici cihazları (jumbo, martoperferatör vb.) kullanan operatörlerde vibrasyon (titreşim) etkisi görülebilir. Yeraltı madenlerinde aydınlatma ile ilgili sorunlar olabilir. Dağlık ve yüksek rakımlı yerlerdeki madenlerde hipoksiye bağlı sorunlar yaşanabilmektedir. Yeraltı kayaçlarından yayılan radon gazından kaynaklanan problemler de ortaya çıkabilir. Yüksek rakımlı yerlerdeki madenlerde soğuk havanın etkisi de oldukça önemlidir.

2.3.2. Kimyasal Faktörler

Madencilikte meslek hastalıklarına neden olan kimyasal faktörlerin en önemlisi gazlardır. Madenlerdeki gazlar içinde en tehlikeli olanı ise metan gazıdır. Madencilik sektöründe ocak havasıyla belirli oranda karışımı grizu olarak bilinen bu gazın patlaması özellikle kömür ocaklarında bir felakete sebebiyet verir.

Madenlerde kendiliğinden veya bazı işlemler sonucunda çeşitli gazlar oluşabilir. Bazı dönemlerde yangınlar meydana gelebilir. Yangın sonucunda karbon monoksit gazı, dizel motorların çalışması ve patlamalar sonucu azot gazı ve türevleri oluşmaktadır. Madenlerde ortamda oluşabilecek zehirli olmayan diğer gaz ise karbondioksittir. Bu gaz ortamda arttığında oksijen miktarını hacimce azaltacağı için hipoksiye (boğulmaya) neden olabilmektedir. Yeraltı madenlerinde aranılan madenle birlikte başka madenler, metaller de bulunabilir. Örneğin cıva madeninde veya nikel madeninde ortamda gaz formunda cıva veya nikel olabilir. Ayrıca kayaçlar

arasına sıkışmış radon gazının da ortama yayılması söz konusu olabilir.

2.3.3. Biyolojik Tehlikeler

Toprakta bulunan bazı mikroorganizmalar ve parazitlerden kaynaklı biyolojik tehlikeler söz konusu olabilir. Madenciler dar mekanlarda bir arada bulunduğu için pek çok enfeksiyon hastalığının (nezle, grip, tüberküloz, hepatit, Covid 19) kişiler arasında yayılma olasılığı çok yüksektir.

2.3.4. Ergonomik Faktörler

Termal konfor, aydınlatma, havalandırma vb. koşulların yetersizliği, dar alanlarda uygun olmayan vücut duruşu ile çalışma zorunluluğu, ağır kaldırma ve taşıma madenlerde görülen önemli ergonomik sorunlardır.

2.3.5. Kaza Riskleri

Madenler, kazalar bakımından oldukça risklidir. Madenlerde kesici, delici, kazıcı aletler, patlayıcılar sık kullanılır. Patlatma sırasında veya tavan çökmesi vb. nedenlerle kazalar olabilir. Madenlerde en tehlikeli kaza sebebi grizu patlamasıdır.

Açık işletmelerde ise ortam faktörleri (güneş ışını, sıcak, soğuk, yağmur, kar vb.) sorun olmaktadır. Patlayıcı maddelerin taşınması, depolanması ve kullanımını konusu da oldukça tehlikelidir.

2.4. Madencilikte Görülen Sağlık Problemleri

Tozlu ve kapalı işyerleri, solunumu etkilemekte, enfeksiyona yatkınlığı arttırmaktadır. Beden ile yapılan ağır ve yorucu işler, kas iskelet sistemini zorlamaktadır. Yeryüzünde her 33 metre derinliğe inildiğinde ısıda 1 °C kadar artış görülmektedir. Her ne kadar havalandırma ile azaltılmaya çalışılsa da yükselen ısı nedeniyle çalışanlar terlemektedir. İş bitiminde soğuk havaya maruziyet sonucu enfeksiyona bağlı solunum sistemi hastalıkları olabilmektedir.

Çalışanların işyeri ortamında askıda bulunan tozları solması sonucunda tozlar akciğerlerde

birikmekte ve doku reaksiyonu oluşması sonucu pnömokonyoz adı verilen hastalık ortaya çıkmaktadır. Hastalığın oluşumunda tozun fiziksel ve kimyasal yapısı, boyutları, yoğunluğu, maruziyet süresi ve bireysel duyarlılık oldukça önemlidir. Pnömokonyoz, hastalığa neden olan tozun cinsine göre isimlendirilmektedir. Solunan tozun cinsine göre pnömokonyoz hastalığı farklı şekillerde adlandırılmaktadır. Kuvars tozunu soluyanlarda silikozis, kömür tozunu soluyanlarda antrakoz, asbest tozunu soluyan kişilerde asbestoz, demir tozlarının solunması ile sideroz olarak adlandırılan hastalıklar oluşmaktadır. Kömür ocaklarında solunabilir toz içinde kaolen, mika, kuvars gibi mineral tozları da bulunmaktadır. Bu nedenle kömür madenlerinde çalışan işçilerde kömür işçisi pnömokonyozu görülmektedir [11-13]. Madenci denince akla ilk gelen "Pnömokonyoz -Kömür İşçisi" algısı giderek azalsa da hala en fazla meslek hastalığının sebebi olmaktadır. Ülkemizde bildirilen madencilikte görülen meslek hastalıklarının çoğunu pnömokonyoz hastalığı oluşturmaktadır.

Madencilik aktiviteleri sırasında karşılaşılan önemli tehlikelerden birisi de gürültüdür [14]. Gerekliliği alınmadığında ve kişisel kulak koruyucular kullanılmadığında, ilerleyici ve geri dönüşümsüz işitme kaybı kaçınılmaz olacaktır. Gürültü, insan sağlığı üzerine işitme kaybı gibi olumsuz etkiler yaratmakla birlikte çalışanların performansını da olumsuz yönde etkileyebilmektedir [15-19].

Madenlerde iş makinelerini kullanan operatörler mekanik titreşime maruz kalmaktadır [20,21]. Titreşime bağlı meslek hastalıkları, genellikle birkaç yıl süren titreşim maruziyetinden sonra ortaya çıkmaktadır [22]. Eskiden rastlanan "madenci nistagmusu" denen görme bozuklukları uygun aydınlatma sayesinde günümüzde oldukça azalmıştır. Madencilik faaliyetleri sırasında değişen ortam koşulları, farklı jeolojik ve iklim şartları, çalışanları olumsuz yönde etkileyen fiziksel risklerdendir.

Ergonomik riskler ile fiziksel risklerle bir arada olduğunda boyun, bel, diz bölgelerinde kas iskelet sistemi hastalıkları artmaktadır. Azalan işçi sayısı,

artan makineleşme ve otomasyonla giderilmeye çalışılmakta ise de eklem hastalıkları hala problem olmaya devam etmektedir. Zorlayıcı ve uzun süren hareketler ile kötü duruş şekli sağlık problemlerine neden olmaktadır. Terleme artışı sıvı ile yeterince desteklenmediğinde susuzluk nedeniyle böbrek ve kalp hastalıklarında artışa sebebiyet vermektedir. Aşırı sıcak, ağır ve yoğun iş temposu da kalp krizlerine de neden olmaktadır. Sigara kalp hastalıklarında risk faktörlerinden biri olup madencinin vazgeçemediklerindedir. Solunum sistemine zarar vermenin yanısıra yüksek tansiyon ve yüksek kolesterol ile birleşince akciğerlere ve kalbe oldukça zarar vermektedir. Şeker hastalığı, obezite, stres ve çalışma ortamında yaşanan olumsuzluklar, çalışanın hem psikolojisini hem de vücut dengesini bozmaktadır [6,7].

3. ÜLKEMİZDE MADENCİLİKTE VE DİĞER MESLEKLERDE FAALİYET GÖSTEREN İŞLETME VE ÇALIŞAN SAYILARININ DURUMU

Ülkemizde 2010-2018 yılları arasında madencilik alanında faaliyet gösteren işletme ve çalışan sayıları Çizelge 3’de gösterilmektedir. 2010 yılındaki işletme sayıları 5939 iken 2018 yılında

bu değer 6821 olmuştur. Çalışan sayıları ise 2010 yılında 128660 iken 2013 yılında artış göstererek 144168’e ulaşmıştır. 2010-2018 yılları arası işletme ve çalışan sayıları incelendiğinde, işletme sayılarının hep arttığı ancak çalışan sayılarının 2013 yılından sonra giderek azaldığı görülmektedir. 2013 yılı işletme (6830) ve çalışan sayılarının (144168) en çok olduğu yıl olarak kayıtlara girdiği dikkatleri çekmektedir.

2018 yılında ülkemizde madencilik alanında faaliyet gösteren 6821 işletme bulunmaktadır. Madencilik alanında faaliyet gösteren işletmeler ile diğer işletmeler karşılaştırıldığında, madencilik sektöründeki işletme payının 2010 yılında %0,45 iken, 2018 yılında ise % 0,36 olduğu görülmektedir. Madencilik alanında çalışanların payı ise 2010 yılında %1,28 iken 2018 yılında bu değer %0,97’ye düşmüştür. Ülkemizde madencilik sektöründe gösterilen faaliyetler, kömür ve linyit çıkarılması, ham petrol ve doğalgaz çıkarılması, metal cevheri madenciliği, diğer madencilik ve taş ocağı işletimi ve madenciliği destekleyici hizmetlerdir. 2018 yılında 444 işletme kömür ve linyit çıkarımı, 31 işletme ham petrol ve doğal gaz çıkarımı, 775 işletme metal cevheri madenciliği, 4958 işletme diğer madencilik ve taş ocacılığı alanında faaliyet göstermiştir (Çizelge 4).

Çizelge 3. Türkiye’de madencilikte ve diğer mesleklerde faaliyet gösteren işletme, çalışan sayıları ve yüzde değerleri [23]

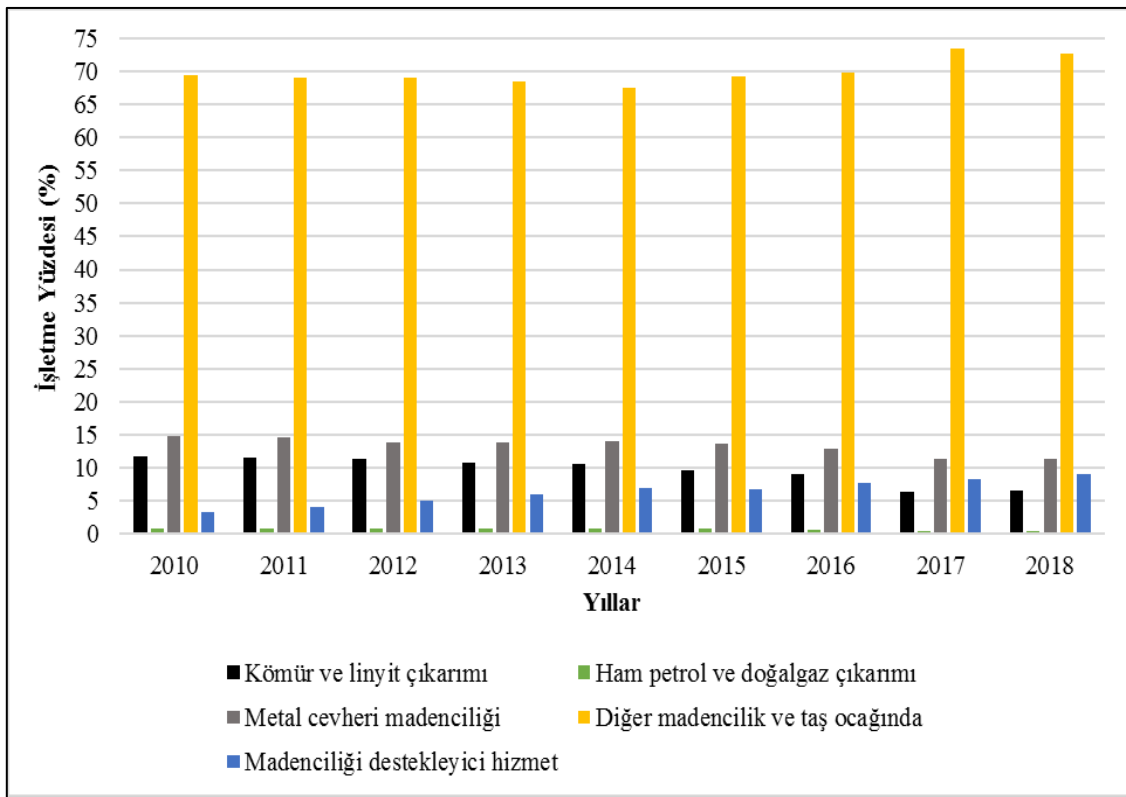
Yıllar		Madencilik		Diğer		Toplam
		Sayısı	Yüzdesi	Sayısı	Yüzdesi	Sayı
2010	İşletme	5939	0,45	1319810	99,55	1325749
	Çalışan	128.660	1,28	9902150	98,72	10.030.810
2011	İşletme	6456	0,45	1429423	99,55	1435879
	Çalışan	139151	1,26	10891788	98,74	11.030.939
2012	İşletme	6698	0,44	1531308	99,56	1538006
	Çalışan	141387	1,18	11798233	98,82	11.939.620
2013	İşletme	6830	0,42	1604462	99,58	1611292
	Çalışan	144168	1,15	12339945	98,85	12.484.113
2014	İşletme	6741	0,40	1673249	99,60	1679990
	Çalışan	132318	1,00	13107804	99,00	13.240.122
2015	İşletme	6787	0,39	1733400	99,61	1740187
	Çalışan	131859	0,94	13867539	99,06	13.999.398
2016	İşletme	6821	0,39	1742419	99,61	1749240
	Çalışan	132490	0,96	13642698	99,04	13.775.188
2017	İşletme	6809	0,36	1867873	99,64	1874682
	Çalışan	140660	0,97	14337157	99,03	14.477.817
2018	İşletme	6821	0,36	1872950	99,64	1879771
	Çalışan	137332	0,97	14091838	99,03	14.229.170

Çizelge 4. Ülkemizde madencilik sektöründe faaliyet adı altında işletme ve çalışan sayıları [23]

Faaliyet Kodu, Adı	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018	
	İşletme Sayısı	Çalışan Sayısı	İşletme Sayısı	Çalışan Sayısı	İşletme Sayısı	Çalışan Sayısı	İşletme Sayısı	Çalışan Sayısı	İşletme Sayısı	Çalışan Sayısı	İşletme Sayısı	Çalışan Sayısı	İşletme Sayısı	Çalışan Sayısı	İşletme Sayısı	Çalışan Sayısı	İşletme Sayısı	Çalışan Sayısı
05 Kömür ve Linyit Çıkarılması	697	50143	740	51662	756	50949	740	48706	717	41038	656	40508	614	37582	436	37596	444	35953
06 Ham Petrol ve Doğalgaz Çıkarımı	49	3203	51	3704	54	3757	54	3387	54	3356	51	3118	44	2833	30	2304	31	2261
07 Metal Cevheri Madenciliği	875	19711	939	22197	924	22518	951	24039	942	23422	924	22392	881	22991	779	27746	775	28559
08 Diğer Madencilik ve Taş Ocak.	4122	52205	4459	57192	4621	58961	4678	60911	4555	56250	4697	59893	4760	61489	5004	65181	4958	60474
09 Madenciliği Destekleyici Hizmet	196	3398	267	4396	343	5202	407	7125	473	8232	459	5948	522	7595	560	7833	613	10085
Toplam	5939	128660	6456	139151	6698	141387	6830	144168	6741	132318	6787	131859	6821	132490	6809	140660	6821	137332

Çalışanların çoğunluğunu kömür ve linyit çıkarımı (35953 kişi), diğer madencilik ile taş ocakçılığı (60474 kişi) alanında faaliyet gösterenler oluşturmaktadır. Madencilik sektöründe faaliyet bazında işletme ve çalışan sayılarına bakıldığında, kömür-lyenit çıkarılmasında çalışan sayılarının giderek azaldığı, metal cevheri madenciliğinde çalışan sayıların ise giderek artış gösterdiği açıkça görülmektedir. En büyük çalışan payını ise diğer madencilik ve taş ocağı işletimi faaliyetleri

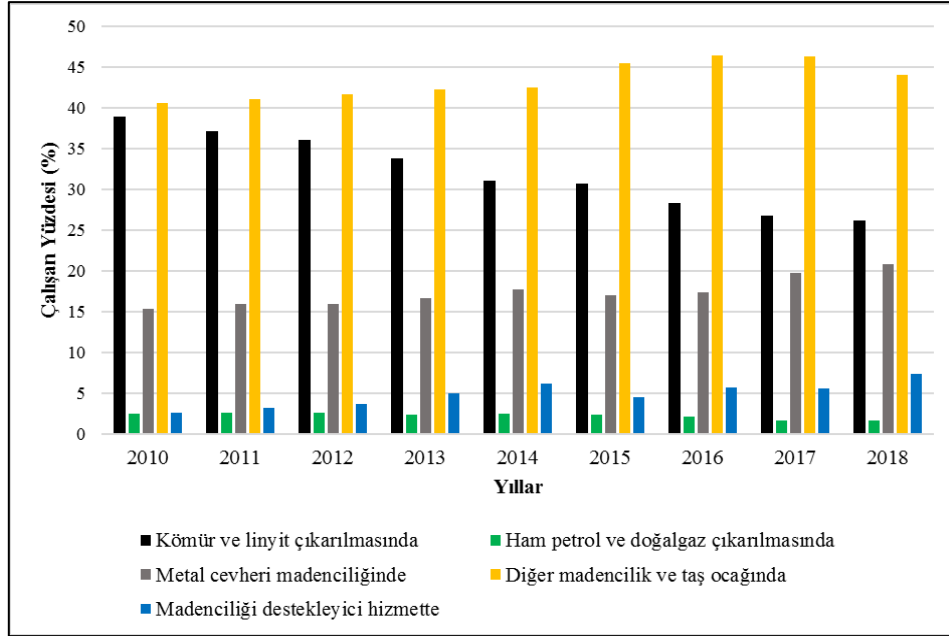
oluşturmaktadır. Şekil 1’de ülkemizde madencilik sektöründe faaliyet bazında işletmelerin yüzde değerleri yer almaktadır. Kömür linyit çıkarımı ve metal madenciliği faaliyetleri gösteren işletme yüzdeleri giderek azalma göstermektedir. Madencilik sektöründe faaliyet gösteren işletmeler arasındaki en büyük payı diğer madencilik ve taşocağı faaliyetleri gösteren işletmeler oluşturmaktadır.



Şekil 1. Ülkemizde madencilik sektöründe faaliyet adı altında işletmelerin yüzdesi

2010-2018 yılları arasında kömür ve linyit çıkarımında çalışan yüzdesi giderek azalma göstermektedir (Şekil 2). Kömür madenciliğindeki tehlike ve risklerden dolayı çalışanlar daha çok metal cevheri madenciliğini tercih etmektedirler. Metal işletme sayılarında artış olmamasına rağmen çalışan sayılarındaki artış bu durumu desteklemektedir. En fazla çalışan yüzdesi ise diğer madencilik ve taş ocağı işletme

faaliyetlerinde görülmektedir. Ham petrol ve doğal gaz faaliyetlerinde çalışan sayısında azalmalar söz konusudur. Ülkemizde 17.10.2020 tarihinde uzmanlar tarafından Karadeniz bölgesinde 405 milyar metreküplük bir doğal gaz rezervinin bulunduğu açıklanmıştır. İlerleyen yıllarda bulunan doğal gaz rezervi işletildiğinde, bu alanda yapılacak yatırımlar ile işletme ve çalışan yüzdelerinde artış görülebilir.



Şekil 2. Ülkemizde madencilik sektöründe faaliyet adı altında çalışan yüzdesi

4. MADENCİLİK SEKTÖRÜNDE SGK'YA BİLDİRİLEN MESLEK HASTASI ÇALIŞAN SAYILARI

Madencilik sektörünün en riskli faaliyet alanı kömür madenciliğidir. Yeraltı kömür madenciliği dünya genelinde en riskli sektörlerden biri olarak

bilinmektedir ve en fazla meslek hastalığı bu faaliyet alanında görülmektedir [24,25]. Bu durum Çizelge 5'de de görüldüğü üzere, en fazla meslek hastalığına yakalanan işçi sayısı kömür ve linyit çıkarımı faaliyeti sırasındadır. Son 9 yılda ham petrol ve doğal gaz çıkarımı sırasında meslek hastalığına yakalanan olmamıştır.

Çizelge 5. 2010-2018 yılları arasında madencilik sektöründe faaliyet adı altında meslek hastalığına yakalan çalışan sayısı [23]

Faaliyet Adı	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Kömür ve Linyit Çıkarılması	92	170	231	42	19	84	74	36	95
Ham Petrol ve Doğalgaz Çıkarımı	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Metal Cevheri Madenciliği	0	257	4	1	0	1	0	14	6
Diğer Madencilik ve Taş Ocak.	2	3	1	0	2	2	3	4	7
Madenciligi Destekleyici Hizmet	0	0	0	1	0	0	2	1	0

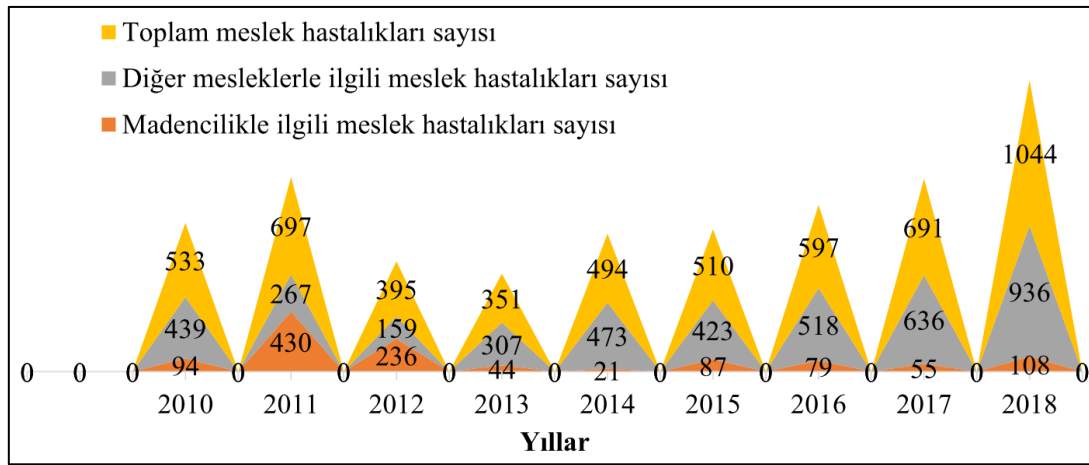
2010-2018 yılları arasında kömür madenciliğinde çalışan yüzdesi azalmasına rağmen meslek hastalığına yakalanan çalışan sayısındaki artış devam etmiştir. Metal cevheri madenciliğinde ise

çalışan sayılarında artış görülmektedir. Meslek hastalığına yakalanan sayısında ise azalmalar söz konusudur. Metal cevheri madenciliğinde tehlike ve riskler kömür madenciliğine oranla daha az

olduğundan dolayı bu alanda daha çok çalışan, daha az meslek hastası bulunmaktadır.

5. ÜLKEMİZDE MADENCİLİKTE VE DİĞER SEKTÖRLERDE MESLEK HASTALIKLARINA MARUZ KALAN ÇALIŞANLARIN DURUMU

Türkiye’de 2010-2018 yılları arasında madencilikle ilgili meslek hastalıklarına maruz kalan çalışan sayıları ile diğer mesleklerle ilgili meslek hastalıklarına maruz kalan çalışan sayıları Şekil 3’de gösterilmektedir. Ülkemizde toplam meslek hastalıklarına yakalanan çalışan sayılarının 351 çalışan ile en az 2013 yılında, 1044 çalışan ile en fazla 2018 yılında olduğu görülmektedir.

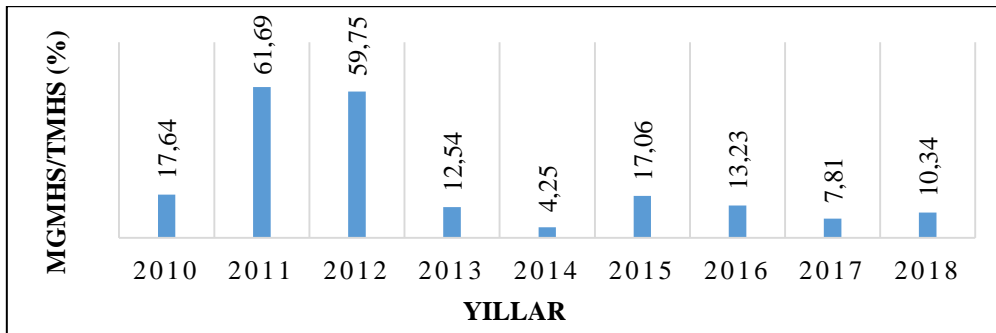


Şekil 3. Türkiye’de madencilikte ve diğer mesleklerde meslek hastalıklarına yakalanan çalışan sayıları

Meslek hastalığı tanısı konulan çalışan sayısının 2011-2013 yılları arasında azaldığı ancak bu yıllardan sonra ise giderek arttığı dikkati çekmektedir. Madencilik faaliyetlerinde ise, 430 meslek hastası çalışan ile en fazla 2011 yılında ve 21 meslek hastası çalışan ile en az 2014 yılında olduğu görülmektedir. Madencilik sektöründe 2011-2014 yılları arasında meslek hastası çalışan sayısında bir düşme, 2015 yılında artış ve 2017 yılı

sonuna kadarki düşmeler dikkatleri çekmektedir. 2018 yılında ise durum farklılaşmış ve meslek hastası çalışan sayısında artış görülmektedir.

2011 yılında madencilikte görülen meslek hastası sayısının (MGMHS), toplam meslek hastası sayısına (TMHS) içindeki oranı %61,69, 2012 yılında ise %59,75 olarak belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Madencilikte görülen meslek hastası sayısının toplam meslek hastası sayısına içindeki yüzdesi

Diğer yıllarda bu oran %4 ile %17 aralığında değişim göstermektedir. Madencilikte görülen meslek hastası sayısı payının en fazla 2011 yılında en az ise 2014 yılında olduğu görülmektedir. Literatürde ILO istatistiklerine göre dünyada çalışan her bin işçinin en az 4'ünde, en çok 12'sinde 1 yıl içinde yeni bir meslek hastalığı saptanmaktadır [26-30]. Bu esasa çalışan sayısına göre beklenen meslek hastalığı sayısı hesaplanmıştır (Çizelge 6). 2010 ile 2018 yılları arasında tanısı konulan ve SGK'ya bildirilen meslek hastalığı sayısı ile beklenen meslek hastalığı sayıları arasında önemli ölçüde farkların olduğu görülmektedir.

Çizelge 6. 2010 ve 2018 yılları arasında her bir yılda çalışan sayısı, bildirilen ve beklenen meslek hastalığı sayıları

Yıllar	Çalışan Sayısı	Beklenen Meslek Hastalığı Sayısı	Bildirilen Meslek Hastalığı Sayısı
2010	10.030.810	40123-120370	533
2011	11.030.939	44124-132371	697
2012	11.939.620	47758-143275	395
2013	12.484.113	49936-149809	351
2014	13.240.122	52960-158881	494
2015	13.999.398	55998-167993	510
2016	13.775.188	55101-165302	597
2017	14.477.817	57911-173734	691
2018	14.229.170	56917-170750	1044

Bu sonuçlardan meslek hastalığı tanı sürecinde ve bildiriminde aksamaların olduğu anlaşılmaktadır. 2010 yılında beklenen meslek hastalığı sayısı 40123 ile 120370 arasında olması gerekirken bildirilen meslek hastalığı sayısı 533, 2011 yılında beklenen meslek hastalığı sayısı 44124 ile 132371 arasında olması gerekirken bildirilen meslek hastalığı sayısı 697, 2012 yılında beklenen meslek hastalığı sayısı 47758 ile 143275 arasında olması gerekirken bildirilen meslek hastalığı sayısı 395, 2013 yılında beklenen meslek hastalığı sayısı 49936 ile 149809 arasında olması gerekirken bildirilen meslek hastalığı sayısı 351, 2014 yılında beklenen meslek hastalığı sayısı 52960 ile 158881 arasında olması gerekirken bildirilen meslek hastalığı sayısı 494, 2015 yılında beklenen meslek hastalığı sayısı 55998 ile 167993 arasında olması gerekirken bildirilen meslek hastalığı sayısı 510,

2016 yılında beklenen meslek hastalığı sayısı 55101 ile 165302 arasında olması gerekirken bildirilen meslek hastalığı sayısı 597, 2017 yılında beklenen meslek hastalığı sayısı 57911 ile 173734 arasında olması gerekirken bildirilen meslek hastalığı sayısı 691, 2018 yılında beklenen meslek hastalığı sayısı 56917 ile 170750 arasında olması gerekirken bildirilen meslek hastalığı sayısı 1044 dır.

Meslek hastalıkları tanısının konulması ve bildirimindeki eksiklikler gerçeği bilmemize engel olmaktadır. Meslek hastalığı tanı sayısı ve meslek hastalığına neden olan risk etmenleri bilinmeden meslek hastalığını önleyici veya azaltıcı tedbirlerin alınması mümkün değildir. Meslek hastalıkları istatistikleri SGK tarafından kayıt altına alınmaktadır. Bu istatistiklerdeki rakamlar hekimlerin meslek hastası tanısı koyduğu çalışanlar olmayıp tazminata bağlanan meslek hastası sayılarıdır [31]. Bu esasa öncelikle meslek hastalığı tanısı konulan çalışan sayılarının kaydı ile tazminata bağlanan meslek hasta sayılarının ayrı olarak bir veri tabanında arşivlenmesi yerinde bir karar olacaktır.

Meslek hastalığı tanısı konulan hastaların Sağlık Bakanlığı tarafından, maluliyet tazminat hakkı kazanan meslek hastaların ise SGK tarafından kayıt altına alınması hastalıkla mücadelede olumlu bir yaklaşım olacaktır. Bunun yanı sıra SGK istatistiklerinde meslek hastalığına yakalanan çalışanlarda sektörel alanda (maden, inşaat vb.) ne tür bir hastalığın olduğuna dair veri kaydı bulunmamaktadır. Faaliyetler sırasında karşılaşılabilecek tehlike ve risklerin sektörel bazda kaydı olursa, işyeri hekimi, iş sağlığı ve güvenliği uzmanı ve işveren tarafından çalışanların daha etkin bilgilendirilmesi sağlanabilir. Böylelikle çalışanlar hem iş kazaları hem de meslek hastalığına karşı kendilerini koruma politikaları geliştirebileceklerdir.

Meslek hastalıkları tanısı konulanlara ait verilerin toplanması, yorumlanması ve ilgili birimlere ulaştırılması, meslek hastalıkları önleme açısından da oldukça önem taşımaktadır. Meslek hastalığı tanısı sonrasında işyeri ortamlarında yapılabilecek müdahaleler diğer çalışanların etkileneceği

faktörlere karşı daha ciddi önlemlerin alınmasını ve daha sıkı denetimlerin yapılmasını sağlayacaktır. Kontrol yöntemleri doğru şekilde uygulanırsa ve gerekli risk yönetimi çalışmaları yapılırsa meslek hastalıkları yüzde yüz önlenir. İş kazaları ve meslek hastalıkları ancak işyeri hekimi, çalışan ve işyeri temsilcilerinin ortak hareket etmesiyle olumlu sonuçlanacaktır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışanların işyeri ortamında sağlığını olumsuz etkileyebilecek risk etmenlerinden korunması, üretimin devamlılığın sağlanması ve verimliliğin artırılması için yapılan çalışmalar iş sağlığı ve güvenliği kavramının önemini ifade etmektedir. Sanayideki ve teknolojiye gelişmelere paralel olarak bu kavramın önemi giderek artmaktadır. Bu nedenle işyeri ortamlarında, tehlike kaynakları belirlenmeli, sağlık ve güvenlik açısından risk değerlendirilmesi yapılmalı, koruma tedbirleri belirlenmeli ve uygulanmalıdır. Ayrıca çalışanların da bu konuda bilgilendirilmesi gerekmektedir. İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili alınacak tedbirler maliyet olarak görülmemelidir. Meslek hastalıkları sayılarının azalması için emek koruma altına alınmalıdır.

Meslek hastalıklarından korunmada etkili yaklaşım, iş yeri ortamında hastalığa yol açabilecek olan faktörlerin saptanması ve bu faktörlerin çeşitli önlemlerle kontrol altına alınmasıdır. Meslek hastalıkları, çalışanları erken önlem alarak korumamız gereken en önemli tehlikelerdendir. Bu tehlikenin önlenmesi öncelikle işveren, işyeri hekimleri ve iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarının sıkı denetimleri ile mümkün olacaktır.

Madencilik sektörü içerdiği riskler nedeni ile tecrübe, bilgi ve sürekli denetim gerektirmektedir. Maden ocaklarında çalışma şartlarının zor ve tehlikeli olmasından dolayı iş kazaları ve meslek hastalıkları kaçınılmazdır. SGK istatistiklerinde madencilik sektöründe oluşan meslek hastalıkları konusunda faaliyet kolları düzeyinde meydana gelen hastalıklara ilişkin kapsamlı veri bulunmamaktadır. Ülkemizin sektör temelli meslek hastalıklarını inceleme konusunda, tam

anlamıyla başarılı olduğunu söylemek mümkün değildir.

Ülkemizde bildirilen meslek hastalıkları sayılarının yetersiz olmasının sebepleri araştırılmalıdır. Bu kapsamda teftiş ve denetim mekanizmalarının işleyişleri, hukuki süreçler, işveren tarafından çalışanlara verilen eğitimler, iş sağlığı ve güvenliği harcamaları ayrıntılı olarak ele alınabilir.

7. TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde ve proje süresince maddi destek sağlayan Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi'ne (FBA-2019-12059) teşekkürü bir borç bilir.

8. KAYNAKLAR

1. SSGSSK, 2006. Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu, Mad. 14.
2. İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (30.06.2012), No: 6331, Resmi Gazete, 28339
3. Akarsu, H., Ayan, B., Çakmak, E., Doğan, B., Boz Eravcı, D., Karaman, E., Koçak, D., 2013. Meslek Hastalıkları. ÇASGEM, Ankara: Özyurt Matbaacılık, 13-40.
4. Canpolat, P., 2008. Projelendirme ve Şantiye Yerleşim Projesinin Oluşturulması Aşamasında Hazırlanacak İş Sağlığı ve Güvenliği Planı ile İlgili Bir Öneri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 178.
5. Güneş, G., 2009. Bilgi ve Belge Merkezleri Çalışanlarının İş Ortamından Kaynaklanan Sağlık Şikayetleri ve Risk Faktörleri. Doktora Tezi, MÜ Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü, İstanbul, 228.
6. İSGİP, 2013. Meslek Hastalıkları ve İşle ilgili Hastalıklar Tanı Rehberi. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara. <http://isgip.gov.tr>
7. Bilir, N., 2016. İş Sağlığı ve Güvenliği. Hacettepe Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Güneş Tıp Kitabevi, 261.
8. Donoughe, A.M., 2004. Occupational Health Hazards in Mining: An Overview. Occupational Medicine, 54, 283–289.

9. Çınar, İ., Şensöğüt, C., 2013. Evaluation of Noise Measurements Performed in Mining Sites for Environmental Aspects. *Int. J. Environ. Res.*, 7(2), 383-386.
10. Önder, M., Saraç, S., Eren, N., 2005. Yeraltı Ocaklarında Isı Stresinin Etkileri ve Analizi Üzerine Bir Paket Program. *Madencilik*, 44(4), 39-46.
11. Erol, İ., 2012. Türkiye Taşkömürü Kurumu Ocaklarında Solunabilir Toz İçindeki Kül ve Kuvars Miktarlarının Sistematik Olarak Ölçülmesi ve İstatistiksel Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 185.
12. Erol, İ., Aydın, H., Didari, V., Ural, S., 2013. Pneumoconiosis and Quartz Content of Respirable Dusts in the Coal Mines in Zonguldak, Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 116-117, 26-35.
13. Kuempel, E.D., Stayner, L.T., Attfield, M.D., Buncher, C.R., 1995. Exposure-Response Analysis of Mortality Among Coal Miners in the United States. *Am J Ind Med.*, 28:167-184.
14. Viperman, J.S., Bauer, E.R., Babich, D.R., 2007. Survey of Noise in Coal Preparation Plants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 121(1), 197-205.
15. Sharma, O., Mohanan, V., Singh, M., 1998. Noise Emission Levels in Coal Industry. *Applied Acoustics*, 54(1), 1-7. 5.
16. Roy, S., Adhikari, G.R., 2007. Worker Noise Exposures From Diesel and Electric Surface Coal Mining Machinery. *Noise Control Eng. J.*, 55, 434-437.
17. Şensöğüt, C., 2007. Occupational Noise in Mines and Its Control-A Case Study. *Polish J. of Environ. Stud.*, 16 (6), 939-942.
18. Şensöğüt, C., Eralp, H., 1998. Ömerler Yeraltı Ocağındaki Gürültü Ölçümleri ve Öneriler. Türkiye 11. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 43-52.
19. Erol, İ., Su, O., 2015. Mekanize Bir Yeraltı Maden İşletmesinde Gürültü Seviyelerinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Adana, 191-200.
20. Özgen, Z., 2015. Maden İşyerlerinde Kullanılan Bazı İş Araçlarından Kaynaklanan El-Kol Titreşim Maruziyetinin Ölçümü ve Değerlendirilmesi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 134.
21. Arıtan, A.E., Tümer, M., 2018. Doğaltaş Ocaklarında Martopikör Kullanımında El-Kol Titreşim Maruziyetinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(4), 57-66.
22. Fritz, M., 2000. Description of the Relationship Between the Forces Acting in the Lumbar Spine and Whole Body Vibrations By Means of Transfer Functions. *Clin Biomech (Bristol Avon)*, 15, 234-40.
23. SGK, 2020. İstatistik Yıllıkları. Sosyal Güvenlik Kurumu İstatistik Yılları 2010-2018 Meslek Hastalıkları İstatistikleri. <http://www.sgk.gov.tr>.
24. Mahdevari, S., Shahriar, K., Esfahanipour, A., 2014. Human Health and Safety Risks Management in Underground Coal Mines Using Fuzzy TOPSIS. *Science of the Total Environment*. 488-489, 85-99.
25. Khanzode, V.V., Maiti, J., Ray, P.K., 2011. A Methodology for Evaluation and Monitoring of Recurring Hazards in Underground Coal Mining. *Safety Science*, 49(8-9), 1172-1179.
26. Aw, T.C., Gardiner, K., Harrington, J.M., 2007. *Occupational Health*. 5th Edition, Blackwell Publishing, 374.
27. Gedikli, B., 2013. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Pnömonyoz Faaliyetleri. İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara.
28. Güven, H.R., 2012. Dünyada ve Ülkemizde Meslek Hastalıkları. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.
29. Yılmaz, Ö.H., 2014. Ömer Hınc Yılmaz Beyin Meslek Hastalıkları Konferansı. Sağlık Bakanlığı Ankara Meslek Hastalıkları Hastanesi.
30. ILO, 2013. Uluslararası Çalışma Örgütü. <https://m.bianet.org/>
31. Kalkınma Bakanlığı, 2018. İş Sağlığı ve Güvenliği Çalışma Grubu Raporu, 11. Kalkınma Planı (2019-2023). Ankara, 50. www.kalkinma.gov.tr

Haraptepe (Horzum-Adana) Pb-Zn Cevherleşmesinin Kökenine Genel Bir Yaklaşım

Yusuf URAS^{*1}, Cihan YALÇIN², Mesut ÖZEN¹

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

²Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Bölgeleri Genel Müdürlüğü, Ankara

Geliş tarihi: 13.11.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Öz

Bu çalışmanın amacı Adana ilinin kuzeydoğusunda yer alan Haraptepe (Horzum) cevherleşmesinin jeokimyasal özelliklerini ortaya koymaktır. Doğu Toroslarda yer alan cevher zonu Horzum Pb-Zn yatağının bir koludur. Geyikdağı birliğine ait kayaların gözleendiği bu alanda temelde Kaotik seri, üzerinde ise tektonik dokanak ile Çaltepe ve Seydişehir formasyonları gözlenir. Cevherleşme Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe formasyonuna ait açık renkli kireçtaşları içerisinde bulunur. Cevherleşme K10⁰D doğrultulu ve GD'ye eğimlidir. Epijenetik oluşumlu metalce zengin cevher, cep ve mercerler şeklinde olup stratabound karakterdedir. Cevherleşmede birincil sülfürlü mineraller; galenit, sfalerit, pirit ve çok az miktarda kalkopirit şeklindedir. İnceleme alanından derlenen cevherli örneklerin değerli metal, ana ve iz element analizleri sonucunda Zn %50'ye kadar Pb ise %25'e kadar ulaşmaktadır. Yüzeiden alınan örneklerde Zn değeri ortalama %30,5 ve Pb ise %11,4'tür. Cu değeri 1-14 ppm ve Mn 210-642 ppm arasında değişmekte olup Cd miktarı ile Ag miktarı ise ortalama <0,5 ppm'dir. Yapılan yeraltı sondajlarından derlenen örneklerin analiz sonuçları da yüzey örneklerine benzerlik sunar. Cevher mineralojisi ve jeokimyası değerlendirildiğinde Haraptepe cevherleşmesi Horzum Bölgesindeki diğer yataklara benzer bir karakter sergilemekte olup düşük Cu oranı ile de karbonat ornatım yataklarına benzer bir davranış sergiler.

Anahtar Kelimeler: Çaltepe formasyonu, Epijenetik, Pb-Zn cevherleşmesi, Jeokimya, Haraptepe

A General Approach to the Origin of Haraptepe (Horzum-Adana) Pb-Zn Mineralization

Abstract

The aim of this study is to prove the geochemical characteristics of the Haraptepe (Horzum) mineralization where located in the northeast of Adana. The ore zone where in the eastern Taurus is a branch of the Horzum Pb-Zn deposit. In this area, where rocks belonging to the Geyikdağı unit are observed, the Chaotic series at the base and the Çaltepe and Seydişehir formations with tectonic contact are observed on it. Mineralization is found within the light colored limestones belonging to the Middle

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yusuf URAS, uras74@gmail.com

Cambrian aged Çaltepe formation. The mineralization strikes N10°E and dips to SE. The epigenetically formed metal-rich ore is in the form of pockets and lenses and has a stratabound character. Primary sulphide minerals in mineralization; It is in the form of galena, sphalerite, pyrite and very little chalcopyrite respectively. As a result of the precious metal, main and trace element analyzes of the ore samples collected from the study area, Zn reaches 50% and Pb reaches 25%. In samples taken from the surface, the average Zn value is 30.5% and Pb is 11.4%. Cu value varies between 1-14 ppm and Mn 210-642 ppm, Cd content and Ag amount are <0.5 ppm on average. The analysis results of the samples collected from the underground drillings are also similar to the surface samples. Considering the ore mineralogy and geochemistry, the Haraptepe mineralization exhibits a similar character to other deposits in the Horzum Region, and with its low Cu ratio, it exhibits a similar behavior to carbonate replacement deposits.

Keywords: Çaltepe formation, Epigenetic, Pb-Zn Mineralization, Geochemistry, Haraptepe

1. GİRİŞ

Anatolid-Torid Bloğu içerisinde gösterilen Toros Orojenik Kuşağı [1,2] Avrupa'dan Asya'ya doğru uzanan Tetis Metalojenik Kuşağı üzerinde yer alır [3,4]. Bu kuşak önemli maden yataklarına ev sahipliği yapmakta olup bu kuşak içerisinde yer alan Toroslarda da karbonatlı kayaçlar içerisinde önemli Pb-Zn yataklarının olduğu bilinmektedir [5,6]. Batı, Orta ve Doğu Toroslar olarak 3'e ayrılan bu kuşak (Şekil 1a), tektonik dilimlerin bir arada olduğu birliklerden oluşmaktadır [7]. Bu birlikler içerisindeki karbonatlı kayaçlar ile ilişkili birçok Pb-Zn cevherleşmeleri bulunmaktadır [8-27].

Özbek [28], Orta ve Doğu Toroslardaki karbonatlı kayaçlar ile ilişkili Pb-Zn yataklarında Karbon ve Oksijen izotop analizleri yapmış ve yan kayaç olan kireçtaşlarının denizel şelf karbonatlarına ait olduğunu belirtmiştir. Hanilçi ve arkadaşları [6] Toros kuşağı boyunca karbonatlı kayaçlarla ilişkili olan Pb-Zn cevherleşmelerinin MVT ve SEDEX tipinde olduğunu, Horzum cevherleşmesinin de karbonat ornatım yatağı olduğunu belirtmiştir.

Megaw [29] ve Akyüz [30], Horzum bölgesindeki cevherleşmenin jeokimya, cevher mineralojisi, mineral kimyası, sıvı kapanımı ve izotop jeokimyası çalışmalarını yapmış ve cevherleşmenin karbonat ornatım yatağı olduğunu belirtmiştir.

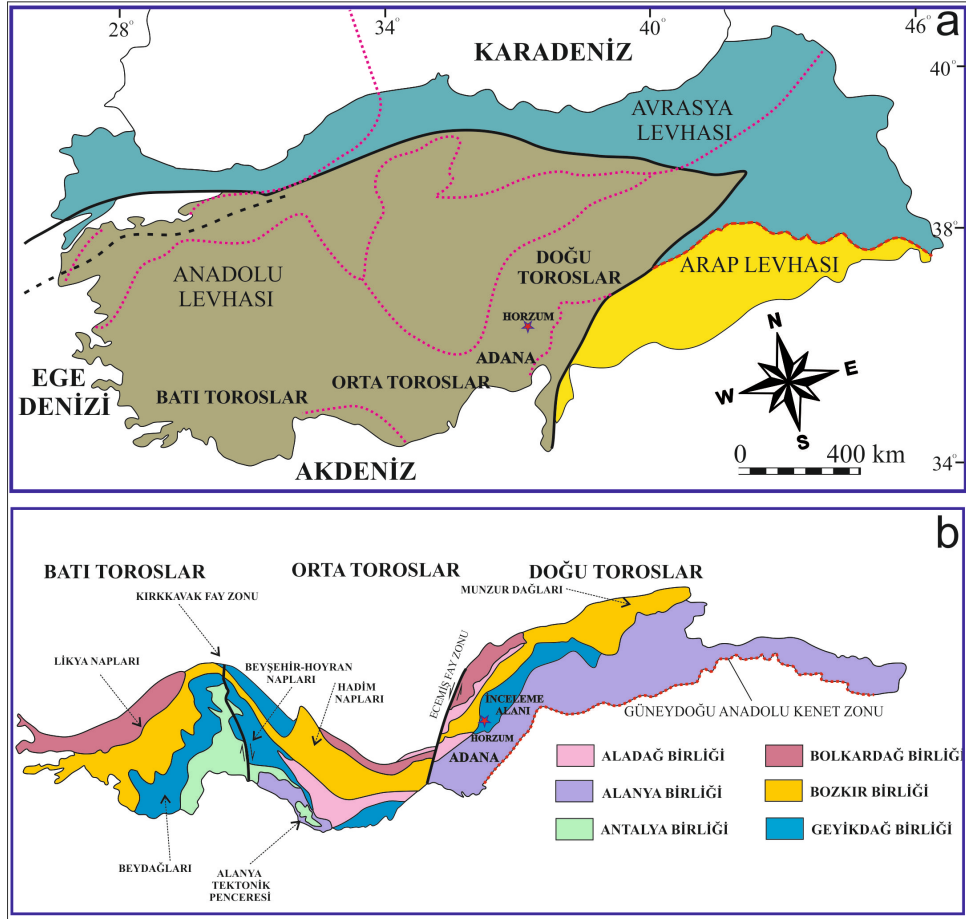
Adana kuzeyinde yer alan Horzum Pb-Zn cevherleşmesinde [13], cevher üretimi 500.000 ton

ZnCO₃ ve 400.000 ton da ZnS şeklindedir [31]. Doğu Toros Orojenik kuşağının batısında yer alan bu bölgede (Şekil 1b) farklı lokasyonlarda cevherleşmeler bulunmaktadır. Bu cevherleşmeler güneyden kuzeye doğru; Suluhan, Horzum ocaklar ve Harap kayası şeklindedir [30].

Cevherleşmelerin (Horzum) kalınlığı ortalama 20-25 m, genişliği 40-50 uzunluğu ise 80-100 m şeklindedir [32]. Epigenetik oluşumlu cevherleşmeler Orta-Üst Kambriyen yaşlı karbonatlı kayaçlardaki eklemelerde gözlenmekte ve stratabound karakterdedir [6,31,32]. Cevher parajenezinde sfalerit, galenit, pirit, kalokopirit, arsenopirit, bornit, arjantit, markazit, kalkozit, simitsonit, hidrozninkit, götit, limonit, serüzit, barit, kuvars ve kalsit bulunmaktadır [6,31,32].

Sıvı kapanımı çalışmalarında elde edilen ortalama 235°C oluşum sıcaklık değeri, cevher parajenezindeki bornit, arsenopirit, arjantit ve karbonat minerallerinin varlığı [6] Horzum bölgesindeki cevherleşmelerin karbonat ornatımı tipinde olduğunu göstermektedir.

Horzum bölgesindeki farklı lokasyonlarda olan cevher zonlarından olan Haraptepe cevher zonunun jeolojisi, mineralojisi ve jeokimyasının ayrıntılı olarak belirlenmesi bölgedeki diğer oluşumlar için de önem arz etmektedir. Bu çalışma ile Horzum cevherleşmesi içerisinde yer alan Haraptepe cevherleşmesinin 1/1000 ölçekli maden jeoloji haritası, mineralojisi ve jeokimyası ortaya konularak, cevherleşmenin kökensel özelliklerine genel bir yaklaşım ortaya konulmuştur.



Şekil 1. a. İnceleme alanının tektonik ve b. Toros Orojenik kuşağındaki konumu (Işık, [33]'den değiştirilmiştir)

2. GENEL JEOLJİ

Neotetis okyanusunun kollarının kapanması ile [34] Toros Orojenik Kuşağı boyunca Prekambriyen-Mezozoyik yaşlı kayalar bir arada gözlenmektedir [7]. Bu birimlerin oluşturduğu tektono-stratigrafik istifler sebebiyle de tektonik birlikler tanımlanmıştır [7]. Bu birlikler Aladağ, Bozkır, Antalya, Bolkardağı, Alanya ve Geyikdağı ve Bolkardağı şeklindedir. İnceleme alanında Geyikdağı birliğine ait kayalar bulunmaktadır (Şekil 1b).

Geyikdağı Birliği, Kambriyen-Tersiyer yaş aralığındaki şelf tipi karbonat ve kırıntılı kayalardan oluşmaktadır [35-37]. İnceleme

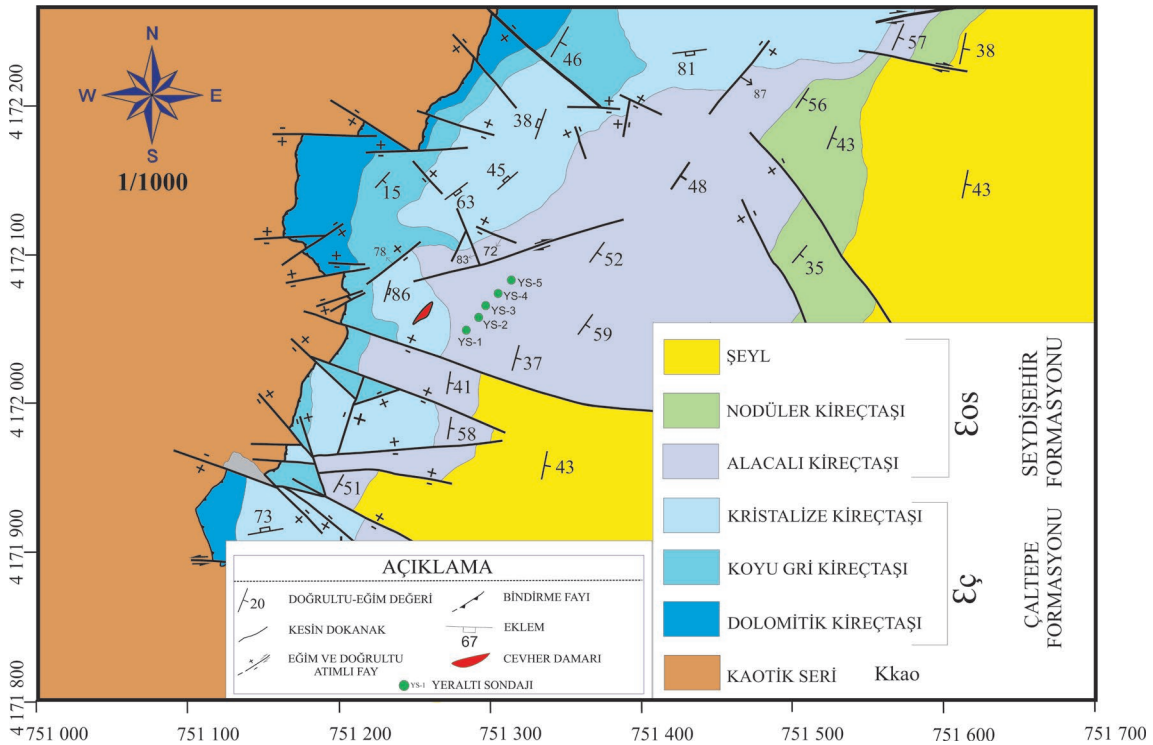
alanında ise temelde Usta ve arkadaşları [38] tarafından adlandırılan Kaotik seri bulunmaktadır (Şekil 2). Bu birim kumtaşı, şeyl, silttaşı, dayk, sil ve farklı boyutlardaki kuvarsit, dolomit ve kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır [38]. Usta ve arkadaşları [38] tektonik kuvvetlerin etkili olduğu sığ denizel ortamda çökelen bu serinin yaşını Geç Kretase olarak belirlemiştir.

Kaotik seriden oluşan temel üzerine ise Geyikdağı birliğine ait sedimanter kayalar tektonik olarak gelmektedir (Şekil 2). Tabandan tavana doğru ise Çaltepe formasyonuna ait [39] dolomitik kireçtaşı, koyu gri kireçtaşı ve kristalize kireçtaşı birimleri yer almakta, üst seviyelerde ise alacalı kireçtaşı, nodüler kireçtaşı ve şeyl birimlerinden oluşan

Seydişehir formasyonu [37,40,41] yer almaktadır (Şekil 2). Birbirleri ile uyumlu olan bu birimler yer yer geçişlidir [41]. Çaltepe formasyonu Orta Kambriyen, Seydişehir formasyonu ise Geç Kambriyen-Ordovisiyen yaşlıdır [37,41].

Horzum bölgesindeki Mesozoyik yaşlı kayalarda KB uzanımlı bindirme fayları gözlenmektedir [42]. Bölgenin Ecemiş fayına yakın olması sebebiyle de

makaslama zonları gözlenmektedir [42]. Yapılan 1/1000 ölçekli jeoloji haritasında da bölgede yaklaşık D-B uzanımlı doğrultu atımlı fayların geliştiği, bindirme düzleminin yaklaşık olarak KD-GB uzanımlı olduğu, bu bindirme düzlemini ise yer yer kesen eğim atımlı fay gruplarının olduğu belirlenmiştir (Şekil 2). Fayların etkisiyle farklı birimlerin yan yana geldiği görülmektedir.



Şekil 2. Haraptepe cevherleşmesi ve civarının 1/1000 ölçekli yüzey jeoloji haritası (Akmetal, [31])

3. MATERYAL VE METOD

İnceleme alanı Adana ilinin sınırları içerisinde yer alan Kozan ilçesine bağlı Horzum Kasabası Haraptepe bölgesi Kurşun-Çinko yataklarını kapsamaktadır. Bu bölgede yeni bulunan Haraptepe cevher zonunun 1/1000 ölçekli yüzey jeoloji haritası hazırlanmıştır. Haritalama çalışmalarında Harita Genel Komutanlığı'ndan alınan UTM koordinatları kullanılmış ve tüm topografya ve jeoloji ölçüm/gözlem noktalarının konumu GPS ile hassas olarak belirlenmiştir.

Haritalama esnasında cevher ve yankayaçlardan örnekler derlenmiştir. Bu örneklerin mineral parajenezinin belirlenmesi amacıyla İstanbul Teknik Üniversitesi Jeokimya Araştırma Laboratuvarında (İTÜ-JAL) cevher mikroskobisi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca daha önceden açılan galerilerde 5 adet yer altı sondajı gerçekleştirilmiştir. Sondajdan (5 farklı sondaj noktasından toplam 10 adet) ve yüzeyden derlenen (20 adet) cevher örneklerinin değerli metal, ana ve iz element analizleri İTÜ-JAL Labortauvarında ICP-MS cihazında yaptırılmıştır.

4. CEVHERLEŞME

Horzum cevherleşmesi Paleozoyik yaşlı karbonatlı kayalar içerisinde K20D doğrultusu boyunca 9 km kesintili olarak bulunmaktadır [30]. Harapetepe cevherleşmesi sadece Orta Kambriyen yaşlı [38] Çaltepe formasyonuna ait kireçtaşı içinde K10D doğrultulu bir şekilde bulunmaktadır (Şekil 2). Cevher damarının eğimi ise güneydoğuya doğrudur.

Epijenetik oluşumlu metalce zengin cevher, cep ve merccekler şeklinde olup stratabound karakterdedir. Cevherli seviyelerin alt ve üst dokanağında yer alan diğer kireçtaşlarında ise Pb-Zn mineralleşmesi görülmektedir.

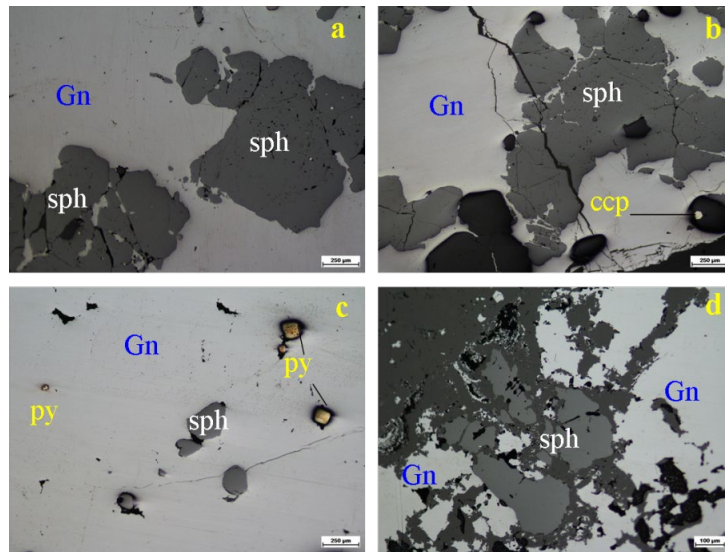
Cevherleşme, sülfürlü ve karbonatlı zonlardan oluşmaktadır. Sülfürlü cevher sfalerit, galenit, pirit ve çok seyrek kalkopirit, karbonatlı cevher ise simitsonit, zinkit, limonit gibi ikincil minerallerden

oluşur. Diğer gang mineralleri ise kalsit, barit ve kuvarsdır.

Cevher petrografisi çalışmalarında galenit, sfalerit, pirit ve kalkopirit tespit edilmiştir (Şekil 3). Bu sülfürlü minerallerin özellikleri aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Sfalerit (ZnS); çok fazla miktarda izlenmektedir. Bu nedenle cevher “masif sfalerit” cevheri olarak adlandırılabilir. Sfalerit çok iri taneli ve kataklastik yapılıdır (Şekil 3 a,b). Sfaleritin kataklastik çatlakları ve kristal araları ufak kristalli kalsit gangı tarafından doldurulmuştur. Sfaleritin iç yansımaları sarımsı-kahverengi ile kahverengi arasında lamelli ikizlenmeler göstermektedir.

Galenit (PbS); çok fazla miktarda gözlenmekte olup yarı özşekli kristaller halinde bulunmaktadır (Şekil 3 a,b,c,d). Masif galenitlerin çatlaklarında genellikle anglesit ve çok ender olarak da seruzitler oluşmuştur.



Şekil 3. Cevher minerallerinin mikroskopik görünümü, Gn: galenit, sph: sfalerit, ccp: kalkopirit, py: pirit

Pirit (FeS_2); az miktarda izlenmekte ve galenit içinde kapanımlar halinde gözlenmektedir (Şekil 3c). Pirit kristal boyutları birkaç mikronla 0,5-0,6 mm arasında değişmektedir. Bazı iri piritler, kendi aralarında kenetli kristal toplulukları oluşturmaktadır.

Kalkopirit ($CuFeS_2$); eser miktarda ve çok ufak ayrışım ve kapanım tanecikleri halinde bulunmaktadır (Şekil 3b).

5. JEOKİMYA

İnceleme alanından derlenen cevherli örneklerin değerli metal, ana ve iz element analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1). Yapılan analizler sonucunda Zn %50'ye kadar Pb ise %25'e kadar

ulaşmaktadır. Yüzeiden alınan (mostra) örneklerde Zn içeriği ortalama %30,5 ve Pb ise %11,4'tür. Cu içeriği 1-14 ppm ve Mn 210-642 ppm arasında değişmekte olup Cd miktarı ile Ag miktarı ise <0,5 ppm'dir.

Çizelge 1. İnceleme alanından derlenen cevherli örneklerin jeokimyasal analiz sonuçları

Örnek no:	Zn %	Pb %	Cu ppm	Fe %	Ag ppm	Al %	Ba ppm	Bi ppm	Ca %	Cd ppm	Co ppm	Mg %	Mn ppm	Mo ppm	Na %	Ni ppm	P %
1	12	8	1	0,05	<0,5	0,02	10	<2	37,1	<0,5	4	0,15	420	<1	0,01	4	<10
2	9	3	1	0,06	<0,5	0,03	10	<2	37,4	<0,5	5	0,12	463	1	0,02	5	40
3	7	1	<1	0,04	<0,5	0,02	10	<2	37,1	<0,5	4	0,14	345	1	0,01	2	<10
4	5	1	<1	0,02	<0,5	0,01	10	<2	37,5	<0,5	3	0,12	226	1	0,01	3	<10
5	24	7	2	0,2	<0,5	0,12	50	<2	35,5	<0,5	2	0,13	210	<1	0,02	5	<10
6	20	5	3	0,32	<0,5	0,32	30	<2	35,9	<0,5	4	0,72	450	<1	0,02	4	480
7	18	5	2	0,15	<0,5	0,04	20	<2	37,8	<0,5	5	0,45	642	<1	0,01	2	50
8	24	8	1	0,14	<0,5	0,02	15	<2	37	<0,5	3	0,6	502	1	0,01	3	15
9	19	5	2	0,1	<0,5	0,02	25	<2	37	<0,5	2	0,17	471	1	0,02	2	<10
10	23	6	3	0,09	<0,5	0,03	35	<2	37,6	<0,5	4	0,16	495	<1	0,02	4	<10
11	14	5	3	0,05	<0,5	0,02	15	<2	38,2	<0,5	1	0,14	233	<1	0,01	3	25
12	10	3	1	0,45	<0,5	0,99	120	<2	34,2	<0,5	2	0,31	410	<1	0,05	5	250
13	9	2	3	0,15	<0,5	0,06	25	<2	38,4	<0,5	3	0,16	361	<1	0,01	2	40
14	6	3	2	0,05	<0,5	0,04	15	<2	37,5	<0,5	4	0,16	228	<1	0,01	3	20
15	14	2	3	0,35	<0,5	0,98	150	<2	35	0,7	4	0,3	426	<1	0,09	5	270
16	13	3	1	0,04	<0,5	0,03	15	<2	36,2	<0,5	3	0,15	323	<1	0,01	4	20
17	12	7	3	0,03	<0,5	0,01	25	<2	36,5	<0,5	3	0,17	332	<1	0,01	5	50
18	9	10	2	0,08	<0,5	0,05	30	<2	36,8	<0,5	4	0,16	336	<1	0,02	5	20
19	50	25	14	0,98	<0,5	0,02	20	<2	34,6	<0,5	2	0,14	418	<1	0,01	5	30
20	7	5	4	0,09	<0,5	0,05	80	<2	38,2	<0,5	3	0,14	430	<1	0,02	6	30

İnceleme alanında ayrıca yer altı galerilerde gerçekleştirilen sondajlardaki cevher örneklerinin analizi sonucunda Zn %26'ya kadar Pb ise %15'e kadar ulaşmaktadır (Çizelge 2). Sondaj örneklerine

bakıldığında Zn değeri ortalama %19 ve Pb ise %5,9'dur. Cu değeri 1-4 ppm ve Mn 215-650 ppm arasında değişmekte olup Cd miktarı ile Ag miktarının ortalama değeri ise <0,5 ppm'dir.

Çizelge 2. İnceleme alanında yeraltı sondajlarından derlenen cevherli örneklerin jeokimyasal analiz sonuçları

Örnek no:	Zn %	Pb %	Cu ppm	Fe %	Ag ppm	Al %	Ba ppm	Bi ppm	Ca %	Cd ppm	Co ppm	Mg %	Mn ppm	Mo ppm	Na %	Ni ppm	P %
YS1	20	8	<1	3	<0,5	0,03	10	<2	37,1	<0,5	4	0,14	450	<1	0,01	4	<10
YS2	15	3	<1	4	<0,5	0,02	10	<2	37,4	<0,5	5	0,15	420	1	0,01	4	40
YS3	9	3	<1	6	<0,5	0,01	10	<2	37,1	<0,5	4	0,13	420	1	0,01	4	<10
YS4	9	4	<1	4	<0,5	0,02	10	<2	37,5	<0,5	3	0,13	412	1	0,01	3	<10
YS5	26	4	3	5	<0,5	0,15	50	<2	35,5	<0,5	2	0,11	215	<1	0,02	3	<10
YS6	24	2	2	6	<0,5	0,21	30	<2	35,9	<0,5	4	0,82	460	<1	0,02	5	480
YS7	17	8	3	5	<0,5	0,06	20	<2	37,8	<0,5	5	0,5	650	<1	0,02	4	50
YS8	26	15	2	4	<0,5	0,04	15	<2	37	<0,5	3	0,8	550	1	0,01	3	15
YS9	24	7	4	5	<0,5	0,05	25	<2	37	<0,5	2	0,2	475	1	0,01	5	<10
YS10	20	5	4	2	<0,5	0,04	35	<2	37,6	<0,5	4	0,19	485	<1	0,01	4	<10

Tüm bu veriler ışığında yüzeyden alınan örnekler ile sondaj örneklerinin benzer jeokimyasal davranış gösterdiği ve cevher zonunda sfalerit varlığının galenlere oranla daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

6. TARTIŞMA

Türkiye’de karbonatlı kayalar ile ilişkili birçok Pb-Zn yatağı olduğu bilinmektedir [6]. Orta ve Doğu Toroslarda ise Paleozoyik yaşlı karbonatlı kayalar ile Jura yaşlı kireçtaşlarında Pb-Zn zenginleşmeleri bulunmaktadır [43]. Zhou ve arkadaşları [44-45] Çin’in güneydoğusunda Paleotetis’in kapanması sonucunda karbonatlı kayalarda epijenetik oluşumlu damar tipi Pb-Zn cevherleşmelerinin bulunduğunu ve mineral parajenezinde de galenit, sfalerit, barit ve floritin bulunduğunu belirtmiştir. Uras ve arkadaşları [46] benzer oluşumun Kahramanmaraş kuzeydoğusundaki Helete bölgesinde de bulunduğunu belirtmiştir.

Karbonat ornatım yatakları ilk kez Megaw ve arkadaşları [47] tarafından tanımlanmış ve Türkiye’nin farklı lokasyonlarında da bu tip yatakların olduğu belirtilmiştir [6,48]. Horzum cevherleşmesinin jeokimya, cevher mineralojisi, mineral kimyası, sıvı kapanımı ve izotop jeokimyası özellikleri yatağın karbonat ornatım yatağı olduğunu göstermektedir [6,29-30]. Megaw ve arkadaşları [47] tarafından tanımlanan karbonat ornatım yataklarında olduğu gibi Horzum cevherleşmesinde düşük bakır oranı bulunmaktadır.

Adana Horzum bölgesinde Pb-Zn üretim çalışmaları 1970 yılında Adana madencilik A.Ş tarafından başlatılmış ve güneyden kuzeye doğru farklı lokasyonlarda cevher zonları belirlenmiştir [30]. Bu lokasyonlardaki cevherleşmeler birbirlerine benzer karakter sergilemektedir. Harapete cevher zonu da jeolojik ve jeokimyasal özellikleri ile Horzum yatağının bir parçası olduğunu göstermektedir.

7. SONUÇ

Bu çalışma ile Harapete cevherleşmesinin cevher-yan kayaç ilişkisi ortaya konulmuş ve ile 1/1000 ölçekli jeoloji haritası ilk kez hazırlanmıştır. Bölgedeki diğer cevher zonları ile karşılaştırma yapabilmek için detaylı yüzey haritası hazırlanmıştır. Yapılan çalışmada cevherin Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe formasyonu içerisinde yer aldığı, epijenetik oluşumlu olduğu, tek bir karbonatlı seviyede görüldüğü ve stratabound karakterli olduğu belirlenmiştir. Cevher parajenezi sfalerit, galenit, pirit, kalkopirit, simitsonit, zinkit ve limonitten oluşmaktadır. Cevher mineralojisi ve jeokimyası değerlendirildiğinde Horzum Bölgesindeki diğer yataklara benzer bir karakter sergilediği tespit edilmiştir. Düşük Cu oranları dünyadaki karbonat ornatım yataklarına benzerdir. Yapılan yer altı sondajları cevher eğiminin güneydoğuya olduğunu ve cevher karakterinin de yüzeydeki cevher zonlarına benzer olduğunu göstermektedir.

8. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2018/7-30YLS numaralı proje tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmada desteklerini esirgemeyen Akmetal Madencilik San. ve Tic. A.Ş.’ye teşekkürlerimizi sunarız.

9. KAYNAKLAR

1. Ketin, İ., 1966. Anadolu’nun Tektonik Birlikleri. MTA Dergisi, 66, 20-34.
2. Okay, A.I., Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of Northern Turkey. Geol. Soc. London Spec. Publ. 156, 475–515.
3. Reynolds, N., Large, D., 2010. Tethyan Zinc–lead Metallogeny in Europe, North Africa, and Asia. Soc. Econ. Geol. Spec. Publ. 15, 339-365.
4. Richards, J.P., 2015. Tectonic, Magmatic and Metallogenic Evolution of the Tethyan Orogeny: from Subduction to Collision. Ore Geol. Rev. 70, 323–345.

5. Yiğit, Ö., 2009. Mineral Deposits of Turkey in Relation to Tethyan Metallogeny: Implications for Future Mineral Exploration. *Econ. Geol.* 104, 19–51.
6. Haniççi, N., Öztürk, H., Kasapçı, C., 2019. Carbonate-hosted Pb-Zn deposits of Turkey. Chapter 10 In: Pirajno, F., Dönmez, C., Şahin, M.B. (Eds.), *Mineral Resources of Turkey, Modern Approaches in Solid Earth Sciences*. Springer Nature, Switzerland, 497–533.
7. Özgül, N., 1976. Some Geological Aspects of the Taurus Orogenic Belt (Turkey). *Bull Geol Soc Turk* 19:65–78 (in Turkish with English Abstract).
8. Kuşçu, M., 1985. Göktepe (Ermenek-Konya) Yöresinin Pb-Zn Zuhurları. *TJK Bülteni*, 28, 35-46.
9. Ayhan, A., Erbayar, M., 1985. Batı Zamantı (Aladağlar-Yahyalı) Karbonatlı Pb- Zn Yataklarının Jeokimyasal Prospeksiyonu. *MTA Dergisi*, 105, 75-84.
10. Temur, S., 1989a. Bolkardağ (Ulukışla-Niğde) Yöresi Çinko-kurşun Yataklarının İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi Araştırma Projesi No: 659, Konya, 120.
11. Temur, S., 1991. Bolkardağ (Ulukışla-Niğde) Yöresi Zn-Pb Yataklarının Genetik Özellikleri. Çukurova Üniv. M.M.F. Jeoloji Müh. Böl. Ahmet Acar Jeol. Semp. Bildirileri. 191-198.
12. Temur, S., 1992. Bolkardağı Yöresi Zn-Pb Yataklarının Jeokimyasal İncelemesi, *TJK Bülteni*, 35(2), 101.
13. Temur, S., 1996. Horzum (Kozan-Adana) ve Bolkardağı (Ulukışla Niğde) Yörelere Zn-Pb Yataklarına Ait Piritlerin İz Element Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması. *KTÜ, Jeoloji Müh. Böl. 30. Yıl Sempozyum Bildirileri, Trabzon*, 67-81.
14. Demir, N., Bingöl, E., 2000. Aladağlar Bölgesi Oksit Karbonat Tipi Zn-Pb Yataklarının Yapısal Jeoloji ile İlişkileri. Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi, MTA, Ankara, 573-589,
15. Kuşçu, M., Cengiz, O., 2001. Karbonatlı Kayaçlara Bağlı Orta Toroslar Zn-Pb Cevherleşmelerinin Kükürt İzotopları İncelemesi. *TJK Bülteni*, 44(3), 59-73.
16. Yalçın, M.G., Metin, S., Altuncu, S., Çiftçi, E., 2001. Germanium Contents of Carbonate-Hosted Pb-Zn Ores Occuring in Aladağ District (Zamantı-Niğde). *Geosound*, 40/41, 29-38.
17. Yalçın, M.G., Altuncu, S., 2000. Meydan Yaylası (Niğde) Civarı Karbonatlı Çinko-Kurşun Yataklarının Mineralojisi ve Jeokimyasal Özellikleri. *Geosound-Yerbilimleri Dergisi*, Adana, 37, 73-86.
18. Haniççi, N., 2003. Orta ve Doğu Toroslarda Karbonatlı İçindeki Zn-Pb Yataklarının Oluşumu, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 166.
19. Haniççi, N., Öztürk, H., 2003. Aladağlarda Karbonatlı İçindeki Pb-Zn Yataklarında Duraylı Kükürt İzotopu ve Mikrotermometrik İncelemeler, Doğu Toroslar, Türkiye. 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, 112–114.
20. Haniççi, N., Öztürk, H., 2005. Mississippi Valley Type Zn-Pb Deposits in the Aladağlar-Zamantı (Eastern Taurus) Region: Ayraklı and Denizovası Zn-Pb deposits, Turkey. *İstanbul Earth Sci Rev.* 18(2), 23–43.
21. Yalçın, M.G., Çiftçi, E., Çopuroğlu İ., 2004. Bolkardağ (Orta Anadolu-Niğde-Ulukışla) Civarında Bulunan Damar Tipi Pb-Zn Yataklarının Mineralojik İncelenmesi. *JMO* 57. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 250-251.
22. Cengiz, O., Kuşçu, M., 2005. Geological Properties of Galena-Bearing Barite and Barite Deposits in the Central Taurides. 41st Forum on the Geology of Industrial Minerals, ITU, 2.
23. Çiftçi, E., Demirören, S.S., 2011. Orta Toroslar Pb-Zn Damar Yataklarının Kurşun İzotop Karakteristikleri. TUBITAK Proje no: ÇAYDAG– 110Y016, Ankara, 150.
24. Koptagel, O., Ulusoy, U. Fallick, A. E., 2007. Sulfur and Lead Isotope Investigations of the Carbonate Hosted Pb-Zn Deposits in the Yahyal Region, Kayseri, Southern Turkey *Turkish J. Earth Sci.*, 16, 57-76.
25. Haniççi, N., Öztürk, H., 2008. Aladağlar-Zamantı (Kayseri) Bölgesi Zn-Pb Yataklarının Jeolojisi ve Oluşumu. Türkiye Kurşun-Çinko Yataklarının Jeolojisi Madencilik ve Mevcut Sorunları Sempozyumu, 1-04 Mayıs 2008, İstanbul, Türkiye, 184-199.
26. Haniççi, N. Öztürk, H., 2010. Geochemical/ isotopic Evolution of Pb–Zn Deposits in the

- Central and Eastern Taurides, Turkey. *International Geology Review*, 1–30.
27. Gümüş, L., Kumral, M., Yalçın, C., Kaya, M., Ünlüer, T.A., Öztürk, S., Karaman, M., 2018. Aladağ Birliği (Çayarası-Alanya) İçerisinde Karbonatlı Kayaçlar ile İlişkili Baritli Zn-Pb Cevherleşmesinin Jeolojisi ve Jeokimyası. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Kapadokya Yerbilimleri Sempozyumu Özel Sayısı*, 7(3), 1209-1213.
28. Özbek, A.C., 2014. Orta ve Doğu Toroslarda Bulunan Karbonat Yankayaçlı Pb-Zn Cevher Oluşumlarının Alterasyon Mineralojisi ve Duraylı İzotop Nitelikleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 101.
29. Megaw, P., 2015. Horzum Çinko-Kurşun Bölgesi Cevherleşmesinin Oluşumuna Ait Rapor (Yayınlanmamış), Akmetal Madencilik, 120.
30. Akyüz, F., 2019. Horzum-Kozan (Adana) Bölgesindeki Karbonat Kayaçlarda Oluşan Pb-Zn Cevherleşmelerinin Kökeni. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 128.
31. Akmetal, M., 2015. Horzum Kurşun/çinko Sahası [Horzum Lead/Zinc Licenced Mine Area]. [http:// www.akmetalmadencilik.com/horzum-kursuncinko-sahasi](http://www.akmetalmadencilik.com/horzum-kursuncinko-sahasi). Erişim, 10 Kasım 2020.
32. Temur, S., 1986. Genetic Study of Pyrite-bearing Zinc-lead Deposits in the Horzum (Kozan-Adana) District. *Bull Earth Sci*, 13, 31–48.
33. Işık, V., 2016. Torosların Jeolojisi; Türkiye Jeolojisi Ders Notu. Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
34. Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey, a Plate Tectonic Approach. *Tectonophysics*; 75, 81–241.
35. Özgül, N., Gedik, I., 1973. Orta Toroslar'da Alt Paleozoik Yaşta Çaltepe Kireçtaşı ve Seydişehir Formasyonunun Stratigrafisi, Konodont Faunası Hakkında Yeni Bilgiler. *TJK Bülteni*, 16, 39-52.
36. Özgül, N., Kozlu, H., 2002. Kozan-Feke (Doğu Toroslar) Yöresinin Stratigrafisi ve Yapısal Konumu ile İlgili Bulgular. *TPJD Bülteni*, 14(1), 1-36.
37. Bedi, Y., Usta, D., 2006. Tufanbeyli-Feke-Kozan Dolayının Paleozoyik Stratigrafisi (Doğu Toroslar). Türkiye Stratigrafi Komitesi 6. Çalıştayı. Toros Kuşağı ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi Prekambriyen-Paleozoyik Kaya Birimlerinin Litostratigrafisi Adlamaları, *Özler Kitabı*, 22-23.
38. Usta, D., Usta, M., Balcı, V., Kop, A., 2013. Doğu Toroslar'ın Jeolojisi ve Metalojenezi (Kozan/Feke/Adana) MTA Raporu. No. 11635, 150. Ankara.
39. Dean, W., Özgül, N., 1979. Orta Toroslarda Çaltepe Formasyonu'nun Bağbaşı (Hadim-Konya) Yöresindeki Yüzeylemesinde Bulunan Orta Kambriyen Trilobitleri, *M.T.A. Derg.*, 92, 1-6, Ankara.
40. Blumenthal, M.M., 1952. Yüksek Aladağ Silsilesinin Coğrafyası, Stratigrafisi ve Tektoniği Hakkında Etüdlar. MTA Yayınları Seri D, 7, 136.
41. Usta, D., Şenel, M., Metin, Y., Bedi, Y., Vergili, Ö., Usta, M., Balcı, V., Kuru, K., Tok, T., Özkan, M.K., Kop, A., 2004. Kozan-Tufanbeyli (Adana) Arasındaki Yapısal Birimlerin Jeolojik Özellikleri, 57. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, 275-276.
42. Jaffey, N., 2001. The Cenozoic Evolution of the Strike-slip Ecemiş Fault Zone and its Implications for the Mechanism of Tectonic Escape in Anatolia. Thesis Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy, Edinburgh University, 150.
43. Haniççi, N., Öztürk, H., 2011. Geochemical/ Isotopic Evolution of Pb-Zn Deposits in the Central and Eastern Taurides, Turkey. *Int Geol Rev*, 53(13), 1478–1507.
44. Zhou, J.X., Huang, Z.L., Lv, Z.C., Zhu, X.K., Gao, J.G., Mirnejad, H., 2014. Geology, Isotope Geochemistry and ore Genesis of the Shanshulin Carbonate-hosted Pb–Zn Deposit, Southwest China. *Ore Geology Reviews*, 63, 209-225.
45. Zhou, J.X., Bai, J.H., Huang, Z.L., Zhu, D., Yan, Z.F., Lv, Z.C., 2015. Geology, Isotope Geochemistry and Geochronology of the Jinshachang Carbonate-hosted Pb–Zn Deposit, Southwest China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 98, 272-284.

46. Uras, Y., Yalçın, C., Balaban, A., 2019. Geology and Geochemistry of Carbonate Hosted Pb-Zn Deposit on North-East Part of Kahramanmaraş (Helete) in Engizek Belt, Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 34(3), 1-9, ISSN 1019-1011.
47. Megaw, P.K.M., Ruiz, J., Titley, S.R., 1988. High-temperature, Carbonatehosted Ag-Pb-Zn (Cu) Deposits of Northern Mexico. Economic Geology 83, 1856-1885.
48. Demirela, G., 2011. Çataltepe (Lapseki/Çanakkale) Pb-Zn-Cu-Ag Yatağının Jeolojisi ve Kökeni, AÜ Fen Bilimleri Enst. Doktora Tezi, 220. (yayımlanmamış).

The Effect of Weather Conditions and Some Demographic Data on the Confirmed COVID-19 Cases: Analysis for 12 Statistical Regions of Turkey

Selin SARAÇ^{*1}, Melik KOYUNCU²

¹Toros Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mersin

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

Geliş tarihi: 24.11.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Abstract

COVID-19 has been affecting the world since the beginning of 2020. Although current evidence indicates that the virus spreads through contaminated objects or close contact with infected individuals, there is limited research on under what conditions the virus spreads faster. This study is conducted to reveal the relationship between COVID-19 cases and meteorological conditions and also some demographic characteristics. For this goal, real-feel air temperature, humidity, and wind speed; analyzed as meteorological parameters. The number of individuals over the age of 65, the education level of the individuals, and the population density are also considered as demographical parameters. The analyses are conducted based on Spearman's correlation coefficients. The results proved that the positive correlation was calculated for real-feel air temperature, wind speed, population density, and the number of individuals over 65, whereas negatively correlated with humidity.

Keywords: COVID-19, Coronavirus, Real-feel temperature, Wind speed, Humidity, Age, Population density

Hava Koşullarının ve Bazı Demografik Özelliklerin Doğrulanmış COVID-19 Vakaları Üzerine Etkisi: Türkiye'nin 12 İstatistik Bölgesi Analizi

Öz

COVID-19, 2020'nin başından beri tüm dünyayı etkilemektedir. Mevcut kanıtlar, virüsün kontamine nesnelere veya enfekte kişilerle yakın temas yoluyla yayıldığını gösterse de, virüsün hangi koşullar altında daha hızlı yayıldığına dair sınırlı araştırma vardır. Bu çalışma, COVID-19 vakaları ile meteorolojik koşullar arasındaki ilişkiyi ve bazı demografik özellikleri ortaya çıkarmak için yapılmıştır. Bu amaçla, gerçek hava sıcaklığı, nem, rüzgâr hızı gibi meteorolojik parametreler ve nüfustaki 65 yaş üstü birey sayısı, bireylerin eğitim düzeyi, nüfus yoğunluğu gibi demografik özelliklerle COVID-19 vakaları arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Analizler, Spearman'ın korelasyon katsayılarına göre yapılmıştır. Sonuç olarak, gerçek hissedilen hava sıcaklığı, rüzgar hızı, nüfus yoğunluğu ve 65 yaş üstü birey sayısı ile COVID-19 vakaları arasında pozitif korelasyon, hava nem ile negatif korelasyon tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: COVID-19, Koronavirüs, Hissedilen hava sıcaklığı, Rüzgar hızı, Nem, Yaş, Nüfus yoğunluğu

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Selin SARAÇ, selin.sarac@toros.edu.tr

1. INTRODUCTION

Coronavirus disease (COVID-19) causes by a family of viruses called Coronaviridae and has been causing the infection for more than 50 years [1]. The official first cases of COVID-19 were reported in Wuhan, China in December 2019 [2]. The World Health Organization (WHO) has announced COVID-19 disease as pandemic on March 11, 2020. As of November 23, 2020, more than 59 million cases have been reported across the world, resulting in more than 1.3 million deaths [3].

The symptoms of COVID-19 are fever, headache, hacking cough, respiratory failure, loss of smell, rash on the skin or discoloration of the fingers or toes, diarrhea, tiredness and sometimes cases are entirely asymptomatic [4]. The first COVID-19 case in Turkey was declared on March 10, 2020, by the Ministry of Health of Turkey. According to many studies, COVID-19 spreads from an infected person to a healthy person direct, indirect, or close contact via droplets [5]. After the first case of Turkey, in order to reduce the rate of transmission of the COVID-19, the government has started to take measures. For instance, people were not allowed to travel to metropolitan cities. Educational institutions, restaurants, cafes, bars, mosques, churches were closed to provide “social distance” in Turkey like many other countries. Prediction of the trend of COVID-19 cases is vital for government measures policy. Person mobility, human-to-human contact rates can affect confirmed case number. Meteorological factors also affect COVID-19 confirmed cases because of the time of survival of viruses changes in different weather conditions.

Previous papers showed that meteorological factors can be impact the number of cases number in infectious diseases such as influenza which, spread with droplets. Nevertheless, only a few studies have discussed the correlation between daily weather conditions and confirmed COVID-19 cases. A positive correlation was found between daily weather temperature range and deaths from COVID-19 [6]. In another paper, using the Loess

regression model, a high correlation was found between meteorological conditions and daily COVID-19 epidemic situations. In that research, COVID-19 cases reach the peak points when relative humidity is 64.6% or weather temperature is 8.07 °C, or wind speed is 16.1 miles per hour [7]. In other work, while a positive correlation between daily deaths of COVID-19 and daily temperature range was found, a negative correlation between absolute humidity was found [6]. Mandal and Panwar used univariate analysis to find the relationship between environmental temperature and COVID-19 cases and discovered a negative correlation [8]. Ma and friends explored positive correlation with COVID-19 daily deaths for diurnal temperature range and negative correlation with relative humidity [9]. In another paper, using a generalized additive model, a positive nonlinear relationship was found between mean weather temperature and COVID-19 confirmed cases [10]. In a study conducted in Turkey, the relationship between weather and the number of cases recorded in 9 cities was examined using Spearman’s correlation coefficient. Temperature, dew point, humidity and wind speed were used as weather parameters [11]. In Sahin’s paper, highly positive correlations were found between cities’ population and wind speed.

The main differences from this study, our study takes into account all of Turkey based on statistical regions. In addition to meteorological parameters; demographic parameters, such as the number of people per square kilometer (population density), the number of individuals over 65, and the education level are utilized also in our analysis.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Study Area

Turkey Nomenclature of Territorial Units for Statistics, used by the European Union Statistical Regional Units of Turkey is the classification. This paper collected the daily confirmed cases in 12 statistical regions of Turkey and real-feel air temperature, wind speed, and humidity of 81 cities to analyze the relationship.

Figure 1 shows the 12 statistical regions in Turkey. Turkey is administratively divided into 81 provinces. This regional distinction has become a

frequently used variable in examining the demographic, social, cultural, and economic differences between different country regions.

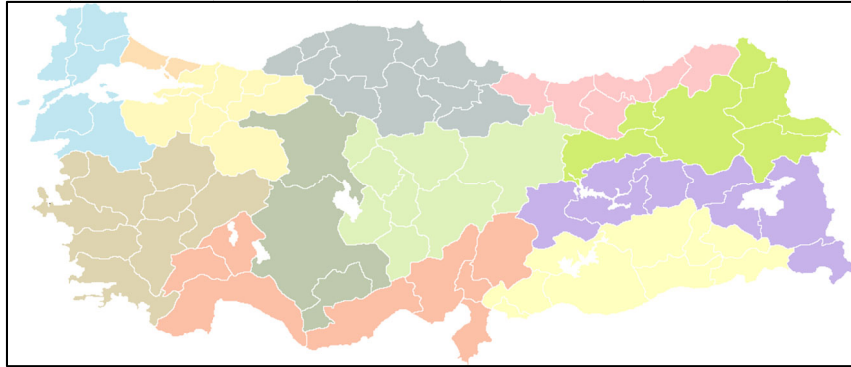


Figure 1. Statistical regions of Turkey

The Ministry of Health announced the daily number of cases for 12 regions of Turkey between July 01 and July 14, 2020. The COVID-19 confirmed cases highly variant for each region were collected throughout time from July 01 to July 14, 2020. In our study, 81 cities covered the Republic of Turkey. Real-feel air temperature, wind speed, and humidity were obtained by calculating the mean of every 3 hours for every day for each of 81 cities from website public.wmo.int. After that, 81 cities were grouped to their statistical region and finally obtained real-feel air temperature, wind speed, and humidity

values were obtained by calculating each statistical region's average

2.2. The Data

The data of COVID-19 confirmed cases of 12 statistical regions of Turkey were collected from the official website of the Ministry of Health of the Republic of Turkey. Figure 2 shows the number of daily cases in 12 statistical regions of the first 14 days of July 2020. The highest confirmed cases are observed in Southeastern Anatolia.

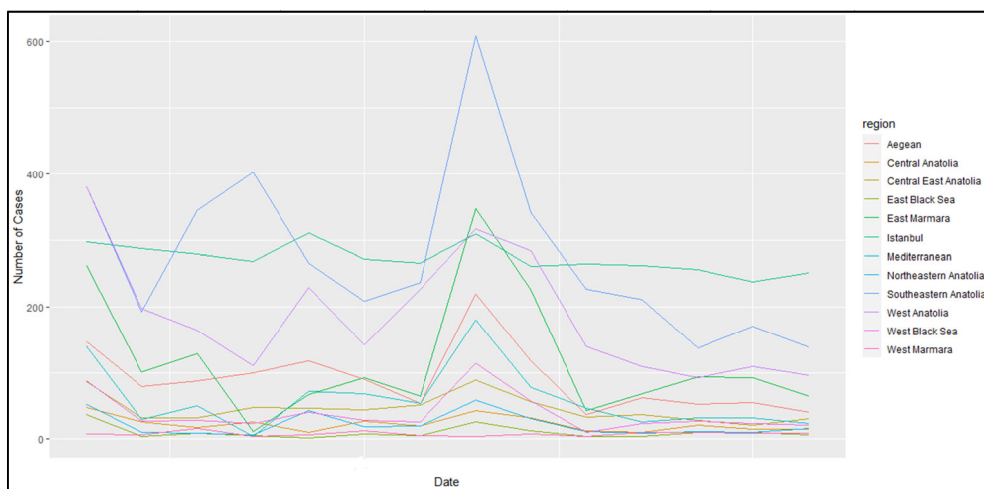


Figure 2. Daily cases in 12 statistical regions for 14 days

Table 1 shows the cumulative confirmed cases in 12 statistical regions. As seen in Table 1, the majority of the confirmed cases are located in Southeastern Anatolia.

Table 1. Total confirmed cases in 12 statistical regions in 14 days

Region	Total Cases
Southeastern Anatolia	3864
Northeastern Anatolia	297
Central East Anatolia	578
Central Anatolia	422
West Anatolia	2267
West Marmara	106
East Marmara	1342
East Black Sea	153
West Black Sea	407
Aegean	972
Mediterranean	826
Istanbul	3824

The real-feel air temperature, humidity (%) and wind speed (km/h) were collected from <https://www.worldweatheronline.com>. Figure 3 shows the real-feel air temperature in 12 statistical regions in Turkey for the first 14 days in July 2020.

As seen, almost every day, the highest real-feel temperature is in the Southeastern Anatolia region. Figure 4 shows the humidity (%) for each day in 12 statistical regions. When relative humidity is between 30%-50, people feel comfortable. As seen in Figure 4, almost every region every day, the humidity is above the comfortable level 30%.

Figure 5 illustrates the change of wind speed (km/h) daily in the 12 statistical regions. The highest wind-speed (30.3 km/h) was observed in Istanbul on July 08.

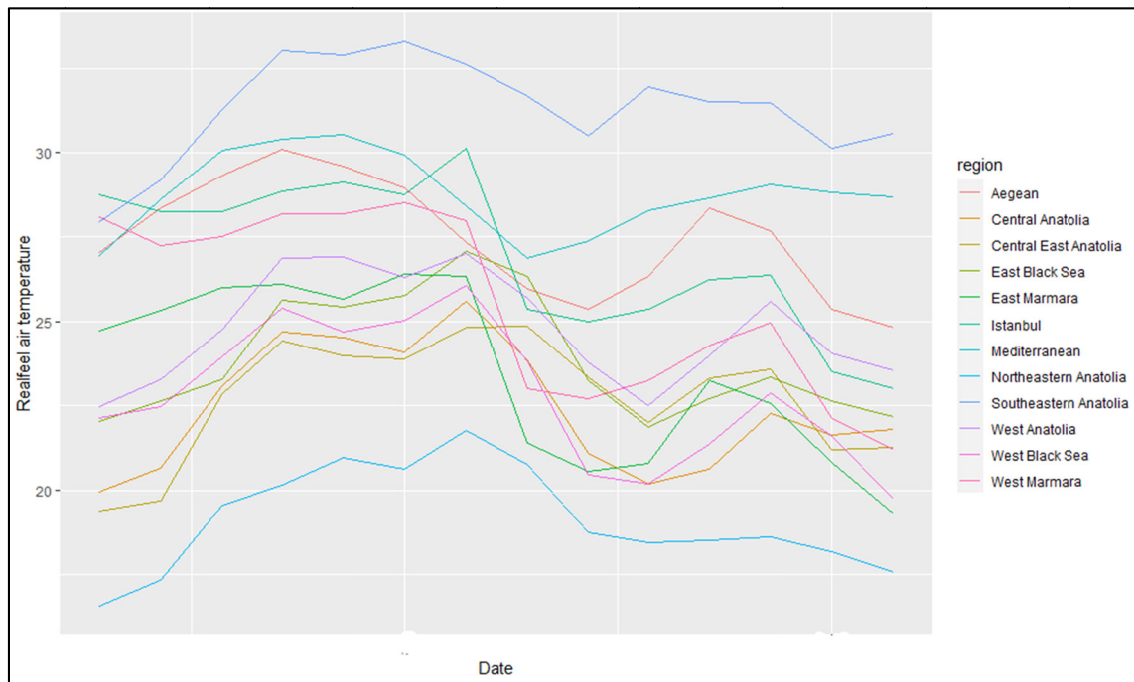


Figure 3. Real-feel air temperature in 12 statistical regions for 14 days

Additionally; data about education level, population density and population above 65 ages were obtained on <http://www.turkstat.gov.tr/>.

Education level was calculated for the population graduating from high school and above.

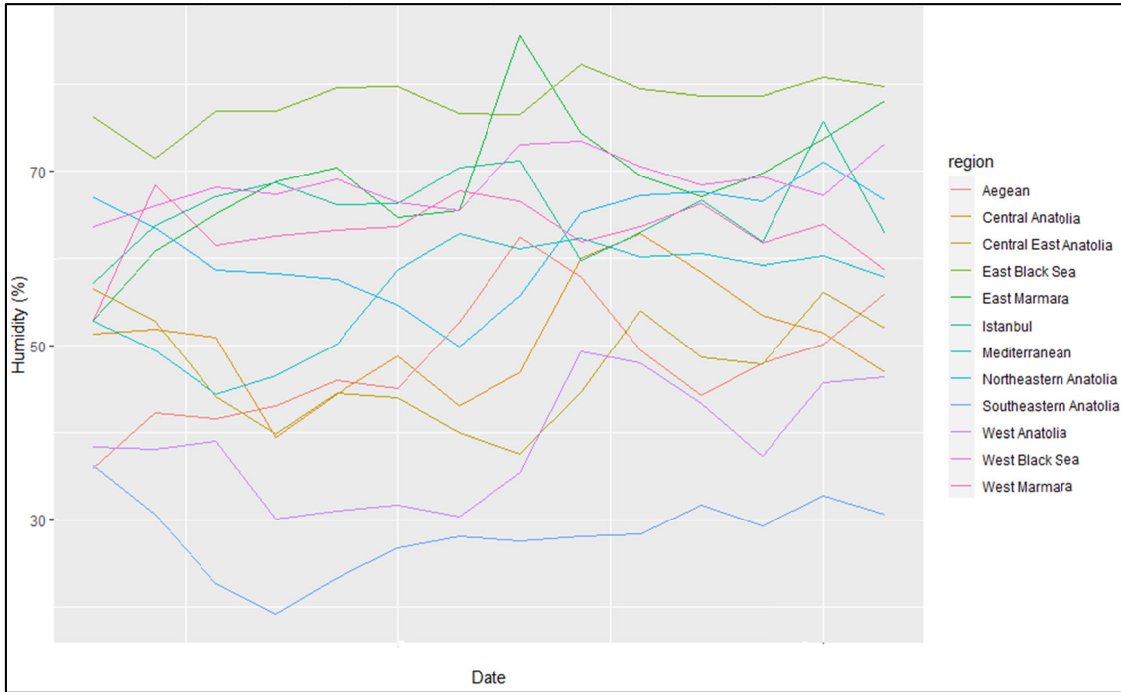


Figure 4. Humidity in 12 statistical regions for 14 days

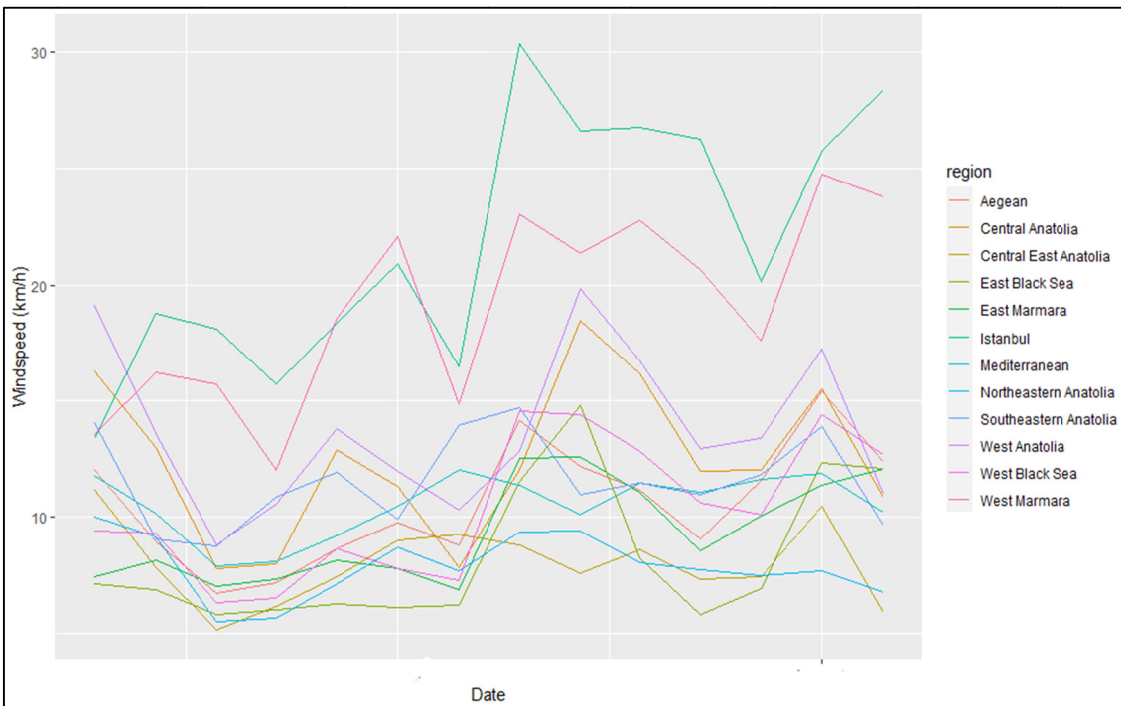


Figure 5. Wind-speed in 12 statistical regions for 14 days

In Table 2, the population density of the 12 statistical regions, the percentage of individuals with high school and above education, and the number of individuals over 65, are given. While the region with the highest number of individuals over the age of 65 is the Aegean region, the region with the least; Northeastern is the Anatolia region. Education level is below 50% in all regions. The highest education level is in West Anatolia, 47.46%, and the lowest education level is in Southeastern Anatolia, 32.14%. The region with the highest population density value, defined as the number of individuals per square kilometer, is Istanbul, 2987 individuals per square kilometer. The region closest to Istanbul in terms of population density is East Marmara, 167 individuals per square kilometer. The large difference in population density between Istanbul and all other regions shows how the population is unevenly distributed in the country.

Table 2. Descriptive statistics for 12 statistical regions in Turkey

Region	Population density	Education level (%)	65+
Southeastern Anatolia	119	32.14	449255
Northeastern Anatolia	31	35.1	178600
Central East Anatolia	51	36.98	265470
Central Anatolia	45	39.13	433541
West Anatolia	112	47.46	725742
West Marmara	84	40.97	469045
East Marmara	167	44.2	765160
East Black Sea	76	41.05	370614
West Black Sea	64	36.56	645589
Aegean	119	41.29	1242292
Mediterranean	120	40.49	926223
Istanbul	2987	45.89	1079196

2.3. Correlation Test

Collected data in this study are not distributed normally according to the Shapiro-Wilk normality

test. So, the Spearman correlation test is appropriate to use. Spearman's rank correlation coefficient, or Spearman's rho (ρ), is named after the American statistician Charles Spearman who first introduced this statistical method [12]. Spearman's rank correlation coefficient (ρ) is a particular case of Pearson's correlation coefficient. The sample data is arranged in order of the two variables to calculate the ρ value as seen Equation 1. If there is no tie between the sequence numbers, the following formula is used to find the ρ value. d_i represents the difference between sequence numbers, whereas n total number of observations in a bivariate sample.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n^3 - n} \quad (1)$$

The correlation coefficient can take values between -1 and +1. -1 indicates perfect negative correlation, 0 indicates no association, and +1 indicates perfect positive correlation. In this paper, all analyses were conducted using R software. The statistical tests were two-sided, and $p < 0.05$ was considered statistically significant.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 6 shows the Spearman correlation coefficient matrix among the collected data. When we examine the meteorological data, the only real-feel temperature had significantly negative correlations with humidity ($\rho = -0.41$, $p < 0.05$).

In the earlier study about the SARS-CoV virus family, at temperatures of 22–25 °C and relative humidity of 40%–50%, dried SARS-CoV could survive for over five days. However, the viability of the virus reduced rapidly when the temperature or relative humidity increased [13]. Also, cold weather suppresses people's immune systems. Thus, people may be more vulnerable to the virus. Figure 6 suggested that the relationship between real-feel temperature and confirmed cases was a significantly positive correlation ($\rho = 0.42$, $p < 0.05$). That means, as real-feel temperature rises, the confirmed cases of COVID-19 increases.

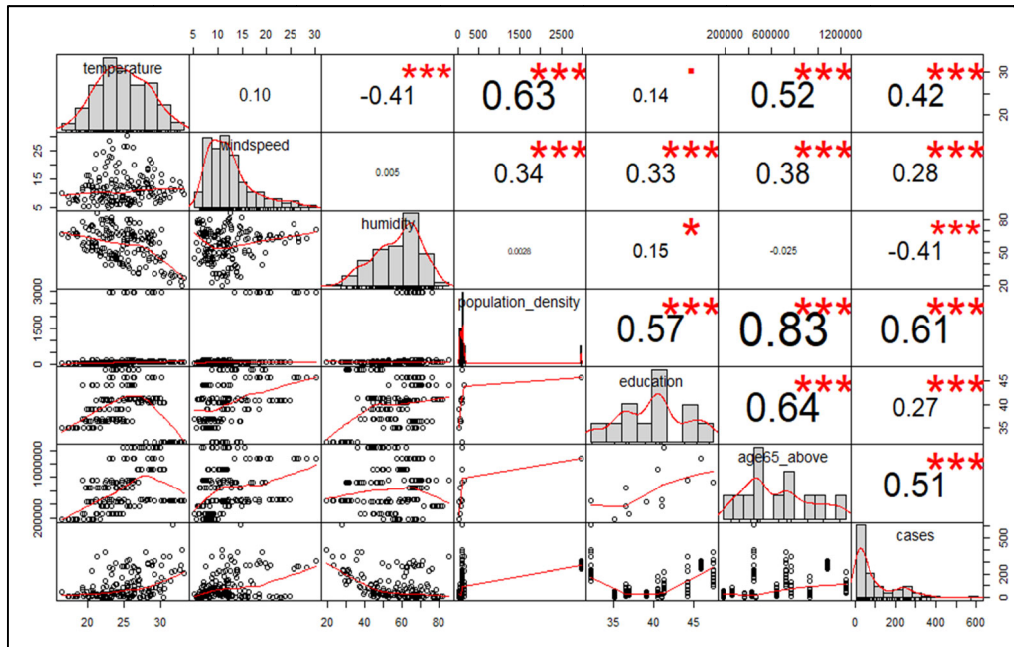


Figure 6. Spearman correlation chart

Furthermore, low humidity reduces the ability to secrete mucus, so hosts the virus easily in human mucus [14]. So, low humidity and low temperatures are perfect environments for viruses to spread. According to Spearman’s rank correlation, the relationship was a highly negative correlation between the humidity and confirmed cases, as expected ($\rho=-0.41$, $p<0.05$). Lastly, according to meteorological data and confirmed cases, the relationship between wind speed and confirmed cases was a positive correlation but not reliable as between real-feel temperature and confirmed COVID-19 cases ($\rho=0.28$, $p<0.05$).

Hygiene practices, population density, ethnicities, age, or living style may also affect COVID-19 spread [15]. We also try to detect the relationship between some demographical factors and COVID-19 confirmed cases. The expected situation is that the number of cases will decrease as the education level increases.

Based on Spearman’s rank correlation coefficient, the highest correlation is between confirmed cases and the statistical region’s population density, as expected ($\rho=0.61$, $p<0.05$). Also, as clearly seen, a positive relationship was also found between the

population of people over the age of 65 and the confirmed COVID-19 cases ($\rho=0.51$, $p<0.05$). It was expected that there would be a negative correlation between the education level and the confirmed cases, but a positive correlation was found as a result ($\rho=0.27$, $p<0.05$).

This plot study proposes that high real-feel temperature, wind speed, population density, and the population of people over the age of 65 may increase confirmed COVID-19 cases. Real-feel air temperature and wind speed were both positively related to the daily confirmed COVID-19 cases. Population density and the number of individuals over the age of 65 have high impacts on COVID-19 confirmed cases. To the best of our knowledge, this is the limited study to investigate the correlation between weather conditions, demographic data, and confirmed COVID-19 cases. There are no proven studies for the relationship between weather conditions and confirmed COVID-19 cases, despite the belief that warm weather prevents the spread of the virus in studies conducted on previous coronavirus forms. Our findings showed up that temperature and wind speed are positively correlated with daily

confirmed COVID-19 cases according to 12 statistical region data for 14 days.

However, this study has been carried out with minimal data and time. Fourteen days may not be enough to observe this relationship. Long-term data can be analyzed in future studies. Weather conditions cannot be the only factor in COVID-19 spread. With more data, we can observe seasonal changes and preexisting health issues of people in future work.

4. REFERENCES

1. Fung, T., Liu, D., 2019. Human Coronavirus: Host Pathogen Interaciton. *Annu Rev Microbiol*, 73, 539-557. doi:10.1146/annurev-micro-020518-11579
2. Hui, D., Azhar, E.I., Madani, T., Ntoumi, F., Kock, R., Dar, O., 2020. The Continuing 2019-nCoV Epidemic Threat of Novel Coronaviruses to Global Health-The Latest 2019 Novel Coronavirus Outbreak in Wuhan, China. *International Journal of Infectious Diseases*, 91, 264-266. doi:10.1016/j.ijid.2020.01.009
3. COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU). (2020, 11 03). Retrieved from Johns Hopkins University.
4. Hopkins, C., 2020. Loss of Sense of Smell as Marker of COVID-19 Infection. *Ear, Nose and Throat Surgery Body of United Kingdom*. Retrieved November 23, 2020.
5. Li, Q., Guan, X., Wu, P., Wang, X., Zhou, L., Tong, Y., Feng, Z., 2020. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-infected Pneumonia. *N. Engl. J. Med.*, 382(13), 1199-1207. doi: 10.1056/NEJMoa2001316.
6. Yueling, M., Zhao, Y., Jiangtao, L., Xiaotao, H., Bo, W., Fu, S., Bin, L., 2020. Effects of Temperature Variation and Humidity on the Death of COVID-19 in Wuhan, China. *Science of The Total Environment*, 724, 138226. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138226
7. Chen, B., Liang, H., Yuan, X., Hu, Y., Xu, M., Zhao, Y., Zhu, X., 2020. Roles of Meteorological Conditions in COVID-19 Transmission on a Worldwide Scale. *medRxiv*. doi: 10.1101/2020.03.16.20037168
8. Mandal, C.C., Panwar, M.S., 2020. Can the Summer Temperatures Reduce COVID-19 cases? *Public Health*, 72-79. doi:10.1016/j.puhe.2020.05.065
9. Ma, Y., Zhao, Y., Liu, J., He, X., Wang, B., Fu, S., Luo, B., 2020. Effects of Temperature Variation and Humidity on the Death of COVID-19 in Wuhan, China. *Science of Total Environment*, 724, 138226. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138226
10. Xie, J., Zhu, Y., 2020. Association Between Ambient Temperature and COVID-19 Infection in 122 Cities from China. *Science of the Total Environment*, 724. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138201
11. Sahin, M., 2020. Impact of Weather on COVID-19 Pandemic in Turkey. *Science of Total Environment*, 728. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138810
12. Spearman, C., 1904. The Proof and Measurement of Association Between Two Things. *Amer.J.Psychol. C.*, 72-101.
13. Chan, K.H., Malik Peiris, J.S., Lam, S.Y., Poon, L.L.M., Yuen, K.Y., Seto, W.H., 2011. The Effects of Temperature and Relative Humidity on the Viability of the SARS Coronavirus. *Advanced in Virology*, 1-7.
14. Sun, Z., Thilagavathy, K., Kumar, S., He, G., Liu, S., 2020. Potential Factors Influencing Repeated SARS Outbreaks in China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17(5), 1633. doi: 10.3390/ijerph17051633.
15. Lee, A., 2020. Wuhan Novel Coronavirus (COVID-19): Why Global Control is Challenging? *Pub Health*, 179, doi: 10.1016/j.puhe.2020.02.001.

İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Ortofoto ve Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi: Adıyaman Üniversitesi Merkez Kampüs Örneği

Senem TEKİN^{*1}, Fatih TEKİR²

¹Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Madencilik ve Maden Çıkarım Bölümü, Adıyaman

²Adıyaman Belediyesi, İmar ve Şehircilik Müdürlüğü, Adıyaman

Geliş tarihi: 02.12.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Özet

Uzaktan algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojilerindeki hızlı gelişim ile beraber İnsansız Hava Araçlarına (İHA) yönelik talep dünyada olduğu gibi ülkemizde de hızla artmaktadır. İHA ile elde edilen görüntülerin yüksek çözünürlük gibi özelliklere sahip olması yanı sıra arazi çalışması yapılması güç olan bölgelerde sağladığı büyük avantajları bulunmaktadır. Arazinin sahip olduğu morfolojiyi yansıtmaması ve elde edilen ortofotolardan elde edilen yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli ve bu model kullanılarak elde edilen yamaç eğimi, yamaç yönelimi parametreleri ile bölgesel ya da alansal morfolojik özelliklerin ortaya çıkarılması çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada İHA kullanılarak Adıyaman Üniversitesi Merkez yerleşke kampüs civarını kapsayan yaklaşık 300 hektarlık bölgede, 3,41 cm hassasiyetinde ortofoto üretilmiştir. Bu görüntüyü kullanarak 3,41 cm hassasiyetinde sayısal yükseklik modeli, yamaç eğimi ve yamaç yönelimi haritaları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan algılama, Coğrafi bilgi sistemleri, İnsansız hava aracı, Adıyaman Üniversitesi

Orthophoto and Digital Elevation Model Production using Unmanned Aerial Vehicle (UAV): Adıyaman University Main Campus

Abstract

With the rapid development in Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) technologies, the demand for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) is increasing rapidly in our country as in the world. In addition to the high resolution of the UAVs' images, they have great advantages in areas where it is challenging to do fieldwork. It is used to reflect the land's morphology and reveal the high-resolution digital elevation model obtained from the mid-photos. The slope produced by this model, slope orientation parameters, and regional or spatial morphological features. In this study, an orthophoto with a sensitivity of 3.41 cm was produced in approximately 300 hectares covering the main campus of

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Senem TEKİN, senemtekin@adiyaman.edu.tr

Adıyaman University using an UAV. Using these images, a digital elevation model with 3.41 cm precision, slope and slope orientation maps were obtained.

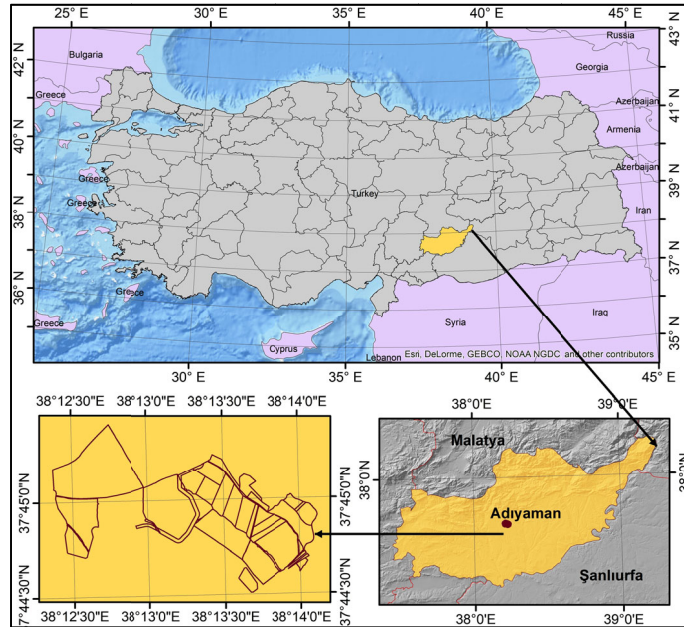
Keywords: Remote sensing, Geographic information systems, Unmanned aerial vehicles, Adıyaman University

1. GİRİŞ

Uzaktan algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojilerindeki hızlı gelişim ile beraber İnsansız Hava Araçlarına (İHA) yönelik talep dünyada olduğu gibi ülkemizde de hızla artmaktadır [1,2]. 1979 yılında ilk kez İHA kullanılarak fotogrametrik denemeler yapılmıştır [3]. İHA'lar devlet kurumları, üniversiteler, özel şirketler, belediyeler ve akademik çevreler tarafından kullanılarak ihtiyaç doğrultusundaki tüm coğrafik verileri konumsal koordinatları yansıtacak projeksiyon ve datum sistemlerini sunması sebebiyle tercih edilmektedir. Haritacılık konusunda, İHA gibi hava araçlarının pek çok avantajları bulunmaktadır [4,5]. Dolayısıyla, bu tür hava araçlarının kullanımı haritacılık anlamında pek çok avantajı beraberinde getirmektedir [5,6]. İHA'lara yerleştirilen dijital kameralar ürettikleri görüntüler ile arazi çalışmalarının zor/tehlakeli

olabileceği bölgelerde ölçüm yapılabilme imkanı sunmaktadır [7,8]. En önemli avantajlarından biri ise, İHA yardımıyla üretilen ortofotolardan hassasiyet (yersel çözünürlük) bakımından yüksek doğruluk sunmasıdır. Uydu görüntülerinden daha yüksek hassasiyette görüntüler elde edilmektedir. Zamansal çözünürlük bakımından ise uygun hava koşullarında istenilen zamanlarda görüntü çekimi mümkündür.

Bu çalışmada, Adıyaman Üniversitesi merkez kampüsü (Şekil 1) ve çevresine ait yaklaşık 300 hektarlık bir alanda İHA kullanılarak farklı yüzey örnekleme aralığı değerlerinde elde edilen üç bantlı görüntüler ile ortofotolar üretilmiştir. Bölgeye ait ortofoto, sayısal yükseklik modeli (SYM), nokta bulutu üretimi ile SYM kullanılarak yamaç eğimi, yamaç yönelimi gibi altlık parametreler oluşturulmuştur.



Şekil 1. Yer bulduru haritası

2. MATERYAL VE METOT

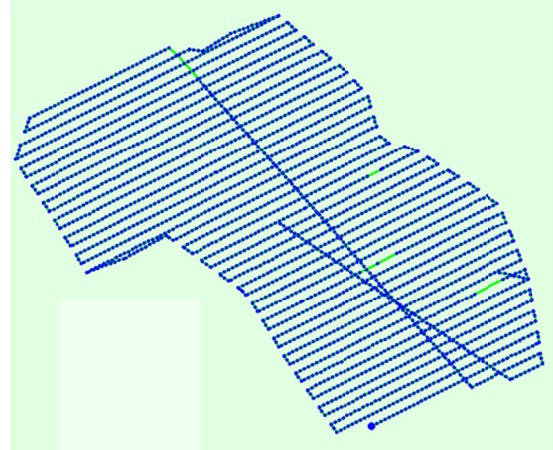
Bu çalışma, Adıyaman Üniversitesi Merkez kampüsü içerisinde alan yaklaşık 300 hektarlık alanda gerçekleştirilmiştir. Kampüs bölgesi ve çevresi düz bir morfolojiye sahip olması sebebiyle bina ve inşaat açısından yoğun aktivitenin olduğu bir bölgeyi içermektedir. Çalışmada, uçuş planı hazırlığı aşaması için Emotion 3.5; ve GNSS verilerini kullanılması için Netcad; ortofotoların oluşturulması için Agisoft Metashape ile Pix4d yazılımları kullanılmıştır. Bölgenin topografik yapısının ortaya çıkarılması kapsamında ise SYM gibi mekansal parametreleri incelemek amacıyla ArcGIS yazılımı kullanılmıştır. Görüntü çekimi için FC6310R_8.8_5472x3648 (RGB) kamera kullanılmıştır. Yersel çözünürlük 3,41 cm (1,34 inç) olacak şekilde tercih edilmiştir. Çekilen her bir görüntü başına ortalama 53607 anahtar nokta oluşmuştur. Veri setinde 2886 görüntü bulunmaktadır. Tüm görüntülerin kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon yapılan tüm görüntülerde ortalama 19014 eşleşme bulunmaktadır. Elde edilen 3,41 cm mekansal çözünürlükteki ortofotolar görünür bantlar olan RGB (Kırmızı-Yeşil-Mavi) bantlarını içermekte ve 8-bit radyometrik çözünürlüktedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Görüntüye ait teknik bilgiler

Özellik	Ortofoto	Sayısal yükseklik modeli
Satır ve sütun	2886 * 2886	2886 * 2886
Bant sayısı	3 (RGB)	1
Piksel türü	Unsigned Integer	Unsigned Integer
Radyometrik çözünürlük	8 bit	32 bit
Koordinat Sistemi	TUREF/TM39	TUREF/TM39
Zone	37	37

3. BULGULAR

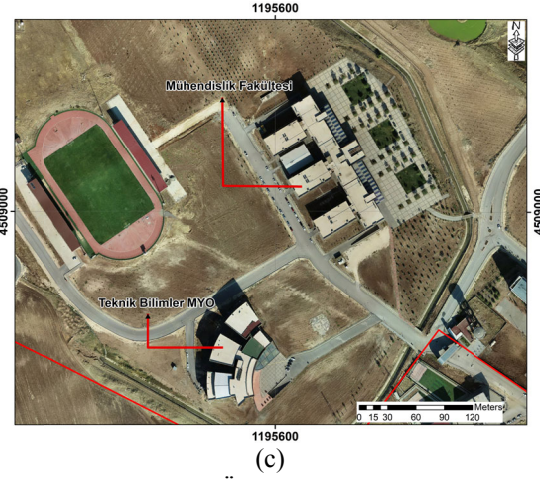
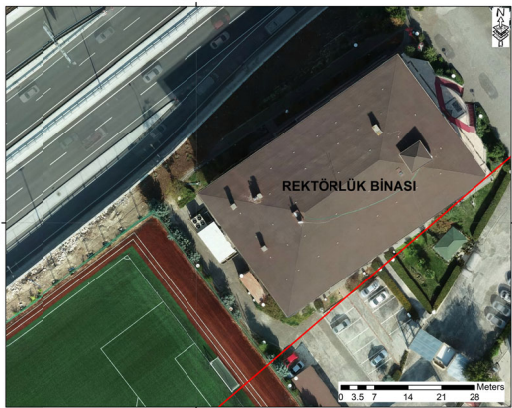
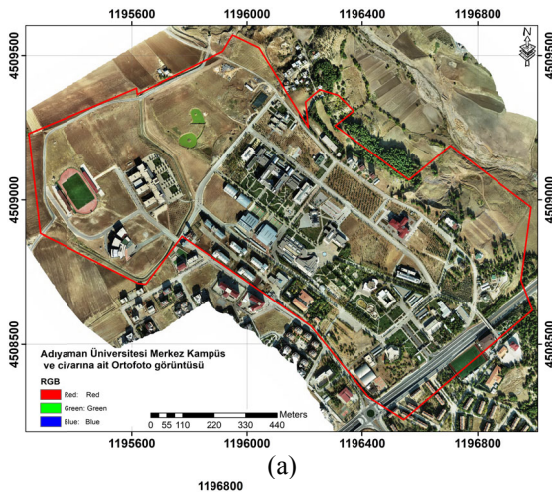
11 Kasım 2020 tarihinde Planlanan uçuş doğrultusunda, %65 enine ve boyuna bindirme şeklinde yer örneklem alanları belirlenmiştir (Şekil 2). Ek parametreler kullanılan yazılım ile otomatik olarak belirlenmiştir. Uçuş 2 gün içerisinde tamamlanmıştır. Şekil 2’de ilk (mavi noktalar) ve hesaplanan (yeşil noktalar) görüntü konumlarının yanı sıra başlangıç konumları (mavi çarpılar) ve üstten görünümde (XY düzlemi), önden görünümde (XZ düzlemi) ve yandan görünümde (YZ düzlemi) hesaplanan konumları (yeşil çarpılar) görülmektedir. Şekil 2 deki mavi noktalar görüntü alınan alanları, yeşil noktalar ise kayıp görüntüleri ifade etmektedir. Fakat görüntüler %65 bindirmeli çekildiği için veri setinde herhangi bir boşluk alan oluşmamıştır. Görüntü çekimi 100 m yükseklikten gerçekleştirilmiştir ve 2886 fotoğraf elde edilmiştir. Tüm görüntüler kullanarak kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.



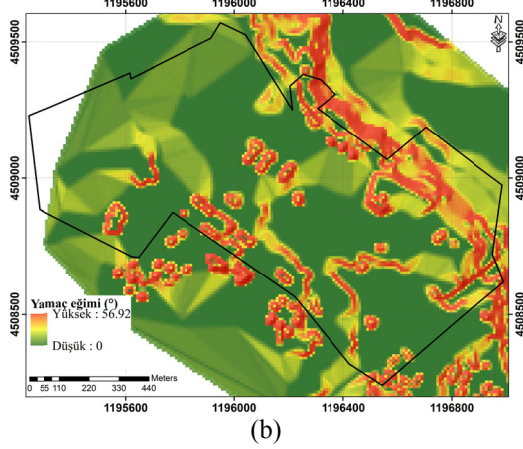
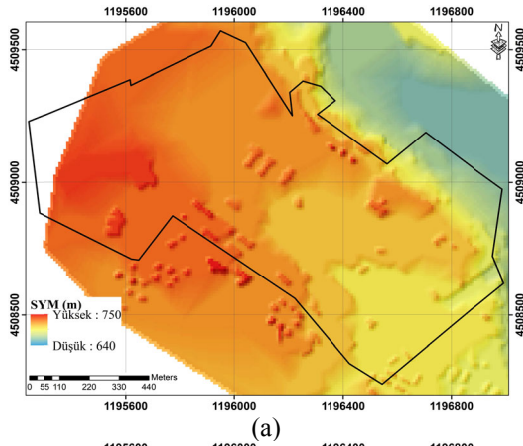
Şekil 2. Planlanan uçuş plan alanının üstten görünümü, Yeşil çizgi, büyük mavi noktadan başlayarak zaman içindeki görüntülerin konumunu takip eder

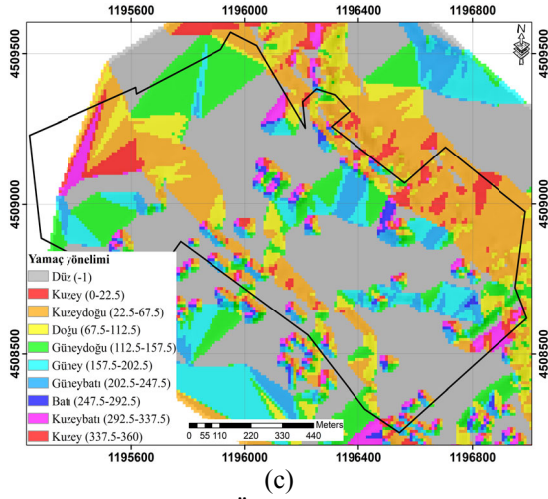
Doğrulama analizi sonrasında, Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) sistemi ile çekilen hava fotoğraflarının yersel çözünürlüğünün yeterli ölçüde olduğu hesaplanmıştır. Her bir yer örneklem alan değeri için nokta bulutu ve Ortofoto

görüntüleri (Şekil 3) hazırlanmıştır. Elde edilen ortofotonun yersel çözünürlüğünün 3.41 cm olması kampüs içerisindeki en küçük yapıların planlanan bir alan ölçümü için bile avantaj sağlamaktadır. Yükseklik değerleri en düşük 640 m en yüksek 750m metre olup yaklaşık 110 metrelik yükselti değişimi görülmektedir (Şekil 4a). Yamaç eğim haritasına göre ise genellikle kampüsün düşük eğimli araziden oluştuğu görülmektedir. Kuzeydoğu bölgesinde bulunan dik yamaçlarda eğim değerleri yaklaşık 57°'ye ulaşmaktadır (Şekil 4b). Yamaç eğiminin azaldığı bölgelerde kuzeye doğru yaptığı açıyı ifade eden yamaç yönelimi haritasına göre yerleşke bölgesinin düz alanlardan oluştuğu fakat kuzeydoğu, güney ve güneydoğuya doğru yönelimin olduğu bölgeler olduğu görülmektedir (Şekil 4c).



Şekil 3. Adıyaman Üniversitesi merkez kampüs yerleşkesi İHA ile elde edilen ortofoto görüntüsü (a), Rektörlük binası (b) ve bazı birimlerin (c) yakından görünümü





Şekil 4. Adıyaman Üniversitesi merkez kampüs yerleşkesi ve civarına ait sayısal yükseklik modeli (SYM) (a), Yamaç eğimi (b) ve yamaç yönelimi (c) haritaları

4. SONUÇLAR

Adıyaman Üniversitesi Merkez Kampüs Yerleşkesi'nde yapılan bu çalışma ile 3,41 cm konumsal hassasiyette ortofoto haritası üretilmiştir. Bu görüntü kullanılarak 10 cm hassasiyetinde yükseklik modeli üretilmiştir. Yükseklik modeli kullanılarak Adıyaman Üniversitesi Merkez kampüs için yamaç eğimi ve yamaç yönelimi haritaları oluşturulmuştur. Kampüs bölgesi ve civarı Adıyaman ili Merkez ilçe içerisinde yer alması ve düz bir morfolojiye sahip olması sebebiyle yerleşimin yoğunlaşmaya başladığı bir bölgedir.

Sonuç olarak İHA ile elde edilen görüntülerin, yüksek çözünürlüklü, düşük maliyetli olması sebebiyle, fotogrametrik tekniklere sahip ortofotoların üretilmesine imkan sağlaması gibi avantajları da düşünüldüğünde haritacılık alanında büyük avantajlar sağlamaktadır. Üretilen veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri ile değerlendirildiğinde mühendislik, tasarım ve planlama süreçlerinde gelecekte yapılması planlanan halihazır haritalar için önemli bir altlık oluşturacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Yılmaz, H.M., Mutluoğlu, Ö., Ulvi, A., Yaman, A., Bilgilioğlu, S.S., 2018. İnsansız Hava Aracı ile Ortofoto Üretimi ve Aksaray Üniversitesi Kampüsü Örneği, Geomatik dergisi, Journal of Geomatics, 3(2), 103-110.
2. Brutto, M.L., Garraffa, A., Meli, P., 2014. UAV Platforms for Cultural Heritage Survey: First Results. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5, 2014 ISPRS Technical Commission V Symposium, 23 – 25 June 2014, Riva del Garda, Italy.
3. Przybilla, H.J., Wester-Ebbinghaus, W., 1979. Bild Flug Mit Ferngelenktem Kleinflugzeug, In: "Bildmessung und Luftbildwesen" Zeitschrift fuer Photogrammetrie und Fernerkudung, 47(5), 137-142.
4. Eisenbeis, H., 2009. UAV photogrammetry. Zurich, Switzerland: ETH.
5. Gökalp, E., Güngör, O., 2001. RTK (Real Time Kinematic) GPS'in İmar Uygulamalarında Kullanılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi, 87, 38-47.
6. Tekir, F., 2019. İnsansız Hava Aracı Görüntülerinden Bina Çatılarının Üç Boyutlu Çıkartılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Uzaktan Algılama ve CBS Programı, İstanbul, 90.
7. Yılmaz, V., Akar, A., Akar, Ö., Güngör, O., Karslı, F., Gökalp, E., 2013. İnsansız Hava Aracı ile Üretilen Ortofoto Haritalarda Doğruluk Analizi, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB'2013), 6, 23-25 Mayıs 2013, KTÜ, Trabzon.
8. Cilek, A., Berberoglu, S., Donmez, C., Cilek, Unal, M., 2020. Generation of High-Resolution 3-D Maps for Landscape Planning and Design Using UAV Technologies, Journal of Digital Landscape Architecture, 5-2020, 275-284.

Afyonkarahisar-Dinar Dombayova Kömür Sahasının Tektono-Stratigrafik İncelemesi, Saha İçindeki Linyit Depolarının Jeolojik Gelişimi ve Rezerv Olanakları

Kemal PEKKIYICI^{*1}, Ulvi Can ÜNLÜGENÇ², Hatice KARAKILÇIK²

¹EÜAŞ., Karapınar Maden Etüt Tesis Müdürlüğü, Konya

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

Geliş tarihi: 19.10.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Öz

Çalışma alanı, Afyonkarahisar iline bağlı Dinar ilçesinin yaklaşık 10 km kuzeydoğusunda bulunan ve Göller bölgesinin oluşumunu da kontrol eden horst-graben sistemi içerisinde yer almaktadır. Çalışılan alan; horst-graben sistemi ve normal-verev atımlı faylar tarafından şekillendirilmiştir. Çalışmaların yürütüldüğü Dombayova grabeni yaklaşık olarak 5 ile 7 km genişliğinde, 20 km uzunluğunda bir çöküntü bölgesidir. Dombayova grabeni; kenarlarda alüvyon yelpazeleri ve yamaç molozları gibi genellikle orta-iri taneli birimlerden, orta kısımlarda ise kenar birimlerle yanal-düşey geçişli, kıltaşı, silttaşı, kumtaşı, çamurtaşı ve çok pekişmemiş kırıntılı birimlerden oluşmaktadır. Çalışma alanındaki aktif tektonizma nedeniyle sahanın özellikle doğu kenarlarındaki birimlerde gözle görülebilen eğimlenmeler dikkat çekmektedir. Ayrıca bu durum, sondajlardan alınan karotlarda da gözlemlendiği üzere bazı alanlarda yer yer sıkı kıvrımlanmalara sebebiyet vermiştir. Bu süreç sahada normal faylanmaların oluşumu ile birlikte verev atımlı faylanmaların gelişimini de sağlamıştır. Dombayova grabeni; batı ve doğu kenarlarından, havza merkezine doğru eğimli olan normal ve verev atımlı faylarla temsil edilmektedir. Sondaj çalışmalarında gözlemlendiği üzere, havzadaki faylar mevcut birimlerin çok kısa mesafelerde farklı seviyelerde oluşmasına neden olmuştur. Benzer ötelenmelere linyit damarlarında da gözlenmiştir. Bu nedenle kömür korelasyonu ve damar modellenmesinde zorluklarla karşılaşmıştır. Söz konusu grabende yapılan sondaj çalışmaları ile yaklaşık olarak 1,525 milyar ton (\pm 100 milyon ton) rezerve sahip Geç Pliyosen-Kuvaterner yaşlı çökellerin altında oluşmuş, Miyosen-Pliyosen yaşlı linyitlerin varlığı tespit edilmiştir. Sahadaki linyitlerin kalınlıkları havza kenarlarında birkaç cm'den başlayıp, havza merkezine doğru yer yer yüzlerce metre kalınlığa ulaşmaktadır. Yapılan laboratuvar analizleri neticesinde bu linyitlerin ortalama olarak 1783 kcal/kg alt ısı değere, %40,57 nem, %18,97 kül, %27,65 uçucu madde, %12,81 sabit karbon, %0,73 külden kükürt ve %1,25 toplam kükürt değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dombayova grabeni, Normal ve verev atımlı faylanma, Linyit

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Kemal PEKKIYICI, knlcm_01@hotmail.com

Tectono-Stratigraphic Investigation of Afyonkarahisar-Dinar-Dombayova Coalsite and Geological Development and Reserve Potential of Lignite Deposits in the Area

Abstract

The study area is located 10 km to the northeast of Dinar district of Afyonkarahisar province within the horst-graben system that also controls the formation of the Lakes region. The studied horst-graben system was formed by oblique slip faults along with normal faulting. The Dombayova graben is a depression region of approximately 5 to 7 km in width and 20 km in length. Dombayova graben consists of generally medium-grained units such as alluvial fans and slope debris at the edges of the basin, and claystone, siltstone, sandstone, mudstone and unconsolidated clastic units at the center of the basin that has lateral and vertical transition. Due to the active tectonism in the study area, visible inclinations in the units especially in the eastern side of the area are remarkable. In addition, as observed in the cores taken from the boreholes, tight folding formed in some areas. This tectonic process, along with the formation of normal faulting in the field has led to the development of oblique slip faulting. Dombayova graben, is represented by normal and oblique slip faults sloping from the western and eastern edges towards the basin center. As observed in the drilling studies, faults in the basin caused the existing units to form at different levels over very short distances. Similar displacements have also been observed in the lignite veins. The drilling activities carried out in the graben, the presence of Miocene-Pliocene aged lignites formed under the Late Pliocene-Quaternary sediments with a reserve of approximately 1.525 billion tons (± 100 million tons) were determined. The thickness of the lignites in the field starts from a few cm on the edges of the basin and reaches to the basin center from hundreds of meters in some places. As a result of the laboratory analyzes, these lignites have an average of 1783 kcal/kg Lower thermal value, 40.57% moisture, 18.97% ash, 27.65% volatile matter, 12.81% constant carbon, 0.73% sulfur in ash, 1.25% total sulfur values.

Key Words: Dombayova graben, Normal and oblique-slip faulting, Lignite

1. GİRİŞ

Yurdumuzun enerji ihtiyacının büyük bir bölümü; doğalgaz, petrol gibi yer altı ve yer üstü fosil yakıt kaynaklarından elde edilen hammaddelerin çeşitli işletim tesislerinde kullanılması suretiyle karşılanmaktadır. Ülkemiz doğalgaz ve petrol gibi fosil yakıt kaynakları bakımından fakir sayılabilecek nitelikte bir ülkedir. Bu enerji kaynaklarına alternatif olarak kullanılabilir; Dinar, Karapınar-Ayrancı, Alpu, Çerçezköy, Malkara vb. gibi yurdumuzun çeşitli bölgelerinde oluşmuş linyit yatakları bulunmaktadır [1]. Mevcut yataklardaki linyitlerin bir kısmı, nem ve kül oranı açısından yüksek olmasına rağmen bu linyitlerin kalorifik değerleri ise yaklaşık olarak 1000-2000 kcal/kg aralığında olduğundan dolayı bu linyitler genel olarak düşük kalorili olarak nitelendirilebilir [2]. Buna rağmen, rezerv miktarı ve sahaların yurt genelindeki dağılımı göz önüne

alındığında; linyit yataklarının enerji üretiminde hammadde olarak kullanılması da cazip hale gelmektedir. Her geçen gün artan elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla gerek ülkemizde gerekse dünyanın birçok ülkesinde linyitlerin enerji üretimindeki önemi giderek artmaktadır. Bu çerçevede yurdumuzun İç Batı Anadolu bölgesinde yer alan Dombayova yöresinde oluşmuş kömür sahası ülke ekonomisi açısından önem arz etmektedir (Şekil 1). Genç linyit depolarının oluşum gösterdiği bu sahada yapılan ARGE çalışmaları neticesinde, ciddi bir rezerv potansiyeline sahip linyitlerin olduğu tespit edilmiştir. Yapılan jeolojik, sondaj ve sismik araştırmalar sonucunda sahanın, normal fayların kontrolünde bir dizi tektonik etkiler sonucunda kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı bir şekilde oluştuğu tespit edilmiştir. Çalışma alanını şekillendiren ana faylar; Çobansaray, Akçaköy fay setleri ve Eldere faylarıdır [3]. Bunun yanı sıra

çalışma sahasında bahsi geçen ana faylar dışında sismik çalışmalar ile tespit edilmiş, doğu-batı ve kuzey-güney uzanlı ikincil faylar da bulunmaktadır. Bu kapsamda, kömür havzasının jeolojik ve jeoteknik özelliklerini tespit etmek amacıyla toplam ilerleme miktarı yaklaşık 140 bin metre olan 255 adet sondaj yapılmıştır. Sondajlardan elde edilen karotlar üzerinde yapılan laboratuvar analizleri ve sahada yapılan sismik çalışmalar neticesinde elde edilen bilgiler ile kömürlü seviyeler belirlenerek sahadaki mevcut fayların havzanın gelişimi ile ilişkisi ve rezerv durumu detaylı olarak araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışmalar; Afyonkarahisar ili, Dinar ilçesi, Uluköy, Akçaköy, Akgün, Dombay, Yeşilyurt, Burunkaya, Karataş, Cumhuriyet köyleri sınırları içerisinde, 1/25000 ölçekli jeoloji haritasının Afyonkarahisar L24c1-L24c4-L24d2-L24d3 paftalarında gerçekleştirilmiştir. Genel olarak çalışmalar; rezerv geliştirme amaçlı sondaj çalışmaları, kuyu jeofizik çalışmaları kapsamında gamma-ray, nötron ve density logları, yüzey jeofizik çalışmaları kapsamında ise sismik yansıma çalışmaları şeklinde yürütülmüştür. Bununla beraber kömür korelasyonu, kömürlerin üç boyutlu modellenmesi ve rezerv hesaplama gibi özelliklerin ortaya konmasına yönelik Mapinfo-Discover ve Netpromine programlarından yararlanılarak mevcut havza modelleri yapılmıştır [4].



Şekil 1. Çalışma alanında yapılan sondajlara ait karot numunelerinin genel görünümü (225,15-229,20 m)

2.2. Metod

Çalışmanın amacına yönelik incelemeler; saha öncesi, saha, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere 4 aşamada gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Saha Öncesi Büro Çalışmaları

Saha öncesi büro çalışmaları kapsamında; daha önceden sahada yapılmış olan çalışmalar incelenmiş, bölge ve çevresiyle ilgili literatür taraması yapılmıştır. Bahse konu çalışma alanında 2008-2011 yılları arasında 120 adet sondaj çalışması yapılmış olup, burada sağlanan bazı veriler bu çalışmada da değerlendirilmiştir [5].

2.2.2. Saha Çalışmaları

Saha çalışmaları kapsamında; linyit mevcudiyetinin detaylı olarak ele alınması, bu linyitlerden alınan örneklerin analiz değerlerinin araştırılması ve ileride kurulması planlanan termik santral için çalışma alanının mühendislik özelliklerinin ortaya konulmasına yönelik, 2017 ve 2018 yıllarında toplam 255 adet sondaj yapılmıştır [6].

Bu sondajlar ile alınan karotlardan, linyitli ve karbonlu olduğu düşünülen seviyelerden loglama ve örnekleme yapılmak suretiyle numuneler alınmış ve analiz değerleri belirlenmek üzere gerekli laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Bunun yanı sıra sondajların bitmesinin hemen ardından kuyularda jeofizik çalışmalar kapsamında; kuyu jeofiziği olarak gamma-ray, nötron ve density log çalışmaları yapılmış, yüzey jeofiziği çalışmaları kapsamında ise sismik yansıma modeli çalışması yapılmıştır. Böylece sahanın farklı bölgelerinde, yaklaşık 14 metre'den başlayıp 977 metreye kadar gözlenen kömürlü seviyeler belirlenmiştir. Ayrıca yapılan sismik çalışmalar ile toplam uzunluğu 263.426 km olan 44 adet yüksek ayrımlı sismik hattan veri toplanarak veri işlem ve yorumlama çalışması yapılmıştır. Dombayova grabenini oluşturan kuzey-güney gidişli verev atımlı ana faylardan Akçaköy fayı ve graben içindeki diğer ikincil faylar tespit edilmiştir [7].

2.2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Kömür numuneleri, görsel tanımlama çalışmalarından sonra boyuna ikiye bölünerek analizleri yapılmak üzere laboratuvarlara yollanmıştır. Numuneler öğütülüp toz haline getirildikten sonra laboratuvarlarda belirli sıcaklık derecelerinde ve belirli zaman aralıklarında; kısa analizler (nem, kül, uçucu madde, sabit karbon), tam analizler (karbon, hidrojen, oksijen, azot ve kükürt) ve kalorifik değerlerini tespit amaçlı analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

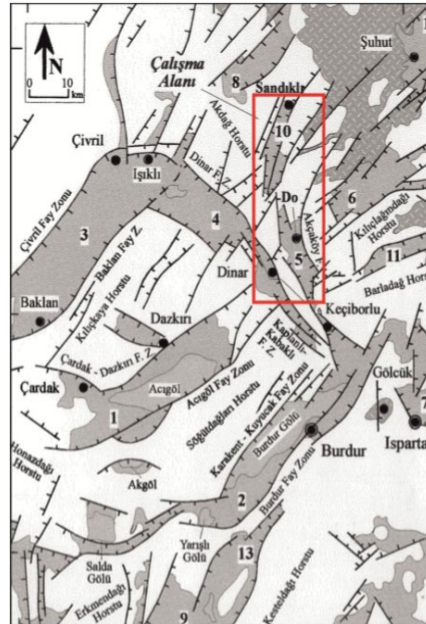
2.2.4. Büro Çalışmaları

Büro çalışmaları kapsamında saha çalışmalarından elde edilen veriler ve ölçümler kullanılarak gerekli harita çizimleri, grafik ve diyagramlar yardımı ile kömür havzası detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

3. PROJE ALANININ JEOLJİSİ

Türkiye, Alp-Himalaya dağ kuşağı içerisinde yer almaktadır [8]. Anadolu levhası güneyde kuzey-kuzeybatı yönlü hareket eden Arap ve Afrika

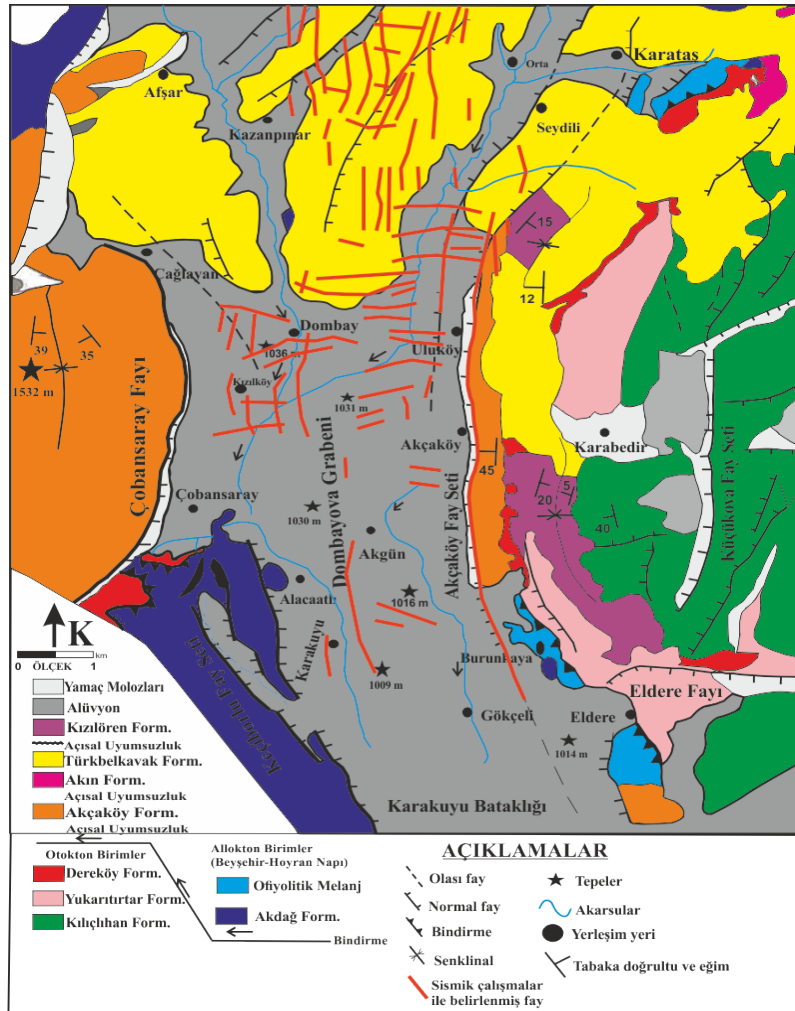
levhaları ile kuzeyde Avrupa levhası arasında yer almaktadır Anadolu levhasının, diğer levhalarla olan sınır zonlarını; Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı ve Bitlis Bindirme Kuşağı oluşturmaktadır [9-11]. Anadolu levhası kuzey yönlü sıkıştırma ile batıya doğru kaymaya zorlanmaktadır [12,13]. Batıya doğru kaymaya zorlanan Anadolu levhası, Ege levhası tarafından durdurulmaya çalışılmış; böylece bölgede K-G yönlü bir genişleme meydana gelmiş ve bu durum Ege grabenlerinin oluşumuna sebebiyet vermiştir [8,14]. Batı Anadolu bölgesindeki horst-graben sistemlerinin oluşumunu sağlayan bu tektonik hareketler, Dinar ve Dombayova grabenlerinin gelişiminde etkin rol oynamıştır (Şekil 2). Türkiye'nin güneybatı ve çevresinin tektonik tarihçesi üçe ayrılmıştır. Bunlar eski, yeni ve geçiş tektonik dönemleridir. Geçiş dönemi, Alp orojenezinin olduğu bölgelerde genel olarak gözlemlendiği üzere sulu karasal istiflerle temsil edilmektedir. Geç Miyosen-Erken Pliyosen'de başlamış olan yeni tektonik dönem ise gerilme tektoniği ile gelişmiş karasal tortullaşma, bununla yaşıt kıta içi volkanizma ve blok faylanma ile karakterize edilmektedir [15].



Şekil 2. Batı Türkiye ve çevresindeki önemli neotektonik yapılar ile 5 no'lu bölge olan çalışma alanının konumu [3]

Yukarıda da bahsedildiği üzere Dombayova ve yakın çevresini oluşturan formasyonlar ise eski dönem kaya toplulukları (Paleotektonik) ve yeni tektonik dönem kaya toplulukları (Neotektonik) olmak üzere iki ana grup kaya topluluğu olarak tanımlanmıştır. Eski dönem kaya topluluklarını, Paleozoyik yaşlı metamorfitle ve bunları uyumsuz olarak üzerleyen Triyas-Lütesiyen yaşlı otokton istifler olup; her iki birimi de tektonik dokanakla üzerleyen 'İç Toros Ofiyolitli Melanj Napı' ve tüm bunları önceki birimleri açılı uyumsuzlukla örten Erken-Orta Oligosen yaşlı sulu karasal istiflerle (denizel-karasal çalkıtaşı-

kumtaşı ardalanması), üzerinde Miyosen-Orta Pliyosen yaşlı kömür içerikli akarsu ve göl kökenli sedimanter örtü oluşturmaktadır. Bu birimler birden fazla evrede tektonik deformasyonlara maruz kalmışlardır. Yeni tektonik dönem kaya toplulukları; pekişmemiş ve deformasyona uğramamış yatay/yataya yakın konumlu, Geç Pliyosen-Kuvaterner yaşlı kaya ve sedimanlardan oluşmaktadır. Havzanın tamamında yüzeyleyen 'yeni tektonik dönem birimleri', aktif faylanma nedeniyle 'eski tektonik dönem birimleri' ile genelde faylı dokanak ilişkisine sahiptir (Şekil 3) [15].



Şekil 3. Dombayova ve çevresinin Türkiye Petrolleri tarafından yapılmış olan sismik hatlardan belirlenen fayları (harita üzerindeki kırmızı hatlar) gösterir jeoloji haritası ([3,7]'den değiştirilerek)

Çalışma alanında Paleotektonik birimleri; allokton birimler olan Akdağ formasyonu ve İç Toros Ofiyolitik Melanj birimleri oluşturmakta olup otokton birimler ise Kılıçlıhan, Yukarıtırar ve Dereköy formasyonları ile temsil edilmektedir. Paleotektonik özellikteki diğer formasyonlar yaşlı birimlerden genç birimlere doğru; Akçaköy, Akın ve Türkbekavak formasyonlarıdır. Neotektonik

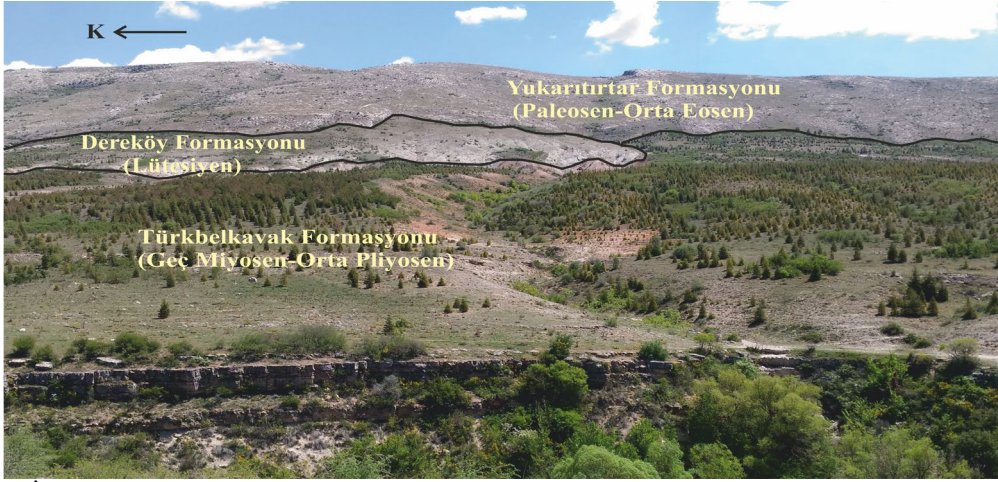
birimleri ise; Pliyosen-Holosen yaşlı Kızılören formasyonu, alüvyal yelpaze malzemeleri ve graben sedimanları oluşturmaktadır (Şekil 4) [3]. Bir diğer araştırmacı tarafından çalışma alanı ve çevresi ise yaşlı birimlerden genç birimlere doğru; kömürlü zonları da içeren Güzelyayla, Kumalar, Kepeztepe ve Karataş formasyonları olarak tanımlanmıştır (Şekil 4) [16].

Zaman	Sistem	Seri	Formasyon		Litoloji	Açıklama
			Öztürk (1998)	Koçyiğit ve ark., (2001)		
SENOZOYİK	Kuvaterner	Holosen	Güncel			Havza ortasında kil-kum aralığında iyi pekişmemiş sedimanlar. Kenarlarda güncel alüvyon yelpazesi sedimanlar.
		Pleyistosen	Kepeztepe	Kızılören		Diskordans Laminallı-ince tabakalı çamurtaşı.
	Neojen	Pliyosen	Karataş, Kumalar	Türkbekavak		Diskordans Kireçtaşı elemanlı breş, çamurtaşı. Çakıllı kumtaşı, kilitaşı-çamurtaşı. Diskordans
						Piroklastik ara seviyeli, linyitli kilitaşı-kumtaşı. Koyu renkli kilitaşı, marn, kireçtaşı. Polijenik çakıltı, kumtaşı, çamurtaşı.
		Miyosen	Güzelyayla	Akın		Gölsel kireçtaşı ve ince taneli silisliklastikler. Bazalt, volkanik breş. Gölsel çamurtaşı, marn.
						İnce taneli çakıltıları.
	Paleojen	Oligosen	Akçaköy	Dereköy		Diskordans Sığ denizel-karasal çakıltı, kumtaşı. Sığ denizel çakıltı, kumtaşı, çamurtaşı.
						Sığ denizel kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı.
		Eosen	Yukarıtırar		Şelf ortamına ait kireçtaşı, çamurtaşı, kumtaşı. Diskordans	
					Kireçtaşı, Ofiyolitik melanj.	
	Paleosen				Diskordans	
	MESOZOYİK	Kretase	Of. ve Kılıçlıhan Fm.	Akdağ Fm.		Diskordans
		Jura				Çörtlü kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı.
		Triyas				Diskordans Mermer.

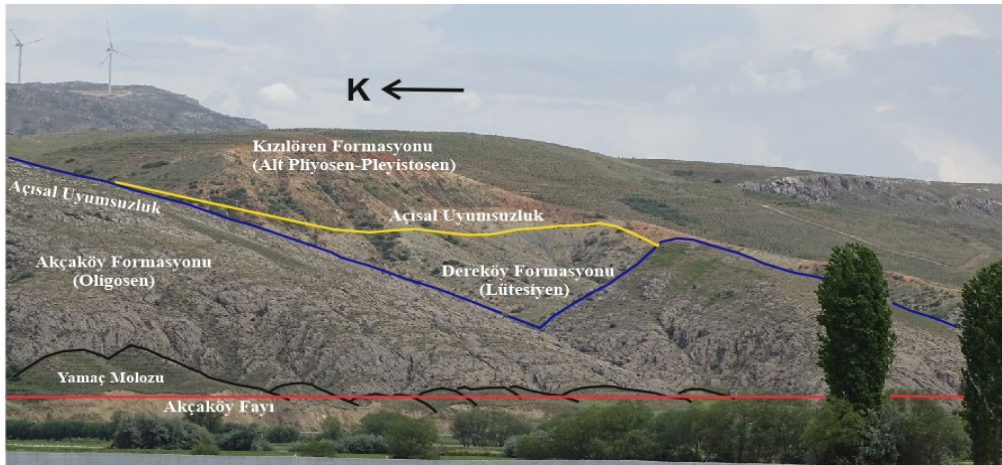
Şekil 4. İnceleme alanı ve civarının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti ([3] den değiştirilerek)



Şekil 5. a) Akçaköy'ün yaklaşık 1,5 km güneydoğusunda bulunan Oligosen yaşlı konglomeralardan oluşan Akçaköy formasyonuna ait görünüm b) Karataş köyünün yaklaşık 1,5 km doğusunda bulunan Miyosen yaşlı tuf ve ignimbritlerden oluşan Akın formasyonuna ait görünüm



Şekil 6. İnceleme alanında, Uluköy'ün yaklaşık 1,5 km doğu kesimlerindeki Lütesiyen yaşlı Dereköy formasyonunun diğer birimlerle olan dokanak ilişkisi



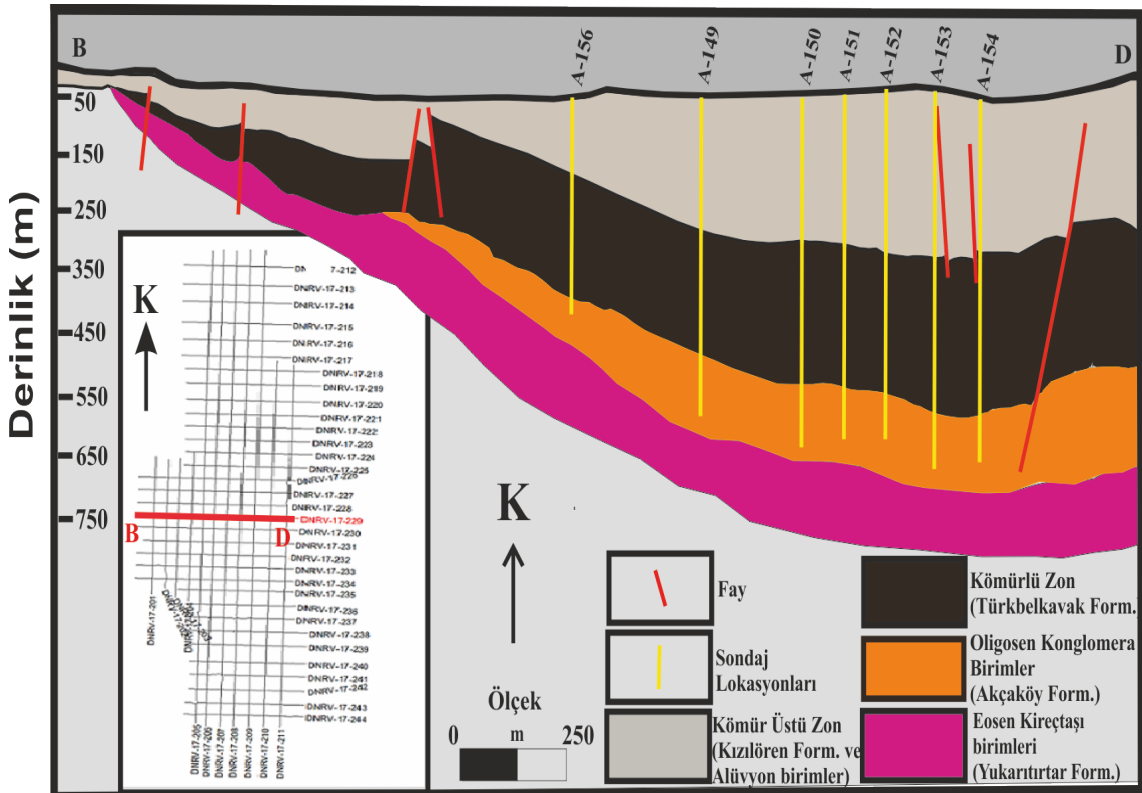
Şekil 7. Dombayova grabeninde, Akçaköy'ün yaklaşık 1 km güneydoğu yamacında aktif faylarla (Akçaköy fayı) ötelenmiş alüvyal yelpaze oluşumlarından genel görünüm

3.1. Yapısal Jeoloji

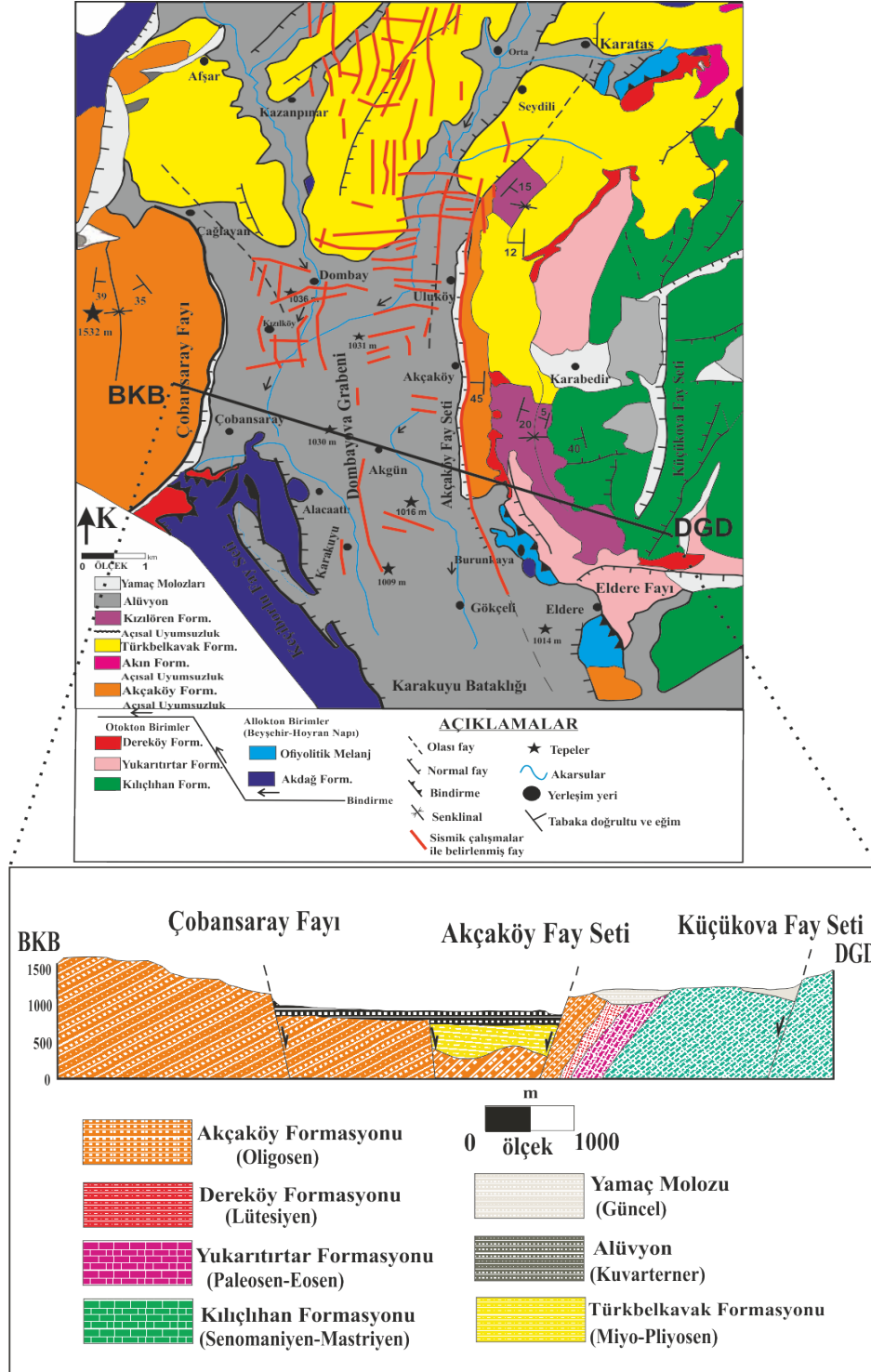
Dombayova grabeni; bölgesel ölçekte Güneybatı Türkiye’de genişlemeli neotektonik bölgesinde, yerel ölçekte ise Göller bölgesinde yer alan horst-graben sistemi içerisinde yer almaktadır.

Dombayova grabenin doğu ve batı kenar kısımları, uzunlukları 7 ve 20 km aralıklarında değişen, birbirine paralel-yarı paralel, yaklaşık kuzey-güney uzanımlı, kenar kısımlarından grabene doğru eğimli ve basamak türü normal faylardan oluşmuş fay ve fay setleri tarafından denetlenir. Dombayova havzasının şekillenmesini sağlayan bu fay ve fay setleri; Çobansaray fayı, Keçiborlu fay seti, Akçaköy fay seti, Küçükova fay seti ve Eldere faylarıdır (Şekil 9). Bu fayların, yapılan kinematik analizler neticesinde hem sol ve sağ doğrultu atımlı hem de normal fay özelliği gösteren oblik karakterli faylar olduğu tespit edilmiştir [3]. Bahse

konu faylar; Dombayova grabeninin gelişimini etkilemekle kalmamış, aynı zamanda havza içerisinde bulunan linyitli seviyelerde ötelenmelerde de neden olmuştur. Yaklaşık 3 km uzunluğunda, batı-doğu uzanımlı jeolojik enine kesitte de görüldüğü üzere, linyitli birimler havzanın batı kısımlarından merkezine doğru kalınlaşmış ve buralarda yapılan sondajlarda da tespit edildiği üzere yaklaşık 165 metre seviyelerinde başlayıp 615 metre seviyelerine kadar gözlenmiştir. Havzanın orta kısımlarında yer alan A-152 no’lu sondajda kömür kalınlığının yaklaşık 52 metre olduğu tespit edilmiştir. Sismik çalışmalar ile desteklenmiş jeolojik enine kesitte, siyah renkle gösterilen kömürlü birimleri içeren formasyonda, ana faylar ile birlikte, havza içerisinde sondaj çalışmalarıyla da tespit edilmiş (A-153, A-154 vb.) doğu-batı ve kuzey-güney yönlü birçok ikincil fay da tespit edilmiştir (Şekil 8) [4].



Şekil 8. Çalışma alanındaki DNR-17-229 nolu sismik hattan derlenmiş K-G uzanımlı jeolojik enine kesit ([7]’den değiştirilerek)



Şekil 9. Çalışma alanının Jeolojik haritası ile BKB-DGD yönlü jeolojik enine kesiti

3.2. Çalışma Sahasındaki Kömürlerin Jeolojik Konumu ve Özellikleri

Çalışma bölgesindeki linyitler genellikle kalınlığı birkaç cm'den birkaç 10 m'ye kadar değişkenlik gösteren paralel bantlar halinde oluşmuşlardır. Ayrıca linyitlerin altında ve üstünde veya her iki kömür damarı arasında silttaşı, kiltası, kumtaşı, marn gibi ince taneli sedimanlar bulunmaktadır. Dombayova kömür havzasında kömür damarları, grabenin orta kısımlarında kalın olup, havza kenarlarına doğru incelerek son bulmaktadır. Graben havzasındaki linyitler genellikle koyu kahve, siyah renkli olup ağırlıklı olarak gösel ortam sedimanları olan marn ve kiltasını üzerler ve yine marn ve kiltaları tarafından üzerlenmektedirler. Bu tabakalar genellikle organik boyamalı ve bol gastropod fosilleri içermektedir (Şekil 11). Yapılan sondaj çalışmaları sonucunda havzada kömürlü seviyelere giriş ortalama olarak 280 metre olarak tespit edilmiştir. Ortalama kömürlü zon çıkış metrajı ise 499 metre olarak belirlenmiştir. Sahadaki ortalama kömür kalınlığı ise 45,20 metre olarak tespit edilmiştir. Kömürleşme havzasında tabakalar, bölgedeki tektonik süreçler nedeni ile 10°-30° arasında değişen eğimlenmelere maruz kalmışlardır (Şekil 10) [5].



Şekil 10. Çalışma alanındaki eğimlenmiş marnlı seviyelerden görünüm (279,60-283,60 m)



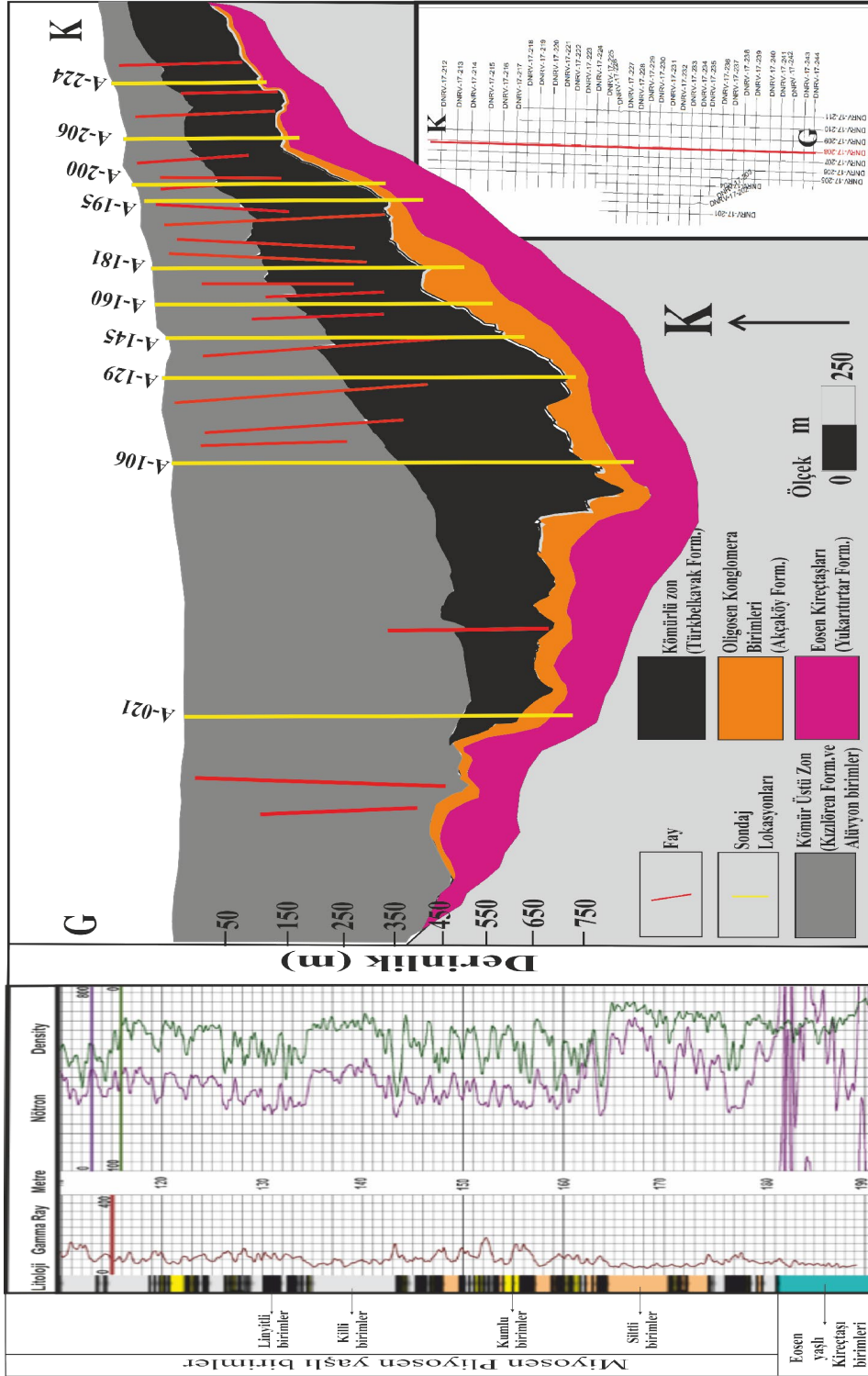
Şekil 11. Linyitli seviyeler arasındaki kırıntılı birimlerde gözlenen Gastropod fosillerinin görünümü

3.3. Jeofizik Çalışmalar

Dombayova kömür sahasında, kuyu logu jeofizik çalışmalar kapsamında “gamma-ray, nötron ve density” jeofizik çalışmaları yapılmışken (Şekil 12a), yüzey jeofizik çalışmaları kapsamında ise sismik yansıma modeli kullanılarak sismik çalışmalar yapılmıştır (Şekil 12b). Sismik çalışmalar ile tektonizma ve bunun sonucunda oluşan fayların uzanımlarının belirlenmesi ve bölgenin tektonik yönden yorumlanması sağlanmıştır. Bu kapsamda kömür madenciliği çalışmalarında faylanmalar sonucunda oluşması muhtemel tehlikelerin öngörülmesi ve olası kazaların minimum hale getirilmesi amaçlanmıştır. Kuyu jeofiziği çalışmaları kapsamında; linyitli birimler, radyoaktivite, yoğunluk ve gözeneklilik özelliklerine göre gamma-ray, density ve nötron log çalışmaları yapılarak diğer birimlerden ayrılmıştır. A-306 nolu sondajda kömürlü birimler genel olarak düşük radyoaktivite, düşük yoğunluk ve yüksek gözeneklilik özelliklerine sahiptirler (Şekil 12a). Bu nedenle; kömürlü birimlerde diğer birimlere nazaran gamma-ray ve density log değerleri yüksek, nötron log değeri ise düşük çıkmaktadır. Çünkü sondajdan gönderilen ışınlar kayalarda yüksek tepkimeye neden oluyorsa değerler düşük okunmakta, düşük tepkimeye neden oluyorsa değerler yüksek okunmaktadır. Böylece radyoaktivite, yoğunluk ve gözeneklilik değerlerinin hep beraber değerlendirilmesi suretiyle kömürlü seviyeler ve diğer seviyelerin birbirlerinden ayırt edilmesi sağlanmıştır. Bu ölçümler jeolojik loglarla da karşılaştırılıp, kömürlü birimler ile diğer birimlerin en doğru şekilde tespit edilmesi sağlanmıştır. Ayrıca Şekil 12b’ de sismik çalışmalar ile desteklenmiş yaklaşık 6 km uzunluğundaki kuzey-güney yönlü jeolojik enine kesitte, kömürlerin basamak şeklinde derinleşmesine neden olan doğu-batı uzanımlı normal fay özellikli birçok ikincil fay belirlenmiştir. Birbirine yakın sondajların kömür giriş-çıkış seviyelerindeki farklar da bahse konu fayların varlığını kanıtlar niteliktedir.

3.4. Rezerv Geliştirme Sondajları

İnceleme alanında 231 adet rezerv geliştirme 22 adet jeoteknik amaçlı toplam 255 adet sondaj



Şekil 12. a) A-306 nolu sondaj kuyusunda yapılan Gamma-ray, Nötron ve Density loglarının karşılaştırılması [6]. b) Çalışma alanındaki DNR-17-208 nolu sismik hattan derlenmiş K-G uzanımı jeolojik enine kesit ([7] den değiştirilerek)

yapılmış ve bu sondaj çalışmaları neticesinde toplamda yaklaşık olarak 140 bin metre derinliğe ulaşılmıştır. Sondajlar, linyitli seviyeler (Şekil 14) geçildikten sonra temel birimler olarak kabul edilen, havzasının orta kısımlarında genellikle Miyo-Pliyosen yaşlı karasal kırmızı renkli çamurtaşı birimlerinde (Şekil 15), havzanın orta ve doğu kısımlarındaki bazı sondajlarda Oligosen yaşlı konglomeralarda (Şekil 16), havzanın kuzey ve batı kenar kesimlerinde yapılan birçok sondajda ise Eosen yaşlı kireçtaşı birimlerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır (Şekil 17).



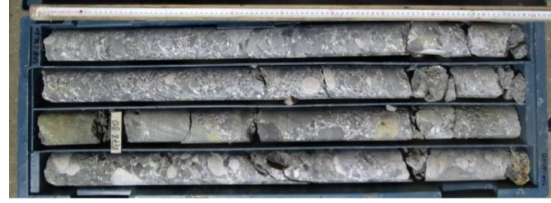
Şekil 13. Grabenin orta kesimlerinde yüzeylenen çakıllı-kumlu ve killi birimlerde kesilmiş olan karotların yakından görünümü (50,20-68,50 m)



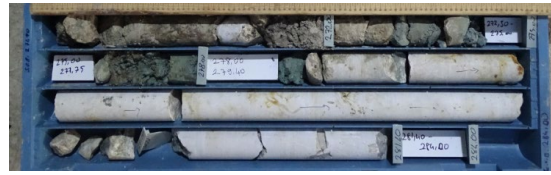
Şekil 14. Kömürlü birimleri içeren Miyo-Pliyosen yaşlı Güzelyayla formasyonuna ait karotların genel görünümü (166-170 m)



Şekil 15. Miyosen yaşlı Türkbekavak formasyonuna ait çakıllı çamurtaşı birimlerinin karot görünümü (602,20-608,10 m)



Şekil 16. Oligosen yaşlı konglomeratik birimlerin (Akçaköy form.) karot örneklerinin görünümü (476,60-480,60 m)

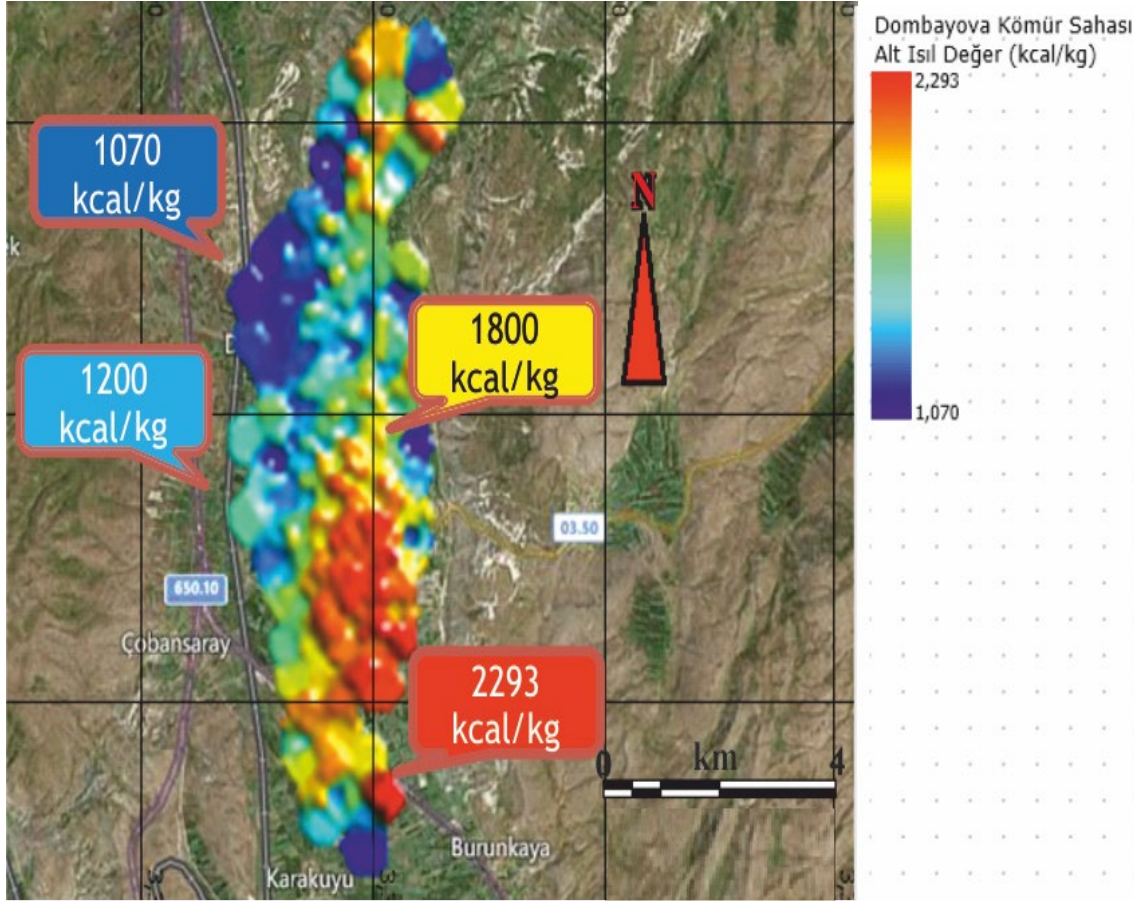


Şekil 17. Eosen yaşlı Yukarıturtar formasyonuna ait kireçtaşı birimlerinden görünümü (271,90-284 m)

3.5. Çalışma Alanındaki Linyitlerin Kimyasal Özellikleri

Sahada kimyasal analiz çalışmaları kapsamında nem, kül, sabit karbon, uçucu madde değerlerinin belirlendiği kısa analiz çalışmaları ve C, H, O, N, S gibi elementlerin belirlendiği elementer analiz çalışmaları yapılmıştır.

Yapılan sondaj çalışmaları ile havzanın derinliğinin kuzeybatıdan güneydoğuya doğru artmakta olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık, zaman, derinlik ve gömülmeyle orantılı olarak söz konusu bölgelerde diğer bölgelere nazaran kömürleşme derecesi daha fazla olmuştur. Buna bahisle havzanın doğu ve güneydoğu kesimlerinde bulunan linyitlerin alt ısıl değerleri kömürleşmeyle orantılı olarak artmaktadır. Havzanın bu bölgelerinde sabit karbon ve uçucu madde oranlarının yüksek olduğu, nem ve kül değerlerinin ise daha düşük olduğu görülmektedir. Yapılan kimyasal analiz çalışmaları ile havza içerisindeki linyitlerin ortalama nem değeri %40,57, kül değeri %18,97, uçucu madde %27,65, sabit karbon değeri %12,81, külde kükürt %0,73, toplam kükürt %1,25 ve alt ısıl değer ise 1783 kcal/kg olup (Şekil 21) karbon %19,42, hidrojen %1,16, azot %0,61, oksijen değeri %12,97 olarak tespit edilmiştir [6].



Şekil 18. Dombayova kömür sahasındaki linyitlerin alt ısıl değerleri

3.6. İnceleme Alanı Kömürlerin Korelasyonu ve Rezerv Olanakları

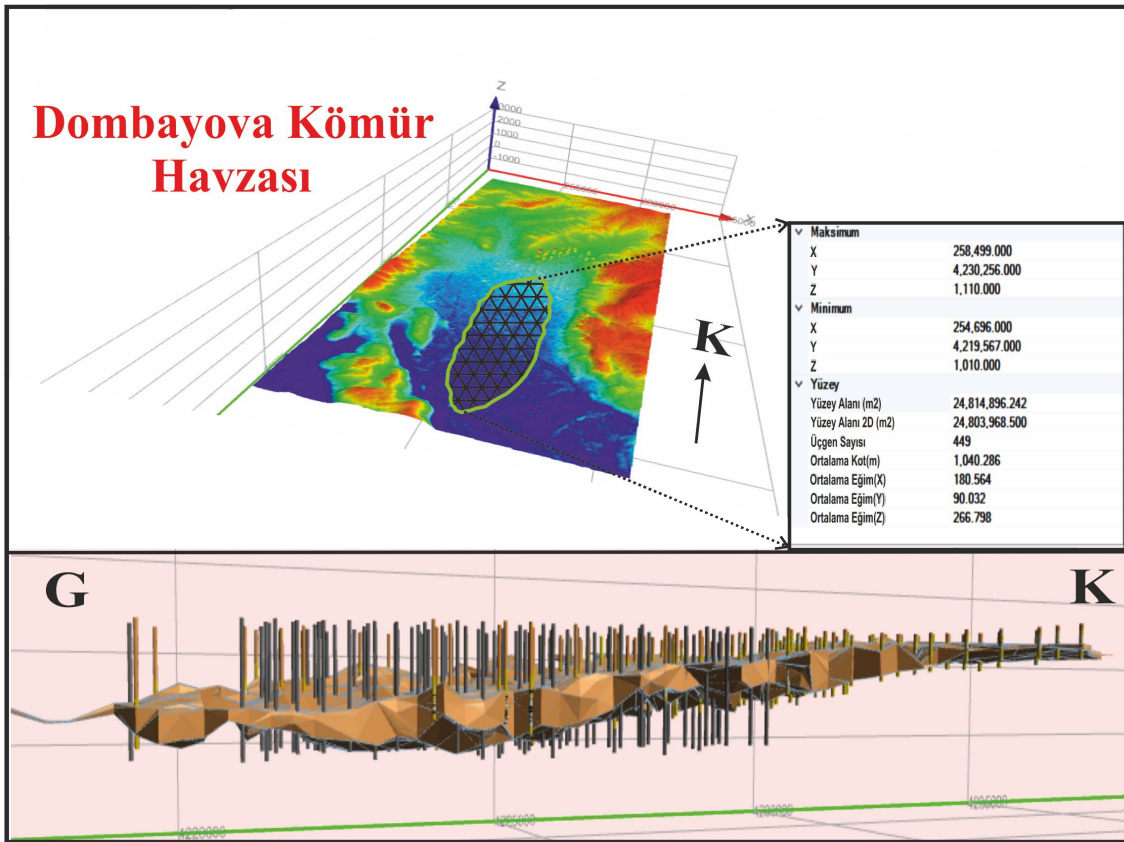
Dombayova kömür havzasından alınan sondaj litoloji logları, sondaj lokasyon haritası, sondajlardan geçen jeolojik kesitler ve üç boyutlu blok modelleri kullanılarak kömür tabakalarının korelasyonu yapılmıştır. Sondajlara ait litolojik bilgiler kullanılarak kabaca havzanın geometrisi ve yapısal unsurlarını gösteren üç boyutlu jeolojik blok modeli oluşturulmuştur (Şekil 19). Bahsedilen üç boyutlu modelleme işlemleri Mapinfo-Discover ve Netpromine programları ile yapılmıştır. Kömürler, seviyelerine ve kalınlıklarına göre damarlar haline getirilmiş ve bu damarlar birleştirilerek modelleme işlemi yapılmıştır. İlk aşamada yüzeyleri belirlenen

damarlar birleştirilmiş, sonra katı modele dönüştürülmüş, bunun ardından 5 m derinliğinde ve 50*50 m düşey ve yatay uzunluklarda bloklara bölünerek üç boyutlu blok model işlemi yapılmıştır. Böylece kömürlerin havzada oluşum şekli ortaya konulmuş ve belirlenen bloklar ile havzanın rezerv potansiyeli hesaplanmıştır. Blok modelleme işlemi ile havza içerisindeki linyitlerin yaklaşık 1,525 milyar ton rezerve sahip olabileceği tespit edilmiştir [4].

Havza geometrisinin kuzey-güney yönünde geliştiği, havzanın merkezinden çevresine doğru sığlaştığı ve havzanın kenar kısımlarında linyit tabakalarının kalınlığının azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 19). Ayrıca havzanın temel topografyası belirlenmiş, kömür oluşumunun tektonik kontrollü

geliştiği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 8, Şekil 12b). Çalışma alanındaki kömür rezervinin hesaplanmasında poligon yöntemi kullanılmıştır. Kömür rezerv hesabı yapılırken birbirine yakın sondajlardan üçgen elde edilmek suretiyle; bulunan her bir üçgenin alanının hesaplanması ve bulunan alanın kömür kalınlığı ile kömür yoğunluğu değerleriyle çarpılması ile hesaplanmaktadır. Çalışma alanı 449 adet üçgene

ayrılmış ve bu alanların toplamı 24814,896 m² olarak hesaplanmıştır (Şekil 19). Sahadaki sondajların ortalama kömür kalınlığı ise 45,20 m olarak belirlenmiştir. Yapılan analizler neticesinde ise kömür yoğunluğu 1,36 ton/m³'dir. Tüm bu değerlerin çarpımı bize kömür rezervini vermektedir ki bu rakam yaklaşık olarak 1,525 milyar ton (± 100 milyon) olarak hesaplanmıştır [4].



Şekil 19. Çalışma alanındaki linyitlerin rezerv hesap çalışmaları ve blok model işlemlerinden görünüm

4. SONUÇLAR

Dombayova grabeni içerisinde çökelmiş linyitlerin, jeolojik gelişimi ve yaklaşık rezerv miktarını tespit etmek amacıyla sahada rezerv geliştirme sondajları ve jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Sondaj çalışmaları kapsamında toplam metraji yaklaşık 140 bin metre olan 255 adet sondaj yapılmıştır. Jeofizik çalışmalar kapsamında

ise sondajların bitmesinin hemen ardından kuyu jeofiziği (gamma-ray, nötron, density) çalışmaları ile kömürlü seviyelerin tespiti ve devamlılığı, havza içerisindeki fayların analizleri için sismik çalışmalar (sismik yansıma modeli) yapılmıştır. Böylece havzanın jeolojik gelişimi ve havza içerisinde konumlanmış linyitlerin rezerv hesabı çalışmaları yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar ile havzanın temel topografyası tespit edilmiş; havza geometrisinin kuzey-güney yönünde geliştiği, havzanın merkezinden çevresine doğru sığlaştığı ve kömür kalınlığının havza merkezinden havza kenarlarına doğru azaldığı tespit edilmiştir.

Sondaj çalışmaları ile Dombayova Kömür Havzasında ortalama kömür giriş seviyesi 280 metre olarak belirlenirken ortalama kömür çıkış seviyesi ise 499 metre olarak tespit edilmiştir. Havzadaki linyitlerin ortalama kalınlığı ise 45,20 metre olarak belirlenmiştir.

Sondajlardan elde edilen veriler Mapinfo Discover ve Netpromine programları ile derlenmiş ve havza içerisindeki toplam linyit rezervi yaklaşık olarak 1,525 milyar ton (± 100 milyon) olarak hesaplanmıştır [4].

Çalışma alanının kuzey ve batı kesimlerinde konumlanmış linyitlerin; rezerv miktarı ve kalorifik değerleri (1070-1350 kcal/kg) düşüken nem değeri (%45-%50) yüksektir. Fakat havzanın merkez kısımlarındaki linyitlerin rezerv miktarı ve kömürleşmeyle orantılı olarak kalorifik değerleri (1800-2300 kcal/kg) havzanın diğer kesimlerine göre daha yüksek iken bu bölgelerde nem değerleri ise (%32-%40) düşük olarak gözlenmiştir.

Sondaj çalışmaları ile kömür varlığının kuyu jeofiziği ve sismik çalışmalar ile desteklenmesi, kömür korelasyonunun oluşturulmasında ve sahadaki mevcut fay ve fay takımlarının varlığının tespiti açısından önemli bir husus olmuştur. Nitekim söz konusu faylardan dolayı sahada birbirine yakın sondajlar arasında, kömür seviyeleri farklılık göstermektedir. Bu farklılıkların yer yer 100 metreye yaklaşır olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum da kömür oluşumunun tektonik kontrollü geliştiği sonucunu destekler niteliktedir. Sahanın yoğun tektonik aktiviteler neticesinde şekillenmiş olması ve buna koşut olarak gelişmiş olan fay ve fay takımlarının varlığı, geçmiş yıllarda meydana gelen tarihsel ve yıkıcı depremlerin meydana gelmiş olması ileride yapılması planlanan mühendislik çalışmaları ile ilgili önemli parametrelerdir. Bu gibi hususların gelecek dönemlerde yapılacak olan mühendislik

çalışmalarına, yer seçimine ve malzeme kullanımı gibi özellikleri mevcut veriler ışığında değerlendirilmelidir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerince FYL-2018-10865 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir. Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine, EÜAŞ Genel Müdürlüğü Maden Sahaları Daire Başkanlığına, Karapınar Maden Etüt Tesis Müdürlüğüne, MTA Konya Bölge Müdürlüğünden Jeoloji Mühendisi Nurdoğan SERTEL'e, ve Çukurova Üniversitesi doktora öğrencisi Veli KESKİN'e katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/komur-arama-arastirmalari.
2. www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2013_16/35.pdf.
3. Koçyiğit, A., Cihan, M., Özacar, A., 2001. Dombayova ve Sandıklı (Afyon) Grabenlerinin Depremselliği ve Kenar Faylarının Kinematik Analizi, Tübitak Proje No: YDABÇAG 199Y007, Ankara. 107.
4. Pekkiyıcı, K., 2019. Afyonkarahisar-Dinar Dombayova Kömür Sahasının Tektono-Stratigrafik Olarak İncelenmesi, Saha İçindeki Linyit Depolarının Jeolojik Gelişimi ve Rezerv Olanakları.
5. Kırman, E., Bulut, Y., Çolakoğlu, S., Gülhan, M.M., 2013-a, Afyonkarahisar İli, Dinar İlçesi 200804884 Ruhsat No'lu Linyit Sahasının Buluculuk Talebine Esas Jeoloji ve Rezerv Raporu, MTA Rapor No 11632, Ankara. 34.
6. Besbelli, B., Gülhan, M.M., 2019. Afyonkarahisar-Dinar-Dombayova Kömür Havzası Jeoloji ve Kaynak Geliştirme Raporu. 307.
7. Selçuk, S., Yağcı, F.G., Boyacı, F.S., Çetin, E., 2018. Afyonkarahisar-Dinar 2B (EÜAŞ) Sismik Projesi Veri İşlem ve Yorum Raporu. Türkiye Petrolleri Proje No: VRM17_K2B0027, 123.

8. McKenzie, D.P., 1972. Active Tectonics of the Mediterranean Region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 55, 217-245.
9. Arpat, E., Şaroğlu, F., 1972. Doğu Anadolu Fayı ile İlgili Bazı Gözlem ve Düşünceler. 44-45.
10. Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri. *MTA Derg.*, Ankara, 66, 23-34.
11. Ketin, İ., 1968. Türkiye'nin Genel Tektonik Durumu ile Başlıca Deprem Bölgeleri Arasındaki İlişkiler. *MTAD*, 71, 129-134.
12. Şengör, A.M.C., 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları. *Türkiye Jeol. Kür. Kon. Ser*, No: 2, 40.
13. Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study: in Biddle, K.T. and Christie-Blick, N., eds, *Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation*, Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Pub. 37 (in honor of J.C. Crowell), 227-264.
14. Dewey, J.F., Şengör, A.M.C., 1979. Aegean and Surrounding Regions: Complex Multiple and Continuum Tectonics in a Convergent Zone. *Geological Society of American Bulletin*. 90, 84-92.
15. Koçyiğit, A., 1984. Güneybatı Türkiye ve Yakın Dolayında Levha İçi Yeni Tektonik Gelişmeler, *Türkiye Jeol.Kur. Bülteni*. 27, 1-16.
16. Öztürk, M.E., 1988. Balçıkhisar Karadilli Afyon Dereköy Isparta Dolayının Jeolojisi. *MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 8946* (yayınlanmamış).

Tekstil Boya-Terbiye İşletmelerinde Ürün Geliştirme Prosesinin Simülasyonla Modellenmesi-Model Tasarımı

Emel Ceyhun SABİR*¹

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

Geliş tarihi: 18.11.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Öz

Bu çalışmada, tekstil terbiye işletmelerinde ürün geliştirme prosesinin simülasyonla modellenmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Ürün geliştirme prosesi, terbiye işletmelerinde siparişin geldiği veya koleksiyon hazırlama aşamalarında üretime geçmeden önce gerçekleştirilen bir süreçtir. Bu süreçteki tüm işlemlerin kayıt altına alınması ve doğrulanması oldukça karmaşık ve zor bir işlemdir. Bu çalışmada; büyük ölçekli, dış giyim amaçlı polyester/viskon ağırlıklı dokuma kumaş üreten bir tekstil işletmesinin boya-terbiye işletmesi kullanılmıştır. Çalışmanın dizgisel aşamalarında iş etüdü tekniği kullanılmış olup, iş akışı ve süre ölçümleri doğrudan gözlem yoluyla, gerçekleştirilmiştir. Model, ürün geliştirme (Ür-Ge) prosesinde tüm seçeneklerin sonunda özellikle Ür-Ge termin süresini verebilecek şekilde hazırlanmıştır. Modelde müşterinin sipariş edilecek ürüne ait mamül örneği getirmesi halindeki akış için tasarlanmış olup müşteri onay aşamalarını da içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Tekstil boya-terbiye işletmesi, Ürün geliştirme, İş etüdü, Simülasyon, Modelleme

Simulation Modeling of Product Development Process in Textile Dyeing-Finishing Mills-Model Design

Abstract

In this study, simulation modeling of product development process in textile dyeing-finishing mill was studied. The product development process is a process that takes place in the finishing plant before the order comes in or in the collection preparation stages. Recording and verifying all the processes in this process is a very complex and difficult process. In this study; The dyeing-finishing facility of a large-scale textile company producing woven fabrics with polyester/viscose weight for outerwear was used. The work study technique was used in the systemic stages of the study, and the work flow and time measurements were carried out by direct observation in the mill. The model has been prepared in a way to give the production deadline at the end of all options in the product development (P&D) process. The model is designed for the flow when the customer brings a sample of the product to be ordered and includes the customer approval stages.

Keywords: Textile dyeing-finishing mill, Product development, Work study, Simulation, Modeling

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Emel Ceyhun SABİR, emelc@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Simülasyon (Benzetim), gerçek bir yapının veya sürecin işleyişinin bilgisayar üzerinde benzer bir şekilde tasarlanmasıdır. Benzetim ile gerçek sistem üzerine çıkarımlar yapılır. Bu çıkarımlar geçmişin analiz edilmesine ve gelecekte planlanacak çalışmalara uygun tahmin yapılmasını sağlar. Bir yapının veya prosesin modellenerek benzetiminin yapılması, zaman içinde yapı ve prosesteki değişikliklere daha kolay uyum sağlamada faydalı olur. Benzetim modeli, incelenen yapı veya prosesle ilgili doğru şekilde toplanmış veri setinden ve kabullerden oluşur. Bu veri ve kabuller, matematiksel, mantıksal ve sembolik ilişkiler ile ifade edilir. Simülasyonun tercih edilmesinde öne çıkan bazı amaçlar vardır. Bunlardan birkaçı; sistemin ne kadar iyi çalıştığının incelenmesi (değerlendirme), farklı sistemlerin aynı koşullar altındaki performansının analizi (karşılaştırma), farklı koşullar altında sistemin performansını belirleyebilme (tahmin) sistemin performansı üzerinde hangi faktörlerin etkili olduğunu belirlenmesi (duyarlılık analizi), mevcut koşullar altında en iyi performansı verecek faktör düzeylerinin belirlenmesi (optimizasyon) şeklindedir. Simülasyonla modellenmiş sistem, analitik modeller gibi en iyi çözümü verme iddiası yoktur ancak yaklaşık en iyi çözümü verebilir.

Sabır ve Batuk [1], boya-terbiye işletmesinde üretim hattında elyaf boyalı ve tops boyalı ipliklerle kumaş terbiyesi için üretim zamanı ve maliyeti simülasyonla modellemişlerdir. Simülasyon tekstil işletmelerinde montaj hattı dengeleme problemlerinde başarıyla kullanılabilir [2]. Kayar ve Akalın, iki farklı konfeksiyonda hattı için, montaj hattı dengelemede simülasyon tekniğini kullanmışlardır. Çalışma bir montaj hattında otomatik kullanımın üretim hacmini artırdığı ve montaj hattının verimliliğini olumlu yönde etkilediği sonucuna varmıştır [3]. Doğan ve Takcı [4], hazır giyim işletmesinde süreç iyileştirme için simülasyon tekniğini kullanmışlardır. Araştırmacılar, süreç iyileştirme yapılarak işgücü, malzeme ve teçhizat gibi kaynakların istenen kapasite doğrultusunda en etkin bir şekilde kullanılması amaçlamışlar, fabrikanın verimli çalışmasına engel olan üretim

hattındaki darboğaz noktalar tespit etmişler ve bunların ortadan kaldırılmasına çalışmışlardır. Bağ ve Aslan [5], bir tekstil işletmesinde simülasyon tekniğini ProModel 9.2 paket programı ile kullanarak üretimde kapasite kullanım oranını artırmak için senaryolar geliştirebilmişlerdir. Araştırmacılar, bu program ile kurulan model fabrikanın dikiş bölümünün bir günlük üretimi bilgisayarla takip edebilmiş, hedeflenen üretimin gün içinde yetiştirilemediğini görmüş ve makine kapasite kullanım oranının düşük olduğu tespit edebilmişlerdir. Çalışmalarındaki analizler sonucunda iki senaryo geliştirilmiştir. Birinci senaryo, dikiş bandına ait iki makineyi çıkarmak olup, makine kullanım oranında %30'a varan artış gözlenmiştir ancak halen mesai saatlerinin aşıldığı görüldüğü için ikinci bir senaryo üretilmiştir. Bu senaryoda boş kalan makinelere iş atamanın uygulanmış ve mesai saatleri içerisinde üretimin tamamlanması sağlanabilmiş ve makine kullanım oranlarının %90'ı aşması sağlanmıştır. Aslan ve ark., düşük verimle çalışan bir tekstil işletmesinde montaj hattı dengeleme probleminde simülasyon tekniğini kullanmışlardır ve montaj hattının dengelenmesi ile iş maliyetlerinin düşürülebileceğini ve birim zamanda üretim bandındaki çıktı sayısının artırılabilirliğini göstermişlerdir [6].

Tekstil işletmelerinde boya-terbiye, kumaşın renklendirildiği, tutum, görünüm ve fonksiyonellik kazandırıldığı birimdir. Bu proses sonunda tekstil yapısı bir ürüne dönüşür ve pazarlanmaya hazırdır. Bu proses pek çok işlem basamağından oluşmaktadır. Ancak, bu işlemlere başlamadan önce ürün geliştirme süreci ile ürünle ilgili beklentiler göz önüne alınarak ön çalışma yapılır. Ürün geliştirme süreci (Ür-Ge), üretime henüz başlamadan önce üretilen ürünle ilgili tüm çalışmaların yapıldığı birimdir. Bu çalışmalar, kumaşa ait doku, renk, tuşe gibi çalışmalardır. Proses bu çalışmaların sonunda kabul edilen numune üründen yola çıkılarak gerçek üretime başlama emri ile sona erer. Ür-Ge sürecinde üretilen ürünle ilgili pek çok karmaşık iş akışı vardır. Bu işlerin hızlı ve doğru şekilde yapılması, üretimin başlaması ve termin için büyük önem arz eder. İşlerin çok ve karmaşık olması, müşteriye ürün teslim zamanı ile ilgili bilgi verebilme,

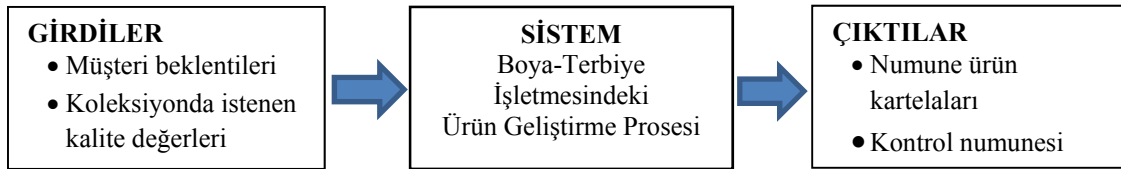
ürünün üretilebilirliğinin belirlenebilmesi için bu işlerin aksamadan yürütülmesi gerekir. Bu durumda simülasyon tekniği kullanılabilir. Bu tekniği kullanmak için prosesin gerçekçi şekilde modellenmesi gerekir. Simülasyon, üretim ve üretim süreçlerinin daha hızlı bir şekilde yürütülmesi ve her aşamada maliyetlerin düşürülmesi için güçlü, bir yalın üretim aracıdır. Bu yalın üretim sürecini uygulamak isteyen işletmeler için de simülasyon doğru bir araçtır. Yalın üretim için: Çalışma Standardizasyonu, 5S İşyeri Organizasyonu, Görsel Kontroller, Parti Boyutu Azaltma, Kullanım Noktaları Depolama, Kaynaklarda Kalite, İş Akışı Uygulaması, Geliştirilmiş Bilgi ve Ürün Akışı, Hücre Üretim, Çekme ve Senkron Zamanlama, Altı Sigma ve Toplam Kalite, Hızlı Kurulum, Hücre Yönetimi ve Süreç İyileştirme için İş Takımları, Basitleştirilmiş çizelgeleme ve Kanban envanter yönetimi gibi teknikler kullanılabilir. Bu çalışmada, boya terbiye işletmesinde; müşterinin siparişini istediği örnek numune getirmesi halinde, iş akışı uygulamasından faydalanılarak ile ürün geliştirme

prosesi modeli simülasyon tekniği tasarlanmıştır. Bu amaçla öncelikle proseste gerçekleşen işlemlerin tamamı için akış diyagramları hazırlanmıştır. Akış diyagramları, müşterinin sipariş için numune getirmesi halinde karşılaşılan renk, tuşe ve konstrüksiyon şeklinde üç farklı senaryoyu içermektedir. Bu çalışma sadece modelleme aşamasını göstermektedir. Çalışma sonucu bulunan akışlar, simülasyon tekniği ile veri yüklenmesi halinde çözülebilecek şekilde verilmiştir. Her senaryo için prosesin gerçekleşme zamanı, personel ihtiyacı ortaya çıkabilecektir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışmada materyal bir prosestir (Şekil 1). Proses, boya terbiye işletmesinde ürün geliştirme (Ür-Ge) bölümüdür. Çalışmada gerçek sistemle olan karşılaştırmanın yapılabilmesi için gerçek bir boya terbiye işletmesi seçilmiştir.



Şekil 1. Boya-terbiye işletmesinde ürün geliştirme süreci-simülasyon blok diyagramı

Bu işletme, müşterinin istediği bir ürünü numune olarak getirmesi veya işletmenin kendi koleksiyonunu hazırlaması şeklinde çalışan iki farklı ürün geliştirme akışına sahiptir. Bu çalışmada tasarlanan model, "müşterinin istediği bir ürünü numune olarak getirmesi halinde ürün geliştirme süreci" için tasarlanmıştır. Simülasyon için gereken blok diyagramı Şekil 1'den görülebilir.

2.2. Metot

Bu çalışmada ürün geliştirme sürecinin (sistemin) modelini simülasyon tekniği ile kurabilmek için sistem bütün detaylarıyla incelenmiş ve tekrarlı etütlerle iş akışının doğruluğu güvence altına alınmıştır. Özellikle bir üretim sürecinin

modellenmesinde siparişlerin gelişler arası süresi ve tekrarı büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle öncelikle boya terbiye işletmesindeki Ür-Ge prosesinde gerçekleşen işler doğrudan gözlem yoluyla; işin adı, kapsamı, işe tahsis eden personel sayısı ve işin süresi dikkate alınarak detaylı şekilde araştırılmıştır. Bu araştırma sonuçları iş akış formlarına kaydedilmiştir. Gelen sipariş konusu; ürünün iplik boyalı veya top boyalı olup olmadığına göre ve siparişin müşteriden gelen ürüne göre veya koleksiyona göre olup olmadığına göre değişmektedir. İş akışındaki işlemlerin Ür-Ge dışında işletmenin diğer birimlerle etkileşimli olarak sürüp sürmediği de çalışmaya dahil edilmiştir. İşlere yönelik zaman etüdü için rastgele zamanda ve tekrarlı gözlemler yapılmıştır. Simülasyon tekniğine uygun şekilde sistem ve

diğer tanımlar belirlenmiştir ve iş akış algoritması oluşturulmuştur. Sistemin modeli şematik olarak, Microsoft Visio programı kullanılarak ortaya konulmuştur. Çalışma sonunda incelenen Ür-Ge sistemi, veri girişi ile simülasyon programına işlenebilecek şekilde tasarlanabilmiştir. Bu çalışmada tasarlanan model, ARENA vb. gibi paket programlarla gerçek veriler girildikten sonra çözülebilecek şekilde hazırlanmıştır. Model oluşturulurken veri toplamada bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabuller aşağıdaki gibidir;

- Model, işletmede Ür-Ge çalışması iplik boyalı siparişler içindir
- Sistem, müşterinin örnek kumaş göndermesi halinde işleyen Ür-Ge prosesidir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Simülasyon Modeli İçin Tanımlar

Ür-Ge prosesinin analizine yönelik olarak yapılan çalışmalarda simülasyonla modelleme için veri çeşitleri, değişkenler, sabitler ve tüm işleyiş ortaya çıkarılmıştır. Simülasyon tekniğine uygun olarak

Ür-Ge prosesine ait tanımlar burada sırası ile verilmiştir.

Amaç: Ürün geliştirme sisteminin amacı, üretime başlamadan önce koleksiyon veya sipariş üretiminin beklenen özelliklerinin belirlenmesi ve üretim zamanı (ürün teslim zamanı, termin) ile ilgili müşteriye bilgi verilmesidir.

Sistem: Ür-Ge prosesi ve bu prosesdeki işlerdir. Şablon üretim, numune üretim veya sipariş üretim şeklinde üç sistem tanımlanmıştır. Şablon üretim, Ür-Ge aşamasındaki şablon üretim makinelerinde gerçekleşir. Numune üretim daha büyük miktarda şablon üretim makinelerinde gerçekleşir. Sipariş üretim ise müşteriye teslim edilmek üzere yapılan üretimdir.

Sistemin bileşenleri: Aşağıdaki gibidir:

- Özellik (Atributte):** Bir nesnenin sahip olduğu özellik olup Ür-Ge’de üç özellik tanımlanmıştır: 1: renk, 2: tuşe, 3: konstrüksiyon.
- Seçilen Faaliyet (Activity):** Belirli bir zaman diliminde bir işlemin tamamlanması olup,

Çizelge 1. Ür-Ge Simülasyon Modeli-tanımlar

İşlev adı	İşlev Çeşitleri					
	1	2	3	4	5	6
Sistem	Şablon	Numune	Sipariş			
Nesne	Makine	Personel	Kayıtlı Kartela			
Özellik	Renk	Tuşe	Konstrüksiyon			
Faaliyet	Doku, sıklık, m ² ağırlık analizleri	Dokuma-Şablon, numune	Boyama-Şablon, numune	Terbiye - işleme Şablon, numune	Kalite kontrol - Yarı ürün, Ürün	Müşteri onayı-Şablon ve numune üretim sonrası
Olay	Ani sipariş	Makine arıza	Personel eksik			
Durum değişkeni	Makine durumu-meşgul	Personel durumu-Eksik, boş, meşgul	Siparişin durumu-kuyrukta bekleme,	Siparişin durumu-geliş zamanı		

kumaşın doku analizi, sıklık ve m² ağırlık tespiti, kumaş dokuma (şablon, sipariş), boya-terbiye (şablon, sipariş), kalite kontrol.

- Kaynaklar (Resources):** Elyaf, iplik, personel, aletler, şablon ve numune üretim için makineler, boya-terbiye makineleri, renk ve desen kartelaları ile enerji, zaman ve paradır.

- Kontrol (Control): Kontroller faaliyetlerin nerede, ne zaman, nasıl ortaya çıkacağını gösteren programlardır. Örnek; Ür-Ge prosesi iş planı, üretim planı, iş programı, iplik-kumaş kartela kontrol, şablon ve numune üretim aşamalarında müşterinin onayının alınması

Sistemin Durumu (System Statement): Çalışmanın amacına bağlı olarak, herhangi bir anda sistemi tanımlamak için gerekli olan değişkenlerin toplamıdır.

Ür-Ge için mümkün durum değişkenleri aşağıdaki gibidir:

- Arızalı, boş, meşgul makine
- Eksik, boş, meşgul personel,
- Kuyrukta bekleyen siparişlerin sayısı,
- Siparişlerin geliş zamanı

Olay (Event): Herhangi bir anda ortaya çıkarak sistemin durumunu değiştiren durumdur. Ür-Ge'de olay, aniden araya alınan bir sipariş olabilir ("ani sipariş" olayı).

Modellenen ürün geliştirme prosesinden elde edilen bu bilgiler Çizelge 1'de özetlenmiştir.

3.2. Simülasyon Modelinin Tasarımı

Çalışmada boya terbiye işletmesinin Ür-Ge prosesi incelemeleri sonucunda modelle ilgili parametreler belirlenmiştir. İncelemeler sonunda model için bazı kabuller yapılmıştır.

1. Polyester/viskon kumaş üretimi yapan bir işletmenin Ür-Ge prosesi seçilmiştir.
2. Üretilen kumaşla ilgili olarak numuneyi müşteri göndermiştir.
3. Gönderilen numune işletmenin kataloglarında vardır.
4. Gönderilen numune üzerinde değişiklikler yapılacaktır.
5. Bu değişiklikler; renk, tuşe ve konstrüksiyondur.
6. Renk için iki seçenek vardır: elyaf ve top boyalı. Bu çalışmada kumaşı iplik boyalı Ür-Ge prosesinin simülasyon modeli tasarlanmıştır.
7. Numune üretimde 15 metre kumaş için, sipariş üretimde ise 1000 metre kumaş için çalışılmaktadır.

Modelin 5 nolu kabulü, sistemin işleyişinde değişikliğe neden olmaktadır. Bu nedenle bu üç özelliğe uygun üç model tasarlanmıştır. Burada bu özelliklerin detayları, etüt kartı ve tasarlanan simülasyon modeli şematik olarak verilmiştir. Renk, Tuşe ve Konstrüksiyon için Ortak prosesler, Ür-Ge prosesinde renk, tuşe ve konstrüksiyon için ön faaliyetlerden sonra gelen işlemler aynı olup Çizelge 2'de verilmiştir.

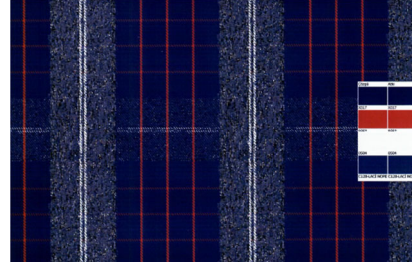
Çizelge 2. Renk, tuşe, konstrüksiyon prosesleri

Faaliyet Türü	Faaliyet Adı	Süre (dk)	Personel (adet)	Faaliyetin Gerçekleştiği Sistem
Şablon üretim	Dokuma	50	1	Şablon dokuma makinesi
	Terbiye	15	1	Terbiye işletmesi
Numune Üretim	Dokuma (15 mts)	75	1	Numune dokuma makinesi
	Terbiye	40	1	Terbiye işletmesi
Sipariş Üretim	Dokuma (1000 mts)	4320	3	Dokuma işletmesi
	Terbiye	180	1	Terbiye işletmesi
Üretim sonrası kontrol ve paketleme		300	1	Kalite Kontrol işletmesi

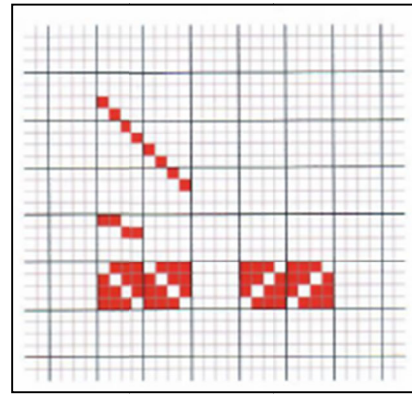
3.2.1. Renge Göre Proses

Müşterinin gönderdiği numune işletmenin daha önce çalıştığı ancak üzerinde renkle ilgili değişiklik istediği bir kumaştır. Renkle ilgili iki seçenek mevcuttur. Bunlardan birisi iplik boyalı diğeri top boyalı olması halidir. Çizelge 3, rene göre Ür-Ge sistem faaliyetleri göstermektedir (tekrarlı prosesler verilmemiştir). Şekil 2, Çizelge 2 içerisinde CAD çalışması denilen çalışmayı bir örnek kumaş ile göstermektedir. Şekil 3 ise rene göre işleyişin simülasyon modelini göstermektedir. Renge göre işletmede müşterinin gönderdiği numune kumaşa uygun kartelanın olup olmadığı araştırılır (Şekil 2). Eğer uygun kartela yok ise müşterinin gönderdiği numune üzerinde, Ür-Ge personeli tarafından; doku, sıklık, m² ağırlık şeklinde kumaş analizleri ve iplik analizleri yapılır. Numune kumaş kartela kataloğunda var ise renk çıktısı alınır ve müşteriye onayına sunulur. Müşteri rene onay verir ise şablon, numune ve sipariş üretim şeklinde üç üretimden birisine karar vermek gerekmektedir.

Şablon üretim, şablon dokuma tezgahında yapılır ve boya-terbiyeye gönderilir ve daha sonra müşteri onayına sunulur. Müşteri onaylamaz ise yeniden renk seçimine gönderilir. Onay alınması durumunda ise müşteriye numune üretim istenip istenmediği sorulur. Müşteri numune üretim ister ise kumaş numune dokuma tezgahında dokunur, terbiyeye girer ve en son yeniden müşteri onayına sunulur. Müşteri onay verirse Ür-Ge süreci tamamlanır ve sipariş emri verilerek üretime girilir. Eğer şablon üretimde müşteri onay verir ise doğrudan sipariş üretimine de geçilebilir.



A) Örnek Kumaşın renk ve iplik görseli



B) Örnek kumaşın doku analizi

Şekil 2. CAD görüntü analizi A: Kumaş, B: Doku

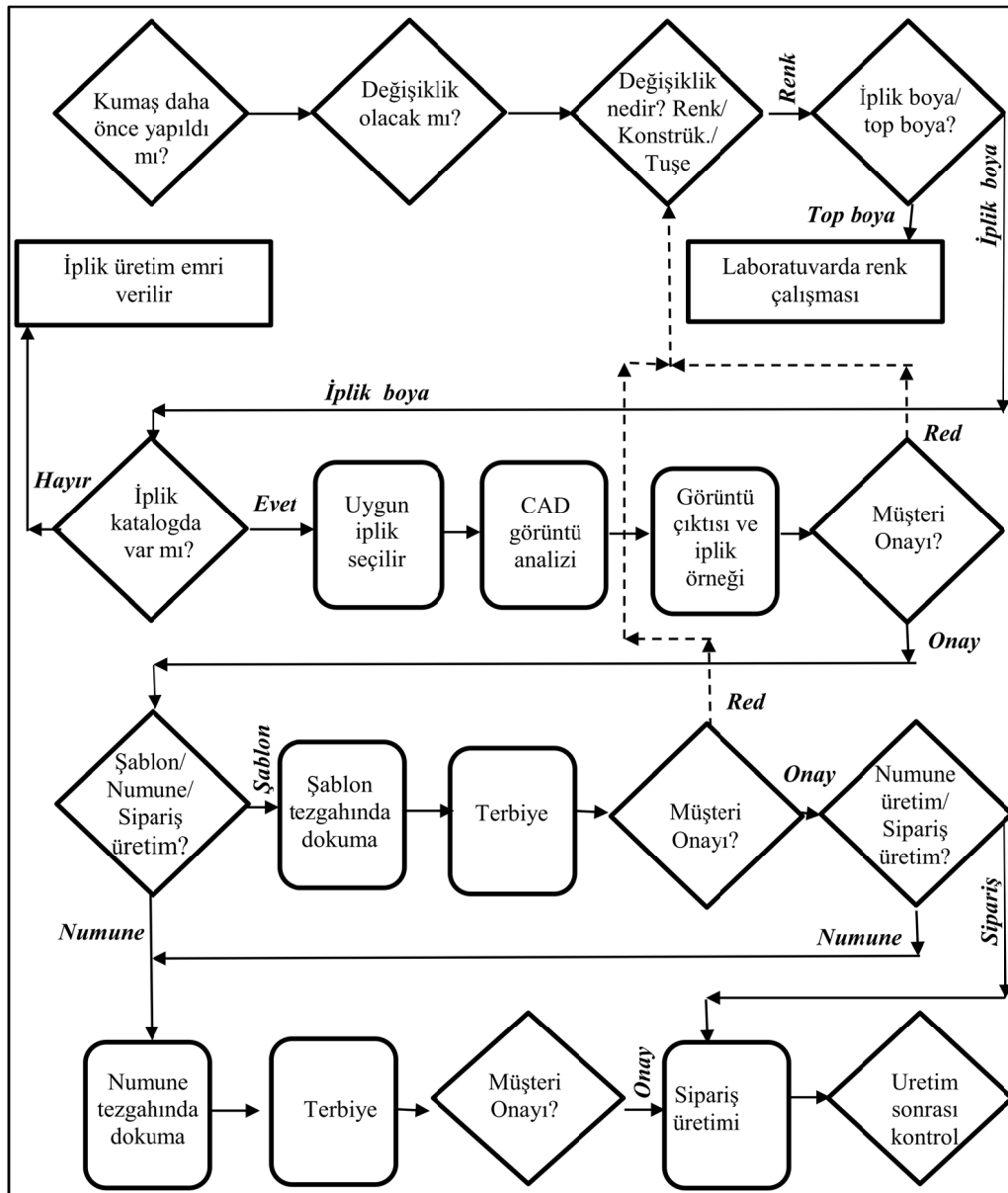
Sipariş üretim sonrası kontrol ve paketleme yapılır. Çizelge 3'den renk için Ür-Ge sistem faaliyetleri, ön faaliyetler, şablon üretim, numune üretim ve sipariş üretim şeklinde gruplandırılmıştır. Şekil 3'den renk için müşteri onayı alınan basamaklar incelenebilir. Şekil 3'den renk için Ür-Ge sisteminde gerçekleştirilecek üretim senaryoları ise Çizelge 4'de verilmiştir. Bu senaryolarda müşteri onayı basamağı dahil değildir. Bu şekilde 1000 m kumaş mamul üretiminde yaklaşık 5-6 gün geçmektedir.

Çizelge 3. Renk sistem modeli için Ür-Ge'de proses akışı (1000 m kumaş siparişi için)

Faaliyet türü	Faaliyet adı	Süre (dk)	Personel (adet)	Faaliyetin gerçekleştiği sistem
Ön faaliyet	Katalogda istenen rengi arama	5	1	Ür-Ge Birimi Katalog deposu
	Katalogdan Uygun iplik seçimi	10	1	Ür-Ge Birimi Katalog deposu
	CAD görüntü analizi (Şekil 2)	20	1	Ür-Ge Birimi
	Görüntü çıktısı ve iplik örneği	10	1	Ür-Ge Birimi

Çizelge 4. Ür-Ge'deki gerçekleşebilecek üretim senaryoları ve süresi (renk sistem modeli için)

Olası üretim senaryoları	Ön faaliyet dk	Şablon üretim dk	Numune üretim dk	Sipariş üretim dk	Üretim sonrası kontrol ve Paketleme	Müşteri onayı hariç toplam süre			
						Dakika	Saat	1 vardiya (8 sa)	Gün (24 sa, 3 vardiya)
1. senaryo	•	•		•	•	4955	137	17	6
2. senaryo	•		•	•	•	5005	139	17	6
3. senaryo	•	•	•	•	•	5115	142	18	6
4. senaryo	•			•	•	4845	135	17	6



Şekil 3. Renge göre üre-ge prosesinin işleyişi

Bu çalışma, müşterinin kumaş getirmesi halinde Ür-Ge prosesini ele aldığından müşterinin onayının alınması zorunludur. Müşterinin onayının alındığı her basamağa 2 gün yani 48 saat ilave edilmelidir. Çizelge 5, tasarlanan 4 farklı üretim senaryosu için, Şekil 3'deki akıştan da faydalanılarak, müşteri onay sayısının mamul

kumaş üretim süresine etkisini ve personel ihtiyacını göstermektedir. Buradaki süre, minimum müşteri onayı sayısına göre hesaplanmıştır. Müşteri üretimde işletmenin kendisine gönderdiği her numuneyi onaylamayıp düzeltme istediğinde, yeni durum için tekrar onay isteneceğinden bu süre 2 gün eklenerek uzayacaktır.

Çizelge 5. Ür-Ge'de müşteri onayının sistem gerçekleşme süresi ve personel sayısına etkisi (renge göre)

Parametreler	Olası üretim senaryoları*			
	1. senaryo	2. senaryo	3. senaryo	4. senaryo
Müşteri onay sayısı (adet)	2	2	3	1
Müşteri onay hariç gün sayısı (adet)	6	6	6	6
Müşteri onay eklenmiş gün sayısı (adet)	10	10	12	8
Gerekli personel sayısı (adet)	11	11	13	9

*: Çizelge 4'de verilen senaryolar

Dolayısıyla bu çalışma sonuçları mümkün en kısa üretimi göstermektedir. Çizelge 5 incelenirse, en az personel gerektiren ve en kısa çevrim süresinin olduğu senaryonun 4 nolu senaryo olduğu görülmektedir. Bu, müşterinin getirdiği kumaşın analizi ve kartela kontrolünün yapıldığı ve hemen sipariş üretime geçildiği durumdur.

İşletmelerin üretimlerine ait verilerinin kartelalarla saklanması önemi burada ortaya çıkmaktadır. İşletmenin müşteriye terimde iki günce teslimi

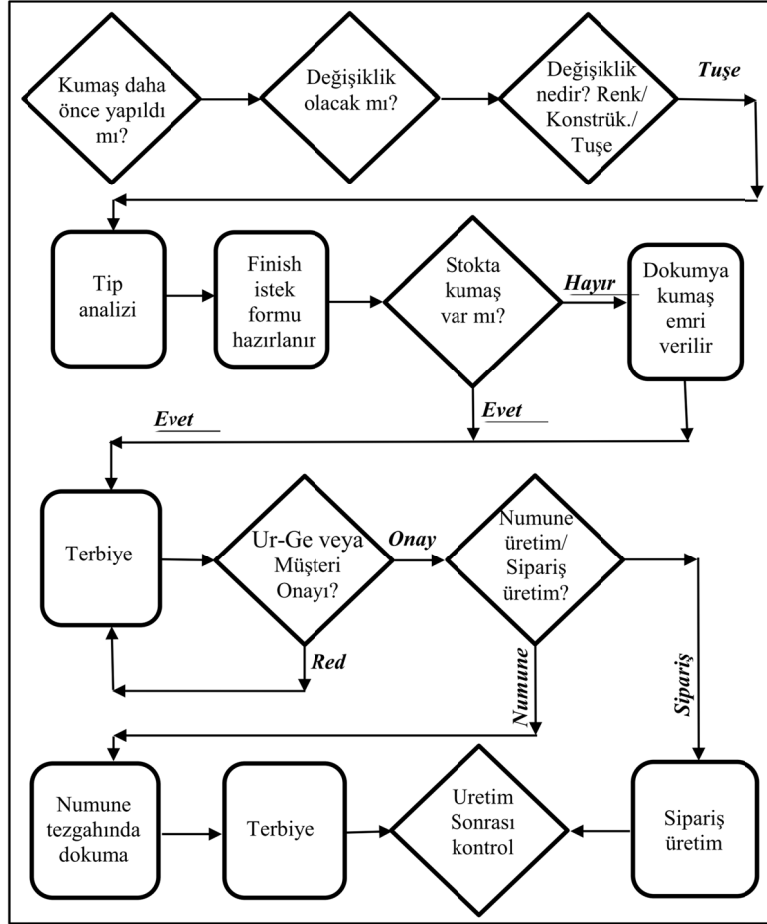
vaad etmesi pazar rekabeti açısından oldukça önemlidir.

3.2.2. Tuşeye Göre Proses

Müşterinin gönderdiği numune işletmenin daha önce çalıştığı ipliği boyalı ancak üzerinde tuşeye ilgili değişiklik istediği numunedir. Bu durumda tuşeye ilgili olarak proses işleyişinde işler Çizelge 6'dan ve simülasyon modeli ise Şekil 4'den görülebilir. İlk önce tip analizi yapılır ve daha sonra da bitim (finish) istek formu oluşturulur.

Çizelge 6. Tuşe ile ilgili istenen değişiklik halinde Ür-Ge'de iş akışı

Faaliyet türü	Faaliyet adı	Yapılış Süresi (dk)	Gerekli personel sayısı (adet)	Faaliyetin gerçekleştiği sistem
Ön faaliyet	Tip analizi işlemi	10	1	Ür-Ge Birimi
	Stokta kumaş olup olmadığını kontrol etme işlemi	10	1	Planlama
	Stokta kumaş var ise terbiyeye gönderme işlemi	60	1	Ambar
	Stokta kumaş yok ise dokuma işletmesinde dokuma işlemi (15 mts)	75	1	Dokuma



Şekil 4. Tuşeye göre üre-ge prosesinin işleyişi simülasyon modeli

Stokta kumaş yoksa kumaş dokunur, varsa terbiyeden geçirilir ve müşterinin veya Ür-Ge sorumlusunun onayına sunulur. Onay gelirse, numune veya sipariş üretimi yapılır. Her iki üretim durumunda da çıkışta terbiye prosesine girilir. Son olarak üretim sonrası kontrol ve paketleme yapılır.

Çizelge 7 ve 8'den olası üretim senaryolarını ve müşteri onayı durumunda Ür-Ge de ihtiyaç duyulan gün görülmekte olup burada tüm senaryolar için aynı gün ve personel gerekmektedir. Tuşeye prosesinde değişiklik istenirse en az 8 gün ve 11 personel gerekeceği sonucu tespit edilmiştir.

Çizelge 7. Ür-Ge deki gerçekleştirilecek üretim senaryoları ve süresi (tuşeye göre)

Olası üretim senaryoları	Ön faaliyet dk	Şablon üretim Dk	Numune üretim dk	Sipariş üretim dk	Üretim sonrası kontrol ve Paketleme	Müşteri onayı hariç toplam süre			
						dakika	saat	vardiya (8 sa)	Gün *
1. senaryo	•	•		•	•	5095	142	18	6
2. senaryo	•	•	•	•	•	5145	143	18	6
3. senaryo	•	•	•	•	•	5210	145	18	6

*: 1 gün 24 saat ve günde 3 vardiya çalışıldığı kabul edilmiştir.

Çizelge 8. Ür-Ge de müşteri onayının sistem gerçekleştirme süresine etkisi (tüşeye göre)

Parametreler	Olası üretim senaryoları		
	1. senaryo	2. senaryo	3. senaryo
Müşteri onayı sayısı (adet)	1	1	1
Müşteri onayı hariç gün sayısı (adet)	6	6	6
Müşteri onayı eklenmiş gün sayısı (adet)	8	8	8
Gerekli personel sayısı (adet)	11	11	11

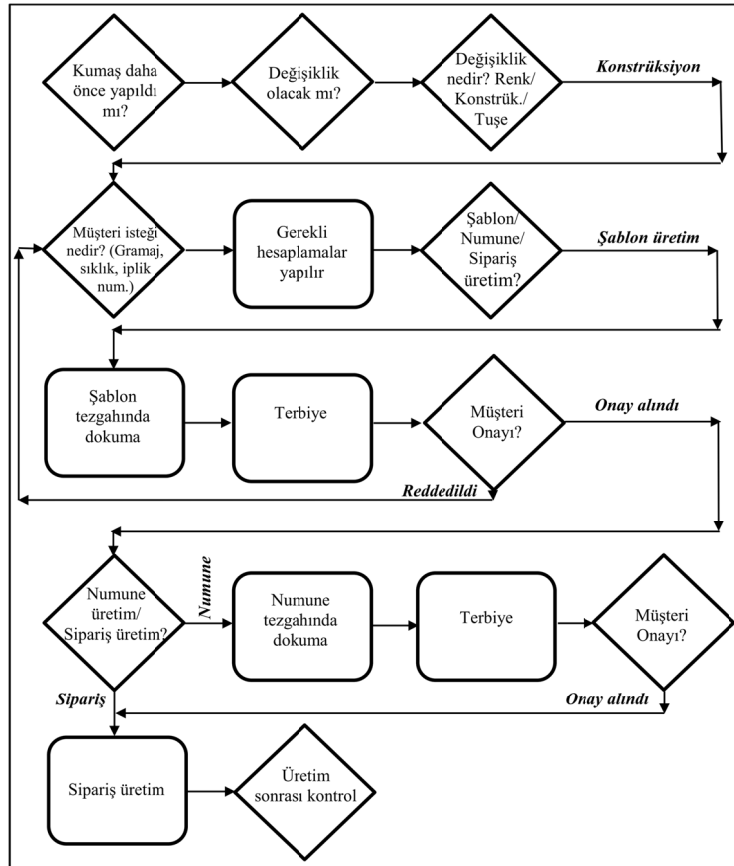
3.2.3. Konstrüksiyona Göre Proses

Bu kısımda müşteri genel olarak gramajda, iplik sıklığında veya iplik numarasında değişiklik

istemış olabilir. Bu durumda konstrüksiyonla ilgili olarak proses işleyişinde gerçekleşen işler Çizelge 9'den ve simülasyon modeli ise Şekil 5'den görülebilir.

Çizelge 9. Konstrüksiyon ile ilgili istenen değişiklik halinde Ür-Ge'de iş akışı

Faaliyet türü	Faaliyet adı	Yapılış Süresi (dk)	Gereken Personel (adet)	Faaliyetin gerçekleştiği sistem
Ön faaliyet	Genel hesaplamalar	60	1	Ür-Ge Birimi
Şablon üretim	Dokuma	50	1	Şablon dokuma makinesi
	Terbiye	15	1	Terbiye işletmesi



Şekil 5. Konstrüksiyona göre üre-ge prosesinin işleyişi simülasyon modeli

Müşterinin istediği değişiklikler için öncelikle müşteri tarafından gönderilen numune kumaş üzerinde gerekli analizler yapılır. Şablon, numune veya sipariş tipi üretim olup olmayacağına karar verilir. Şablon veya numune üretim sonrası müşteri onayı beklenir. Onay alınması halinde sipariş tipi üretim için önce dokumaya sonra terbiyeye gönderilir ve üretim sonrası kontrol ve paketleme yapılır.

Çizelge 10 ve 11'den olası üretim senaryolarını ve müşteri onayı durumunda Ür-Ge de ihtiyaç duyulan gün görülmekte olup burada tüm senaryolar için aynı gün ve personel gerekmektedir. Konstrüksiyon prosesinde değişiklik istenirse, en az 6 gün ve 6 personel gerekeceği sonucu tespit edilmiştir.

Çizelge 10. Ür-Ge deki gerçekleştirilecek üretim senaryoları ve süresi (Konstrüksiyon sistem modeli için)

Olası üretim senaryoları	Ön faaliyet	Şablon üretim	Numune üretim	Sipariş üretim	Üretim sonrası kontrol ve Paketleme	Müşteri onayı hariç toplam süre			
						dakika	saat	vardiya (8 sa)	Gün *
1. senaryo	•	•		•	•	4925	137	17	6
2. senaryo	•		•	•	•	4975	138	17	6
3. senaryo	•	•	•	•	•	5040	140	18	6
4. senaryo	•			•	•	4860	135	17	6

*: 1 gün 24 saat ve günde 3 vardiya çalışıldığı kabul edilmiştir.

Çizelge 11. Ür-Ge de müşteri onayının sistem gerçekleştirme süresine etkisi (Konstrüksiyon sistem modeli için)

Parametreler	Olası üretim senaryoları			
	1. senaryo	2. senaryo	3. senaryo	4. senaryo
Müşteri onayı sayısı (adet)	2	2	2	1
Müşteri onayı hariç gün sayısı	6	6	6	6
Müşteri onayı eklenmiş gün sayısı	8	8	8	7
Gerekli personel sayısı	8	9	10	6

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada tekstil boya terbiye işletmesine müşterinin numune kumaş getirmesi üzerine Ür-Ge prosesinin işleyişinin simülasyonlarla modellenebilecek şekilde tasarımı yapılmıştır. Tekstil gibi karmaşık parametrelerin bulunduğu işletmelerde Simülasyonla bir prosesi modellemek kolay olmamaktadır. Sistemin doğru tanımlanması ve algılanması, doğru ve yeterli veri toplama, verileri gruplama ve önem sırasına koyma, personel ve makinelerin sisteme etkisini, sayı ve süre gözeterek yansıtma, iş (zaman) etüdü en önemli ve hassasiyet gerektiren parametrelerdir. Bu çalışmada, tekstil boya-terbiye işletmelerinde oldukça stratejik öneme sahip olan Ür-Ge prosesinin modellenebileceği büyük ölçüde gösterilmiştir. Çalışma, simülasyon modelinin en önemli basamağı olan sistem tasarımı ortaya

çıkarması aşamasını kapsamaktadır. Model tasarımı, gerçek verilerin yeterli sayıda toplanması ile ve seçilecek uygun simülasyon paket programlarına gerçek verilerin girilerek Ür-Ge sistemi çözülebilir ve gerçek sistemle doğruluğu test edilebilir. Doğruluğu sağlanmış bir simülasyon modeli, herhangi bir müşteriden yeni gelen bir siparişin termin, personel tahmini güçlü bir şekilde yapabilecektir. Makro boyutta müşteriye doğru termin verme işletmenin rekabet ortamında güçlü kılacaktır. Mikro boyutta personel, süre ve dolaylı olarak maliyetlerin üretim öncesi ortaya çıkması ile işletme gerekli ekonomik stratejileri ortaya koyabilecektir.

5. KAYNAKLAR

1. Sabır, E.C., Batuk, E., 2014. Modelling of Textile Dyeing-finishing Mill Production Cost

- and Time Under Variable Demand Conditions with Simulation, *Tekstil ve Konfeksiyon* 24(4), 371-379.
2. Kayar, M., Akalın, M., 2015. Comparing the Effects of Automat Use on Assembly Line Performance in the Apparel Industry by Using a Simulation Method. *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 2015; 23, 5(113), 114-123.
 3. Ferraris, G., Morini, M., 2004. Simulation in the Textile Industry: Production Planning Optimization, WOA 2004: Dagli Oggetti Agli Agenti. 5th AI*IA/TABOO Joint Workshop "From Objects to Agents": Complex Systems and Rational Agents, 30 November-1 December 2004, Torino, Italy
 4. Doğan, N.Ö., Takçı, E., 2015. Bir Tekstil İşletmesinde Simülasyon Yardımıyla Süreç İyileştirme, *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 15(2), 185-196.
 5. Bağ, M.E., Aslan, E., 2016. Bir Tekstil Fabrikasında Simülasyon Uygulaması, *Journal of International Management, Educational and Economics Perspectives* 4(1), 38-5438.
 6. Aslan, Ş., Akdağ, R., Aydın, Y., 2017. Bir Tekstil İşletmesinde Benzetim Yöntemiyle Montaj Hattı Dengeleme Uygulaması, *Social Sciences Studies Journal*, 3(7), 1355-1365.

Theoretical Analysis on the Thermal and Electrical Properties of Fiber Reinforced Laminates Modified with CNTs

Fatih DARICIK^{*1}, Alparslan TOPCU²

¹Alanya Alaaddin Keykubat University, Rafet Kayış Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Antalya

²Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Adana

Geliş tarihi: 17.11.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Abstract

In the present study, the effect of the multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) fillers weight fraction on the mechanical, electrical, and thermal properties of the epoxy was calculated analytically. The results were then compared and it was found out that the MWCNTs has a significant effect on the electrical conductivity of the epoxy. The MWCNT modified epoxy composites were considered as the matrix material to design quasi-isotropic carbon fibre/epoxy composite. The change of the weight fraction of the MWCNTs on the mechanical, electrical, and thermal properties of the carbon fibre/epoxy laminates was also calculated. Finally, the hygrothermal load and the bending load response of the laminated composites were researched. MWCNTs fix the mismatch between the hygrothermal properties of the epoxy matrix and the carbon fiber.

Keywords: Nanoparticle, Modified epoxy, Composite laminate, Hygrothermal response

Karbon Nanotüp ile Modifiye Edilmiş Fiber Takviyeli Laminelerin Isıl ve Elektriksel Özelliklerinin Teorik Analizi

Öz

Bu çalışmada, çoğul duvarlı karbon nanotüplerin (MWCNT) epoksinin mekanik, elektrik ve ısı özellikleri üzerindeki etkisi analitik olarak hesaplanmıştır. MWCNT'nin epoksinin elektriksel iletkenliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. MWCNT modifiyeli epoksi malzeme ile karbon fiber/epoksi tabakalı kompozit malzemeler tasarlanmıştır. MWCNT'lerin ağırlıkça katkısının karbon fiber/epoksi kompozitlerin mekanik, elektriksel ve termal özellikleri üzerindeki etkisi de hesaplanmıştır. Son olarak, MWCNT takviyeli tabakalı kompozitlerin higrotermal yük ve eğilme yükü altındaki tepkileri araştırılmıştır. MWCNT'lerin, epoksi matris ve karbon fiberin ısı ve neme bağlı özellikleri arasındaki uyumsuzluğu azalttığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nanopartikül, Modifiye epoksi, Kompozit lamine, Isı ve neme bağlı tepki

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Fatih DARICIK, fatih.daricik@alanya.edu.tr

1. INTRODUCTION

Carbon fibre reinforced composite laminates have increasing importance for engineering applications due to their excellent properties. Owing to high corrosion and chemical resistance makes carbon/epoxy laminates a good alternative for the durability needed applications such as bipolar plates (BPs) that are used in the fuel cells. On the contrary, the poor electrical conductivity of the carbon/polymer laminated composites restricts their use as BP in the fuel cells. To overcome this deficiency, it is a good solution to modify the insulating constituent of the carbon/polymer composites with nano-sized particles [1–8]. It is also well known that the functionalization and the surface modification of nanoparticles improve the dispersion of the particles in the resins by preventing agglomeration [9,10]. The fracture toughness, the mechanical and thermal properties of polymeric materials filled with functionalized particles are better than the neat polymers [9–13].

In the past two decades, especially carbon nanotubes have come to the fore as the filler materials for polymers. The carbon nanotubes (CNTs) which have excellent conductivity, high aspect ratio, and good bonding with the polymers, offer improved electrical, thermal and interfacial properties. The unmodified CNTs can enhance the electrical conductivity of the epoxy resin better than the surface modified CNTs [6]. In fact, the electrical conductivity of the CNT modified polymers is directly depending on the used functional groups, the functionalization method, and the parameters of the nanoparticles [14,15]. Type of the CNT is also another fact that the multi-walled CNT (MWCNT) particles have a higher increasing effect on the electrical conductivity of the epoxy than that of the single-walled CNT (SWCNT) particles [16]. Chen et al. [3] reported that the addition of electrospun carbon nanofibres into the matrix of the carbon fibre/epoxy laminated composite can increase the in-plane and the out-of-plane electrical conductivities of the laminate up to 150% and 20% respectively according to the pristine laminate. Costa et al. [6] found out that both the glass fiber reinforced and the carbon fiber reinforced laminates with CNT modified matrix

have doubled through-thickness electrical conductivity according to the neat laminates and the modified matrix does not affect the in-plane electrical conductivity of the laminates. Moisala et al. [16] presented that a very small amount of MWCNT or SWCNT can bring significant electrical conductivity to the epoxy resin and the thermal conductivity is negatively influenced by SWCNT particles while MWCNT particles increase the thermal conductivity. Jarali et al. [17] offered analytical equations to determine the hygro-thermal-electrical properties of the CNT-modified polymer composites. On the other hand, the ambient temperature and the amount of the existing moisture also affect the electrical, thermal, and interfacial properties of the CNT modified composites [18].

MWCNT particles are preferred as a filler material for composite bipolar plates (BPs) owing to their superior electrical properties in the last decade. BPs are responsible for gas distribution to the flow channels and collecting the current that occurred in the cell. Therefore, BPs should have high electrical conductivity, and mechanical strength as well as corrosion resistance [19]. In this respect, the MWCNT effect was evaluated as BP application for PEM fuel cells in many studies [20-26]. Bairan et al. [20] constituted composite BP using polypropylene (20%), carbon black (25%), graphite (47-52%), and MWCNT (3-8%) materials. The electrical conductivity and flexural strength were increased by the addition of the MWCNTs up to a limit weight ratio of 6%. In the rates above this limit value, there was a decrease in the properties. According to another study of the researchers [23], 158.32 S/cm electrical conductivity and 30 MPa flexural strength were obtained by the addition of 6% MWCNT into the composite BP. Similar results were obtained by other researchers, too [21,22].

Considering the aforesaid effects of the CNTs on mechanical, hygrothermal, and electrical properties of the polymeric materials, it is inevitable to see similar changes on the polymer matrix composites reinforced with continuous fibres. The stress state and the deformation of the CNT modified

laminated composites under the thermal and the moisture loads will certainly differ according to the unmodified composites. However, it is well known that the effect of the mechanical properties of the continuous fibre and the matrix on the mechanical properties of the laminate can be calculated by analytical approaches. In this study, initially, the hygrothermal, electrical, and mechanical properties of the MWCNT modified epoxy was calculated. Then the properties of the layers with the carbon fibre and the modified epoxy layers were analytically determined according to the rule of the mixture and the effect of the MWCNTs was compared. Finally, MWCNT modified quasi-isotropic carbon fibre/epoxy laminates were designed to investigate the response of the material to the hygrothermal and the bending loads which are generally applied on BPs.

2. METHOD

For the calculations, the MWCNT/epoxy composite resin was considered by using the properties of the constituents (Table 1). The addition of the MWCNTs with a high weight ratio promotes the agglomeration of additives in epoxy resin [27]. Thus, the weight ratio of the MWCNTs in the epoxy resin was assumed as differed into a range of 0.1% to 2% by taking previous researches into account [4,28,29]. Modified resins were designated due to the weight ratio of MWCNTs they contain, such as M_05 contains 0.5% MWCNT in a weight ratio, etc. The agglomeration of the MWCNTs was ignored and the mixture of the MWCNTs and the epoxy resin was assumed as homogenous. Effects of the MWCNTs on the mechanical, electrical, and thermal properties on the epoxy resin were calculated by using a series of Equations 1-10 [17].

Table 1. Properties of MWCNT and epoxy resin

Properties	MWCNT	Epoxy resin	Fibre	
			Longitudinal	Transverse
Density (ρ), gr/cm ³	2.10	1.18	1.84	
Elastic modulus (E), GPa	450	2.47	260	0.8
Shear modulus (G), GPa	173.1	0.88	110	
Poisson's ratio (ν)	0.3	0.3	0.2	
Coefficient of thermal expansion (α), C ⁻¹	4.00*10 ⁻⁶	4.50*10 ⁻⁵	-3.80*10 ⁻⁶	2.00*10 ⁻⁵
Coefficient of moisture expansion (β),	0	0.06	0	
Thermal conductivity	-	0.196	-	-
Electrical conductivity (κ), S/m	1.00*10 ⁵	1.67x10 ⁻¹³	106	

$$V=V^{\Omega}+V^e \tag{1}$$

$$1=\frac{V^{\Omega}}{V}+\frac{V^e}{V}=f^{\Omega}+f^e \tag{2}$$

$$E=\frac{3}{8}(E^{\Omega}f^{\Omega}+E^e f^e)+\frac{5}{8}\frac{E^{\Omega}+E^e}{(E^{\Omega}f^e+E^e f^{\Omega})} \tag{3}$$

$$G^m=\frac{E^m}{2(1+\nu^m)} \tag{4}$$

$$\alpha_a=\frac{(E^{\Omega} \alpha^{\Omega} f^{\Omega}+(1-f^{\Omega})E^e \alpha^e)}{E^{\Omega} f^e+E^e f^{\Omega}} \tag{5}$$

$$\alpha=\frac{1}{8}\left[\frac{3(E^{\Omega} \alpha^{\Omega} f^{\Omega}+E^e \alpha^e f^e)}{E^{\Omega} f^e+E^e f^{\Omega}}+5([\alpha^{\Omega}+(\alpha^{\Omega}-\alpha_a)\nu^{\Omega}]f^{\Omega}+[\alpha^e+(\alpha^e-\alpha_a)\nu^e]f^e)\right] \tag{6}$$

$$\beta_{11}=\frac{(E^e f^e \beta^e)}{[E^{\Omega} f^e+E^e f^{\Omega}]} \tag{7}$$

$$\kappa^*=\kappa^{\Omega}\left(10^{0.085}\left\{\log\left(\frac{f^{\Omega}}{d^{\Omega}}\right)-1\right\}\right) \tag{8}$$

$$f^*=\left(\frac{f^{\Omega}}{d^{\Omega}}\right)^{-1.1\pm} \tag{9}$$

$$\kappa^m=\kappa^*(f^{\Omega}-f^*)^t \tag{10}$$

The MWCNT modified resin with its calculated properties was regarded as the matrix for the newly designed carbon fiber reinforced composite lamina. The direction of the yarns of the unidirectional carbon fabric was assigned as the lamina principle axis 1 and the orthogonal of the axis 1 was axis 2. By considering the common knowledge of the volume ratios of the fibre and the matrix constituents ($V_f=0.55$, $V_m=0.45$) in hand layed up laminated composites, the mechanical and the hygrothermal properties of the carbon/fibre composite lamina were predicted. Calculations were performed due to the rule of mixtures (Equations 10-19) [30].

$$E_1 = V^f E_1^f + V^m E^m \quad (11)$$

$$E_2 = \frac{E_2^f E^m}{V^m E_2^f + V^f E^m} \quad (12)$$

$$G_{12} = \frac{G^f G^m}{V^m G^f + V^f G^m} \quad (13)$$

$$\nu_{12} = V^f \nu^f + V^m \nu^m \quad (14)$$

$$\alpha_1 = \frac{V^f E_1^f \alpha^f + V^m E^m \alpha^m}{V^f E_1^f + V^m E^m} \quad (15)$$

$$\alpha_2 = V^f \alpha^f (1 + \nu^f) + V^m \alpha^m (1 + \nu^m) - (V^f \nu^f + V^m \nu^m) \alpha_1 \quad (16)$$

$$\beta_1 = \frac{V^f E_1^f \beta^f + V^m E^m \beta^m}{V^f E_1^f + V^m E^m} \quad (17)$$

$$\beta_2 = V^f \beta^f (1 + \nu^f) + V^m \beta^m (1 + \nu^m) - (V^f \nu^f + V^m \nu^m) \beta_1 \quad (18)$$

$$k^c = k^m \left[\frac{(V^f)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{k^m}{k^f}\right) \left(1 - (V^f)^{\frac{2}{3}}\right)}{(V^f)^{\frac{2}{3}} \cdot V^f + \left(\frac{k^m}{k^f}\right) \left(1 + V^f \cdot (V^f)^{\frac{2}{3}}\right)} \right] \quad (19)$$

The mechanical and the hygrothermal behavior of the quasi-isotropic laminates were calculated according to Classical Laminate Theory. The hygrothermal stress-strain relationship for unidirectional carbon/epoxy layer without mechanical load was given in Equation 20. Thermally and moisture-induced strains can also be determined by using the changes of the temperature and the moisture by Equations 21,22, respectively. ΔT is the temperature change and the ΔM is the absorbed moisture amount per unit weight. After determining the elastic properties of reinforced composite plies which contain MWCNTs in different weight ratios, quasi-isotropic composite laminates were designed with $[-45_2/45_2/90_2/0_2]_s$ oriented layers (Figure 1a). The stacking sequence of the plies was kept constant for each laminate. Reference ambient during designing was assumed with attributes of $T=20^\circ\text{C}$ and $w\%=0.95$ for all laminates. Inevitably, the change of the elastic properties of the layers owing to MWCNTs alters the response of the laminates to external loads. Especially in fuel cell applications, MWCNT modified composite laminates are subjected to the bending load and the interlaminar shear response of the laminate is crucial under the bending load. The effect of the weight ratio of the MWCNTs on the plane stress and the strain of the composites under hygrothermal load was determined (Equation 23).

Therefore, MWCNT modified composite short beams were also examined for stresses caused by the bending load (Figure 1b).

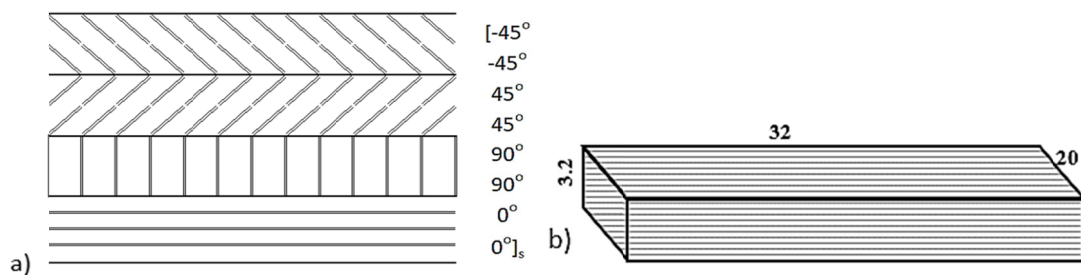


Figure 1. a) Stacking sequence of the laminates and b) the dimensions of the model for bending analysis

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & Q_{26} \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 - \varepsilon_1^T - \varepsilon_1^M \\ \varepsilon_2 - \varepsilon_2^T - \varepsilon_2^M \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1^T \\ \varepsilon_2^T \\ 0 \end{bmatrix} = \Delta T \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1^M \\ \varepsilon_2^M \\ 0 \end{bmatrix} = \Delta M \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{16} \\ Q_{12} & Q_{22} & Q_{26} \\ Q_{16} & Q_{26} & Q_{66} \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} \varepsilon_1^C \\ \varepsilon_2^C \\ \gamma_{12}^C \end{bmatrix}_k \quad (23)$$

3. RESULTS

The determined effect of the MWCNT particles on the mechanical, electrical, and hygrothermal properties of the epoxy was presented in Figures 2, 3, and 4. The effect of the MWCNT particles on the properties of the epoxy is evident. Theoretically, it is possible to increase the modulus of elasticity of the epoxy by 94.49%. Compared to the insulating structure of the epoxy, it is possible to add electrical conductivity to the epoxy by aid of MWCNTs. On the other hand, MWCNTs significantly decrease the hygrothermal expansion coefficients of the epoxy. By adding MWCNT in a weight ratio of %3, the thermal expansion coefficient and moisture expansion coefficient of the epoxy decreased by 29.69% and 181.37%, respectively.

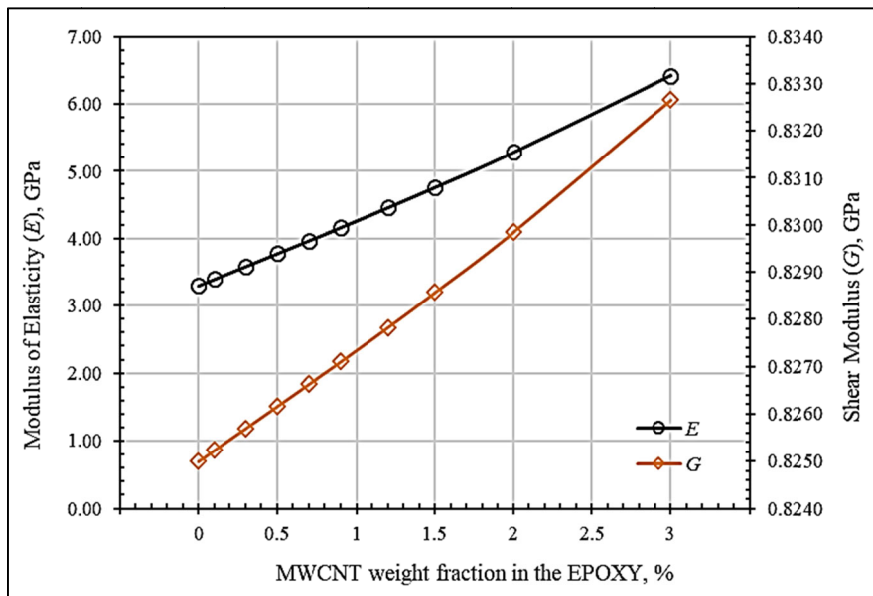


Figure 2. Change of the elastic modulus and shear modulus of the epoxy according to MWCNT ratio

The electrical conductivity of the 3% MWCNT including epoxy was increased by 158.22% by introducing unidirectional carbon fibres into it. Electrical properties are matched with the literature. Bairan et al. reported that the electrical conductivity of the MWCNT reinforced composite BP was increased till 6% filler (158.32 S/cm) [20,23]. In another study, Suherman et al. [25]

fabricated CNT/G/EP (CNT/graphite/epoxy) nanocomposite BP and indicated that the electrical conductivity values were determined as 180 and 75 S/cm for in-plane and through-plane measurements, respectively (with 5% MWCNT). Also, it was noted that the pure composite (without MWCNT) material was unsatisfied in terms of conductivity targets by DOE [19]. As understood,

the MWCNT additive is increased the electrical conductivity, in general. After a certain rate, not only decrease the conductivity but also increase the BP cost because of the high price of the MWCNT.

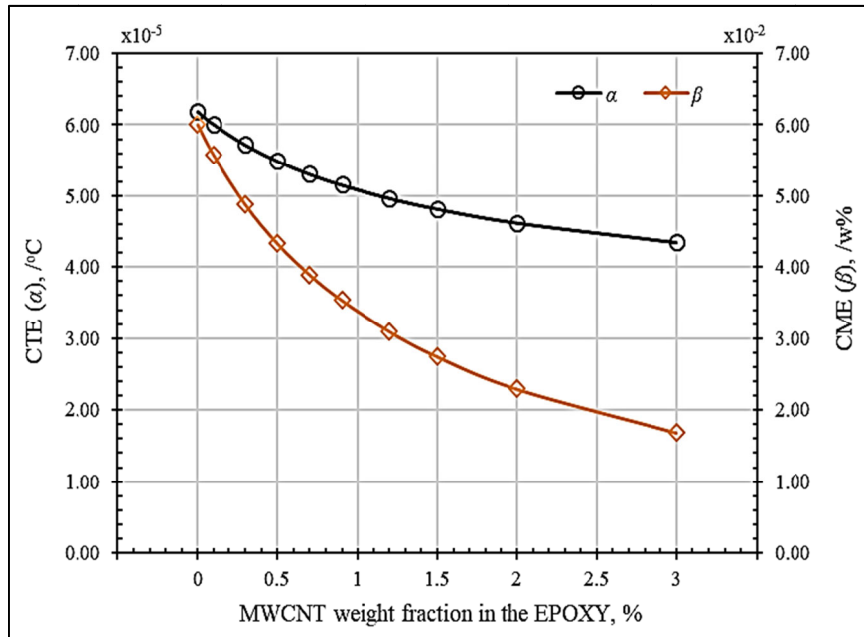


Figure 3. Change of the hydrothermal coefficients of the epoxy according to MWCNT ratio

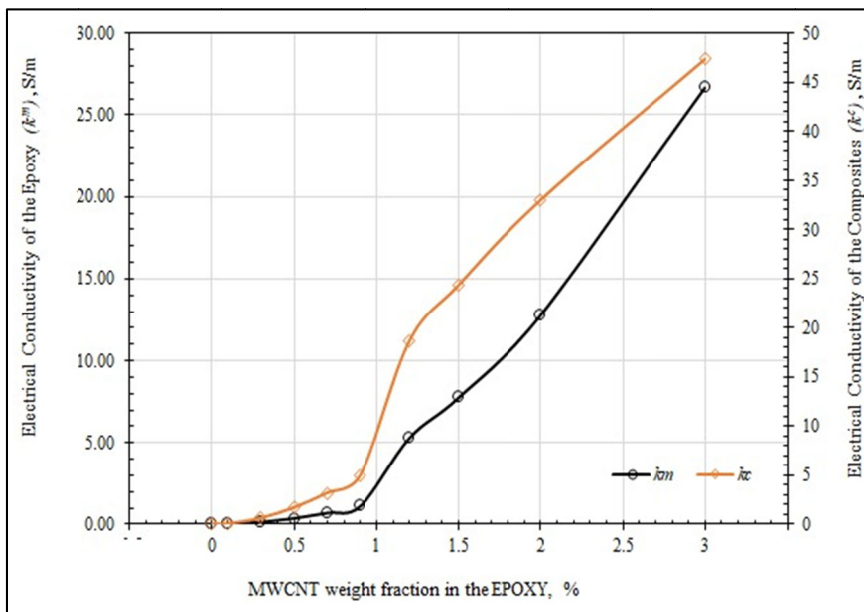


Figure 4. Change of the electrical conductivities of the epoxy and the composite layer according to MWCNT ratio

The mechanical and the hygrothermal properties of the designed unidirectional carbon/epoxy layers with different MWCNTs weight ratios were listed in Table 2 and the changes of the hygrothermal properties were also presented in Figures 4 and 5. Since the in-plane mechanical properties of the unidirectional fibre reinforced layer depend on the fibres, it was concluded that the effect of the MWCNTs on the composite layer is limited. The longitudinal elastic modulus of the layer with 3%

MWCNT increased only by 0.97% and the transverse elastic modulus increased by 8.74%. By introducing the carbon fibres into the 3% MWCNT modified epoxy, the coefficients of longitudinal and transverse thermal expansions were changed in ratios of 4.54% and -80.20%, respectively. On the other hand, the coefficients of longitudinal and transverse moisture expansions decreased in order of 45.80% and 71.98%.

Table 2. Calculated elastic properties of unmodified and MWCNT modified carbon/epoxy layers

Layer Code	Weight Ratio of MWCNTs %	Elastic Modulus, GPa		Shear Modulus (G_{12}), GPa	Thermal Expansion $\times 10^{-6}$		Moisture Expansion $\times 10^{-4}$	
		Longitudinal (E_1)	Transverse (E_2)		Longitudinal (α_1)	Transverse (α_2)	Longitudinal (β_1)	Transverse (β_2)
L_00	0	144.49	1.21	1.82	-3.30	24.75	6.17	349.49
L_01	0.1	144.53	1.22	1.82	-3.32	16.84	5.89	324.51
L_03	0.3	144.61	1.23	1.82	-3.34	14.70	5.44	283.80
L_05	0.5	144.70	1.24	1.82	-3.37	13.02	5.09	252.03
L_07	0.7	144.79	1.25	1.82	-3.38	11.68	4.80	226.56
L_09	0.9	144.87	1.26	1.82	-3.40	10.58	4.57	205.77
L_12	1.2	145.01	1.27	1.82	-3.41	9.23	4.28	180.04
L_15	1.5	145.14	1.28	1.82	-3.42	8.15	4.05	159.66
L_20	2.0	145.38	1.29	1.83	-3.44	6.77	3.75	133.40
L_30	3.0	145.89	1.32	1.83	-3.45	4.90	3.34	97.94

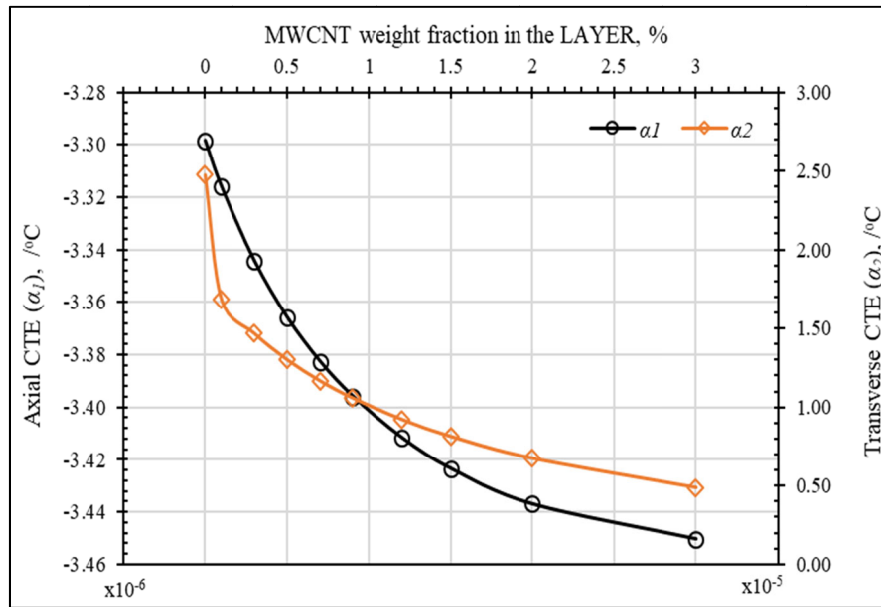


Figure 4. Change of the longitudinal and transverse thermal expansion coefficients of the layers according to MWCNT ratio

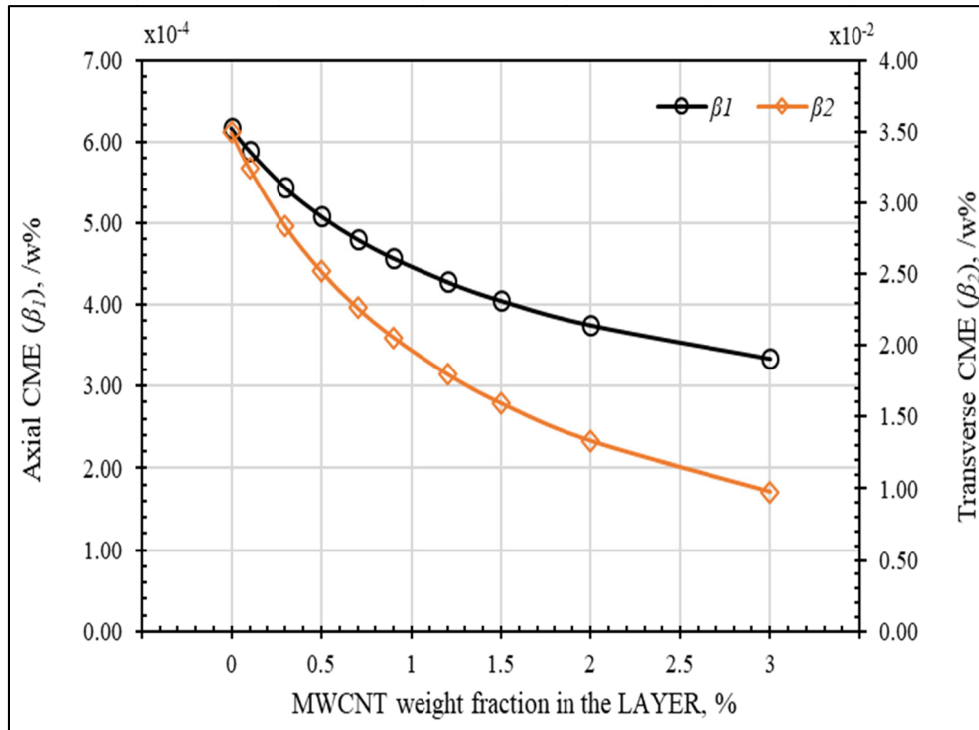


Figure 5. Change of the longitudinal and transverse moisture expansion coefficients of the layers according to MWCNT ratio

Hygrothermal load-induced plane stresses and strains in the composite laminates were also calculated and given in Figure 6. Since the laminates were designed as balanced and quasi-isotropic, stresses and strains along longitudinal and transverse directions came out as equal. However, it was obviously seen that the MWCNT particles improve the stability of the fiber-reinforced laminates under hygrothermal loads, and the improvement of the MWCNTs decreases by the increasing of the weight ratio of the nanotubes in the composite. In fact, because of the viscosity reducing effect and curing delaying effect of the nanotubes on the epoxy, it is very difficult to produce a composite laminate containing more than 1.5% particles by weight.

The bending load caused ply-wise longitudinal stresses and shear stresses were also studied for the unmodified and the MWCNT modified laminates (Table 3). In the bending analysis performed with some of the designed models, it was seen that the

MWCNTs did not affect the stresses due to bending load. Therefore, the analyzes made on half of the models (C_00, C_05, C_10, C_15, C_30) were found sufficient. As indicated in Table 2, MWCNTs have no significant effect on the in-plane elastic properties of the layers and so on laminates. Thence, the bending load response of the unmodified and the MWCNT modified laminates are similar and MWCNTs have no sense on the bending resistance of the composite laminates. It is clearly stated in the literature that the MWCNT modify has no significant increase in the bending or flexural strength [22-25]. Also, it was reported that the flexural strength was decreased in low quantities with the MWCNT reinforce by Yao et al. [21]. Similarly, the flexural strength was decreased with the 3%, 5% and 7% MWCNT modified carbon-felt-reinforced polypropylene-polyethylene composite [22]. In addition, it was noted that the MWCNT reinforce was decreased area specific resistance of the composite structure.

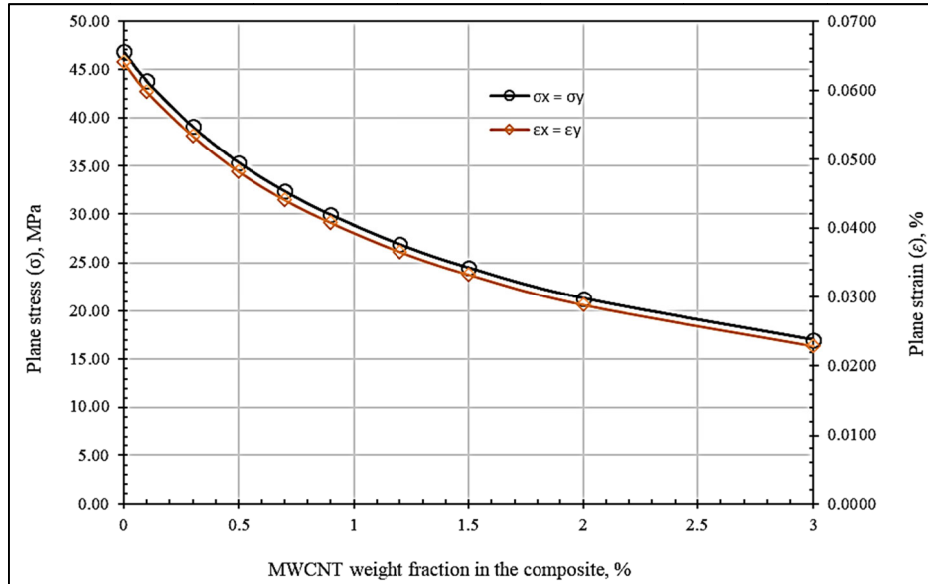


Figure 6. Change of the plane stresses and the strains in the quasi-isotropic laminates according to MWCNT ratio

Table 3. Bending load induced ply-wise stresses in the unmodified and MWCNT modified carbon/epoxy composites

Layer	C 00		C 05		C 15		C 30	
	σ_1	τ_{12}	σ_1	τ_{12}	σ_1	τ_{12}	σ_1	τ_{12}
-45	96.0054	20.5484	95.8848	20.5455	96.0231	20.5407	96.2445	20.5245
-45	86.9047	19.0831	86.7405	19.0779	86.8185	19.0698	86.9704	19.0509
45	77.8040	17.6179	77.5962	17.6104	77.6140	17.5990	77.6962	17.5773
45	77.7993	17.6179	77.5915	17.6104	77.6092	17.5990	77.6914	17.5773
90	71.8273	16.2199	71.5951	16.2106	71.5845	16.1969	71.6396	16.1735
90	65.8554	14.8219	65.5988	14.8109	65.5597	14.7949	65.5877	14.7697
0	108.7764	-14.8219	108.5710	-14.8109	108.6042	-14.7949	108.7415	-14.7697
0	97.9490	-13.4414	97.7100	-13.4308	97.6980	-13.4148	97.7806	-13.3900
0	87.1217	-12.0609	86.8490	-12.0507	86.7918	-12.0347	86.8198	-12.0102
0	87.1098	-12.0609	86.8371	-12.0507	86.7797	-12.0347	86.8076	-12.0102
90	78.7479	-10.7558	78.4654	-10.7463	78.3981	-10.7312	78.4162	-10.7082
90	70.3861	-9.4506	70.0938	-9.4418	70.0165	-9.4277	70.0248	-9.4061
45	-85.0970	-0.6910	-85.4919	-0.6917	-85.8083	-0.6909	-86.2221	-0.6885
45	-71.6758	-0.5686	-72.0778	-0.5701	-72.3673	-0.5703	-72.7188	-0.5692
-45	-58.2546	-0.4462	-58.6637	-0.4485	-58.9264	-0.4498	-59.2155	-0.4499
-45	-58.2664	-0.4462	-58.6756	-0.4485	-58.9384	-0.4498	-59.2277	-0.4499

4. CONCLUSION

In the present study, carbon fibre/MWCNT modified epoxy composite laminates were

investigated by means of electrical, mechanical, and hygrothermal properties, theoretically. Properties of the layers with the carbon fibre and the modified epoxy layers were analytically determined and the effect of the MWCNT content

was compared. The ratio of the MWCNTs in the epoxy was evaluated in the range of 0.1% to 3% by weight considering the existing literature when preparing epoxy/MWCNT mixture. MWCNTs significantly decrease the hygrothermal expansion coefficients of the epoxy. By adding MWCNT in a weight ratio of %3, the thermal expansion coefficient and moisture expansion coefficient of the epoxy decreased by 29.69% and 181.37%, respectively.

The MWCNT modified resin was approved as the matrix for carbon fiber reinforced composite lamina. The mechanical and the hygrothermal behavior of the quasi-isotropic laminates (with $[-45_2/45_2/90_2/0_2]_s$ oriented layers) were calculated and the stacking sequence of the plies was kept constant for each laminate. Ambient temperature and humidity values were assigned as 20 °C and 0.95, respectively. Moreover, the bending characteristics of MWCNT modified composite laminates were performed which is one of the most important operating characteristics for bipolar plates used in fuel cells. The main conclusions from this investigation can be drawn as follows:

- First of all, the electrical properties of the epoxy were improved with the MWCNT contribution. The electrical conductivity of the 3% MWCNT including epoxy was determined as 47.39 S/m and the conductivity value was increased by 158.22% with introducing carbon fibres into it. These conductivity values satisfy the electrical conductivity of composite bipolar plate requirements of the Department of Energy (DOE) [19].
- The effect of the MWCNTs on the mechanical features of composite layers are limited due to the mechanical properties of the unidirectional fibre reinforced layer depend on the fibres. Even so, MWCNT is contributed to mechanical characteristics. 0.97% and 8.74% increase were calculated for the longitudinal and transverse elastic modulus, respectively with the 3% MWCNT additives.
- The coefficients of longitudinal and transverse thermal expansions were changed in ratios of

4.54% and -80.20%, respectively for the 3% MWCNT/epoxy-carbon fibre composite. On the other hand, the coefficients of longitudinal and transverse moisture expansions decreased in order of 45.80% and 71.98%.

- It was understood that MWCNT has no important effect on the bending strength of composite laminates. Similar bending results were obtained for unmodified and MWCNT modified composites.

Nomenclature

f	volume fraction
V	volume of constituents
E	elastic modulus
G	shear modulus
ν	poisson's ratio
α	coefficient of thermal expansion
β	coefficient of moisture expansion
K	electrical conductivity

The superscripts are as follows;

e	epoxy polymer
Ω	MWCNT
m	MWCNT modified epoxy matrix
f	carbon fibre
c	carbon fibre/epoxy composite
T	thermal
M	moisture

The subscripts are as follows;

1	longitudinal direction of reinforcements
2	transverse direction of reinforcements

5. REFERENCES

1. Gojny, F.H., Wichmann, M.H.G., Fiedler, B., Bauhofer, W., Schulte, K., 2005. Influence of Nano-Modification on the Mechanical and Electrical Properties of Conventional Fibre-Reinforced Composites, Compos. Part A Appl. Sci. Manuf., 36, 1525–1535. doi:10.1016/j.compositesa.2005.02.007.
2. Wichmann, M.H.G., Sumfleth, J., Gojny, F.H., 2006. Glass-fibre-reinforced Composites with Enhanced Mechanical and Electrical Properties

- Benefits and Limitations of a Nanoparticle Modified Matrix, *Eng. Fract. Mech.*, 73(16), 2346–2359. doi:10.1016/j.engfracmech.2006.05.015.
3. Chen, Q., Zhang, L., Rahman, A., Zhou, Z., Wu, X., Fong, H., 2011. Hybrid Multi-scale Epoxy Composite Made of Conventional Carbon Fiber Fabrics with Interlaminar Regions Containing Electrospun Carbon Nanofiber Mats, *Compos. Part A*, 42, 2036–2042. doi:10.1016/j.compositesa.2011.09.010.
 4. Ashrafi, B., Diez-Pascual, A.M., Johnson, L., Genest, M., Hind, S., Martinez-Rubi, Y., González-Domínguez, J.M., Martínez, M.T., Simard, B., Gómez-Fatou, M.A., Johnston, A., 2012. Processing and Properties of PEEK/Glass Fiber Laminates: Effect of Addition of Single-Walled Carbon Nanotubes. *Compos. Part A*, 43, 1267–1279. doi:10.1016/j.compositesa.2012.02.022.
 5. Ashrafi, B., Naffakh, M., Di, A.M., Gonza, M., Johnston, A., Simard, B., Martínez, M.T., Gómez-Fatou, M.A., 2011. Influence of Carbon Nanotubes on the Thermal, Electrical and Mechanical Properties of Poly (Ether Ether Ketone)/Glass Fiber Laminates, *Carbon*, 49(8), 2817–2833. doi:10.1016/j.carbon.2011.03.011.
 6. da Costa, E.F.R., Skordos, A.A., Partridge, I.K., Rezai, A., 2012. RTM Processing and Electrical Performance of Carbon Nanotube Modified Epoxy/fibre Composites, *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, 43, 593–602. doi:10.1016/j.compositesa.2011.12.019.
 7. Socher, R., Krause, B., Boldt, R., Hermasch, S., Wursche, R., Pötschke, P., 2011. Melt Mixed Nano Composites of PA12 with MWNTs: Influence of MWNT and Matrix Properties on Macrodispersion and Electrical Properties. *Compos. Sci. Technol.*, 71, 306–314. doi:10.1016/j.compscitech.2010.11.015.
 8. Han, S., Meng, Q., Araby, S., Liu, T., Demiral, M., 2019. Mechanical and Electrical Properties of Graphene and Carbon Nanotube Reinforced Epoxy Adhesives: Experimental and Numerical Analysis. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, 120, 116–126. doi:10.1016/j.compositesa.2019.02.027.
 9. Ma, P.C., Siddiqui, N.A., Marom, G., Kim, J.K., 2010. Dispersion and Functionalization of Carbon Nanotubes for Polymer-Based Nanocomposites: A Review, *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, 41, 1345–1367. doi:10.1016/j.compositesa.2010.07.003.
 10. Eskizeybek, V., Avci, A., Gülce, A., 2014. The Mode I Interlaminar Fracture Toughness of Chemically Carbon Nanotube Grafted Glass Fabric/epoxy Multi-scale Composite Structures, *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, 63, 94–102. doi:10.1016/j.compositesa.2014.04.013.
 11. Ghislandi, M., de A. Prado, L.A.S., Barros-Timmons, K.S.A., 2013. Effect of Filler Functionalization on Thermo-mechanical Properties of Polyamide-12/Carbon Nanofibers Composites: A Study of Filler–Matrix Molecular Interactions, *J. Mater. Sci.*, 48, 8427–8437. doi:10.1007/s10853-013-7655-4.
 12. Zhu, Y., Bakis, C.E., Adair, J.H., 2012. Effects of Carbon Nanofiller Functionalization and Distribution on Interlaminar Fracture Toughness of Multi-scale Reinforced Polymer Composites, *Carbon*, 50(3), 1316–1331. doi:10.1016/j.carbon.2011.11.001.
 13. Chen, X., Wang, J., Lin, M., Zhong, W., Feng, T., Chen, X., Chen, J., Xue, F., 2008. Mechanical and Thermal Properties of Epoxy Nanocomposites Reinforced with Amino-functionalized Multi-walled Carbon Nanotubes *Mater. Sci. Eng. A*, 492, 236–242. doi:10.1016/j.msea.2008.04.044.
 14. Kim, Y.J., Shin, T.S., Choi, H.D., Kwon, J.H., Chung, Y.C., Yoon, H.G., 2005. Electrical Conductivity of Chemically Modified Multiwalled Carbon Nanotube/epoxy Composites, *Carbon*, 43, 23–30. doi:10.1016/j.carbon.2004.08.015.
 15. Sagar, R., Petrova, R.S., Somenath, M., 2018. Effect of Carbon Nanotube (CNT) Functionalization in Epoxy-CNT Composites, *Nanotechnol. Rev.*, 7, 475–485. doi:10.1016/j.physbeh.2017.03.040.
 16. Moisala, A., Li, Q., Kinloch, I.A., Windle, A.H., 2006. Thermal and Electrical Conductivity of Single- and Multi-walled Carbon Nanotube-epoxy Composites, *Compos.*

- Sci. Technol., 66, 1285–1288. doi:10.1016/j.compscitech.2005.10.016.
17. Jarali, C.S., Patil, S.F., Pilli, S.C., 2015. Hygrothermo-electric Properties of Carbon Nanotube Epoxy Nanocomposites with Agglomeration Effects, *Mech. Adv. Mater. Struct.*, 22, 428–439. doi:10.1080/15376494.2013.769654.
 18. Zhang, Y.C., Wang, X., 2006. Hygrothermal Effects on Interfacial Stress Transfer Characteristics of Carbon, *J. Reinf. Plast. Compos.*, 25(1), 71-88. doi:10.1177/0731684406055456.
 19. Antunes, R.A., de Oliveira, M.C.L., Ett, G., Ett, V., 2011. Carbon Materials in Composite Bipolar Plates for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells: A Review of the Main Challenges to Improve Electrical Performance, *J. Power Sources*, 196, 2945-2961. doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.12.041.
 20. Bairan, A., Selamat, M.Z., Sahadan, S.N., Malingam, S., Mohamad, N., 2018. Effect of CNTs on the Electrical and Mechanical Properties of Polymeric Composite as PEM Fuel Cell Bipolar Plate, *J. Teknol. Sci. Eng.*, 80(6), 115-122.
 21. Yao, K., Adams, D., Hao, A., Zheng, J.P., Liang, Z., Nguyen, N., 2017. Highly Conductive and Strong Graphite-Phenolic Resin Composite for Bipolar Plate Applications, *Energy Fuels*, 31, 14320-14331. doi:10.1021/acs.energyfuels.7b02678.
 22. Lee, H.E., Chung, Y.S., Kim, S.S., 2017. Feasibility Study on Carbon-Felt-Reinforced Thermoplastic Composite Materials for PEMFC Bipolar Plates, *Compos. Struct.*, 180, 378-385. doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.08.037.
 23. Bairan, K.A., Selamat, M.Z., Sahadan, S.N., Malingam, S.D., Mohamad, N., 2016. Effect of Carbon Nanotubes Loading in Multifiller Polymer Composite as Bipolar Plate for PEM Fuel Cell, *Proced. Chem.*, 19, 91-97. doi:10.1016/j.proche.2016.03.120.
 24. Chaiwan, P., Pumchusak, J., 2015. Wet vs. Dry Dispersion Methods for Multiwall Carbon Nanotubes in the High Graphite Content Phenolic Resin Composites for use as Bipolar Plate Application, *Electrochim. Acta*, 158, 1-6. doi.org/10.1016/j.electacta.2015.01.101.
 25. Suherman, H., Sulong, A.B., Sahari, J., 2013. Effect of Compression Molding Parameters on the In-Plane and Through-Plane Conductivity of Carbon Nanotubes/Graphite/Epoxy Nanocomposites as Bipolar Plate Material for a Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, *Ceram. Int.*, 39, 1277-1284. doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.07.059.
 26. Liao, S.H., Yen, C.Y., Weng, C.C., Lin, Y.F., Ma, C.C.M., Yang, C.H., Tsai, M.C., Yen, M.Y., Hsiao, M.C., Lee, S.J., Xie, X.F., Hsiao, Y.H., 2008. Preparation and Properties of Carbon Nanotube/Polypropylene Nanocomposite Bipolar Plates for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells, *J. Power Sources*, 185, 1225-1232. doi:10.1016/j.jpowsour.2008.06.097.
 27. Davé, R., Gupta, R., Pfeffer, R., Sundaresan, S., Tomassone, M.S., 2006. Deagglomeration and Mixing of Nanoparticles, NSF Nanoscale Science and Engineering Grantees Conference, Grant#: 0506722, 2006, Dec 4-6.
 28. Ashrafi, B., Guan, J., Mirjalili, V., Zhang, Y., Chun, L., Hubert, P., Simard, B., Kingston, C.T., Bourne, O., Johnston, A., 2011. Enhancement of Mechanical Performance of Epoxy/carbon Fiber Laminate Composites Using Single-walled Carbon Nanotubes, *Compos. Sci. Technol.*, 71, 1569–1578. doi:10.1016/j.compscitech.2011.06.015.
 29. Mirjalili, V., Ramachandramoorthy, R., Hubert, P., 2014. Enhancement of Fracture Toughness of Carbon Fiber Laminated Composites Using Multi Wall Carbon Nanotubes. *Carbon*, 79, 413–423. doi:10.1016/j.carbon.2014.07.084.
 30. Jones, M.R., 1999. *Mechanics of Composite Materials*, 2nd Ed., Taylor & Francis, Inc. PA, 19106.

Yüksek Sıcaklığın Doğal Taşların Petrografik, Parlaklık ve Pürüzlülük Özelliklerine Etkisi

Zehra Funda TÜRK MENOĞLU^{*1}, Ali ÖZVAN², Elif ERDEVE ÖZVAN³,
Mehmet TÜRK MENOĞLU⁴, İsmail AKKAYA⁵, Ogün Ozan VAROL⁶,
Mucip TAPAN⁷, Esmâ KAHRAMAN⁸

^{1,4,6} Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Van
^{2,3} Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Van
⁵ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Van
⁷ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Van
⁸ Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 27.11.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Öz

Doğal taşlar binalarda genellikle yapı ve kaplama taşı olarak kullanılmaktadırlar. Yangın gibi dış etkenler binalara hem yapısal hem de estetik açıdan geri dönüşü olmayan zararlar vermektedir. Yüksek sıcaklıklar doğal taşın yüzey ve içyapı özelliklerinde hasara neden olabilmektedirler. Doğal taşların bu hasardan etkilenme derecelerinin önceden bilinmesi kullanım yerinin seçilmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada, yüksek sıcaklığın doğal taşların iç yapısı, parlaklık ve pürüzlülük özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, doğal taş numuneleri 100°C ile 900°C arasındaki sıcaklıklara ısıtılarak bu sıcaklıklarda 1 saat bekletilmiştir. Daha sonra doğal taş numunelerinin petrografik, yüzey parlaklık ve yüzey pürüzlülük özellikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, yüksek sıcaklığın (700°C ve üzeri) doğal taşların mineralojik yapısında bozulmalara neden olmasından dolayı numunelerin parlaklık değerlerinde azalış ve pürüzlülük değerlerinde artış gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal taşlar, Yüksek sıcaklık, Petrografik özellik, Parlaklık, Pürüzlülük

The Influence of High Temperature on the Petrographical, Gloss and Roughness Properties of Natural Stones

Abstract

Natural stones are generally used in buildings as building and covering stones. External factors such as fire cause irreversible damage to buildings both structurally and aesthetically. High temperatures can

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Zehra Funda TÜRK MENOĞLU, fundaturkmenoglu@yyu.edu.tr

cause damage to the surface and microstructure of natural stone. It is important to know the degree of damage of natural stones in advance in terms of choosing the place of use. In this study, the effects of high temperature on the petrographical, gloss and roughness of natural stones were investigated. To this end, natural stone samples were heated between 100°C and 900°C temperatures and kept for 1 hour at these temperatures. Then, the petrographical, gloss and roughness properties of natural stone samples were determined. As a result, a decrease in the gloss values and an increase in the roughness values of the samples were observed due to the deterioration of the mineralogical structure of natural stones at 700°C and above temperatures.

Keywords: Natural stones, High temperature, Petrographical properties, Gloss, Roughness

1. GİRİŞ

Doğal taşlar binalar, köprüler ve tüneller gibi birçok yapıda yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğal taşlar yangın gibi yüksek sıcaklık etkilerine maruz kaldıklarında hasar görürler. Yüksek sıcaklığa maruziyet doğal taşın fiziksel, kimyasal, mekanik ve içyapı özelliklerinde bozulmaya neden olur [1,2]. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan mermerlerde bir dizi mikro çatlak oluşumu, parçalanma ve renk değişimi gibi değişiklikler meydana gelir. Bunlardan başka kayacın mineralojik yapı ve yüzey doku özellikleri de yüksek sıcaklıktan etkilenir. Doğal taşlar ısı gibi dış etkilere maruz kaldıklarında kristal tanelerinin sınır boylarında gerçekleşen genleşme taşın petrografik dokusunun bozulmasına neden olur [3]. Mermer ısıtıldığında, mineral taneleri arasındaki farklı termal özellikler nedeniyle, düzensiz termal gerilmeler gelişir [4]. Mineral tanelerinin termal gerilmeleri belirli bir sınırı aştığında ise taneler arasında çatlak meydana gelir. Sıcaklığın artması hem çatlak sayılarını artırır hem de taneler arası çatlakları genişletir, bu da kayacın mekanik özelliklerinin sürekli olarak zayıflamasına neden olur. Sıcaklık 600°C'nin üzerine çıktığında, çok sayıda kristaller arası çatlakların başlamasıyla birlikte taneler arası çatlaklar yayılır. Kalsit ve dolomit gibi ana mineraller 800°C'de daha dramatik bir şekilde ayrışır. Mermer, mekanik özelliklerin daha da kötüleşmesine yol açan geri dönüşü olmayan termal hasarlar oluşur [5-9]. Petrografik doku dışında taşın yüzey özellikleri de sıcaklık etkisi ile değişikliğe uğrar. Genellikle bir doğal taşın pazarlanmasında yüzey parlaklık ve pürüzlülük değerinin yüksek olması tercih edilir.

Bu amaçla da doğal taşlar piyasaya sunulmadan önce cilalama işlemine tabi tutularak yüzey kalite özellikleri iyileştirilir. Yüzey parlaklık ölçümü genellikle mermer plakalarının cilalama işlemi sonrasında yüzey kalitesini belirlemek amacıyla yapılan bir kalite kontrol parametresidir. Parlaklık tanım olarak bir yüzeye gelen ışın yoğunluğunun, yüzeyden yansıyan ışın yoğunluğuna oranıdır. Malzemenin yüzey özelliği ile ışığın yansıma kabiliyeti arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Yüzeyi pürüzlü olan malzemelerde ışık düzgün bir şekilde yansımadığından yüzey parlaklık değeri de azdır. Bunun aksine pürüzsüz yüzeylerde gelen ışın, yönünü geldiği açı ile tamamen değiştirir ve yüksek parlaklık değeri elde edilir [7]. Doğal taşların parlaklık özelliği gibi pürüzlülük özelliği de önemli bir kalite kontrol parametresidir. Yüzey pürüzlülüğü, genellikle pürüzlülük olarak kısaltılan, yüzey dokusunun bir bileşenidir. Gerçek bir yüzeyin ideal biçiminden normal vektörü yönündeki sapmalar ile ölçülür. Bu sapmalar büyükse, yüzey pürüzlüdür eğer sapmalar küçükse yüzey pürüzsüzdür. Literatür çalışmaları incelendiğinde, yüksek sıcaklıkların doğal taş özelliklerine olan etkilerinin belirlendiği birçok çalışma olduğu görülmüştür. Bu çalışmaların büyük çoğunluğunda yüksek sıcaklığın taşın mekanik özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır [8-11]. Ancak, yüksek sıcaklığın doğal taşların mikroyapı, yüzey parlaklık ve pürüzlülük gibi özelliklerine olan etkilerinin araştırıldığı çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır [12-20]. Chakrabarti ve arkadaşları [1] yaptıkları çalışmada yangının doğal taşın fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkisini araştırmıştır. Sıcaklık artışının mermerlerin fiziksel ve mekanik

özelliklerini olumsuz yönde etkilediği ve mermerlerde ufalanma, parçalanma ve dayanım kaybına neden olduğunu bildirmişlerdir. Özgüven ve Özçelik [9], çalışmalarında kireçtaşı ve mermerleri oda sıcaklığından 1000°C'ye kadar değişen yüksek sıcaklıklara maruz bırakmışlardır. Çalışma sonunda 600°C'ye kadar doğal taşlarda renk değişimi ve hasarın çok az oranda olduğunu belirtmişlerdir. Şengün, [11] karbonatlı kayaçların yüksek sıcaklık etkisini araştırdığı çalışmada. 300°C gibi düşük sıcaklıkların kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin çok sınırlı olduğunu bildirmiştir. Ayrıca. 600°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kayaçların gözeneklilik değerlerinde artış olurken dayanım ve ultrases geçiş hızı gibi özelliklerinde ise azalış olduğunu belirlemiştir. Gomez ve arkadaşları [15] çalışmalarında yüksek sıcaklığın kireçtaşlarının kimyasal bileşim, mikroyapı ve gözeneklilik özelliğine olan etkilerini araştırmışlardır. Sıcaklık değişimlerinin kireçtaşlarının içsel özelliklerini etkileyerek kayaç içinde yeni kırılmalara ve mikro çatlaklara neden olduğunu ve ayrıca sıcaklığın kireçtaşlarında renk değişikliğe sebep olduğunu belirlemiştir. Kireçtaşlarının içerisinde bulunan az miktarda demirli mineralin bile oksitlenmeden dolayı önemli renk değişikliklerine neden olduğunu belirtmişlerdir. Erdoğan [16] yaptığı çalışmada kayaçların yüzey parlaklık değerinin olumsuz yönde etkilenmesine porozite, farklı kristal sınırları, mikro çatlaklardaki dolgular, kristal yönelme ve kesme düzlemi arasındaki eğiklik gibi parametrelerin etki ettiğini bildirmiştir. Bu çalışmada, inşaat ve yapı malzemeleri alanında yaygın olarak kullanılan kireçtaşı kökenli doğal taşların yüksek sıcaklık etkisi sonrası petrografik yapı, parlaklık ve pürüzlülük özelliklerindeki değişiklikler incelenmiştir.

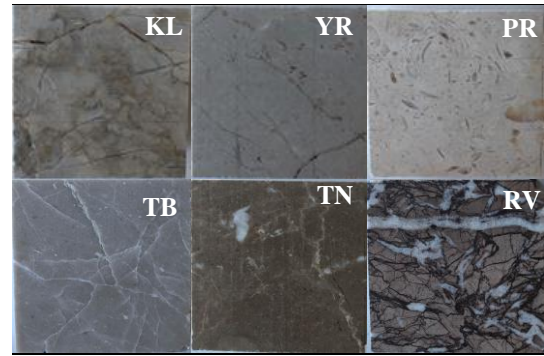
2. MATERYAL ve METOD

2.1. Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Doğal Taşlar

Çalışmada, Van yöresinde bulunan bir mermer işletmesinden temin edilen altı farklı doğal taş

numunesi kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, 5x5x2 cm ebatlarında prizma şeklinde numuneler kullanılmıştır. Numunelerin ticari isimleri sırasıyla Kalecik (KL), Yarımiş (YR), Pervari (PR), Tamara Bej (TB), Tamara Brown (TN) ve Roza Vera (RV)'dir. Yüksek sıcaklık deneylerinde kullanılan doğal taş numunelerine ait görünüm Şekil 1'de verilmiştir.

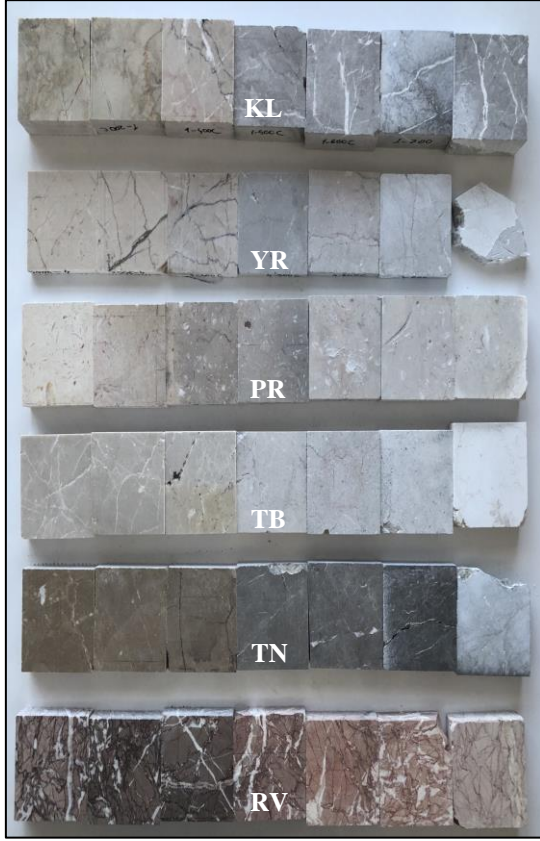


Şekil 1. Doğal taş numunelerine ait görünüm

2.2. Metod

2.2.1. Yüksek Sıcaklık Deneyi

Doğal taşlar, yangın gibi etkilere maruz kalabilirler. Sıcaklık değişiminin doğal taş özelliklerine olan etkilerini belirlemek için, genellikle laboratuvar ortamında yangın simülasyon deneyleri gerçekleştirilmektedir. Yangın sırasında sıcaklığın 1200°C'ye kadar çıktığı bilinmektedir [22,23]. Bu çalışmada, yangın sırasında sıcaklığın maksimum 900°C'ye kadar çıktığı ve bir saat sürdüğü varsayılmıştır. Doğal taş numuneleri laboratuvarında fırın içerisinde 100°C ile 900°C arasındaki sıcaklıklarda bir saat süreyle bekletilmiştir. Daha sonra numuneler fırından çıkarılarak desikatör içerisinde soğutulmuştur. Soğuyan numunelerin parlaklık ve pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Deneylerde, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Protherm Marka bir kül fırını kullanılmıştır. Yüksek sıcaklık deneyi sonrası doğal taş numunelerine ait görünüm Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Yüksek sıcaklık deneyi sonrası numuneler

taş numunelerine ait yüzey parlaklık ölçüm görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Yüzey parlaklık değeri ölçümü

2.2.2. Petrografik Özelliklerin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında farklı sıcaklık uygulanmış doğal taş numunelerinin polarizan mikroskop yöntemi yardımıyla petrografik özellikleri incelenmiştir. Petrografik analizlerde TS EN 12407 [25] standardından yararlanılmıştır.

2.2.3. Yüzey Parlaklık Ölçümü

Çalışmada kullanılan doğal taş numunelerinin yüzeylerinde yüzey parlaklık ölçümü gerçekleştirilmiştir. Parlaklık ölçümleri PCE-GM100 marka bir parlaklık ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Parlaklık ölçümleri için 5x5x2 cm ebatlarında numuneler kullanılmış ve her plaka yüzeyinden 3 adet okuma yapılmıştır. Bu çalışmada 60°'lik ölçüm açısı kullanılmıştır. Doğal

2.2.4. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

Doğal taşın yüzeyindeki mikro ölçekteki yükselti değişiminin belirlenmesi amacıyla yüzey pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Doğal taş numunelerinin pürüzlülük ölçümlerinin belirlenmesinde Ra, Rq ve Rz parametrelerini ölçebilen PCE-RT11 marka bir pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ra parametresi doğal taş kalite kontrolünde (aritmetik ortalama yüksekliği) en sık kullanılan uluslararası pürüzlülük parametresidir. Rq (karekök ortalama pürüzlülüğü) parametresi yüzey yükseklikleri dağılımının standart sapmasını göstermektedir. Rz parametresi ise, ölçülen yüzeydeki en yüksek beş nokta değeri toplamının en düşük beş nokta değeri toplamının ortalamasıyla elde edilen sayıdır. Yüzey pürüzlülük değeri ölçümü yapılan numunelere ait görünüm Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Yüze pürüzlülük değeri ölçümü


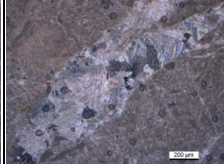
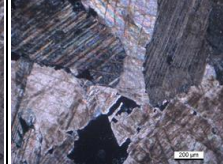
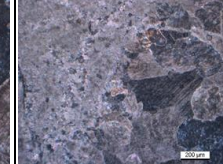
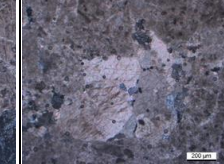
3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Petrografik Analiz Sonuçları

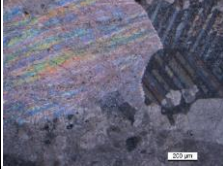
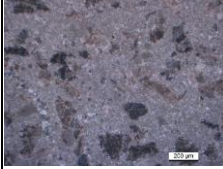
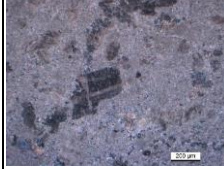
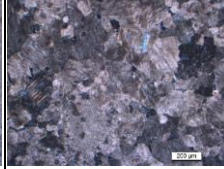
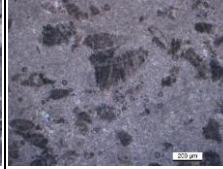
Petrografik analizler, 200°C, 600°C, 700°C, 800°C ve 900°C sıcaklığa maruz kalmış doğal taş

numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yüksek sıcaklıklara maruz kalmış doğal taş numunelerine ait petrografik tanımlama ve ince kesit görüntüleri Çizelge 1 ile Çizelge 6 arasında verilmiştir. Petrografik analizler neticesinde tüm kireçtaşı numunelerinin ana bileşeninin kalsit olduğu tespit edilmiştir. Petrografik analizler neticesinde tüm kireçtaşı numunelerinin ana bileşeninin kalsit olduğu tespit edilmiştir. Petrografik incelemeler neticesinde, genel olarak 700°C sıcaklıktan itibaren tüm numunelerde kalsit kristallerinde irileşme ve granoblastik doku oluşumu görülmüştür. Bu da kireçtaşı numunelerinde rekristalizasyonun başladığını göstermektedir. Ayrıca, tüm numunelerin hamur renginde koyulaşma ve fosil izlerinde değişim gözlenmiştir. 800°C sıcaklıkta ise tüm numunelerin içindeki fosil kavkılarının büyük oranda yok olduğu ve kalsit mineralinde bozulma olduğu tespit edilmiştir. 900°C sıcaklık sonrasında ise tüm numunelerde kalsit kristallerinin kaybolduğu ve karbonatlı yapının tamamen altere olduğu gözlenmiştir.



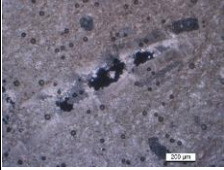

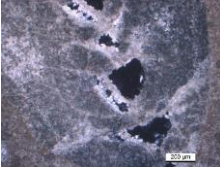
Çizelge 1. Kalecik numunesine ait petrografik analiz

200°C	600°C	700°C	800°C	900°C
				
Kayacın hamuru karbonat matrikslidir. Çatlaklar içerisinde kalsit dolgular ve fosil kavkılarını net olarak gözlenmektedir.	Kayacın hamurundaki karbonat matriksi irileşmiş olup. çatlaklardaki kalsit dolguları ve fosil kavkılar ilksel varlığını korumuştur.	Hamurdaki kalsitler irileşmiş ve granoblastik doku oluşturmuştur. Rekristalizasyon başlamıştır. Çatlaklar içerisinde kalsit dolgular korunmakta ancak sıcaklık artışıyla birlikte fosil kavkılar varlığını kaybetmeye başlamıştır	Kayacın hamuru içerisindeki kalsit dolgular irileşmiş ve rekristalizasyon belirgin hale gelmiştir. Fosil kavkılar büyük oranda gözlenmemektedir.	Çatlaklarda kalsit dolgular varlığını korurken. rekristalizasyon mevcuttur. Fosil kavkılar ise yok olmuştur.

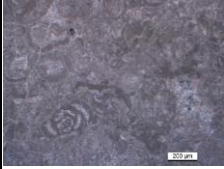

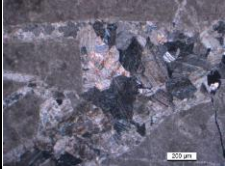
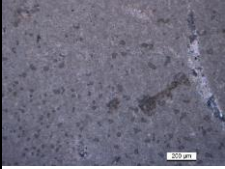
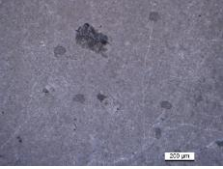
Çizelge 2. Yarımiş numunesine ait petrografik analiz

200°C	600°C	700°C	800°C	900°C
				
<p>Kayacın doğal yapısında kısmen rekristalizasyon mevcut iken çatlaklarda iri kalsit dolguları gözlenmektedir. Fosil kavkuları ise gözlenmemektedir.</p>	<p>Kayacın doğal yapısında çok ciddi değişim gözlenmemektedir. Kayaç içerisinde fosil kavkılar gözlenmemektedir.</p>	<p>Genel olarak bir değişim görülmemiştir aynı zamanda kalsit ve kalsit dolguları mevcuttur.</p>	<p>Hamurda gözlenen kalsitler sıcaklık artışıyla birlikte irileşmiş iken granoblastik dokuya doğru geçiş görülmektedir.</p>	<p>Kalsit kristallerinde renk değişimleri başlamış ve aynı zamanda dilinim izleri ovalleşmiştir. Kalsitin dıştan içe doğru girişim rengi, 4. diziden (parlak. Canlı, pastel tonlar), 2. diziye (donuk ve mat tonlar) geçiş göstermiştir.</p>


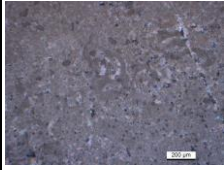
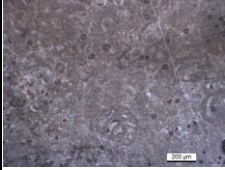
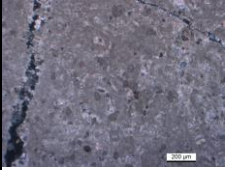
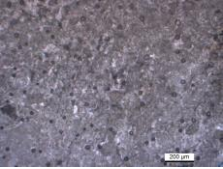
Çizelge 3. Pervari numunesine ait petrografik analiz

200°C	600°C	700°C	800°C	900°C
				
<p>Hamuru karbonattan oluşmaktadır. İri ve bol fosilli bir örnek olup kalsit kristalleri nummulite fosilini içermektedir.</p>	<p>Nummulite fosilleri kısmen korunmakta ancak kavkularında renk değişimleri başlamıştır.</p>	<p>Hamurun genel görünümünde koyulaşma hakimdir. Halen fosil kavkuları görülürken fosiller parçalanmış, renk değişimine uğramış, miktarca azalmış ve iriliğini kaybetmiştir.</p>	<p>Fosil kavkılar ovalleşmeye doğru eğilim gösterirken, 700 °C'de gözlenen özellikler varlığını korumaktadır.</p>	<p>Örneğin genel fiziki özelliklerinde değişim geliştiği gözlenmekte ve ayrıca, fosil kavkularında ise daha fazla merkezden kırılma gözlenmektedir.</p>

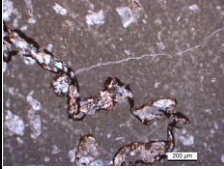
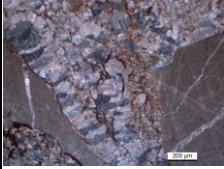

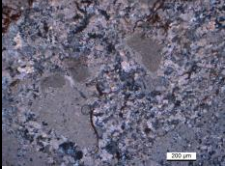
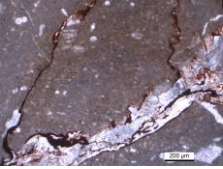
Çizelge 4. Tamara Bej numunesine ait petrografik analiz

200°C	600°C	700°C	800°C	900°C
				
<p>Hamurda karbonat matriksi görülmekte ve küçük kalsit kristalleri mevcuttur. Çatlaklar az da olsa kalsit dolgusu içermektedir.</p>	<p>Hamurda ciddi bir değişim gözlenmemektedir. Ancak fosil kavkuları şekil değişikliğine uğramaya başlamıştır.</p>	<p>Çatlaklarda kalsit dolgusu mevcut iken kalsit kristalleri irileşmiş ve granoblastik yapı oluşmaya başlamıştır. Fosil kavkuları varlığını kaybetmeye yüz tutmuştur.</p>	<p>Örnek tamamen karbonat matriksinden oluşmaya başlamış ve çatlaklarda kalsit kristalleri oldukça azalmıştır. Kalsitlerde dilinim izleri net olmayıp bozunmaya uğramış, rengi 4.diziden 3.diziye geçiş göstermiştir.</p>	<p>Örnek tamamen hamurdan oluşmuştur. Bünyesinde çok küçük kalsit kristalleri bulunurken bozunmaya uğramış, fosiller ise tamamen yok olmuştur.</p>

Çizelge 5. Tamara Brown numunesine ait petrografik analiz

200°C	600°C	700°C	800°C	900°C
				
<p>Hamur karbonat matriksli olup bünyesinde kalsit kristalleri bulunmaktadır. Örnek bol fosilli olup Tamara bej örneğine göre farklı fosil kavkuları mevcuttur.</p>	<p>Hamurda kalsit kristallenmesi artmakta ve kalsitler irileşmektedir. Aynı zamanda kalsit dolgular ve fosil kavkılar gözlenmektedir.</p>	<p>Hamur karbonatlı yapıdadır. Fosil kavkılar fiziksel olarak değişime uğramış ve netliğini kaybetmeye başlamıştır. Ancak bazı fosil kavkuları halen ilksel şeklini korumaktadır.</p>	<p>Hamur bu sıcaklıkta biraz daha kalsitten arınmış ve kahverengiye dönüşmeye başlamış olup çatlaklarda kalsit dolgusu görülürken bazı fosiller korunmaktadır.</p>	<p>Hamur yapısı tamamen bozunmuş ve kahverengi görünüm belirginleşmiştir. Fosil kavkılar ise yüksek sıcaklığa rağmen varlığını korumuş ancak fiziki şekilleri ciddi değişime uğramıştır.</p>

Çizelge 6. Roza Vera numunesine ait petrografik analiz

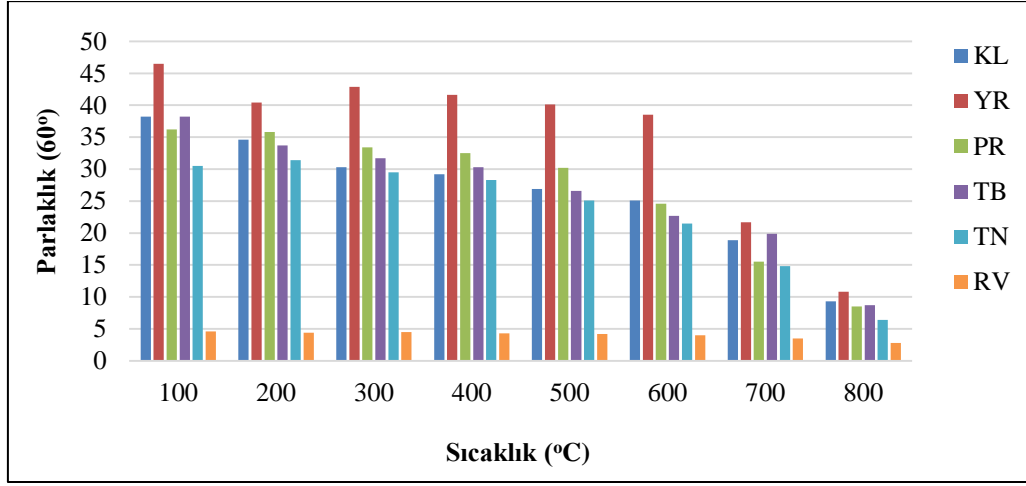
200°C	600°C	700°C	800°C	900°C
				
<p>Petrografik adı kireçtaşı mermeridir. Bol çatlaklı olup çatlaklarda kalsit ve demir oksitler bulunmaktadır. Hamur, ince taneli ve karbonat-kil? katkıdır. Hamurun içinde irili ufaklı kalsit kristalleri mevcuttur.</p>	<p>Çatlaklardaki kalsitler irileşerek granoblastik yapıya dönüşmektedir ve 200°C'deki örnek ile hemen hemen aynı özellikler gözlenmektedir.</p>	<p>Hamurda biraz daha kalsit kristalleri belirginleşmiştir. Çatlaklardaki kalsit kristalleri 600°C sıcaklıktaki örnek ile aynı düzeydedir.</p>	<p>Hamurda killeşmeler (kil minerallerinin bozulması) gözlenmekte ve kalsit kristalleri irileşmektedir. Demir oksit hala mevcuttur.</p>	<p>Hamurda kalsit kristalleri hala mevcuttur fakat karbonatlı yapı tamamen altere olmuş ve killeşmiştir. Damarlarda yer alan kalsit ve demir oksit hakimiyetini korumaktadır.</p>

3.2. YüzeY Parlaklık Ölçüm Sonuçları

Doğal taş numunelerine ait yüzeY parlaklık ölçüm sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir. Bu çalışmada, parlaklık okuma değerleri için 60°'lik ölçüm açısı kullanılmıştır. YüzeY parlaklık ölçüm sonuçları incelendiğinde, tüm numunelerin sıcaklık artışına bağılı olarak yüzeY parlaklık değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Parlaklık değerlerinde en fazla düşüşün olduğu sıcaklık 700 C'dir. Bu sıcaklıktan itibaren kalsit mineralinin yapısının hızla bozulduğu ve taşın yüzeY parlaklık değerinde azalışa neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, RV numunesi en düşük parlaklık değerine sahip olan numunedir. Bu numune diğerlerine kıyasla farklı mineralojik bileşenlere sahiptir ve içeriğinde kalsit minerali dışında mineral (demir) içermektedir. Gürcan ve arkadaşları [19] ana mineral kalsitin dışında biyotit gibi demirce zengin minerallerin varlığının taşların yüzeY parlaklık özelliğini azalttığını belirtmişlerdir.

Çizelge 7. YüzeY parlaklık ölçüm sonuçları

°C	Parlaklık (60°)					
	KL	YR	PR	TB	TN	RV
100	38,2	46,5	36,2	38,2	30,5	4,5
200	34,6	40,4	35,8	33,7	31,4	4,6
300	30,3	42,9	33,4	31,7	29,5	4,4
400	29,2	41,6	32,5	30,3	28,3	4,2
500	26,9	40,1	30,2	26,6	25,1	4,5
600	25,1	38,5	24,6	22,7	21,5	4,0
700	18,9	21,7	15,5	19,9	14,8	3,5
800	9,3	10,8	8,5	8,7	6,4	2,8
900	-	-	-	-	-	-



Şekil 7. Yüksek sıcaklık ve parlaklık değişimleri

3.3. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Sonuçları

Doğal taş numunelerine ait yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları Çizelge 8’de verilmiştir.

Ölçüm sonuçları incelendiğinde 100°C ile 600°C sıcaklıklar için pürüzlülük değerleri arasında doğrusal bir ilişki gözlenmemiştir. Numunelerin

Ra pürüzlülük değerleri 600°C’ye kadar 0,05 µm ile 0,15 µm arasındadır. 700°C ve üzerindeki sıcaklıklarda tüm numunelerin pürüzlülük değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir.

Bunun nedeni çatlak oluşumunun artması ve kristal kararlılığın azalması olabilir. Ayrıca, 900°C sıcaklıkta doğal taşlarda bozunma fazla

Çizelge 8. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları

		Sıcaklık (°C)								
		100	200	300	400	500	600	700	800	900
KL	Ra	0,08	0,10	0,12	0,13	0,11	0,13	0,18	0,20	-
	Rq	0,10	0,12	0,13	0,16	0,11	0,14	0,17	0,24	-
	Rz	0,55	0,61	0,65	0,65	0,64	0,58	0,70	0,85	-
YR	Ra	0,05	0,09	0,12	0,11	0,14	0,13	0,15	0,16	-
	Rq	0,12	0,15	0,15	0,24	0,17	0,11	0,35	0,09	-
	Rz	0,45	0,56	0,60	0,62	0,57	0,47	0,68	0,39	-
PR	Ra	0,07	0,09	0,14	0,11	0,13	0,12	0,16	0,19	-
	Rq	0,10	0,13	0,18	0,14	0,19	0,21	0,19	0,23	-
	Rz	0,52	0,64	0,70	0,68	0,78	0,75	0,82	0,88	-
TB	Ra	0,10	0,11	0,12	0,14	0,10	0,14	0,15	0,17	-
	Rq	0,14	0,18	0,20	0,20	0,17	0,15	0,23	0,32	-
	Rz	0,58	0,79	0,75	0,77	0,72	0,62	0,84	0,86	-
TN	Ra	0,08	0,10	0,09	0,12	0,13	0,14	0,17	0,19	-
	Rq	0,08	0,16	0,32	0,20	0,18	0,24	0,25	0,30	-
	Rz	0,50	0,75	0,60	0,68	0,74	0,76	0,79	0,80	-
RV	Ra	0,12	0,13	0,12	0,14	0,15	0,15	0,21	0,25	-
	Rq	0,16	0,20	0,24	0,21	0,18	0,11	0,18	0,20	-
	Rz	0,65	0,75	0,88	0,87	0,80	0,86	0,87	0,91	-

olduğundan dolayı pürüzlülük değeri ölçülemedi. RV numunesinin pürüzlülük değerleri diğer numunelere kıyasla fazladır. RV numunesi içerisinde kalsit minerali dışında ikincil koyu renkli (demir minerali) mineral bulunmaktadır. Demir mineralinin varlığı ve kayaç içerisindeki dağılım ve oranının pürüzlülük değerinin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, yüksek sıcaklığın doğal taş pürüzlülük özelliklerine etkisi ile ilgili yapılan çalışmalarda sıcaklığın minerallerin genişmesine neden olarak kayaçta mikro çatlak oluşumunu artırdığı ve mineral ayrılmasına yol açtığı belirtilmiştir [14,22].

4. SONUÇLAR

Yüksek sıcaklığın doğal taşların petrografik, parlaklık ve pürüzlülük özelliklerine olan etkilerinin araştırıldığı çalışmanın sonuçlarından elde edilen verilere göre;

- Genel olarak, tüm numunelerde 700°C sıcaklıktan itibaren kalsit kristallerinde irileşme ve granoblastik dokuya geçiş görülmüştür. Bu olay numunelerde rekristalizasyon olayının başladığının göstergesidir. Ayrıca fosil izlerinde değişim ve fosil miktarında azalma olduğu gözlenmiştir. 800°C sıcaklıkta ise tüm numunelerde fosil kavkuların büyük oranda yok olduğu ve kalsit kristalinde bozulma olduğu tespit edilmiştir. 900°C sıcaklık sonrasında ise tüm numunelerde kalsit kristallerinin kaybolduğu ve karbonatlı yapının tamamen altere olduğu gözlenmiştir.
- Tüm numunelerin yüzey parlaklık değerlerinin sıcaklık artışıyla birlikte azaldığı ve bu azalışın özellikle 700°C sıcaklıktan itibaren belirginleştiği gözlenmiştir. Bunun nedeni kalsit mineralinin yapısında bu sıcaklıktan itibaren bozulmanın daha fazla gerçekleşmesidir. Ayrıca, numuneler arasında en düşük parlaklık değeri RV numunesine aittir. Bu numune kalsit minerali dışında mineral (demir) içermektedir. Demir minerali varlığının doğal taş numunelerinin parlaklık değerini azalttığı düşünülmektedir.

- Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları incelendiğinde 700 °C sıcaklıktan itibaren tüm numunelerde belirgin bir şekilde pürüzlülük artışı gözlenmiştir. Bunun nedeni, sıcaklıkla birlikte minerallerin genişmeye uğraması ve dolayısıyla da numunelerde mikro çatlak oluşumunun artmasıdır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2018-6808 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Chakrabarti, B., Yates, T., Lewry, A., 1996. Effect of Fire Damage on Natural Stonework in Buildings. *Construction and Building Materials*, 10 (7), 539-544.
2. Dong, Z., Sun, Q., Ye, J., Zhan, W., 2020. Changes in Color and Roughness of Red Sandstone at High Temperatures, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 79, 1959-1966.
3. Sanmartín, P., Siva, B., Prieto, B., 2011. Effect of Surface Finish on Roughness, Color and Gloss of Ornamental Granites, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 1239-1248.
4. Zhang, W, Sun, Q., Zhu, S., Wang, B., 2017. Experimental Study on Mechanical and Porous Characteristics of Limestone Affected by High Temperature, *Applied Thermal Engineering*, 110, 356-362.
5. Kılıç, O., 2006. The Influence of High Temperatures on Limestone P Wave Velocity and Schmidt Hammer Strength, *Technical note, International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences*, 43, 980-986.
6. Guo, Q., Su, H., Li, J., Yin, Q., Jing, H., Yu, L., 2020. An Experimental Study on the Fracture Behaviors of Marble Specimens Subjected to High Temperature Treatment, *Engineering Fracture Mechanics*, 225, 106862.
7. Sarı, D., Yavuz, H., 2001. Mermer Parlaklığının Nicel Tanımı. *Türkiye III.*

- Mermer Sempozyumu (MERSEM '2001) Bildiriler Kitabı 3-5 Mayıs 2001/Afyon.
8. Kılıç, Ö., 2014. Application of Ultrasonic Velocity Measurement and Thermal Analysis for Determination of Limestone Quality, Physical Problem of Mineral Processing 50, 525-533.
 9. Ozguven, A., Ozcelik, Y., 2013. Investigation of Some Property Changes of Natural Building Stones Exposed to Fire and High Heat, Constr. Build. Mater. 38, 813-821.
 10. Kılıç, O., 2006. Effects of Limestone Characteristics Properties of Calcination Temperature on Lime Quality, Asian Journal of Chemistry, 18(1), 655-666.
 11. Sengun, N., 2014. Influence of Thermal Damage on The Physical and Mechanical Properties of Carbonate Rocks, Arab J Geosci., 5543-5551.
 12. Kompanikova, Z., Heras, M.G., Michnova, J., Durmekova, T., Vlcko, J., 2014. Sandstone Alterations Triggered by Fire-Related Temperatures, Environ Earth Sci., 72, 2569-2581 DOI 10.1007/s12665-014-3164.
 13. Biró, A., Hlavicka, V., Lubló, E., 2019. Effect of Fire-Related Temperatures on Natural Stones, Construction and Building Materials, 212, 92-101.
 14. Vazquez, P., Acuña, M., Benavente, D., Gibeaux, S., Navarro, I., Heras, M.G., 2016. Evolution of Surface Properties Of Ornamental Granitoids Exposed To High Temperatures, Construction and Building Materials 104 (1), 264-275.
 15. Gómez, W.S.G., Quintana, P., Pat, A.M., Avilés, F., Crespoa, J.M., Gil, J.J.A., 2015. Thermal Effects on the Physical Properties of Limestones from the Yucatan Peninsula. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 75, 182-189.
 16. Erdogan, M., 2000. Measurement of Polished Rock Surface Brightness by Image Analysis Method, Engineering Geology, 57, 65-72.
 17. Heras, M.G., Vazquez, P., Carrizo, L., For, R., Alonso, F.J., 2010. Effects of High Temperatures in Building Granites: Micro-Cracking Patterns and Ultrasound Velocity Attenuation, Geologica Balcanica, 39(1-2), 138.
 18. Cevheroğlu, S., Dağ, A., Karakuş, A., 2018. Investigation of the Effects of Marble Material Properties on the Surface Quality, Advances in Materials Science and Engineering, 4, 1-7.
 19. Gürcan, S., Goktan, R.M., Yıldız, A., 2014. Effect of Mineralogical and Microstructural Properties on Surface Roughness and Gloss of Some Ornamental Marbles Subjected to Polishing Process, X-Ray Spectrometry, 43, 70-78.
 20. Hajpál, M., 2006. Thermal Stresses. In Fracture and Failure of Natural Building Stones. Springer, Netherlands, 439-445.
 21. Karaca, Z., 2012. Relationship Between The Mechanical Properties and The Surface Roughness of Marble, International Journal of Materials Research, 103 (5), 633-637.
 22. Öcal, A.D., Dal, M., 2012. Doğal Taşlardaki Bozunmalar, Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, Muka Matbaası.
 23. Allison, R.J., Bristow, G.E., 1999. The Effects of Fire on Rock Weathering: Some Further Considerations of Laboratory Experimental Simulation, Earth Surface Processes and Landforms, 24(8), 707-713.
 24. Goudie, A.S., Allison, R.J., McLaren, S.J., 1992. The Relations Between Modulus of Elasticity and Temperature in the Context of The Experimental Simulation of Rock Weathering by Fire, Earth Surface Processes and Landforms, 17, 605-615.
 25. TS EN 12407, 2019. Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Petrografik inceleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Stereolitografi (SLA) Tekniği ile Basılan 3 Boyutlu Polimer Yapılarda İkincil Kürlenme Süresinin Mekanik Özelliklere Etkisi

İsmail AKTİTİZ^{*1,2}, Kadir AYDIN², Alparslan TOPCU¹

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

²Çukurova University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Adana

Geliş tarihi: 25.11.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Öz

Sıvı fotoduyarlı reçine ve lazer ışığı kullanılarak yüksek boyutsal hassasiyetin elde edildiği Stereolitografi (SLA) yöntemi, eklemeli imalat yöntemleri arasında en dikkat çeken tekniklerden birisi olmuştur. Bu çalışmada, SLA cihazı kullanılarak 3B polimer parçalar basılmış, ikincil kürlenme süresinin polimer yapıların mekanik (çekme testi, çentik darbe testi) ve termal (diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi) özelliklerine etkisini incelemek için farklı sürelerde (30, 60, 180 ve 300 dk) UV ikincil kürlenme işlemi uygulanmıştır. İşlem uygulanmış polimerlerin elastisite modülü değerinde yaklaşık %49'luk bir artış gerçekleşmiş ve 63,71 MPa mertebelerine ulaşılmıştır. DSC analiz sonuçları 180 dakika ve üzeri ikincil kürlenme proseslerinin karbon-karbon çift bağlarının oluşması için yeterli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat, Stereolitografi (SLA), Fotoduyarlı reçine, Ultraviyole kürlenme

The Effect of Post-Curing Time on Mechanical Properties in 3D Polymer Materials Printed by Stereolithography (SLA) Method

Abstract

Stereolithography (SLA) is one of the most attractive methods in additive manufacturing approaches since obtained high dimensional sensitivity using liquid photosensitive resin and laser light. In this study, 3D polymer materials were fabricated by SLA device, and the ultraviolet post-curing process was applied at different durations (30, 60, 180, and 300 min) to investigate the effect of post-curing time on mechanical (tensile, Charpy impact tests) and thermal (DSC) properties of polymer materials. Elasticity Modulus value of post-cured polymer materials was increased by approximately 49% and achieved the level of 63.71 MPa. It was shown with the results of DSC analysis that the post-curing processes with the 180 min. and above is adequate since the carbon-carbon double bonds occurred.

Keywords: Additive manufacturing, Stereolithography (SLA), Photosensitive resin, Ultraviolet curing

*Sorumlu yazar (Corresponding author): İsmail AKTİTİZ, iaktitiz@atu.edu.tr

1. GİRİŞ

Eklemeli imalat geleneksel üretim yöntemlerinden farklı olarak özel avantajlara sahip yeni geliştirilmiş bir üretim prosesidir [1-5]. Yaygın olarak 3 boyutlu (3B) baskı olarak bilinen eklemeli imalat, parçaları direkt olarak dijital dosyadan katman katman üretim aşamasıdır. Bu üretim yöntemi 3B modelden bitmiş ürüne geçiş sürecini basitleştirirken, birçok endüstride etkisi olan hızla büyüyen bir alandır. Geleneksel imalat yöntemlerinin aksine, büyük miktarlarda parça üretmek için bir kalıp üretimini gerektiren biçimlendirme süreçleri veya ham bir malzeme parçasını istenen şekle getirilirken önemli miktarlarda sarf malzeme israfı gibi durumları ortadan kaldırmaktadır [6-10]. Son yıllarda 3B baskı enerji, biyomedikal, otomotiv gibi birçok uygulama alanlarına entegre olmuştur [11-14]. Stereolitografi (SLA) [15,16], eriyik yığıma modeli (FDM) [17,18], seçici lazer sinterleme (SLS) [19,20], katmanlı nesne imalatı (LOM) [21,22], üç boyutlu baskı (3DP) [23,24] ve lazer metal biriktirme (LMD) [25,26] yaygın olarak kullanılan eklemeli imalat yöntemleri arasındadır.

Stereolitografi (SLA), eklemeli imalat yöntemleri arasında en dikkat çeken teknolojilerden bir tanesidir. Bu teknikte, akışkan fotoduyarlı malzeme, lazer ışığı ile vektörel taranarak kürlenip, yüksek boyut hassasiyetlerinde 3B polimer yapılar elde edilmektedir. Bu yöntemin en büyük sınırlamaları ise lazer ışık boyutu ve z eksenindeki katman yükseklik artışıdır [27,28]. SLA yönteminin bu avantajlarına rağmen basılan 3B polimer yapıların mekanik performansları istenilen düzeylerde olmadığı için daha ileri proses işlemleri gerekmektedir. SLA yöntemi ile basılan 3B polimer yapılarıdaki polimerizasyon süresi bu yapıların mekanik özellikleri, yüzey kalitesi, boyut hassasiyeti gibi malzeme özelliklerini etkilemektedir. SLA ile basılan parçaların kürleme seviyesi termal ısıl işlem ve ultraviyole (UV) radyasyon gibi ikincil kürleme teknikleri ile değiştirilebilmektedir [29-31]. UV kürleme ile basılan parçalarda daha az çarpılmalar ve kabul edilebilir mekanik özellikler elde edildiği için daha fazla tercih edilmektedir [32].

Son yıllarda araştırmacılar SLA yönteminin geniş uygulama alanlarından dolayı bu yöntem ile basılan parçaları daha da fonksiyonel hale getirmek için birçok çalışma yapmışlardır. Zhao ve arkadaşları ikincil kürleme prosesleri ile malzemenin maksimum çekme dayanımı, sertlik, boyutsal varyasyon, yüzey pürüzlülüğü gibi malzeme özelliklerini incelemişlerdir. UV ile yapılan kürleme işleminde %70'lere varan mekanik özelliklerde iyileşme meydana gelirken mikrodalga ile yapılan kürleme işleminde %15 oranlarında iyileşmeler elde etmişlerdir [29]. Salmoria ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, ikincil kürleme prosesleri ile çizgi tarama aralığının etkisini araştırmışlardır. 0,05 mm çizgi tarama aralığı olan numunelerde ikincil kürleme prosesleri ile yüksek kürleme seviyesi elde edilirken 0,15 ve 0,10 mm tarama aralığı olan numunelerde ise numune iç ve yüzey yapısından kaynaklanan homojen olmayan kürleme ve bu kürleme seviyelerinde düşüşler gözlemlenmişlerdir. İkincil kürleme prosesleri özellikle termal işlem, 0,10 mm çizgi tarama aralığında anizotropi derecesini minimize ederek kürleme derecesini artırmış, basılan polimer yapıların boyutsal davranışlarının daha iyi kontrol edilebilmesine olanak sağladığını gözlemlenmişlerdir [32]. De Leon ve arkadaşları fotoduyarlı reçine içerisine katkı yapmış ve basılan polimer yapılara ikincil kürleme işlemi uygulamışlardır. Kürleme yapılmayan polimer yapılar ile kıyaslandığında çekme testi sonrasında elde edilen tüm değerlerde yaklaşık %90 oranında artışlar elde etmişlerdir [33]. Mendes-Filipe ve ark. stereolitografi yönteminde kullanılan farklı foto duyarlı reçinelerde farklı ikincil kürleme parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. UV ikincil kürleme prosesleri ile homojen yüksek çapraz bağlı, daha iyi mekanik özelliklere sahip malzemeler elde edilmiştir [34].

Bu çalışmada, düşük maliyetli, yüksek üretim hızı ve yüksek boyutsal doğruluk gibi büyük avantajlara sahip SLA cihazı kullanılarak 3B polimer parçalar basılmış, ikincil kürleme süresinin polimer yapıların mekanik (çekme testi, çentik darbe testi) ve termal (DSC analizi) özellikleri üzerine etkilerini incelemek için farklı

sürelerde (30, 60, 180 ve 300 dk) UV ikincil kürlenme işlemi uygulanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

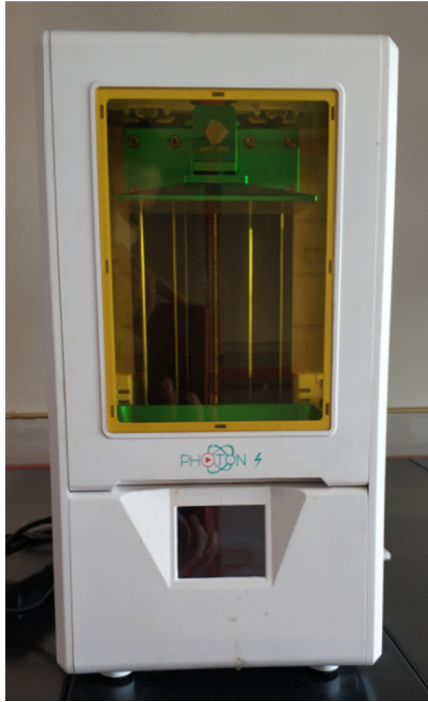
2.1. Materyal

SLA yazıcıda polimer yapıların basımı için Anycubic fotoduyarlı epoksi reçine (Frankfurt, Germany) kullanılmıştır. Fotoduyarlı epoksi reçine 405 nm kürlenme dalga boyu, 1,1 g/cm³ sıvı yoğunluğu, 6-10 s kürlenme zamanı ve 552 MPa.s viskozite değerlerine sahiptir. Basımı tamamlanan 3B polimer yapı yüzeylerinde reaksiyona girmemiş reçinelerin giderilmesi için %99,9 saflıkta BestPro IPA izopropil alkol (propan-2-ol CAS No:67-63-0) kullanılmıştır.

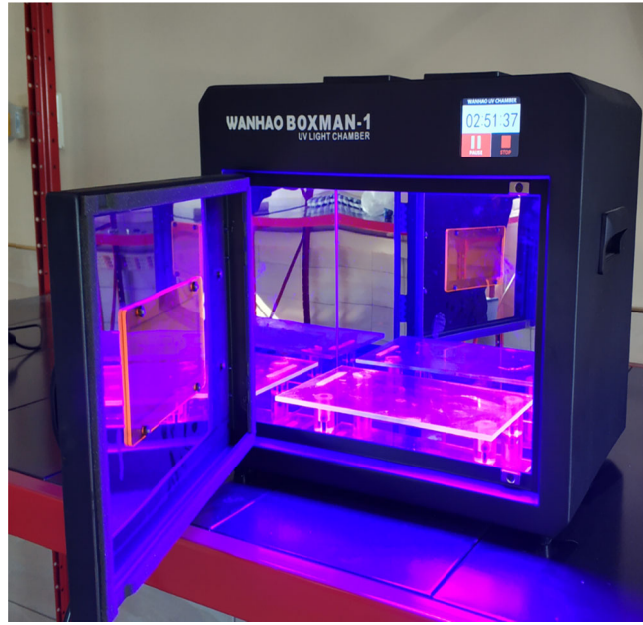
2.2. Metod

3B polimer yapıların basımında Şekil 1a'da verilen Anycubic Photon S SLA yazıcı kullanılmıştır.

Anycubic Photon S, 2560 x 1440 (2K) HD LCD ekranı sayesinde yüksek hassasiyet ile “z” ekseninde 25 µ mertebelerinde, XY inç başına düşen nokta sayısı (DPI) 47 µ ve Y ekseninde 1,25 µ mertebesinde baskı yapabilmektedir. Yazıcının baskı hacmi 115 x 65 x 165 mm³ katman çözünürlüğü ise 25-100 µm'dir. Bu çalışmada kullanılan test numunelerinin teknik çizimleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 3'te gösterilen 3B model çizimleri SolidWorks programı ile çizimi yapılmış sonrasında “.stl” formatında yazıcıya aktarılmıştır. Baskı parametreleri, taban ışıklaşma süresi 15 sn, ışıklaşma süresi 8 sn, katman kalınlığı 0,05 mm olarak seçilmiştir. Basımı tamamlanan polimer yapılar Şekil 4'te verilmiştir. Polimer yapılarda reaksiyona girmemiş polimer zincirlerinin reaksiyonlarını tamamlaması için numuneler Şekil 1b'de verilen Wanhao Boxman kürlenme cihazına yerleştirilmiş oda sıcaklığı 25°C'de farklı sürelerde (30, 60, 180 ve 300 dk) ikincil kürlenme yapılmıştır.

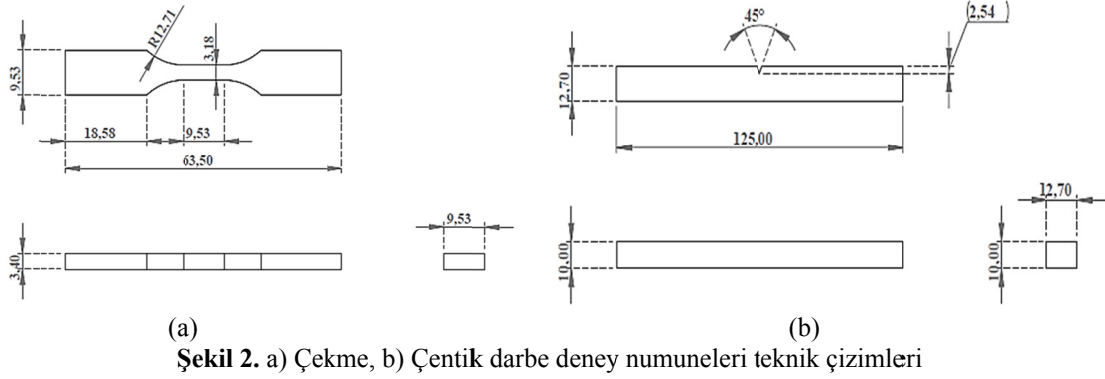


(a)

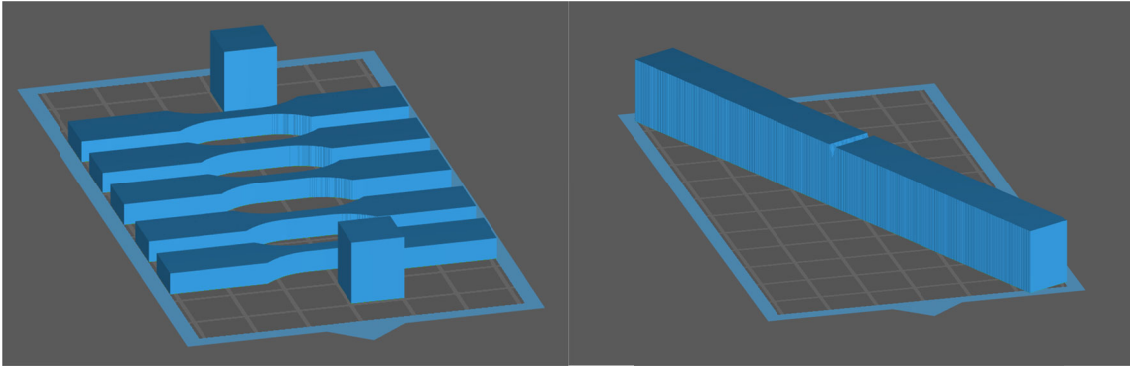


(b)

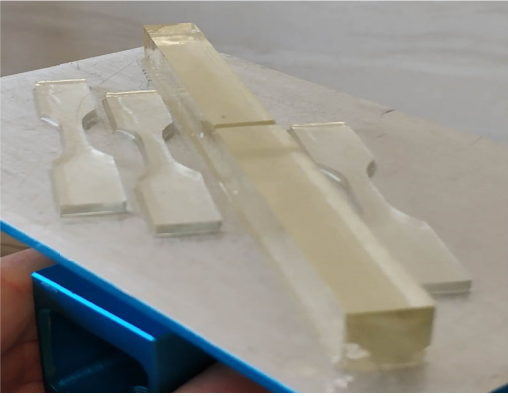
Şekil 1. a) 3B Stereolitografi (SLA) cihazı, b) İkincil kürlenme cihazı



Şekil 2. a) Çekme, b) Çentik darbe deney numuneleri teknik çizimleri



Şekil 3. 3B model çizimleri tamamlanan çekme ve çentik darbe numuneleri



Şekil 4. Basımı tamamlanan 3B polimer yapılar

2.3. Çekme Testi

3B basılan polimer yapıların elastite modülü, maksimum çekme dayanımı, yüzde kopma uzaması gibi mekanik özelliklerinin belirlenmesi için ASTM D638 test standartlarında, Şekil 2a'da

verilen ölçülere göre hazırlanan numuneler, Şekil 5'te verilen Shimadzu AGS-X 100 kN çekme cihazında 1 mm/dk. çekme hızında testler gerçekleştirilerek, kürleme süresinin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.



Şekil 5. 3B basılan polimer yapıların çekme testi

2.4. Charpy Darbe Testi

3B basılan polimer yapıların darbe dayanımını belirlemek için Charpy darbe testi, ASTM D6110 test standartlarında, Şekil 2b'de verilen ölçülere göre hazırlanan numuneler, Şekil 6'da verilen MITECH XJJ-50S Digital Charpy Impact Tester cihazında 25°C ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiş, kürlenme süresinin darbe dayanımına olan etkisi incelenmiştir.



Şekil 6. 3B basılan polimer yapıların Charpy darbe testi

2.5. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi

3B basılan polimer yapıların kürlenme derecelerini incelemek için diferansiyel taramalı kalorimetre analizi Mettler Toledo DSC 3 cihazında 30°C'den 300°C'ye kadar 10°C/dk ısıtma hızında azot ortamında gerçekleştirilmiştir.

3. SONUÇLAR

3.1. Çekme Testi

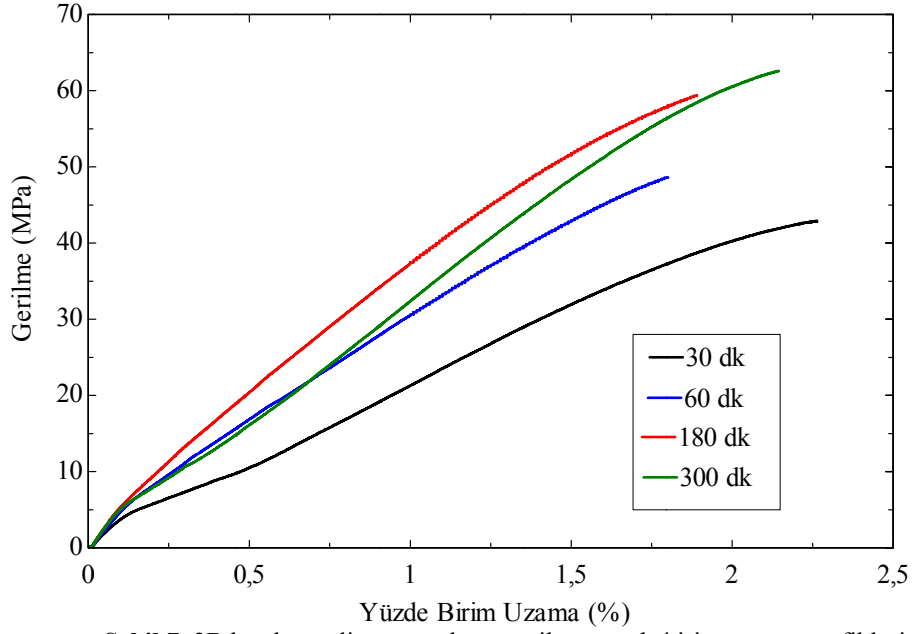
3B basılan polimer yapıların gerilme-yüzde birim uzama grafikleri Şekil 7'de verilmiştir. Elastisite

modülü, maksimum çekme dayanımı ve yüzde kopma uzaması gibi mekanik özellikleri Çizelge 1'de, çekme testi uygulanan numunelerin görüntüsü ise Şekil 8'de verilmiştir. Kopma yüzeyleri incelendiğinde numunelerde gevrek kopma gözlemlenmiştir. Her bir durum için 5'er test gerçekleştirilmiştir. Mühendislik gerilmesi yani Eşitlik 1 kullanılarak maksimum çekme dayanımı, Eşitlik 2 kullanılarak elastite modülü elde edilmiştir. Denklemlerde ' σ ' mühendislik gerilmesini, ' F ' uygulanan kuvveti, ' A_0 ' ilk yüzey alanını, ' E ' elastite modülünü ve ' ϵ ' mühendislik gerinimini temsil etmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde artan kürlenme süresi ile birlikte polimer yapıların elastisite modülünün, 180 dakika kürlenme uygulanan numunelerde yaklaşık %71 artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Maksimum çekme dayanımına baktığımızda ise 300 dakika kürlenme uygulanan polimer yapılarda yaklaşık %49 artış göstererek 63,71 MPa mertebelerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Elastisite modülü ve maksimum çekme dayanımındaki bu artışlar kürlenme süresinin artması ile birlikte polimer yapılarda polimerizasyon seviyesinin arttığını göstermektedir [26]. 30 dakika kürlenme yapılan numunelerde, yetersiz yapılan kürlenme sürelerinden kaynaklanan kürlenmemiş polimer zincirleri uygulanan yük altında açılarak yapıların ikili-üçlü doğrusal davranış sergilemesine sebebiyet vermiştir [35]. 60 dakika kürlenme yapılan numunelerde yüzde kopma uzaması %1,8 olmuştur. 3B baskı işlemi sırasında oluşan polimer zincirler yüksek çapraz bağ yoğunluğuna sahipken, ikincil kürlenme işlemi ile oluşan bağlar daha lineer ve zayıf bağlardır.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (2)$$

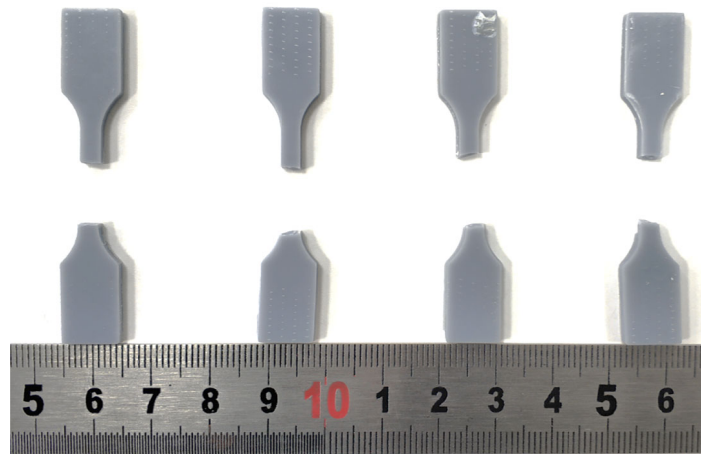
Birincil oluşan bağ yapılarına kıyasla, ikincil bağ yapılarının daha düşük çapraz bağ yoğunluğuna sahip olmasının sebebi ikincil polimerizasyon sırasında polimer zincirlerinin hareketinin daha yavaş olmasından kaynaklanmaktadır. Bu heterojenlik, 60 dakika kürlenme yapılan numunenin kopma uzamasının bu seviyelerde olmasına sebep olabilmektedir [34].



Şekil 7. 3B basılan polimer yapıların gerilme-yüzde birim uzama grafikleri

Çizelge 1. 3B basılan polimer yapıların mekanik özellikleri

Numune Kodu	Elastisite Modülü (MPa)	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)	Yüzde Kopma Uzaması (ϵ_k)	Darbe Dayanımı (kJ/m^2)
30 dk	559,884±4,3	42,764±2,2	2,26±0,3	20,581±2,6
60 dk	814,369±6,4	48,611±3,1	1,80±0,1	12,913±1,6
180 dk	958,335±8,3	59,375±2,3	1,89±0,3	2,32±0,8
300 dk	899,317±7,3	63,710±2,9	2,13±0,1	2,25±0,5

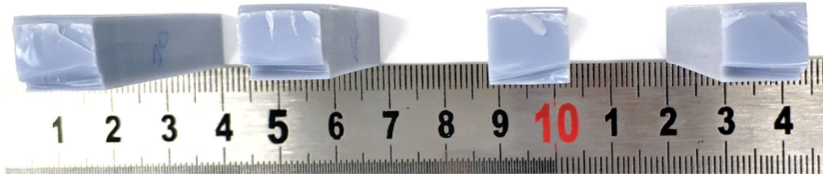


Şekil 8. 3B basılan polimer yapıların Çekme testi numuneleri (sırasıyla 30, 60, 180 ve 300 dakika)

3.2. Charpy Darbe Testi

3B basılan polimer yapıların Charpy darbe test sonuçları Çizelge 1’de, kırık yüzey görüntüleri Şekil 9’da verilmiştir. Her bir durum için 5’er test gerçekleştirilmiştir. Artan kürlenme süreleri ile birlikte malzemeler daha gevrek davranış sergilemiş, 30 dakika kürlenme yapılan numunelerde darbe dayanımı 20,58 kJ/m² seviyelerinde iken 300 dakika kürlenme yapılan numunelerde darbe dayanımı 2,25 kJ/m² seviyelerinde olduğu gözlemlenmiştir. Artan

kürlenme süresi ile birlikte polimer yapılarda reaksiyona girmiş polimer zinciri seviyesinin artması, malzemelerin daha gevrek davranış sergilemesine sebebiyet vermektedir [29]. 30 dakika kürlenme yapılan numune yüzeylerinde belirgin deformasyon gözlemlenirken, 180 ve 300 dakika kürlenme yapılan numunelerde çok az plastik deformasyon gözlemlenmiştir. Bu durum 180 ve 300 dakika kürlenme yapılan numunelerin 30 dakika kürlenme yapılan numunelere kıyasla daha gevrek davranış sergilediklerini göstermektedir.

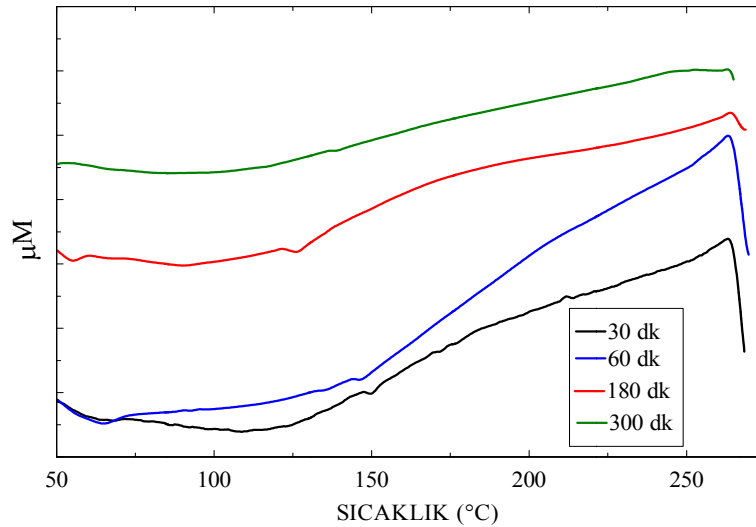


Şekil 9. 3B basılan polimer yapıların Charpy darbe testi numuneleri (sırasıyla 30, 60, 180 ve 300 dakika)

3.3. DSC Analizi

3B basılan polimer yapıların diferansiyel taramalı kalorimetre analiz sonuçları Şekil 8’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 30 ve 60 dakika kürlenme yapılan numunelerde ekzotermik pik görülürken, 180 ve 300 dakika kürlenme yapılan numunelerde herhangi bir ekzotermik pik görülmemiştir.

Ekzotermik pikler reaksiyona girmemiş karbon-karbon çift bağlarını göstermektedir [27]. 30 ve 60 dakika kürlenme sürelerinin bu bağların oluşumu için yetersiz kürlenme süreleri olduğu, 180 veya daha fazla kürlenme süresinin karbon-karbon çift bağlarının oluşumu için yeterli olacağı görülmektedir.



Şekil 10. 3B basılan polimer diferansiyel taramalı kalorimetre analiz (DSC) sonuçları

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada SLA yöntemi ile basılan 3B polimer yapıların farklı ikincil kürlenme süreleri (30, 60, 180, 300 dk) altında, yapıların mekanik ve termal özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Yapıların mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemek için çekme testi ve çentik darbe testi, ayrıca 3B basılan polimer yapıların kürlenme derecelerini incelemek için diferansiyel taramalı kalorimetre analizi yapılmıştır.

- Çekme deneyi sonuçları incelendiğinde artan kürlenme süreleri ile birlikte 3B polimer yapıların elastisite modülü, maksimum çekme dayanımı gibi özelliklerinde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Maksimum çekme dayanımı 300 dakika kürlenme uygulanan polimer yapılarda yaklaşık %49 artış göstererek 63,71 MPa mertebelerine ulaşmıştır.
- Çentik darbe testine göre artan kürlenme süreleri ile birlikte malzemeler daha gevrek davranış sergilemiş, 30 dakika kürlenme yapılan numunelerde darbe dayanımı 20,58 kJ/m² seviyelerinde iken 300 dakika kürlenme yapılan numunelerde darbe dayanımı 2,52 kJ/m² seviyelerine gelmiştir.
- Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizine göre, 30 ve 60 dakika kürlenme sürelerinin karbon-karbon çift bağların oluşumu için yetersiz kürlenme süreleri olduğu, 180 dakika veya daha fazla kürlenme süresinin bu bağların oluşumu için yeterli olacağı anlaşılmaktadır.
- Elde edilen bulgularla 180 dakika ikincil kürlenme süresi uygulanan polimer yapıların imalat, enerji, biyomedikal, otomotiv gibi alanlarda kullanılmasına olanak sağladığı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Choi, N., Kulitckii, V., Kottke, J., Kavakbasi, B.T., Choe, J., Yu, J.H., Yang, S., Park, J.H., Lee, J.S., Wilde, G., Divinski, S.V., 2020. Analyzing the “Non-equilibrium State” of Grain Boundaries in Additively Manufactured

- High-entropy CoCrFeMnNi Alloy Using Tracer Diffusion Measurements. *Journal of Alloys and Compounds*, 155757, 1-10.
2. Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., 2015. Introduction and Basic Principles. *Additive Manufacturing Technologies*, 1–18.
3. Kenevisi, M.S., Lin, F., 2020. Selective Electron Beam Melting of High Strength Al2024 Alloy; Microstructural Characterization and Mechanical Properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 155866, 1-9.
4. Eyers, D.R., Potter, A.T., 2017. Industrial Additive Manufacturing: A manufacturing systems perspective. *Computers in Industry*, 92-93, 208–218.
5. Delgado Camacho, D., Clayton, P., O’Brien, W. J., Seepersad, C., Juenger, M., Ferron, R., Salamone, S., 2018. Applications of Additive Manufacturing in the Construction Industry-A Forward-looking Review. *Automation in Construction*, 89, 110–119.
6. Gebhardt, A., 2011. Layer Manufacturing Processes. *Understanding Additive Manufacturing*, 31–63.
7. Frazier, W.E., 2014. Metal Additive Manufacturing: A Review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23(6), 1917-1928. doi:10.1007/s11665-014-0958-z .
8. Herzog, D., Seyda, V., Wycisk, E., Emmelmann, C., 2016. Additive Manufacturing of Metals. *Acta Materialia*, 117, 371–392.
9. Gebhardt, A., Hötter, J.S., 2016. Basics, Definitions, and Application Levels. *Additive Manufacturing*, 1–19.
10. Bose, S., Ke, D., Sahasrabudhe, H., Bandyopadhyay, A., 2018. Additive Manufacturing of Biomaterials. *Progress in Materials Science*, 93, 45–111.
11. Aktitiz, İ., Varol, R., Akkurt, N., Saraç, M.F., 2020. In-situ Synthesis of 3D Printable Mono- and Bi-metallic (Cu/Ag) Nanoparticles Embedded Polymeric Structures with Enhanced Electromechanical Properties. *Polymer Testing*, 106724, 1-8.
12. Javaid, M., Haleem, A., 2017. Additive Manufacturing Applications in Medical Cases:

- A Literature Based Review. Alexandria Journal of Medicine, 411-422.
13. Saraç, M.F., Oranlı, A., Aktitiz, İ., Yalçın, B.S., Varol, R., 2019. 3B Basılabilir Füme Silika Takviyeli Foto-Duyarlı Polimerlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 1793-1805.
 14. Saraç, M.F., Mert, M., Bülbül, İ., Aktitiz, İ., Yalçın, B.S., Varol, R., 2019. Stereolitografi ile 3B Basılabilir Nanokil Takviyeli Polimer Yapıların Mekanik Karakterizasyonu. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1584-1593.
 15. Weng, Z., Zhou, Y., Lin, W., Senthil, T., Wu, L., 2016. Structure-property Relationship of Nano Enhanced Stereolithography Resin for Desktop SLA 3D Printer. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 88, 234–242.
 16. Yun, J.S., Park, T.W., Jeong, Y.H., Cho, J.H., 2016. Development of Ceramic-reinforced Photopolymers for SLA 3D Printing Technology. Applied Physics A, 122 (6), 1-6.
 17. Skowrya, J., Pietrzak, K., Alhnan, M.A., 2015. Fabrication of Extended-release Patient-tailored Prednisolone Tablets Via Fused Deposition Modelling (FDM) 3D Printing. European Journal of Pharmaceutical Sciences, 68, 11–17.
 18. Goyanes, A., Chang, H., Sedough, D., Hatton, G.B., Wang, J., Buanz, A., Basit, A.W., 2015. Fabrication of Controlled-release Budesonide Tablets Via Desktop (FDM) 3D Printing. International Journal of Pharmaceutics, 496(2), 414–420.
 19. Fina, F., Goyanes, A., Gaisford, S., Basit, A.W., 2017. Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing of Medicines. International Journal of Pharmaceutics, 529(1-2), 285–293.
 20. Gan, X., Wang, J., Wang, Z., Zheng, Z., Lavorgna, M., Ronca, A., Fei, G., Xia, H., 2019. Simultaneous Realization of Conductive Segregation Network Microstructure and Minimal Surface Porous Macrostructure by SLS 3D Printing. Materials & Design, 107874, 1-10.
 21. Mueller, B., Kochan, D., 1999. Laminated Object Manufacturing for Rapid Tooling and Patternmaking in Foundry Industry. Computers in Industry, 39(1), 47–53.
 22. Zhang, Y., He, X., Du, S., Zhang, J., 2001. Al₂O₃ Ceramics Preparation by LOM (Laminated Object Manufacturing). The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 17(7), 531–534.
 23. Utela, B., Storti, D., Anderson, R., Ganter, M., 2008. A Review of Process Development Steps for New Material Systems in Three Dimensional Printing (3DP). Journal of Manufacturing Processes, 10(2), 96–104.
 24. Moon, J., Caballero, A.C., Hozer, L., Chiang, Y.M., Cima, M.J., 2001. Fabrication of Functionally Graded Reaction Infiltrated SiC–Si Composite by Three-dimensional Printing (3DP™) Process. Materials Science and Engineering: A, 298(1-2), 110–119.
 25. Cortina, M., Arrizubieta, J., Calleja, A., Ukar, E., Alberdi, A., 2018. Case Study to Illustrate the Potential of Conformal Cooling Channels for Hot Stamping Dies Manufactured Using Hybrid Process of Laser Metal Deposition (LMD) and Milling. Metals, 8(2), 102.
 26. Azarniya, A., Colera, X.G., Mirzaali, M.J., Sovizi, S., Bartolomeu, F., Weglowski, M., Wits, W.W., Yap, C.Y., Ahn, J., Miranda, G., Silva, F.S., Hosseini, H.R.M., Ramakrishna, S. ve Zadpoor, A.A., 2019. Additive Manufacturing of Ti–6Al–4V Parts Through Laser Metal Deposition (LMD): Process, Microstructure, and Mechanical Properties. Journal of Alloys and Compounds, 804, 163-191.
 27. Taormina, G., Sciancalepore, C., Bondioli, F., Messori, M., 2018. Special Resins for Stereolithography: In Situ Generation of Silver Nanoparticles. Polymers, 10(2), 212.
 28. Manapat, J.Z., Chen, Q., Ye, P., Advincula, R.C., 2017. 3D Printing of Polymer Nanocomposites via Stereolithography. Macromolecular Materials and Engineering, 302(9), 1600553, 1-13.
 29. Zhao, J., Yang, Y., Li, L., 2020. A Comprehensive Evaluation for Different Post-curing Methods Used in Stereolithography

- Additive Manufacturing. Journal of Manufacturing Processes, 56, 867–877.
30. De Pasquale, G., Bertana, V., Scaltrito, L., 2018. Experimental Evaluation of Mechanical Properties Repeatability of SLA Polymers for Labs-on-chip and bio-MEMS. *Microsystem Technologies*, 24(8), 3487–3497.
 31. Karalekas, D., Aggelopoulos, A., 2003. Study of Shrinkage Strains in a Stereolithography Cured Acrylic Photopolymer Resin. *Journal of Materials Processing Technology*, 136(1-3), 146–150.
 32. Salmoria, G.V., Ahrens, C.H., Beal, V.E., Pires, A.T.N., Soldi, V., 2009. Evaluation of Post-curing and Laser Manufacturing Parameters on the Properties of SOMOS 7110 Photosensitive Resin Used in Stereolithography. *Materials & Design*, 30(3), 758–763.
 33. León, A.S., de Molina, S.I., 2020. Influence of the Degree of Cure in the Bulk Properties of Graphite Nanoplatelets Nanocomposites Printed via Stereolithography. *Polymers*, 12(5), 1103.
 34. Mendes-Felipe, C., Patrocinio, D., Laza, J.M., Ruiz-Rubio, L., Vilas, J.L., 2018. Evaluation of Postcuring Process on the Thermal and Mechanical Properties of the Clear02™ Resin Used in Stereolithography. *Polymer Testing*, 115-121.
 35. Weng, Z., Zhou, Y., Lin, W., Senthil, T., Wu, L., 2016. Structure-property Relationship of Nano Enhanced Stereolithography Resin for Desktop SLA 3D Printer. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 88, 234-242.

Analysis of Splicing Method on Bursting Strength of the Knitted Fabrics

Seval UYANIK*¹

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adıyaman

Geliş tarihi: 30.11.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Abstract

The study was carried out as two parts. In the published previous part, the spliced yarn performances were investigated to reveal optimum splicing method in terms of fiber type and yarn count on the basis of splicing methods including air splicing, wet splicing and mechanical (twin) splicing by using pure and blended ring-spun yarns containing cotton, viscose, polyester, modal, and acrylic fibers at different yarn counts of Ne 20, Ne 30 and Ne 40. The study revealed that twin splicer was the best for cotton fiber and acrylic fiber, whereas it was the worst for regenerated cellulosic fibers. All splicer types can be used for polyester fiber, and the best splicer type was air splicer for fine yarns, on the contrary, it was twin splicer for coarse yarns. The current study which is the second part of the study aims to determine the bursting strength properties of the knitted fabrics on the basis of splice types. For this, the obtained yarns by splicing in different splicer in the previous work were knitted, and then the tests of structural properties and bursting strength were applied for the fabric samples. The results of the study unexpectedly indicate that splice types do not have effect on the bursting strength of the knitted fabrics in spite of the results of the previous study showing splice types clearly affect yarn strength. But, fiber types are effective on the bursting strength as expected. Besides, fabric structural properties do not have effect on the bursting strength because of constant knitting parameters.

Keywords: Bursting strength, Spliced yarn strength, Knitted fabric, Air splice, Wet splice, Twin splice, Fiber types, Yarn count

Örme Kumaşların Patlama Mukavemeti Üzerine Dügümleme Metotlarının Analizi

Öz

Çalışma iki bölüm halinde gerçekleştirildi. Bir önceki bölümde, Ne 20, Ne 30 ve Ne 40 farklı iplik numaralarında pamuk, viskon, polyester, modal ve akrilik elyaf içeren saf ve karışım ring iplikleri kullanılarak havalı splays, ıslak splays ve mekanik (twin) splays gibi splays (dügüm) yöntemlerine göre elyaf cinsi ve iplik numarası açısından optimum splays yöntemini ortaya çıkarmak için splayslı iplik performansları incelendi. Çalışma, mekanik (twin) splays metodunun pamuk lifi ve akrilik elyaf için en iyisi, rejenere selülozik lifler için en kötüsü olduğunu ortaya koydu. Tüm splays metotları poliester elyaf için kullanılabilir ve en iyi splays metodu ince iplikler için hava splays iken aksine kaba iplikler için mekanik (twin) splays idi. Çalışmanın ikinci bölümü olan bu çalışma, örme kumaşların splays metotları bazında patlama mukavemeti özelliklerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bunun için önceki çalışmada farklı düğümleyicilerle splays yapılarak elde edilen iplikler örülmüş, ardından kumaş numunelerine

*Sorumlu yazar (Corresponding author): : Seval UYANIK, suyanik@adiyaman.edu.tr

yapısal özellikler ve patlama mukavemeti testleri uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçları, beklenmedik bir şekilde, splays metotlarının iplik mukavemetini açıkça etkilediğini gösteren önceki çalışmanın sonuçlarına rağmen, splays metotlarının örme kumaşların patlama mukavemetine etkisi olmadığını göstermektedir. Ancak elyaf türleri beklendiği gibi patlama mukavemeti üzerinde etkilidir. Ayrıca, sabit örgü parametreleri nedeniyle kumaş yapısal özelliklerinin patlama mukavemetine etkisi yoktur.

Anahtar Kelimeler: Patlama mukavemeti, Splayslı iplik mukavemeti, Örme kumaş, Havalı splays, Islak splays, Mekanik (twin) spalys, Elyaf cinsi, İplik numarası

1. INTRODUCTION

Splicing is the ultimate method to eliminate yarn faults and problems of knots and piecing. It is a technique of joining two yarn ends by intermingling the constituent fibers so that the joint is not significantly different in appearance and mechanical properties with respect to the parent yarn. It is important that the quality of splice in the final yarn is high because low splice performance reduces the yarn breaking strength and elongation decrease, resulting in too many breaks in the machines during fabric production and consequently low yield [1-3].

There are many splicing methods including the pneumatic method, the mechanical method, the pneu-mechanical method and electrostatic method [4]. Among them, pneumatic splicing is the most popular. This basic pneumatic method can be converted into thermo splicer, injection splicer (especially water) and elasto splicer to suit the specific requirements of the material to be spliced.

The applications of the standard splicer are cotton, cotton blends, polyester, viscose, and cotton compact yarns [1]. The use of the injection splicer is recommended for splicing single and plied of vegetable fibers, OE-rotor yarns, and cotton compact yarns. The elasto splicer is especially useful for the splicing of elastic core yarns. The thermo splicer is used for the splicing of wool yarns and blends of them.

Mechanical splicing (twin disc splicing) is a less used method compared to pneumatic splicing [5]. The advantages of this method are the absence of air or any extraneous materials, and the reproducibility of the results.

Many researchers examined the tensile properties of spliced yarn in terms of yarn parameters splicing parameters and splicing methods in their works.

Kaushik et al. [6] indicated that wet splicing gives better property retention than dry splicing; retention of yarn properties in decreasing order was for yarns spun from polyester, polyester-rich blends, viscose, cotton, and wool, respectively; coarse ring spun yarns contribute the most to better-spliced yarn properties.

Cheng et al. [7,8] revealed that the yarn linear density has the most important effect on the strength, bending, abrasion, and appearance properties of spliced yarns in their two different studies.

Nawaz et al. [9] found that the strength properties of the splice region in natural and synthetic blended yarns improve as the synthetic fiber ratio increases.

Taşkın et al. [10] and Hassen et al. [5] proved that the type of splicing mechanism changes the properties of the splice region and wet splicing improves the strength and appearance properties of the splice region.

Gurkan Unal et al. [11] evaluated the retained spliced diameter with regard to splicing parameters and fiber and yarn properties and found that the fiber diameter, short fiber content, yarn count, yarn twist and opening air pressure affect the retained spliced diameter.

On the other hand, it is exactly known that the main factors affecting the bursting strength of the knitted fabrics are yarn strength, yarn type

(spinning method), yarn count, fabric density and knitting type [12-18].

This study was carried out as two parts. In the previous part, it was investigated that the spliced yarn performances in terms of three types of splicing methods including air splicing, wet splicing and mechanical splicing which is known as twin disc splicing of pure and blended ring yarns with various fibers and aiming to reveal optimum splicing method in terms of fiber type and yarn count. The study revealed that twin splicer is the best for cotton fiber and acrylic fiber, whereas it is the worst for regenerated cellulosic fibers. All splicer types can be used for polyester fiber, and the best splicer type is air splicer for fine yarns, on the contrary, it is twin splicer for coarse yarns [19].

This current study which is the second part of the study aims to determine the bursting strength properties of the knitted fabrics on the basis of splicing types and additionally raw material and yarn count. It is expected that the study will

contribute to the literature because splicing types including air splicing, wet splicing, and twin splicing is firstly researched in terms of bursting strength of the knitted fabrics.

2. MATERIAL AND METHOD

For this study, by using the raw materials were cotton (CO), viscose (CV), polyester (PES), modal (CMD) and acrylic (PAC), twenty seven pure and blended ring-spun yarns were produced at different yarn count including Ne 20, Ne 30 and Ne 40, and at different blend ratios which were 100%, 80-20%, 65-35%, and 50-50%. Modal and acrylic yarns with blend ratios of 80/20% and 65/35% could not be produced because of the textile mill could be only produced different yarn counts depending on the yarn blends that existed in the production process at that time due to the fact that the yarn samples production was very difficult and labor-intensive. The yarn properties were given in Table 1.

Table 1. Yarn properties [19]

Yarn count	Yarn type	CVm %	Thin -50%/km	Thick +50%/km	Neps +200%/km	Hairiness H	Elongation %	Tenacity cN/tex
Ne 20	100% CO	9.6	0	2.5	4.5	4.52	6.85	17.34
	100% CV	9.45	0	4	5	3.85	14.38	18.93
	100% PES	9.52	0	2	2	4.86	12.53	30.23
	80/20% CO/PES	11.41	0	10	5	5.79	6.4	16.97
	65/35% CO/PES	10.6	0	3.5	2	5.75	7.72	18.42
	50/50% CO/PES	10.32	0	1.5	0	5.32	9.5	20.00
	50/50% CO/CMD	9.76	0	2	3	5.32	7.49	17.76
50/50% CO/PAC	13.18	0	57	34	8.29	5.64	11.92	
Ne 30	100% CO	11.6	0	7	20	4.21	5.29	17.73
	100% CV	11.34	10	9	21	3.3	13.45	18.05
	100% PES	11.94	3	6	7	4.09	10.66	28.39
	80/20% CO/PES	13.06	0.5	38.5	27.5	4.84	6.75	17.18
	65/35% CO/PES	12.72	0.5	33	21.5	5.24	6.62	16.55
	50/50% CO/PES	12.43	1.5	21	18	4.6	9.03	20.03
	50/50% CO/CMD	11.28	0	6	9.5	4.85	6.55	17.05
50/50% CO/PAC	15.72	12	242	158	7.98	4.25	10.09	
Ne 40	100% CO	12.44	0	17.5	28.5	3.73	5.71	17.02
	100% CV	12.80	5	16	31	2.92	12.08	17.30
	100% PES	13.53	15	124.7	24	3.48	9.94	26.65
	80/20% CO/PES	14.81	20.5	94.5	80.5	4.7	4.84	15.06
	65/35% CO/PES	14.52	9.5	91.5	71	4.74	6.16	15.09
	50/50% CO/PES	13.94	7	63.5	46.5	4.18	6.68	18.46
	50/50% CO/CMD	12.24	0	24.5	29	3.49	6.92	17.56
50/50% CO/PAC	14.84	6	102.5	196.5	6.82	5.46	13.02	

Standard yarn tests including unevenness, imperfection, hairiness and tensile were performed to the obtained yarns after yarn manufacturing by relevant standards.

Before splicing the breaking strength and elongation of yarns were measured in Mesdan-Lab Splice Scanner-3 test device in accordance with TS 245 EN ISO 2062 standard. After this, the splicing

process was carried out for all yarns on Savio Polar IDLS winding machine having separate units of air splicer and wet splicer, and twin disc splicer for a certain period of time by using the same unit each time. After each splicing, the breaking strength and elongation values of spliced yarns were measured with the same device. The results were shown in Table 2 before and after splicing.

Table 2. Strength and elongation before and after splicing [19]

Yarn type	Yarn count Ne	Strength (kg)				Elongation (%)			
		Yarn***	Air	Wet	Twin	Yarn***	Air	Wet	Twin
100% CO	20	510	339	358	457	4.90	2.92	2.84	3.68
	30	301	233	251	300	3.31	2.30	2.41	2.79
	40	238	179	206	206	2.80	2.14	2.64	2.45
100% CV	20	519	476	409	449	13.06	11.98	10.6	10.37
	30	322	310	249	234	12.26	11.68	8.63	6.87
	40	331	313	172	174	10.37	10.02	7.62	6.02
100% PES	20	880	783	699	738	11.04	10.10	8.39	9.40
	30	552	446	483	479	9.09	7.76	7.98	8.41
	40	422	383	368	361	9.49	8.34	7.97	7.63
80-20% CO/PES	20	500	330	367	479	5.35	3.56	4.24	5.53
	30	320	251	319	314	4.62	3.41	4.68	4.11
	40	232	196	222	221	4.30	3.64	4.26	3.44
65-35% CO/PES	20	493	371	459	514	6.60	4.70	6.19	6.38
	30	314	271	297	323	5.15	3.91	4.78	4.58
	40	231	181	190	224	5.14	3.94	4.44	4.92
50-50% CO/PES	20	604	485	508	623	9.19	7.54	7.68	8.68
	30	376	323	340	371	7.48	6.18	6.86	6.90
	40	263	231	250	257	5.63	5.10	5.92	5.07
50-50% CO/CMD	20	470	368	418	456	6.50	4.06	4.92	4.94
	30	312	276	241	265	5.22	4.43	3.48	3.53
	40	241	191	204	207	4.06	2.94	3.36	3.01
50-50% CO/PAC	20	304	258	289	321	3.80	3.44	4.29	4.43
	30	208	172	169	190	5.02	3.42	3.57	3.42
	40	172	139	133	166	3.2	2.52	2.44	2.84

*** Before splicing

All yarn samples were knitted in Faycon CKM 01-S laboratory type circular knitting machine having E18 gauge at the constant machine parameters. After knitting, the structural properties including stitch density (wales/cm x course/cm), mass, and thickness of the knitted fabrics were determined via relevant standards which are TS EN 14971, TSE EN 12127, TS 7127 EN ISO 5084 [20-22]

and lastly bursting strength tests were performed for these fabrics in James Heal Truburst test device according to TS EN ISO 13938-2 standard [23]. The test results of the knitted fabrics are given in Table 3. The structural properties of the fabric samples showed slight differences depending on the type of fiber and yarn in the fabrics, though the process parameters in knitting were kept

constant. However, it is thought that these differences are far from affecting the results of bursting strength to a large extent.

Table 3. Fabric structural properties [19]

Raw Material	Yarn count Ne	Air			Wet			Twin		
		Stitch density/cm ²	Mass g/cm ²	Thickness mm	Stitch density/cm ²	Mass g/cm ²	Thickness mm	Stitch density/cm ²	Mass g/cm ²	Thickness mm
100% CO	20	190.20	184.50	0.64	195.75	186.30	0.65	189.00	182.77	0.59
	30	223.06	141.30	0.58	225.00	144.30	0.61	204.25	140.30	0.63
	40	237.33	110.90	0.59	207.00	108.60	0.53	224.75	111.13	0.57
100% CV	20	182.81	168.75	0.46	190.00	172.20	0.47	200.00	167.10	0.48
	30	154.67	99.40	0.37	166.75	106.15	0.39	166.00	99.13	0.35
	40	154.19	70.73	0.32	149.11	75.03	0.35	152.89	76.80	0.33
100% PES	20	206.25	187.35	0.44	215.00	206.90	0.47	225.78	202.17	0.47
	30	183.22	118.23	0.35	198.61	125.83	0.38	219.72	126.87	0.44
	40	208.25	113.90	0.38	201.00	105.10	0.38	188.00	115.90	0.36
80-20% CO/PES	20	201.00	203.83	0.66	196.00	196.87	0.64	216.92	199.03	0.63
	30	242.00	150.40	0.65	214.50	145.67	0.63	228.56	149.53	0.65
	40	207.60	98.75	0.57	208.25	101.40	0.59	206.25	94.10	0.56
65-35% CO/PES	20	195.50	198.80	0.79	184.00	198.50	0.85	200.50	199.60	0.72
	30	209.00	146.80	0.63	195.50	134.23	0.59	207.00	140.75	0.59
	40	210.00	103.35	0.48	222.00	104.95	0.50	218.75	106.25	0.51
50-50% CO/PES	20	203.33	204.03	0.61	206.50	202.87	0.62	181.67	191.97	0.57
	30	176.25	121.80	0.61	175.38	116.20	0.61	163.19	120.75	0.59
	40	219.78	105.07	0.51	217.00	105.33	0.47	201.50	103.90	0.46
50-50% CO/CMD	20	172.50	191.00	0.55	178.06	190.63	0.58	180,44	192.50	0.57
	30	199.50	136.30	0.56	195.50	135.50	0.54	198.00	129.30	0.55
	40	172.00	94.20	0.44	191.67	90.60	0.43	189.11	93.67	0.44
50-50% CO/PAC	20	116.38	144.45	0.61	118.75	152.00	0.65	112.50	151.27	0.62
	30	126.00	90.40	0.54	132.00	101.70	0.57	132.00	101.70	0.56
	40	166.36	83.10	0.44	154.88	82.05	0.43	164.83	82.13	0.45

Lastly, by using the statistical software package SPSS 25, analyses of variance (ANOVA) were applied in order to determine the relationships between the independent variables which are yarn type, fiber types, splice type, yarn strength and spliced yarn strength the dependent variable which is bursting strength at 95% confidence interval.

The analyses were performed separately for each yarn number.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of bursting strength were examined separately by yarn count. The graphics given in the

following figures were drawn as dual axes. The values of bursting strength which are the first axis were shown in the columns on the basis of splice type and yarn type, whereas the values of the spliced yarn strength which are the second axis were shown in the lines to see the effect of the spliced yarn strength on the bursting strength in the fabric samples. Likewise, the statistical results were displayed in the following tables on the basis of yarn count.

It is seen that the bursting strength results in Figure 1 for Ne 20. According to this figure, the bursting

strength values for twin splice are the highest in the yarns including 100% CO, 100% PES, 80-20% CO/PES, and 50-50% CO/PAC, while the values for air splice are the lowest except the yarn of 50-50% CO/PAC, because the values for air splice and wet splice are very close in the yarn of 50-50% CO/PAC. The values for all splice types are very much close and there is slightly declining trend from air splice to twin splice in the yarns of 65-35% CO/PES, 50-50% CO/PES and 50-50% CO/CMD. On the contrary, the value for air splice is the highest whereas it for wet splice is the lowest in the yarn of 100% CV.

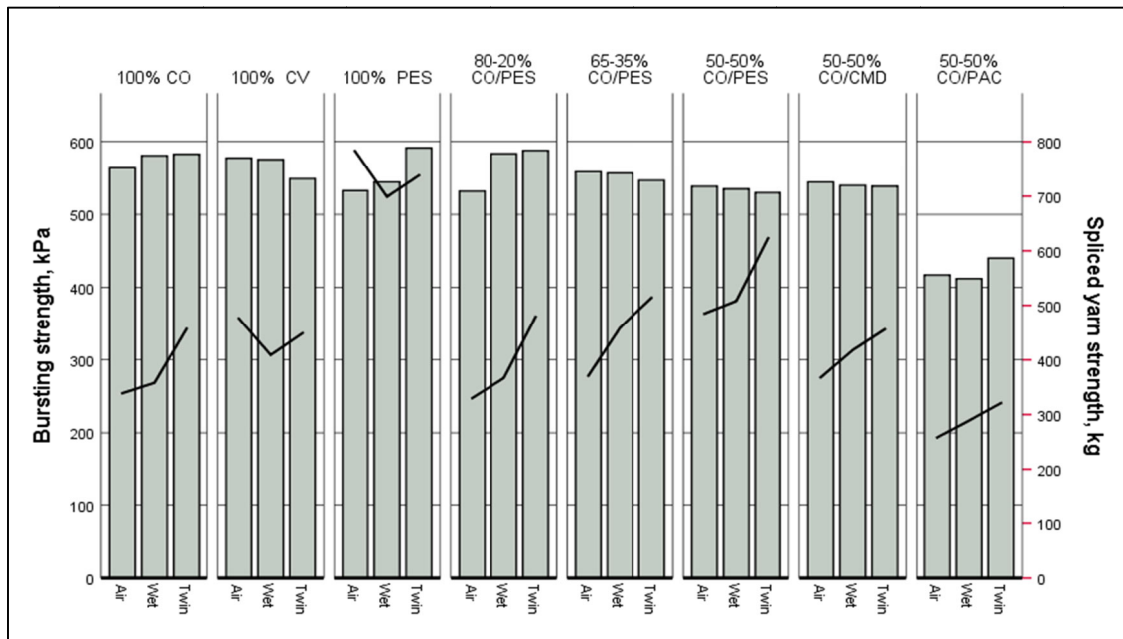


Figure 1. Bursting strength for the fabrics having Ne 20 yarns

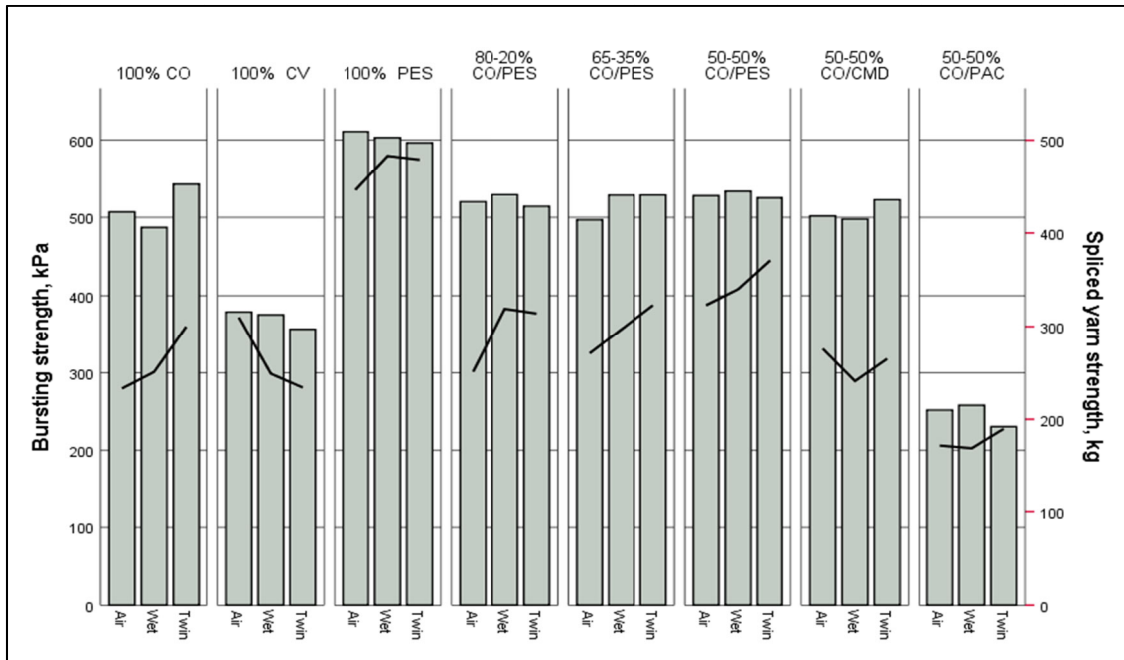
Based on the values of the spliced yarn strength it can be said that the results of the bursting strength are surprising because the effect of splice type, which is clearly seen in the yarns, is not clear for bursting strength. Insomuch that apparent tendency to increase for all yarns except 100% CV and 100% PES disappear, and almost closer results are obtained. Moreover, the opposite trends are seen for the yarns of 100% CV and 100% PES.

Given ANOVA results in Table 4 also support the obtained findings that yarn type or the some of the

used fibers, especially CO and PAC, have significant effect whereas splice types are not effective on the bursting strength. On the other hand, the same ANOVA values exhibit that the values of yarn strength change according to yarn type, and so these factors can be accepted as same in terms of bursting strength. The other factors which are spliced yarn strength and fabric structural properties as expected have not significant effect on bursting strength.

Table 4. ANOVA results for bursting strength

Factors	Ne 20		Ne 30		Ne 40	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Yarn type	22.552	.000	170.909	.000	91.209	.000
Splice type	.126	.883	.001	.999	.003	.997
CO	3.636	.023	.755	.567	.376	.823
CV	1.050	.317	3.652	.069	5.639	.027
PES	.556	.697	3.922	.017	17.313	.000
CMD	.002	.968	.279	.603	.129	.723
PAC	112.414	.000	43.943	.000	6.281	.020
Yarn strength	22.552	.000	170.909	.000	91.209	.000
Spliced yarn strength	-	-	47.171	.021	96.006	.080
Stitch density	-	-	30.412	.032	.284	.926
Mass	-	-	33.184	.136	-	-
Thickness	.455	.909	1.273	.356	4.052	.034

**Figure 2.** Bursting strength for the fabrics having Ne 30 yarns

According to Figure 2 for twin splice, the bursting strength values in the yarns of 100% CO and 50-50% CO/CMD are the highest while they are the lowest in the yarns of 100% CV and 50-50% CO/PAC. In most of the yarn types for air splice and wet splice, the bursting strength values are close to each other. For only the yarn of 65-35% CO/PES, the bursting strength value for air splice

is clearly lower than the others. In particular, for all splice types the bursting strength values are very close in the yarns of 100% PES, 80-20% CO/PES, and 50-50% CO/PES.

When the bursting strength and spliced yarn strength are evaluated together, the differences in the values of bursting strength are much less than

those of in the values of spliced yarn strength although the tendency to increase or decrease in values is similar in the yarns of 100% CV, 80-20% CO/PES, 65-35% CO/PES, and 50-50% CO/CMD. Conversely, in the other yarns the tendencies do not match and it is seen that there are opposite tendencies in the yarns including 100% PES, 50-50% CO/PES and 50-50% CO/PAC.

ANOVA results show that yarn type–yarn strength, PAC and PES, spliced yarn strength, and stitch density are effective whereas splice types, the other fibers, and the other fabric structural properties are not effective on the bursting strength. Furthermore, it is noticed that the significant effects of spliced yarn strength and stitch density are seen for only Ne 30.

From Figure 3, it is observed that the bursting strength values for air splice are the highest in the yarns of 100% CV, 100% PES, and 65-35% CO/PES, the values are the highest for wet splice in the yarns of 100% CO, and 50-50% CO/CMD, and these values are the highest for twin splice in

the yarns of 80-20% CO/PES, and 50-50% CO/PES and 50-50% CO/PAC.

If the results of bursting strength are investigated in terms of spliced yarn strength, it is possible to say that the trend in the spliced yarn strength and the trend in the bursting strength are partially parallel for the yarns of 100% CV, 100% PES, 80-20% CO/PES, 50-50% CO/PES and 50-50% CO/PAC. But, it cannot be said that the trends are parallel for the yarns of 100% CO, 65-35% CO/PES and 50-50% CO/CMD. There is even the opposite trend for 65-35% CO/PES. In addition to these, the differences in the values of bursting strength of splice types are much less in comparison with the values of spliced yarn strength as become in the fabrics having Ne 20 and Ne 30.

According to ANOVA results, there is significant effect of yarn type–yarn strength, CV, PES, and PAC, whereas spliced yarn strength and fabric structural properties have not effect on the bursting strength.

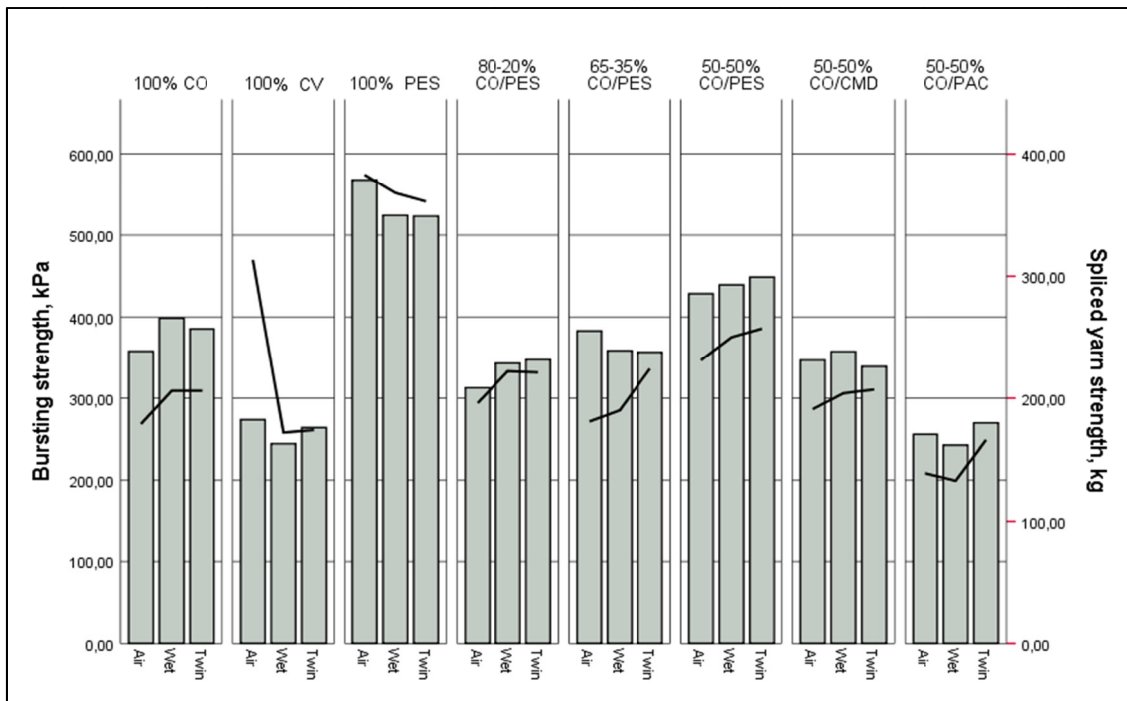


Figure 3. Bursting strength for the fabrics having Ne 40 yarns

4. CONCLUSION

In the previous study, it was investigated that spliced yarn performances in terms of splice types including air splicing, wet splicing, and mechanical (twin) to determine optimum splicing method in terms of fiber type and yarn count. The results of that study proved that yarn count and fiber type could play a decisive role for splicer selection that the optimum splicer type is twin splicer for the yarns containing cotton and acrylic fibers, it is air splicer for especially for fine yarns containing the regenerated cellulosic fibers, and all splicer types are appropriate for polyester fiber. Furthermore, it is determined that air splicer is suitable for fine yarns, whereas twin splicer is suitable for coarse, and splice type clearly affect the properties such as hairiness, diameter, wieving of splice region in the yarns.

The current study which is the second part of the main study aims revealing the effect of splicing method on bursting strength of the knitted fabrics. The amazing results are obtained with this study. In more detail, the findings unexpectedly indicate that splice types have not effect on the bursting strength of the knitted fabrics in spite of the results of the previous study showing splice types clearly affect yarn strength. But, fiber types are effective on the bursting as expected. Besides, fabric structural properties do not have effect on the bursting strength because of constant knitting parameters.

Although splice types do not affect the bursting strength of the knitted fabrics as expected, it is thought that splice types can affect the other properties such as pilling and abrasion resistance in the fabrics since splice types are effective on the yarn structural properties including hairiness, diameter etc. So, further studies can be performed to demonstrate the effect of splice types on pilling or abrasion resistance, elasticity, permeability etc in the knitted fabrics.

5. ACKNOWLEDGEMENT

The author thanks to ŞİRECİ TEKSTİL for

splicing processes and spliced yarn performance tests, also SELÇUK İPLİK for the manufacturing of yarn samples and fabric samples.

6. REFERENCES

1. <http://textilecentre.blogspot.com.tr/2014/01/different-splicing-systems-used-in.html> (Date of access: 23.11.2017).
2. https://schlafhorst.saurer.com/fileadmin/Schlafhorst/pdf/Spulen/ACX5_Brochure_Saurer_en.pdf. (Date of access: 25.01.2018).
3. Taskin, C., Baykaldı, B., Gurkan P., 2006. The comparison of pneumatic and injection elastosplicers for cotton/elastane yarns in winding process, *Textile and Clothing*, 3, 185-189.
4. Issa, K., Grütz, R., 2005. New technique for optimising yarn-end preparation on splicer and aethod for rating the quality of yarn end, *AUTEX Research Journal*, 5, 1-19.
5. Hassen, M.B., Jaouachi, B., Sahnoun, M., Sakli, F., 2008. Mechanical properties and appearance of wet-spliced cotton/elastane yarns, *Journal of Textile Institute*, 99(2), 119-123.
6. Kaushik, R.C.D., Sharma, I.C., Hari, P.K., 1987. Effect of Fiber Yarn Variables on Mechanical Properties of Spliced Yarn, *Textile Research Journal*, 57, 490-494.
7. Cheng, K.P.S., Lam, H.L.I., 2000. Strength of Pneumatic Spliced Polyester/cotton Ring Spun Yarns, *Textile Research Journal*, 70(3), 243-246.
8. Cheng, K.P.S., Lam, H.L.I., 2000. Physical Properties of Pneumatically Spliced Cotton Ring Spun Yarns, *Textile Research Journal*, 70(12), 1053-1057.
9. Nawaz, M., Farooq, A., Tosief, M., Shahbaz, B., 2005. Effect of Some Splicing Variables Upon Strength Characteristics of Polyester/cotton Blended Yarns, *Journal of Agriculture and Social Sciences*, 1(1), 35-37.
10. Taskin, C., Baykaldı, B., Gurkan, P., 2004. Elastan Karışımli İpliklerin Bobinlenmesinde İplik Uç Birleştirme (Splicing) İşlemini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi, TUBİTAK TAM Projesi.

11. Gurkan Unal, P., Arıkan, C., Ozdil, N., Taskin, C., 2010. The Effect of Fiber Properties on the Characteristics of Spliced Yarns: Part II: Prediction of Retained Spliced Diameter, *Textile Research Journal*, 80(17), 1751-1758.
12. Ertugrul, S., Ucar, N., 2000. Predicting Bursting Strength of Cotton Plain Knitted Fabrics Using Intelligent Techniques, *Textile Research Journal*, 70(8), 845-851.
13. Shahbaz, B., Jamil, A.N., Farooq, A., Saleem, F., 2005. Comparative Study of Quality Parameters of Knitted Fabric from Air Jet and Ring Spun Yarn, *Journal of Applied Sciences*, 5(2), 277-280.
14. Akaydin, M., Can, Y., Oren, O., Ozerdogan, M.A., 2000. A Research on Bursting Strengths of Weft Knitted Fabrics Knitted from Combed Ring and Compact Yarns, *The Journal of Textiles and Engineer*, 16(73-74), 16-20.
15. Uyanik, S., Degirmenci, Z., Topalbekiroglu, M., Geyik F., 2016. Examining the Relation Between the Number and Location of Tuck Stitches and Bursting Strength in Circular Knitted Fabrics, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 24, 1(115), 114-119.
16. Uyanik, S., Duru Baykal, P., 2017. Examining of the Effects of Fiber Types and Fabric Tightness on Bursting Strength of Circular Knit Fabrics Produced from Vortex Yarns, *The Fiber Society*, May 17-19, Aachen-Germany.
17. Uyanik, S., Duru Baykal, P., 2018. Effects of Fiber Types and Fiber Blends Ratios on Murata Vortex Yarn Properties, *The Journal of The Textile Institute*, 109(8), 1099-1109.
18. Uyanik, S., 2019. The Bursting Strength Properties of Knitted Fabrics Containing Recycled Polyester Fiber, *AETA International Conference on Future Trends in Engineering, Robotics and Drones, Information Technology & Applied Science*, June 25-26, Rome-Italy.
19. Uyanik S., 2019. A Research on Determining Optimum Splicing Method in Terms of Fiber Types and Yarn Count, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 29(1), 22-33.
20. TS EN 12127 – Textiles – Fabrics - Determination of Mass Per Unit Area Using Small Samples.
21. TS EN 14970–Textiles-Knitted Fabrics- Determination of Stitch Length and Yarn Linear Density in Weft Knitted Fabrics.
22. TS EN TS 7128 EN ISO 5084–Textiles- Determination of Thickness of Textiles and Textile Products.
23. TS EN ISO 13938-2–Textiles-Bursting Properties of Fabrics-Part 2-Pneumatic Method for Determination of Bursting Strength and Bursting Distension of Knitted Fabric from Air Jet and Ring Spun Yarn.

Kompozit Malzemelerin Delme İşleminde İtme Kuvvetinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu ve Regresyon Analizi ile Tahmini

Gökhan BAŞAR¹, Yusuf FEDAI^{*1}, Hediye KIRLI AKIN¹

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 27.10.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Öz

Cam Elyaf Takviyeli Polimer (CETP) kompozitler, diğer malzemelere göre daha üstün özelliklere sahip olmasından dolayı birçok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu kompozitlerin montajında delme işlemi yaygın olarak uygulanmaktadır. CETP malzemelerin delinmesinde; yüksek delik yüzey kalitesi ile minimum deformasyon ve itme kuvveti için delme parametrelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu yüzden, delme işlemi sırasında oluşan delik yüzeyi hasarını en aza indirmek için optimum delme koşulları belirlenmelidir. Bu çalışmada, delme işleminde itme kuvveti Taguchi Metodu kullanılarak optimize edilmiştir. Ayrıca, itme kuvvetinin tahminine yönelik matematiksel modeller geliştirilmiştir. Delme parametrelerinin itme kuvveti üzerindeki etki oranları varyans analizi ile belirlenmiştir. Varyans analizine göre itme kuvveti üzerindeki en etkili parametrenin ilerleme olduğu görülmüştür. İtme kuvvetini tahmin etmek için Taguchi Metodu, birinci ve ikinci dereceden regresyon modelleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca, üç boyutlu grafikler incelendiğinde, % çok duvarlı karbon nanotüp oranı ve kesme hızı arttıkça itme kuvvetinin azaldığını ve ilerleme arttıkça itme kuvvetinin arttığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Delme işlemi, CETP, İtme kuvveti, Taguchi Metodu, Regresyon analizi, Varyans analizi, Çok duvarlı karbon nanotüp

Optimization of Thrust Force with Taguchi Method and Estimation by Regression Analysis in Drilling of Composite Materials

Abstract

Glass Fibre Reinforced Plastic (GFRP) composites are used in many engineering applications due to their superior properties than other materials. Drilling is widely used in the assembly of these composites. It is very important to determine the drilling parameters for high hole surface quality, minimum deformation

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yusuf FEDAI, yusuffedai@osmaniye.edu.tr

and thrust force when drilling GFRP materials. Therefore, optimum drilling conditions must be determined to minimize hole surface damage during the drilling process. In this study, the thrust force in the drilling process was optimized by using the Taguchi Method. In addition, mathematical models have been developed to predict thrust force. The contribution rates of the drilling parameters on the thrust force were determined by analysis of variance. According to variance analysis, it was seen that the most effective parameter on the thrust force was the feed rate. Taguchi Method, first and second order regression models were used to estimate thrust force. The results obtained were compared with the experimental results. Among the developed models, the model with the highest prediction ability is the second-order regression model with the highest R^2 value (98.14%) and the lowest average absolute error value (1.86%). When the three-dimensional graphs are examined, it has been shown that the thrust force decreases as the amount of multi-walled carbon nanotubes and the cutting speed increases, and the thrust force increases as the amount of feed increases. Additionally, when three-dimensional graphs are examined, it has been shown that as the % multi-walled carbon nanotube ratio and cutting speed increases, the thrust force decreases and the thrust force increases as the feed rate increases.

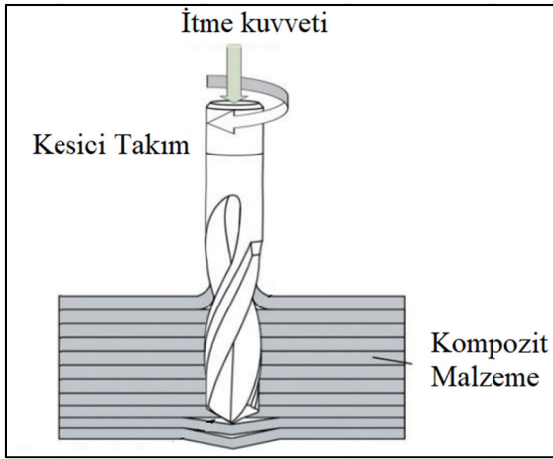
Keywords: Drilling process, GFRP, Thrust force, Taguchi Method, Regression Analysis, Variance Analysis, Multi wall carbon nanotube

1. GİRİŞ

Cam Elyaf Takviyeli Polimer (CETP) kompozitler malzemeler, yüksek özgül dayanım, sertlik ve tokluk, hafiflik, üstün korozyon direnci ve düşük termal genleşme özelliklerinden dolayı otomotiv, uzay ve havacılık, denizcilik, kimya ve nükleer endüstrisinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir [1-3]. Son zamanlarda, kompozit malzemelerin üretiminde epoksiye nanoboyutlu takviye elemanlarının eklendiği ve nanopartikül takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde hızlı bir artış olduğu görülmektedir. Örneğin, karbon nanotüpler, grafen ve nanofiberlerin takviye malzemesi olarak kullanımı kompozit malzemelerde gittikçe artmaktadır. Çünkü bu takviye elemanları, daha iyi yapısal ve fonksiyonel özelliklere ve geniş kullanım alanlarına sahiptirler [4]. Nano partikül takviye elemanına bağlı olarak kompozit malzemelerin mekanik, elektriksel ve termal özelliklerini etkileyebilir. Karbon nanotüp takviyeli kompozit malzemeler, özellikle otomobil endüstrisinde ticari başarı elde etmişlerdir [5,6]. CETP kompozitler endüstride yaygın olarak, arzu edilen geometrik ve boyutsal toleranslara getirmek için talaşlı imalat yöntemleriyle veya birleştirme (yapıştırma) işlemleriyle kullanılmaktadırlar [1-3]. Talaşlı imalat yöntemleri içerisinde tornalama,

frezeleme, delme, taşlama vb. en çok kullanılan yöntemlerdendir. CETP kompozitler nihai şekline yakın üretilmeler de montaj işlemleri esnasında istenilen toleranslara ulaşılabilmesi için talaşlı imalat yöntemlerinden biri olan delme işlemine ihtiyaç duyulmaktadır [2,7]. Bu malzemelerin delinmesi sonucunda; tabakalar arası çatlak ve ayrışma, elyaf çekmesi ve kopması, fiber/reçine ayrılması, mikro çatlaklar, delik bölgesinde oluşan deformasyon, gerilme yoğunlaşması ve delik yüzey kalitesi vb. hatalar ile karşılaşabilmektedir [1,8]. Bu malzemelerin delinmesinde karşılaşılan en büyük hata delik giriş ve çıkışlarında oluşan deformasyondur. Deformasyon, malzemenin bütünlüğünü bozarak dayanımını azaltmaktadır. Deformasyonun oluşmasını engellemek mümkün olmadığı için en aza indirmek için birtakım bilimsel çalışmalar yapılmış ve hala yapılmaya devam etmektedir [3]. Delme işleminde meydana gelen bu hatalardan dolayı birçok parça üretim esnasında ıskartaya ayrılmaktadır. Örneğin, uçak endüstrisinde bu hatalardan dolayı parçaların %60'ı kabul edilebilir tolerans değerlerinin dışında kalmaktadır [9]. Literatürde yapılan çalışmalarda deliğin yüzey kalitesinin, delme parametreleri, takım malzemesinin cinsi, kesici takımın geometrisi ve itme kuvvetine bağlı olduğu belirtilmiştir [2,10]. Şekil 1'de kompozit malzemenin delinmesi sırasında oluşan itme

kuvveti, kesici takım şematik olarak verilmiştir. CETP kompozit malzemelerin delme işleminde, yüksek delik yüzey kalitesi, en az deformasyon ve en küçük itme kuvveti için delme parametrelerinin tespit edilmesi büyük öneme sahiptir. Yüksek kaliteli delme için optimum delme parametreleri belirlenmelidir [11]. Tabakalı kompozit malzemelerin delinmesinde meydana gelen en önemli hatanın tabaka ayrılması olduğu ve bunun esas nedenin de itme kuvveti olduğu tespit edilmiştir [12].



Şekil 1. Kompozit malzemeyi delme sırasında oluşan itme kuvveti ve kesici takımın şematik resmi [13]

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde; Unal [14] CETP malzemesinin delinmesinde uç açısı, devir sayısı ve ilerlemenin itme kuvveti ve sıcaklık üzerindeki etkilerini araştırmak için varyans analiz (ANOVA) yöntemini kullanmıştır. Delme deneyleri, kaplamasız HSS matkaplar ile gerçekleştirilmiş ve kesme sıvısı kullanılmamıştır. ANOVA sonuçları, itme kuvvetini en fazla ilerlemenin etkilediği, sıcaklığı ise en fazla uç açısının etkilediği görülmüştür. Sing ve Kumar [15] CETP nanokompozitlerin delinmesinde, delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Delme parametreleri olarak; devir sayısı, ilerleme, matkap çapı ve ağırlıkça % ÇDKNT oranı seçilmiştir. Tepki Yüzeyi Metodolojisini kullanarak yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon

katsayısı için matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Delaminasyon katsayısı üzerindeki en önemli parametrenin matkap çapı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en önemli parametrenin % ÇDKNT oranı olduğu ANOVA ile tespit edilmiştir. Vankanti ve Ganta [16] CETP kompozitlerin delinmesinde Taguchi Metodunu kullanarak optimum delme parametrelerini belirlemişlerdir. Kesme hızı, ilerleme, uç açısı ve uç kenar genişliği delme parametreleri olarak kullanılmıştır. Ayrıca, delme parametrelerinin itme kuvveti, tork, yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik üzerindeki etki oranları ANOVA ile belirlenmiştir. Vyas ve arkadaşları [17] CETP delinmesinde delme parametrelerinin itme kuvveti ve dairesellik üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. İtme kuvveti ve dairesellik için optimum delme parametreleri belirlemişlerdir. ANOVA ile delme parametrelerinin katkı oranları tespit edilmiştir. Ayrıca, itme kuvveti ve dairesellik için regresyon denklemleri elde etmişlerdir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde, genellikle deneysel tasarım yöntemleri kullanılarak optimizasyon ve modelleme yapılmıştır. Bu çalışmadaki amaç ise hem optimizasyon ve modelleme hem de farklı modellerin tahmin değerlerinin karşılaştırılmasıdır.

Bu çalışmada, takviyesiz ve ÇDKNT takviyeli CETP kompozit malzemelerin delinmesinde delme parametrelerinin itme kuvveti üzerindeki etkileri Taguchi Metodu ve Varyans Analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir. Ayrıca, birinci ve ikinci dereceden regresyon analizi yapılarak itme kuvvetinin tahmini için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Deney sonuçları ile tahmin modellerinin sonuçları karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Delme parametreleri ve Kullanılan Cihazlar

Bu çalışmada kullanılan CETP kompozit malzemeler, İnovatif Malzeme Teknolojileri San. ve Tic. Ltd. Şti. firması tarafından üretilmiştir.

Başar ve arkadaşları [18] tarafından yapılan çalışmada, kompozit malzemelerin üretimi hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Takviyesiz, %0,5 ve %1 ÇDKNT takviyeli CETP kompozit malzemelerin delinmesi işleminde delme parametrelerinin itme kuvveti üzerindeki etkileri incelenmiştir. Delme deneyleri için Johnford VMC 850 marka CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır. Delme işlemini gerçekleştirmek için Ø8 mm kaplamasız karbür kesici takımları kullanılmıştır. Ağırlıkça % ÇDKNT oranı, kesme hızı ve ilerleme delme parametreleri olarak seçilmiştir. Kontrol faktörleri ve seviyeleri Çizelge 1’de verilmiştir. Deneyler, tam faktöriyel deney tasarımına göre gerçekleştirilmiştir.

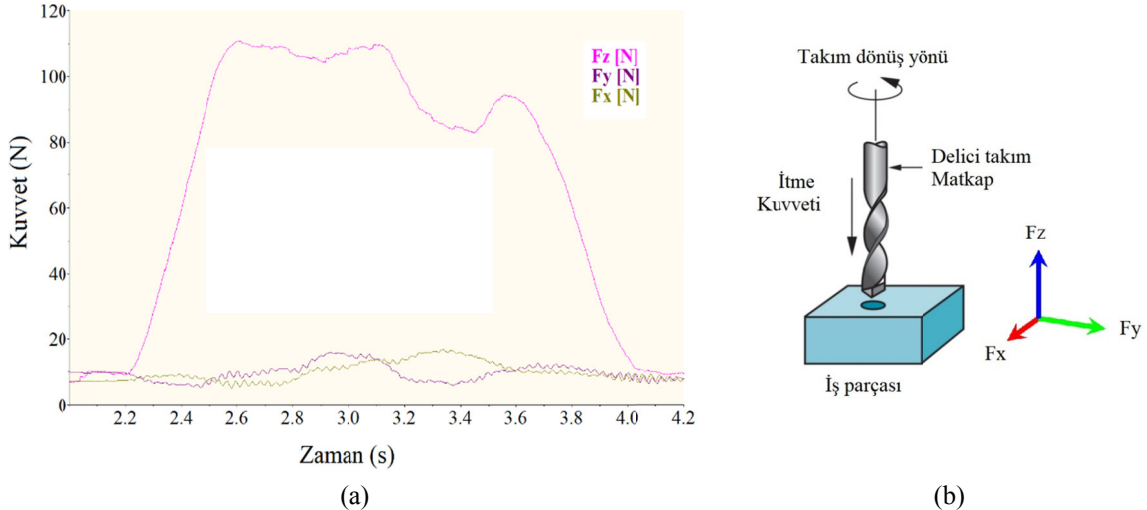
CNC dik işleme merkezinin tablasına yerleştirilmiş olan Kistler 9257B tipi dinamometre kullanılarak itme kuvveti (Fz) ölçülmüştür (Şekil 2). Kistler DynoWare yazılımı sayesinde itme kuvveti verileri bilgisayar ortamında kayıt altına alınmıştır. Şekil 3 (a) da deney sırasında elde edilen kesme kuvvet grafiği verilmiştir (Deney 6). Grafik incelendiğinde, delme sırasında oluşan itme kuvveti z ekseninde Fz ile gösterilmiştir (Şekil 3 (b)). Yatay düzlemde meydana gelen x ve y eksenlerinde oluşan kuvvetler ise sırasıyla Fx ve Fy kuvvetleridir (Şekil 3 (b)). Fx ve Fy kuvvetleri çok küçük olduğu için dikkate alınmamıştır.

Çizelge 1. Delme parametreleri ve seviyeleri

Delme parametreleri	Sembol	Seviyeler		
		1	2	3
ÇDKNT oranı (%)	A	0	0,5	1
Kesme hızı (m/dk)	B	25	50	75
İlerleme (mm/dev)	C	0,10	0,15	0,20



Şekil 2. Delme işleminde kullanılan deney düzeneği



Şekil 3. Delme sırasında meydana gelen kesme kuvvetleri örneği

2.2. Deney Tasarımı ve Analiz

Taguchi Metodu, bilimsel çalışmalarda en sık kullanılan deney tasarım metodları arasındadır. Deney tasarımı ile bir ürün veya proses tasarımında karşı karşıya kalınan problemlerde en iyi çözümlerin sağlandığı şartları oluşturabilmek için kalite karakteristiği tespit edilerek bu karakteristiği etkileyen faktörler araştırılmaktadır. Bu amaçla kalite karakteristiği üzerinde etkili olduğu düşünülen kontrol faktörler ve bu kontrol faktörlerin farklı seviyeleri seçilerek bir deney tasarımı oluşturulur. Oluşturulan deney tasarımına göre kalite karakteristiğinin performans değeri ölçülmektedir [19].

Taguchi, deney tasarımına göre yapılan deneylerde dikkate almadığı kontrol edilemeyen faktörlerin deney üzerindeki etkilerini azaltmak amacıyla, Sinyal/Gürültü (S/N) oranı ortaya koymuştur. Kontrol faktörlerinin ve seviyelerinin performans karakteristiğini ölçmek için amaç fonksiyon değerlerini S/N oranına dönüştürür. S/N oranlarının hesaplanmasında; kalite karakteristiğinin amacına göre “en küçük en iyi, nominal en iyi, en büyük en iyi” üç farklı formül kullanılır [20,21]. Herhangi bir deneyin amaç fonksiyonuna bakılmaksızın sonuç için en yüksek S/N oranına

ulaşmaktır [22]. Bu çalışmada, S/N oranlarının belirlenmesinde, delme işlemlerinin verimliliği açısından itme kuvvetinin en küçük olması istenildiği için Eşitlik 1’de verilen “En küçük en iyi” prensibine karşılık gelen formül kullanılmıştır. Ayrıca, delme parametrelerinin istatistiksel olarak önemini ve kontrol faktörlerinin kalite karakteristiği üzerindeki katkı oranlarını tespit etmek amacıyla varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır [23] (Eşitlik1).

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

Burada, n: gözlemlenen değer sayısı ve y: gözlemlenen veridir [20,24].

Regresyon analizi, bağımlı değişkendeki değişimi bağımsız değişkenler ile açıklamak için kurulan matematiksel bir modeldir [25]. Geliştirilen modellerin başarısını ölçmek için belirtme katsayısı (R^2) kullanılır. Bu katsayı, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranıdır. 0 ila 1 arasında olup 1’e ne kadar yakın olursa bağımlı değişkendeki değişimin büyük bir kısmı bağımsız değişken tarafından açıklanabildiğini ifade etmektedir [26,27].

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE ANALİZİ

3.1. Taguchi Metodu

Delme deneyleri sırasında meydana gelen itme kuvveti (F_z) için “en küçük en iyi” amaç fonksiyonu kullanılmış ve S/N oranları Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Kontrol faktörlerinin en uygun seviyeleri ve kalite karakteristiği üzerinde en etkili faktörün tespit edilmesinde Taguchi Metodu ile oluşturulan S/N

oranı Çizelgesi veya grafiği kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 3’te itme kuvvetinin ortalama S/N oranları ve Şekil 4’de itme kuvvetinin S/N oranları için ana etki grafikleri verilmiştir. Şekil 4’deki ana etki grafikleri ve Çizelge 3’teki S/N oranlarından optimum kontrol faktörlerinin seviyeleri A3B3C1 olduğu tespit edilmiştir. Buna göre; itme kuvveti üzerindeki kontrol faktörlerinin etki sırası ilerleme, kesme hızı ve % ÇDKNT oranı olarak belirlenmiştir.

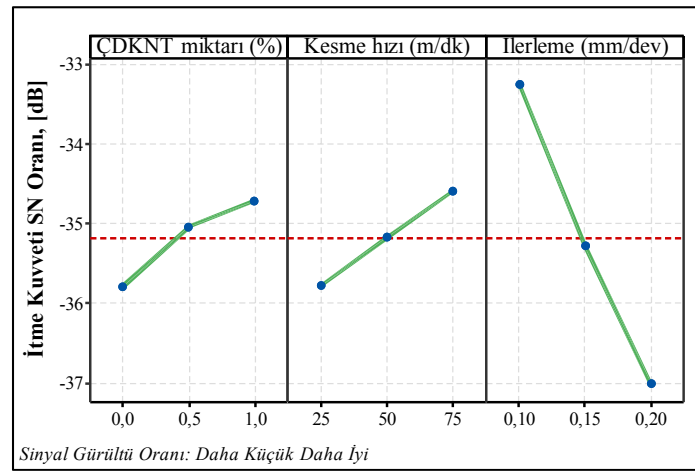
Çizelge 2. İtme kuvveti için deney sonuçları ve S/N değerleri

Deney Sırası	ÇDKNT oranı (%)	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	F_z [N]	F_z (S/N) [dB]
1	0	25	0,10	50,66	-34,0933
2	0	25	0,15	63,38	-36,0390
3	0	25	0,20	82,56	-38,3354
4	0	50	0,10	49,23	-33,8446
5	0	50	0,15	61,94	-35,8394
6	0	50	0,20	76,04	-37,6208
7	0	75	0,10	46,3	-33,3116
8	0	75	0,15	61,98	-35,8450
9	0	75	0,20	71,86	-37,1297
10	0,5	25	0,10	46,74	-33,3938
11	0,5	25	0,15	62,95	-35,9799
12	0,5	25	0,20	74,63	-37,4583
13	0,5	50	0,10	44,43	-32,9535
14	0,5	50	0,15	56,72	-35,0747
15	0,5	50	0,20	67,2	-36,5474
16	0,5	75	0,10	44,24	-32,9163
17	0,5	75	0,15	54,18	-34,6768
18	0,5	75	0,20	65,65	-36,3447
19	1	25	0,10	48,33	-33,6843
20	1	25	0,15	59,24	-35,4523
21	1	25	0,20	75,01	-37,5024
22	1	50	0,10	45,01	-33,0662
23	1	50	0,15	55,86	-34,9420
24	1	50	0,20	68,19	-36,6744
25	1	75	0,10	39,3	-31,8879
26	1	75	0,15	48	-33,6248
27	1	75	0,20	59,75	-35,5268

Seçilen kalite karakteristiğine kontrol faktörlerinin etkilerini tespit etmek için tam faktöriyel deney tasarımıdaki her bir deney için %95 güven aralığında varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. İtme kuvveti için yapılan ANOVA sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde, itme kuvveti üzerinde en etkili faktör %81,17 katkı oranıyla ilerleme olmuştur. İlerlemeyi %8,26 ve %7,18 katkı oranları ile sırasıyla kesme hızı ve % ÇDKNT oranı takip etmiştir.

Çizelge 3. İtme kuvvetinin ortalama S/N oranları için kontrol faktörlerinin önem sırası

Seviye	A	B	C
1	-35,78	-35,77	-33,24
2	-35,04	-35,17	-35,27
3	-34,71	-34,58	-37,02
Fark	1,08	1,19	3,78
Önem sırası	3	2	1



Şekil 4. İtme kuvvetinin S/N oranları için ana etki grafikleri

Çizelge 4. İtme kuvveti için varyans analizi

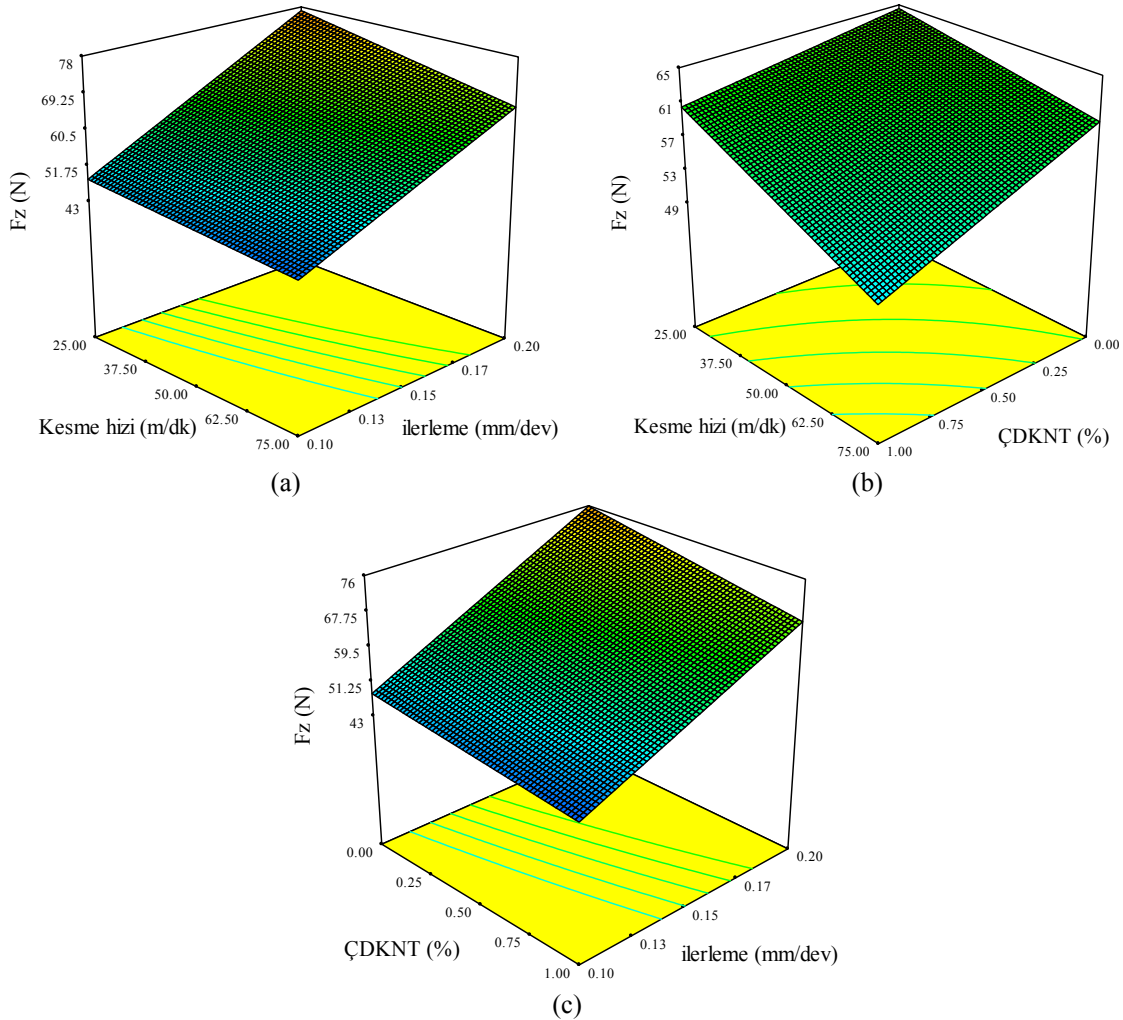
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı oranı (%)
A	2	252,4	126,18	21,11	0,00	7,18
B	2	290,5	145,24	24,30	0,00	8,26
C	2	2854,7	1427,36	238,78	0,00	81,17
Hata	20	119,6	5,98			3,40
Toplam	26	3517,1				100
Model Özeti						
R ² : %96,60		R ² (adj): % 95,58		R ² (pred): %93,80		

Kalite karakteristiği ve kontrol faktörleri arasındaki değişime ilişkin üç boyutlu yüzey grafikleri Şekil 5 (a-c)’de verilmiştir. Şekil 5 (a)’da ilerleme ve kesme hızının itme kuvveti üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Buradan ilerlemenin azalması ile itme kuvvetinde büyük oranda bir azalma görülmüştür. İlerleme, kesme alanı yüksekliği ve itme kuvveti arasında bir ilişki

vardır. İlerlemenin artmasına bağlı olarak kesme alanı yüksekliği artmaktadır. Kesme alanı yüksekliğinin artması da itme kuvvetinin yükselmesine neden olmaktadır [28]. Çalışmanın sonuçları literatür ile uyum içerisindedir [18]. Ayrıca, kesme hızı arttıkça itme kuvvetinde bir miktar azalma görülmektedir. Talaş kaldırma sırasında kesici takım ve iş parçası arasındaki

sürtünmeden dolayı sıcaklık oluşmaktadır. Kesme hızının artması ile kesme bölgesindeki sıcaklık artar ve kompozit malzemenin yumuşamasına neden olur. Böylece, kesme hızının artması ile itme kuvvetinde bir azalma meydana gelmektedir [29,30]. Şekil 5 (b)'de % ÇDKNT oranı ve kesme hızının itme kuvveti üzerindeki etkileri gösterilmiştir. % ÇDKNT oranı ve kesme hızının birlikte artmasıyla itme kuvvetinde ciddi bir azalma meydana gelmiştir. Kumar ve Sing delme işleminde en düşük itme kuvveti, ağırlıkça %1,5 ÇDKNT takviyeli karbon elyaf polimer

nanokompozit malzemede elde etmişlerdir. Ayrıca, % ÇDKNT oranının artmasıyla itme kuvvetinin azaldığını tespit etmişlerdir. ÇDKNT takviyesi, takım-talaş arayüzünde yağlama özelliği gösterdiğini ve bu özelliğin delme işlemini kolaylaştırdığını ifade etmişlerdir [31]. Şekil 5 (c)'de ilerleme ve % ÇDKNT oranının itme kuvveti üzerindeki etkileri gösterilmiştir. İlerlemenin azalması ile itme kuvvetinde göze çarpan bir şekilde azalma görülmüştür. Ayrıca, % ÇDKNT oranının artması ile itme kuvvetinde bir miktar düşüş meydana gelmiştir.



Şekil 5. Kontrol faktörlerinin kalite karakteristiğine etki grafikleri a) ilerleme ve kesme hızı b) ÇDKNT ve kesme hızı c) İlerleme ve ÇDKNT

3.2. Regresyon Analizi

Kontrol faktörleri ve kalite karakteristiği arasındaki sebep sonuç ilişkisini tespit etmek için regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. İtme kuvvetinin tahmini için Minitab 17 paket programı kullanılmıştır. Birinci ve ikinci dereceden regresyon analizleri yapılarak matematiksel denklemler elde edilmiştir.

3.2.1. Birinci Dereceden Regresyon Analizi

CEPT kompozitlerin delinmesinde meydana gelen itme kuvvetinin tahmini için yapılan birinci dereceden regresyon analizi denklemi, Eşitlik 2’de ve denklem katsayıları ise Çizelge 5’te verilmiştir.

$$Fz=32,37-7,25A-0,1605B+251,8C \quad (2)$$

Çizelge 5. Birinci dereceden regresyon analiz katsayıları

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	32,37	2,20	14,71	0,00
A	-7,25	1,15	-6,31	0,00
B	-0,1605	0,0230	-6,98	0,00
C	251,8	11,5	21,91	0,00
Model Özeti				
R ² :		% 96,11		
R ² (adj):		% 95,61		
R ² (pred):		% 94,44		

Regresyon analizinde, R² belirtme katsayısı 1’e ne kadar yakın olursa modelin o kadar güçlü olduğu anlama gelmektedir. Geliştirilen modelde, R² %96,11 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5’te P anlamlılık değerleri incelendiğinde, kontrol faktörlerinin itme kuvveti üzerinde önemli etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

3.2.2. İkinci Dereceden Regresyon Analizi

Birinci dereceden regresyon analizi yapılmasının ardından itme kuvvetinin tahmini için ikinci dereceden regresyon analizi yapılmıştır. İkinci dereceden regresyon analizi denklemi,

Eşitlik 3’te ve denklem katsayıları ise Çizelge 6’da verilmiştir.

$$Fz=20,81-0,39A+0,044B+294,4C+6,48A^2+0,00049B^2+147C^2-0,1271AB-46,5AC-1,27BC \quad (3)$$

İkinci dereceden regresyon analizi sonucunda R² %98,78 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 6’da yer alan P değerleri incelendiğinde; A, B, B*B ve C*C’ nin itme kuvveti üzerinde bir etkileri bulunmamaktadır. Çünkü P anlamlılık değerinin 0,05’ten büyük olmasından dolayıdır.

Çizelge 6. İkinci dereceden regresyon analiz katsayıları

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	20,81	6,79	3,06	0,007
A	-0,39	4,26	-0,09	0,927
B	0,044	0,120	0,37	0,715
C	294,4	80,7	3,65	0,002
A*A	6,48	2,59	2,50	0,023
B*B	0,00049	0,00104	0,47	0,642
C*C	147	259	0,57	0,577
A*B	-0,1271	0,0366	-3,47	0,003
A*C	-46,5	18,3	-2,54	0,021
B*C	-1,270	0,366	-3,47	0,003
Model Özeti				
R ² :		% 98,78		
R ² (adj):		% 98,14		
R ² (pred):		% 96,83		

3.3. Tahminsel Sonuçların Karşılaştırılması

Taguchi Metot, birinci ve ikinci dereceden regresyon analizleri sonucu tahmin edilen itme kuvveti Çizelge 7’de verilmiştir. Çizelge 7 incelendiğinde, tahmin modelleri ile deney sonuçları karşılaştırıldığında sırasıyla % mutlak hata ve % ortalama mutlak hata değerleri hesaplanmıştır. İlk olarak, Taguchi Metodunda % mutlak hata en fazla 7,46 iken en düşük 0,07 ve % ortalama mutlak hata değeri 2,84 olarak belirlenmiştir. Ardından, birinci dereceden regresyon modelinde % mutlak hata en fazla 6,80 iken en düşük 0,29 ve % ortalama mutlak hata değeri 3,28 olarak tespit edilmiştir. Son olarak, ikinci dereceden regresyon modelinde % mutlak

hata en fazla 4,31 iken en düşük 0,21 ve % hesaplanmıştır. ortalama mutlak hata değeri 1,86 olarak

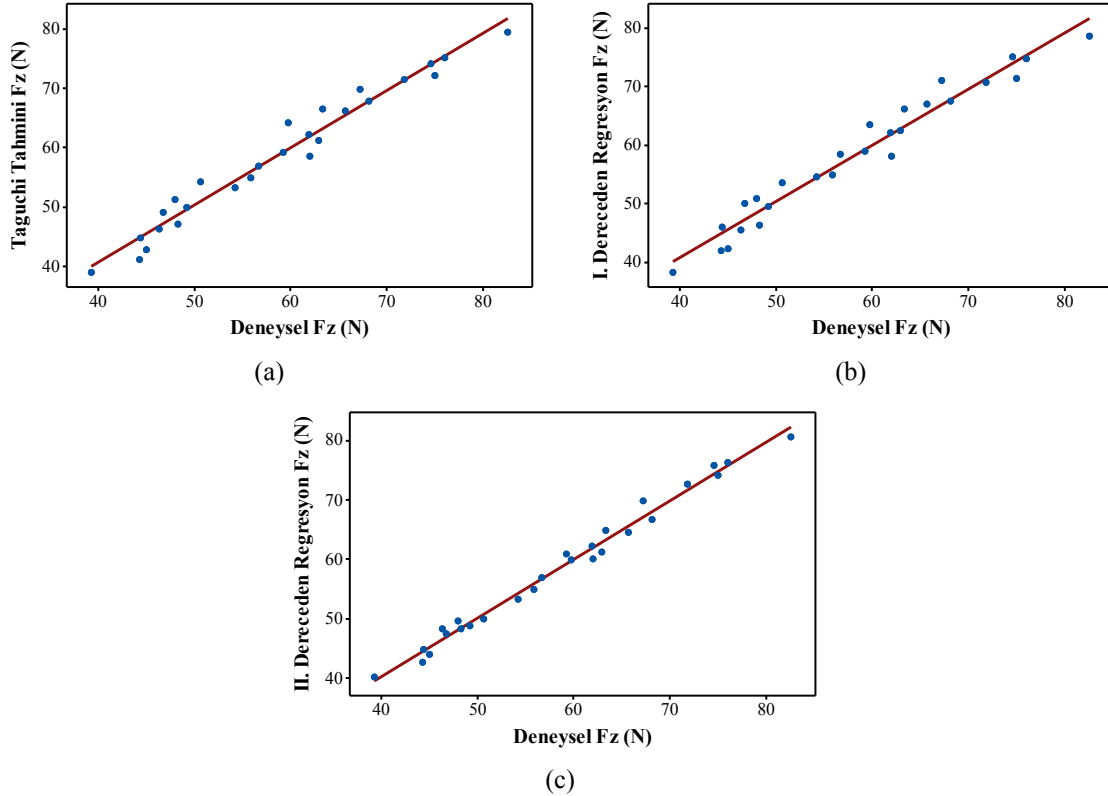
Cizelge 7. İtme kuvveti için Taguchi ve regresyon analizleri sonuçlarının karşılaştırılması

Deney	Deneysel Fz (N)	Taguchi Tahmini	% Mutlak Hata	I. Dereceden Regresyon	% Mutlak Hata	II. Dereceden Regresyon	% Mutlak Hata
1	50,66	54,31	7,20	53,54	5,69	49,97	1,37
2	63,38	66,53	4,97	66,13	4,35	64,94	2,46
3	82,56	79,49	3,72	78,73	4,64	80,65	2,31
4	49,23	49,99	1,54	49,53	0,61	48,82	0,82
5	61,94	62,21	0,44	62,12	0,29	62,21	0,44
6	76,04	75,17	1,14	74,71	1,75	76,33	0,39
7	46,30	46,28	0,04	45,52	1,69	48,29	4,31
8	61,98	58,50	5,61	58,11	6,25	60,09	3,04
9	71,86	71,46	0,56	70,70	1,62	72,63	1,07
10	46,74	49,06	4,96	49,92	6,80	47,47	1,57
11	62,95	61,29	2,64	62,51	0,70	61,29	2,64
12	74,63	74,25	0,51	75,10	0,63	75,83	1,61
13	44,43	44,74	0,70	45,90	3,32	44,74	0,70
14	56,72	56,97	0,44	58,50	3,13	56,97	0,43
15	67,20	69,93	4,06	71,09	5,78	69,93	4,06
16	44,24	41,04	7,23	41,89	5,31	42,62	3,65
17	54,18	53,26	1,70	54,48	0,56	53,26	1,70
18	65,65	66,22	0,87	67,07	2,17	64,63	1,55
19	48,33	47,06	2,63	46,29	4,22	48,22	0,22
20	59,24	59,28	0,07	58,88	0,60	60,87	2,75
21	75,01	72,24	3,69	71,48	4,71	74,25	1,01
22	45,01	42,74	5,04	42,28	6,07	43,90	2,47
23	55,86	54,96	1,61	54,87	1,77	54,96	1,61
24	68,19	67,92	0,40	67,46	1,07	66,76	2,10
25	39,30	39,03	0,69	38,27	2,63	40,19	2,27
26	48,00	51,25	6,77	50,86	5,95	49,66	3,47
27	59,75	64,21	7,46	63,45	6,19	59,87	0,21
% Ortalama Mutlak Hata			2,84		3,28		1,86

Bu bilgiler ışığında; en düşük % ortalama mutlak hata değeri 1,86 ve en yüksek R^2 değeri (%98,78) ile en yüksek tahmin modeli ikinci dereceden regresyon olduğu tespit edilmiştir. Ardından, en düşük % ortalama mutlak hata değeri 2,84 ve en yüksek R^2 değeri (%96,60) ile Taguchi metodu olduğu belirlenmiştir. Son olarak, en düşük % ortalama mutlak hata değeri 3,28 ve en yüksek R^2 değeri (%96,11) ile birinci dereceden regresyon modelidir.

Genel olarak tahmin modelleri incelendiğinde her üç modelinde tahmin yeteneğinin güçlü olduğu görülmüştür. Belirtme katsayısının %80 ila %100 arasında olması durumunda modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir [32].

Şekil 6 (a-c)'de deneysel sonuçlar ile tahmin modellerinden elde edilen değerlerin karşılaştırılması görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi deney sonuçlarına en yakın tahmin modelinin ikinci dereceden regresyon modeli olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 6. İtme kuvveti için deneysel ve tahmini değerlerin kıyaslanması, a) Taguchi-deneysel, b) Birinci dereceden-deneysel, c) İkinci dereceden-deneysel

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, CEPT kompozit malzemesinin delme işleminde kullanılan faktör ve seviyelerin optimum koşulları Taguchi Metodu ile belirlenmiştir. Ağırlıkça % ÇDKNT oranı, kesme hızı ve ilerlemenin itme kuvveti üzerindeki etki oranlarını tespit etmek için varyans analizi uygulanmıştır. Ayrıca, itme kuvvetinin tahmini için Taguchi, birinci ve ikinci dereceden regresyon modelleri oluşturulmuştur. Yapılan analizler ve hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Taguchi Metodu kullanılarak yapılan optimizasyon sonucunda en düşük itme kuvveti değeri için optimum delme parametreler, % ÇDKNT oranı %1, kesme hızı 75 m/dk ve

ilerleme 0,10 mm/dev (A3B3C1) olarak tespit edilmiştir.

- Optimum delme parametreleri kullanılarak elde edilen en küçük itme kuvveti değeri 39,90 N olarak ölçülmüştür.
- İtme kuvvetinin ANOVA sonucuna göre, delme parametrelerinin itme kuvveti üzerindeki en etkili parametrenin %81,17 ile ilerleme olduğu belirlenirken ardından sırasıyla %8,26 ile kesme hızı ve %7,18 ile % ÇDKNT oranı olduğu tespit edilmiştir.
- İtme kuvveti ile delme parametreleri arasındaki etkileşime ilişkin yüzey grafikleri incelendiğinde, % ÇDKNT oranı-kesme hızının artması ile itme kuvvetinde büyük ölçüde bir azalma görülmüştür. İlerleme-kesme

hızı ve % ÇDKNT oranı-ilerleme etkileşimlerinde ise ilerlemenin azalmasıyla itme kuvvetinde ciddi bir azalma meydana gelmiştir.

- Delme işlemleri sonunda oluşan itme kuvvetinin deneysel sonuçları ile Taguchi, birinci ve ikinci dereceden regresyon modellerin tahmin değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre en güçlü tahmin modeli, en yüksek belirtme katsayısı ($R^2 = \%98,78$) ve en düşük % ortalama mutlak hataya ($\%1,86$) sahip olan ikinci dereceden regresyon modelidir.
- Tahmin modellerinin belirtme katsayıları oldukça yüksek değerlere sahip olup istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir.

5. TEŞEKKÜRLER

Yazarlar, çalışmanın yürütülmesinde laboratuvar olanaklarını sunan Prof. Dr. İhsan KORKUT'a ve delme işlemi esnasındaki yardımlarından dolayı Arş. Gör. Bahattin YILMAZ'a teşekkür eder.

6. KAYNAKLAR

1. Kılıçkap, E., 2010. CETP Kompozitlerin Delinmesinde Oluşan Deformasyona Delme Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi, 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir, 76-84.
2. Bayraktar, Ş., Turgut, Y., 2012. Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Delinmesi Üzerine Bir Araştırma, 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Ankara, 153-158.
3. Karaca, F., 2016. Cam Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitlerde Delme Parametrelerinin Deformasyon Faktörüne Etkisinin Araştırılması, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28(2), 23-27.
4. Mittal, G., Dhand, V., Rhee, K.Y., Park, S.J., Lee, W.R., 2015. A Review on Carbon Nanotubes and Graphene as Fillers in Reinforced Polymer Nanocomposites, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 21, 11-25.
5. Advani, S.G., 2007. Processing and Properties of Nanocomposites, World Scientific Publishing, Singapore, 450.
6. Karimi, Z.N., Heidary, H., Yousefi, J., Sadeghi, S., Minak, G., 2018. Experimental Investigation on Delamination in Nanocomposite Drilling, FME Transactions, 46(1), 62-69.
7. Wern, C.W., Ramula, M., Schukla, A., 1996. Investigation of Stresses in the Orthogonal Cutting of Fiber-Reinforced Plastics, Experimental Mechanics, 36, 33-41.
8. Abrao, A.M., Faria, P.E., Rubio, J.C.C., Reis, P., Davim, J.P., 2007. Drilling of Reinforced Plastics: A Review, Journal of Materials Processing Technology, 186(1-3), 1-7.
9. Khashaba, U.A., 2004. Delamination in Drilling GFR-Thermoset Composites, Composite Structures, 63(3-4), 313-327.
10. Davim, J.P., Reis, P., 2003. Drilling Carbon Fiber Reinforced Plastics Manufactured by Autoclave-Experimental and Statistical Study, Materials & Design, 24(5), 315-324.
11. Bilge, T., Motorcu, A.R., Ivanov, A., 2017. Kompakt Laminatın Delinmesinde Boyutsal Tamlik için Delme Parametrelerinin Gri İlişkisel Analiz ile Optimizasyonu, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 9(2), 1-22.
12. Davim, J.P., Reis, P., António, C.C., 2004. Experimental Study of Drilling Glass Fiber Reinforced Plastics (GFRP) Manufactured By Hand Lay-Up, Composites Science and Technology, 64(2), 289-297.
13. Saeedifar, M., Fotouhi, M., Ahmadi Najafabadi, M., 2016. Investigation of Push-Out Delamination using Cohesive Zone Modelling and Acoustic Emission Technique. Journal of Composite Materials, 50(25), 3577-3588.
14. Unal, E., 2019. Temperature and Thrust Force Analysis on Drilling of Glass Fiber Reinforced Plastics. Thermal Science, 23(1), 347-352.
15. Singh, K. K., Kumar, D., 2018. Experimental Investigation and Modelling of Drilling on Multi-Wall Carbon Nanotube-Embedded Epoxy/Glass Fabric Polymeric Nanocomposites. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B:Journal of Engineering Manufacture, 232(11), 1943-1959.

16. Vankanti, V. K., Ganta, V., 2014. Optimization of Process Parameters In Drilling Of GFRP Composite Using Taguchi Method. *Journal of Materials Research and Technology*, 3(1), 35-41.
17. Vyas, N.S., Patel, A.R., Gajera, H.M., 2015. An Investigation on Thrust Force and Circularity of GFRP Sheet by Applying Regression Analysis. *IJSRD*, 3, 278-283.
18. Başar, G., Akin, H.K., Kahraman, F., 2020. Tepki Yüzeyi Metodolojisi Kullanılarak Nanokompozitin Delinmesinde oluşan İtme Kuvvetinin Modellenmesi ve Analizi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8(2), 293-305.
19. Yurdakul, M., Güneş, S., İç, Y.T., 2016. Honlama Prosesinde Yüzey Kalitesinin Taguchi Metodu ile İyileştirilmesi, *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 31(2), 347-360.
20. İç, Y.T., Yıldırım, S., 2012. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Birlikte Taguchi Yöntemini Kullanarak Bir Ürünün Tasarımının Geliştirilmesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(2), 447-458.
21. Başar, G., Mıstıkoğlu, S., 2019. Cu/Al Levhaların Sürtünme Karıştırma Kaynağında Taguchi Metodu ile Çekme Mukavemeti ve Sertlik için Optimum Kaynak Parametrelerinin Tahmini, *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 34(3), 1595-1608.
22. Gökçe, H., 2020. Bakır Malzemenin Delinme Performansının Kesme Kuvveti ve Takım Sıcaklığı Açısından İncelenmesi, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7(3), 1039-1053.
23. Başar, G., Kahraman, F., Kuş, H., 2018. Bronz Esaslı Kompozit Sürtünme Malzemelerin Üç Nokta Eğme Mukavemetinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5(2), 626-634.
24. Ciftci, I., Gökçe, H., 2019. Molibden Alaşımlarının İşlenmesinde Kesici Takım ve Kesme Parametrelerinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(1), 201-213.
25. Başar, G., Kahraman, F., 2017. Delik İşleme Prosesinde Kesme Parametrelerinin Taguchi Metodu ve Regresyon Analizi Kullanılarak Modellenmesi ve Optimizasyonu, 2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017), Adana, 688-695.
26. Basar, G., Kirli Akin, H., Kahraman, F., Fedai, Y., 2018. Modeling and Optimization of Face Milling Process Parameters for AISI 4140 Steel, *Tehnički glasnik*, 12(1), 5-10.
27. Fedai, Y., Ünüvar, A., Akin, H.K., Başar, G., 2019. 316L Paslanmaz Çeliklerin Frezeleme İşlemindeki Yüzey Pürüzlülüğünün ANFIS ile Modellenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 98-110.
28. Tsao, C.C., Huang, C.C., 2015. Analysis of Thrust-Induced Drilling in Composite Materials using a Hemispherical Drill, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 80(1-4), 607-613.
29. Premnath, A.A., 2019. Drilling Studies on Carbon Fiber-Reinforced Nano-Sic Particles Composites using Response Surface Methodology, *Particulate Science and Technology*, 37(4), 478-486.
30. Palanikumar, K., 2011. Experimental investigation and Optimisation in Drilling of GFRP Composites, *Measurement*, 44(10), 2138-2148.
31. Kumar, D., Singh, K.K., 2019. Investigation of Delamination and Surface Quality of Machined Holes in Drilling of Multiwalled Carbon Nanotube Doped Epoxy/carbon Fiber Reinforced Polymer Nanocomposite, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 233(4), 647-663.
32. Kus, H., Basar, G., Kahraman, F. 2018. Modeling and Optimization for Fly Ash Reinforced Bronze-Based Composite Materials using Multi Objective Taguchi Technique and Regression Analysis, *Industrial Lubrication and Tribology*, 70(7), 1187-1192.

LiDAR Verisi Yardımıyla Otomatik Dalga Boyu Bandı Yaklaşımı Kullanılarak Hiperspektral Görüntülerde Spektral Değişkenliğin Azaltılması

Sevcan KAHRAMAN^{1*}

¹*İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

Geliş tarihi: 09.10.2020 Kabul tarihi: 23.12.2020

Öz

Hiperspektral (HS) ve kızılötesi (Light Detection and Ranging-LiDAR) algılayıcıları en yeni uzaktan algılama teknolojilerindedir. Son yıllarda, hiperspektral karışım giderimi analizi uzaktan algılama uygulamalarında büyük bir önem kazanmıştır. Spektral değişkenlik hiperspektral görüntülerde bazı nedenlerden dolayı meydana gelebilmektedir. Bu spektral değişkenlik hiperspektral görüntü analizinde ciddi bolluk değeri tahminleme hatalarına sebep olabilmektedir. LiDAR algılayıcısı spektral değişkenlikten etkilenmeyen Dijital Yüzey Modeli (DSM) bilgisini sunmaktadır. Bu çalışmada, hiperspektral görüntülerde spektral değişkenliği azaltmak için Kararlı Bölge Karışım Giderimi (Stable Zone Unmixing-SZU) yaklaşımı LiDAR-DSM verisinin kümeleme bilgisi kullanılarak uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar simülasyon ve gerçek veri setleri üzerinde gerçekleştirilmiş ve spektral değişkenliğin her iki veri setinde de azaltıldığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Hyperspectral (HS) görüntü; kızılötesi (Light Detection and Ranging-LiDAR) verisi; spektral değişkenlik; SUnSAL-TV; ADMM.

LiDAR-aided Spectral Variability Decreasing in Hyperspectral Imagery Based on an Automated Waveband Selection Approach

Abstract

Hyperspectral (HS) and Light Detection and Ranging (LiDAR) sensors are the two of the newest remote sensing technologies. In recent decades, hyperspectral unmixing analysis has achieved a great importance in remote sensing applications. Spectral variability can occur in hyperspectral images due to some reasons. This spectral variability can cause serious abundance estimation errors in hyperspectral image analysis. On the other hand, LiDAR data provides the Digital Surface Model (DSM) data that does not affected by spectral variability. In this study, in order to decrease the spectral variability on hyperspectral imagery, Stable Zone Unmixing (SZU) approach is used by segmenting of LiDAR-DSM information. Experimental results are carried out on simulation and real data sets and spectral variability is reduced in both images.

Keywords: Hyperspectral (HS) image; Light Detection and Ranging (LiDAR) Data, spectral variability, SUnSAL-TV, ADMM

*Sorumlu (Corresponding author) yazar: Sevcan KAHRAMAN, sekahraman@gelisim.edu.tr

1. GİRİŞ

Uzaktan algılamadaki en yeni teknolojiler gözlemlenen sahne ile ilgili detaylı bilgi sunmaktadır. Hiperspektral görüntüler uzaktan algılamada çok çeşitli uygulama alanlarıyla birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, yeryüzü yüzeyinin sınıflandırılması, hedef takibi, çevresel monitörleme vb. Son yıllarda, yüksek uzamsal ve yüksek spektral çözünürlüklü hiperspektral görüntü elde etme, uzaktan algılama çevrelerinde temel bir araştırma alanı olmuştur. Gerçekte hiperspektral görüntüler bir pikselinde tek tip materyal bulundurabileceği gibi birçok türde materyal de içerebilmektedir. Bu karışık durumda bulunan pikselleri iyi bir şekilde analiz etmek için Lineer Karışım Modeli-LKM (Linear Mixing Model-LMM) [1-2] spektral karışım gideriminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. LKM; karışım halinde bulunan bir pikselin son elemanlar ve onların ne kadar miktarda bulduklarını ifade eden bolluk değeri haritalarının lineer bir kombinasyonu şeklinde ifade edilebildiğini kabul etmektedir. Fakat, LKM lineer olmama ve spektral değişkenliği azaltamama gibi dezavantajlara sahiptir. Çünkü, LKM bir tane saf yeryüzü bileşeni için sadece bir tane spektral imza olduğunu kabul etmektedir. Fakat, gerçekte bu doğru değildir. Spektral imzalar daima değişkendir. Spektral değişkenlik çeşitli faktörlerden dolayı meydana gelebilmektedir. Örnek olarak, ışıklandırma [3], çevresel, atmosferik şartlar (su, oksijen, ozon, karbon monoksit ve karbon dioksit) [4], engebeli yüzey ve topografi [5], geçici şartlar, materyalin iç değişkenliği ve gizli parametreler (bitkilerde klorofil konsantrasyonu) [6] sayılabilmektedir.

Eğer spektral değişkenlik uygun seviyede dikkate alınmazsa, bu durum spektral karışım analizinde ciddi tahminleme hatalarına sebep olabilmektedir [7]. İki tür spektral değişkenlik vardır. Bunlar; sınıf-içi spektral değişkenlik ve sınıflar-arası spektral değişkenliktir [8].

Spektral değişkenlik ile ilgili çeşitli literatür çalışmaları bulunmaktadır. Drumetz ve arkadaşları [9] en yeni spektral değişkenlik yaklaşımlarını analiz etmişler ve bu yaklaşımları üç kategoriye ayırmışlardır. Bunlar temel olarak son elemanları

küme olarak alan, istatistiksel dağılım olarak alan ve değişkenliği fiziksel model olarak ele alan yaklaşımlardır. Aynı zamanda bu modellerin avantaj ve dezavantajlarını vurgulamışlardır. Somers ve arkadaşları [10] spektral değişkenlik ile ilgili indirgeme yaklaşımlarını incelemişlerdir. Buna ek olarak, spektral değişkenlik ile ilgili baskılama yaklaşımlarının önemini vurgulamışlardır. Zare ve Ho [11] hiperspektral karışım giderimi ve son eleman tahminlemede spektral değişkenlik modellerini incelemişler ve spektral değişkenlik yaklaşımlarını iki gruba ayırmışlardır. Bunlar; son elemanları bir küme şeklinde ve istatistiksel dağılım biçiminde ele alan yaklaşımlardır. Aynı zamanda spektral değişkenliğin geleceği hakkında da yorumda bulunmuşlardır. Theiler ve arkadaşları [12] spektral değişkenliğin nedenlerini tanımlamışlar ve hiperspektral veriyi analiz ederken spektral değişkenliği ele alarak sinyal işleme ve hedef takibi yaklaşımlarının önemini vurgulamışlardır.

Spektral değişkenlik probleminin üstesinden gelmek için literatürde çeşitli teoriler ileri sürülmüştür. Veganzones ve arkadaşları [13] spektral değişkenliği kullanarak her pikselin ölçeklenmesi yardımıyla Genişletilmiş Lineer Karışım Modelini (Extended Linear Mixture Model-ELMM) tanımlamışlardır. Thouvenin ve arkadaşları [14] son eleman değişkenliğini elde etmek için uzamsal değişkenlik gösteren pertürbasyon matrisini dikkate alan Pertürbasyon Lineer Karışım modelini (Perturbed Linear Mixture Model-PLMM) önermişlerdir. Uezato ve arkadaşları [15] spektral karışım gideriminde az olan son elemanların spektral bilgisini kullanma probleminin üstesinden gelmek için çok görevli Gaussian yaklaşımını (Gaussian Process Framework-SUGP) tanıtmışlardır. Hong ve arkadaşları [16] spektral değişkenlik sözlüğünü kullanarak temel ölçekleme faktörü ve diğer spektral varyasyonlarını birleştiren Artırılmış Lineer Karışım Modelini (Augmented Linear Mixture Model-ALMM) sunmuşlardır. Uezato ve arkadaşları [17] her bir sınıfın çoklu son elemanı için hiyerarşik yapıyı ilişkilendiren bir karışım modeli sunmuşlardır. Bu yaklaşım fiziksel bir anlama sahiptir ve her bir sınıfın son eleman spektralarının demetlerini içermektedir. Drumetz

ve arkadaşları [18] bolluk değeri tahminlemede grup seyreklik karışım normlarının kullanımını grup seyrekliğini ifade eden bir kısıtlama ile optimizasyon problemi şeklinde sunmuşlardır. Ibarrola-Ulzurrun ve arkadaşları [19] farklı spektral karışım giderimi modellerinin performansını son elemanların nitelik ve nicelik özelliklerine dayanarak karşılaştırmışlardır. Borsoi ve arkadaşları [20] hiperspektral karışım gideriminde spektral değişkenliği azaltmak için süperpikseller üzerinde veriye bağlı çok skalalı bir model sunmuşlardır. Benhalouche ve arkadaşları [21] LKM için maliyet fonksiyonunu minimize eden ve çarpımsal güncelleme kuralını kullanan pikselden-piksele negatif olmayan matris faktörizasyonu yaklaşımını sunmuşlardır.

LiDAR verisi yatay ve düşey noktaları kullanarak yeryüzü yüzeyinin 3-boyutlu (3D) yapısını sunmaktadır. Bütün hava şartlarında yükseklik, eğim, oryantasyon ve eğrilik gibi geometrik bilgiyi sunabilmektedir [22]. HS ve LiDAR verileri gözlemlenen sahne ile ilgili bütünleşik bilgi sunmaktadırlar. Her iki tür bilgi birlikte kullanılarak materyallerin sınıflandırılması gibi birçok uygulamada daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir Uezato ve arkadaşları [23], hiperspektral görüntünün spektral değişkenliğini radyans bilgisini kullanarak ışıklı ve gölgeli bölgelerde karışım giderimi analizinde fiziksel olarak açıklamak için Işıklılandırma Değişmeyen Spektral Karışım Giderimi Modelini (Illumination Invariant Spectral Unmixing-IISU) LiDAR-DSM verisini kullanarak sunmuşlardır. Kahraman ve arkadaşları [24] hiperspektral karışım gideriminde spektral değişkenliği azaltmak için LiDAR-DSM kümeleme bilgisini özellik çıkarım stratejisi olarak kullanan bir yaklaşım önermişlerdir.

Spektral değişkenlik, bir görüntü boyunca ya da farklı görüntülerdeki materyallerin spektral imzasındaki değişkenlik olarak tanımlanmaktadır. Bir materyal için spektral imzaların değişkenliği hiperspektral karışım giderimi ve sınıflandırmada performans azalmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, hiperspektral karışım gideriminde LiDAR-DSM verisinin yardımıyla Kararlı Bölge Karışım Giderimi-KBKG dalga boyu bandı seçim

yaklaşımı [25] kullanılarak sentetik ve gerçek veri kümelerinde spektral değişkenlik azaltılmaktadır. Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir. Başlık 2’de LKM ile birlikte KBKG dalga boyu bandı metodu anlatılarak önerilen yaklaşım anlatılmaktadır. Sentetik ve reel veri setleri üzerinde yapılan deneysel sonuçlar Başlık 3’te verilmiştir. Başlık 3’te elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde sunulan yaklaşımın detayları anlatılmaktadır. Öncelikle Lineer Karışım Modeli, Negatif Olmayan Matris Faktörizasyonu, İkili Parçalama Ağacı ve Kararlı Bölge Karışım Giderimi yaklaşımı anlatıldıktan sonra LiDAR-DSM verisinin kümeleme bilgisi kullanılarak hiperspektral görüntünün çözünürlüğünü nasıl artırdığı anlatılmaktadır.

2.1. Lineer Karışım Modeli-LKM (Linear Mixing Model-LMM)

Hiperspektral karışım giderimi, hiperspektral görüntüyü son elemanlar ve onların ne kadar oranda bulunduğunu ifade eden bolluk değeri haritalarına en iyi şekilde ayırmayı amaçlamaktadır. Literatürde farklı türde karışım giderimi modelleri sunulmuştur. Spektral Karışım Giderimi (Spectral Unmixing) [26] en yaygın olarak kullanılan hiperspektral görüntü analiz yöntemlerindedir. Bu yöntem son elemanlara karşılık gelen bolluk değeri haritalarını en iyi şekilde tahminlemeye çalışmaktadır. Spektral karışım giderimi yöntemlerinden en basit ve en yaygın olarak kullanılan yöntem Lineer Karışım Modelidir-LKM (Linear Mixture Model-LMM) [26]. Lineer karışım modelinde, son elemanların birbirlerinden bağımsız olduğu ve bir hiperspektral görüntünün son elemanlar ve onlara karşılık gelen bolluk değeri haritalarından meydana geldiği kabul edilmektedir. LKM matris formunda aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir [26] (Eşitlik 1):

$$Y=EA+N \quad (1)$$

burada $Y \in \mathbb{R}^{L \times M}$ karışım halinde bulunan hiperspektral görüntüyü, $E \in \mathbb{R}^{L \times P}$ son elemanları içeren matrisi, $A \in \mathbb{R}^{P \times M}$ son elemanlara karşılık gelen bolluk değeri matrisini, $N \in \mathbb{R}^{L \times M}$ ise gürültüyü temsil etmektedir. L spektral bant sayısı, P son eleman sayısı ve M ise toplam piksel sayısını ifade etmektedir.

2.2. Negatif Olmayan Matris Faktörizasyonu-NMF (Non-negative Matrix Factorization-NMF)

Hiperspektral karışım giderimi probleminin çözümü için Negatif Olmayan Matris Faktörizasyonu-NMF (Non-negative Matrix Factorization-NMF) [27] yaklaşımı etkili bir şekilde kullanılmaktadır. NMF yaklaşımı, hiperspektral görüntü matrisi Y ile onun son elemanlar ve bunlara karşılık gelen bolluk değeri haritaları parçalanma şekli olan EA matrisi arasındaki farkı minimize yapmaya çalışmaktadır. NMF aşağıdaki maliyet fonksiyonu ile ifade edilebilmektedir (Eşitlik 2):

$$C(E,A) = \frac{1}{2} \|Y - EA\|_F^2 \quad E, A \geq 0 \quad (2)$$

burada $\|\cdot\|_F$ Frobenious normu ifade etmektedir.

2.3. Kararlı Bölge Karışım Giderimi Yaklaşımı -KBKG (Stable Zone Unmixing Approach -SZU)

Lineer spektral karışım analizi spektral değişkenliği dikkate almamaktadır. Dalga boyu bantları ve spektral özelliklerin alt kümesi kullanılarak son eleman değişkenliği dikkate değer bir oranda azaltılabilmektedir. Spektral değişkenlik probleminin üstesinden gelmek için geliştirilen yöntemlerden biri de Kararlı Bölge Karışım Giderimi (KBKG) Yaklaşımıdır [25]. KBKG yaklaşımı gözlemlenen sahneden bağımsız en kararlı spektral özellikleri içeren dinamik dalga-boyu bandı seçim protokolü sunmaktadır. Bu protokol sınıf-İçi saçılımı minimize ederken sınıflar-arası saçılımı maksimize etmektedir.

KBKG yaklaşımı spektral değişkenliği azaltan iyi bir karışım giderimi yöntemidir. Bu yaklaşımda karışım analizinde kullanılmak üzere spektral değişkenliğe karşı hassasiyet gösteren spektral özelliklerin seçilmesini gerçekleştiren kararsızlık indeksi-KIN kriteri (InStability Index-ISI) hesaplanmaktadır. KIN kriteri sınıf-İçi spektral değişkenliğin sınıflar-arası spektral değişkenliğe oranı şeklinde aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Eşitlik 3):

$$ISI_i = \frac{\Delta_{\text{sınıf-İçi},i}}{\Delta_{\text{sınıflar-arası},i}} = \frac{m}{m(m-1)} \sum_{z=1}^{m-1} \sum_{j=z+1}^m \frac{1,96(\sigma_{z,i} + \sigma_{j,i})}{|R_{\text{ort},z,i} - R_{\text{ort},j,i}|} \quad (3)$$

burada $R_{\text{ort},z,i}$ ve $R_{\text{ort},j,i}$ son eleman sınıfları z ve j için, i .ninci dalga boyunda ortalama reflektans değerlerini temsil etmektedir. $\sigma_{z,i}$ ve $\sigma_{j,i}$ değerleri ise, yine aynı sınıflar için standart sapmayı ifade etmektedir.

KBKG modeli, KIN değerini bir eşik değeri olarak kullanarak her bir piksele Ortalama Hata Kare Kökü (Root Mean Squared Error-RMSE) değerini vermektedir. Böylece en düşük RMSE değerine sahip olan piksel en düşük spektral değişkenliğe sahip anlamına gelmektedir.

KBKG yaklaşımı birkaç adımdan oluşmaktadır: Görüntüde sunulan her bir son eleman için son eleman spektral veri seti toplanır. Mevcut olan spektral veri setine dayanarak sınıf-İçi ve sınıflar-arası değişkenliği dikkate alan KIN kriteri kullanılarak her bir dalga boyu bandının RMSE değeri hesaplanır. Optimal alt küme boyutu belirlenir. Seçilen optimal spektral özelliklerin kümesi karışım analizinde kullanılmaktadır.

KBKG protokolü senaryodan bağımsız olarak kullanılabilen etkili bir spektral karışım analizi yaklaşımıdır. Otomatik dalga boyu bandı seçilerek KBKG yaklaşımıyla beraber spektral değişkenlik azaltılarak karışım analiziyle beraber alt-piksel tahminleme oranı yükseltilebilmektedir. Ayrıca, spektral veriyi karışım analizinde kullanılmak üzere hızlı ve hesaplama olarak etkili algoritma sunmaktadır.

2.4. İkili Parçalama Ağacı (Binary Partition Tree–BPT)

Az sayıdaki bileşen özelliklerine dayanan İkili Parçalama Ağacı İPA (Binary Partition Tree–BPT) son yıllarda kullanılan en yaygın kümeleme yaklaşımlarından biridir. İPA yaklaşımı ardışık olarak bölge birleştirmeye dayanmaktadır ve hiperspektral verinin bölgeye dayalı hiyerarşik ifadesi şeklinde tanımlanmaktadır. İPA hiperspektral veriyi hiyerarşik bölgelere ayırdığı için görüntünün semantik içeriğini de ifade etmektedir [28]. İPA, bir görüntüden çıkartılabilecek anlamlı bölgeler kümesinin bir bütün olarak yapısal ifadesini gerçekleştirmektedir. Böylelikle, bir görüntüden çıkarılabilecek olan aynı özellikteki bölgelerin birleştirilip, yapısal bir bütün şeklinde ifade edilmesini sağlamaktadır.

2.5. Veri İndirgeme

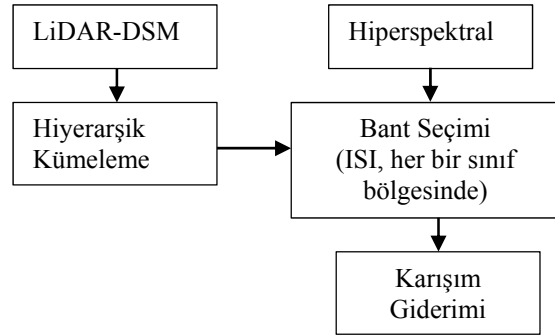
Veri indirgeme hiperspektral görüntü işleme ve analizinde hesaplama karmaşıklığını indirmek için çok fazla kullanılmaktadır [29]. Asner ve Lobell [30] spektral karışım analizinde veri indirgemenin önemini vurgulamışlardır. Dikkatli bir dalga boyu bandı ya da spektral özellik seçim işleminin spektral değişkenliğe karşı gürbüz sonuçlar vereceğini ve böylece sınıflandırma doğruluğunda dikkate değer bir performans artışına neden olacağını vurgulamışlardır. Bu nedenle, veri indirgeme gerçekleştirimi dikkate değer bir oranda spektral değişkenliğin etkilerini azaltmaktadır. Spektral özellikler ve dalga boylarının alt kümesine odaklanılarak, spektral değişkenlik probleminin üstesinden gelinebilmektedir.

2.6. Sunulan Yaklaşım

Bu çalışmada, LiDAR-DSM bölütleme bilgisini bir özellik çıkarımı yaklaşımı olarak hiperspektral görüntülerin bant seçimi işlemi için kullanan yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Ayrıca, veri indirgeme olarak da görülebilen KBKG bant seçimi yaklaşımı hiperspektral görüntüden özellik çıkarımı için kullanılmıştır.

Elde edilen indirgenmiş spektral özelliklerin spektral değişkenliğe karşı gürbüz sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu durum spektral karışım analizinde bolluk değeri tahminlemesini artırmaktadır. Böylelikle, spektral değişkenliği azaltan yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

Önerilen yaklaşımın akış diyagramı Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Sunulan yaklaşım

3. SAYISAL UYGULAMALAR

Sayısal uygulamalar LiDAR - DSM verisinin kümeleme bilgisinin bir öznitelik çıkarımı olarak kullanıldığı ve böylece bolluk değeri haritalarının tahminlenmesini artırdığını ifade eden simulasyon ve gerçek veri seti deneylerinden oluşmaktadır. LiDAR-DSM verisi üzerinde İPA kümeleme yaklaşımı uygulanarak bu kümeleme bölgelerine karşılık gelen hiperspektral verisindeki spektral imzalar her bir küme spektralleri olarak kullanılmıştır. Böylece, her bir kümenin piksel spektralleri hiperspektral veride karşılığı olan piksel spektralleri olarak kullanılmıştır. Bu veriler kullanarak sınıf-içi ve sınıflar-arası spektral değişkenlik değerleri Somer ve arkadaşları [25]’nin tanıttığı bant seçim yaklaşımı uygulanarak hesaplanmıştır.

Deneyisel çalışmalarda niceliksel geçерleme bolluk değeri haritalarının Ortalama Hata Kare Kökü (Root Mean Square Error-RMSE) değerleri hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. RMSE değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Eşitlik 4):

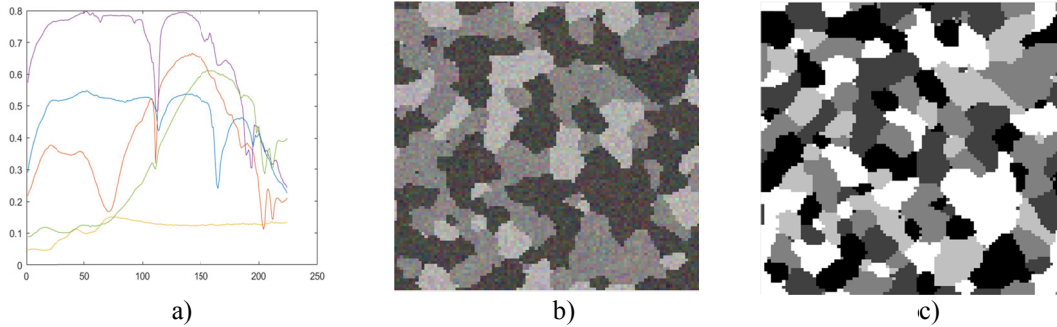
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M (a_{mi} - \hat{a}_{mi})^2} \quad (4)$$

burada a_{mi} ve \hat{a}_{mi} gerçek ve tahminlenen bolluk değeri haritalarıdır. N toplam piksel sayısını ve M ise, son eleman sayısını ifade etmektedir. Hesaplanalar Intel R Core™ i7-4770 CPU @ 3.40GHz. özelliğine sahip bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

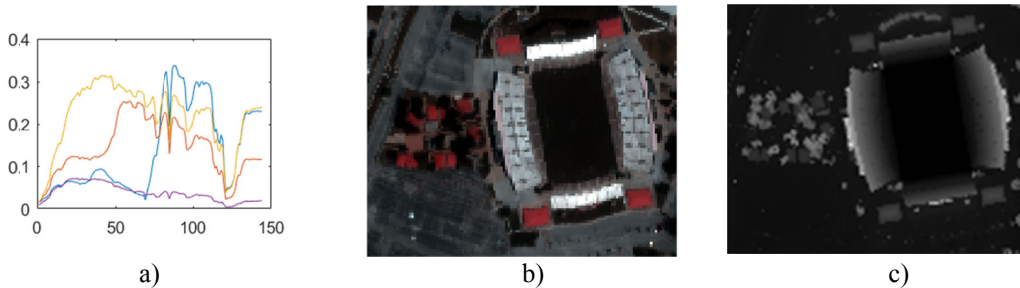
3.1. Sentetik Veri Seti

Sentetik veri, simülasyon hiperspektral veri setinden ve simülasyon LiDAR-DSM ölçümlerinden oluşmaktadır. Simülasyon verisi olan SIM görüntüsü Birleşik Eyaletler Geolojik Araştırma Spektral Kütüphanesi'nden (United States Geological Survey Spectral Library- USGS) rastgele beş tane son eleman seçilerek oluşturulmuştur. 100×100 boyutunda [31]'den sentetik bir alt küme görüntüsü kullanılmıştır. Her bir son elemanın 224 tane spektral bandı

bulunmaktadır. Bolluk değeri haritaları negatif olmama ve toplamın bir olması kısıtı dikkate alınarak oluşturulmuştur. LKM kullanarak hiperspektral veri oluşturulmuştur. Daha sonra, bu veri beyaz Gaussian gürültüsü ile SNR (Signal to Noise Ratio) = 20dB değerinde bozulmuştur. Bu sentetik görüntüde her bir alan farklı bir yükseklik değerine atanarak sentetik DSM görüntüsü elde edilmiştir. Oluşturulan sentetik hiperspektral verinin görüntüsü Şekil 2'de görülmektedir. Veri setinin sadece {1 2 4 5 7 11 13 15 17 19 21 23 25 26 30 33 35 40 44 50} numaralı bantları alınmıştır. Gerçekleştirilen deneyde, her bir sınıf içindeki piksel spektralleri kullanılarak her bir bant için ISI değerleri hesaplanmıştır. Optimal bantları seçmek için ISI değerleri üzerinde kuantalama işlemi yapıldıktan sonra, bir eşik değeri uygulanarak bant seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Seçilen bantlar SUnSAL karışım giderimi yaklaşımına [32] girdi olarak verilmiş ve bolluk değeri haritaları hesaplanmıştır.



Şekil 2. Simülasyon veri seti a) Simülasyon görüntüden çıkartılan son elemanlar b) Simülasyon görüntünün renkli görüntüsü c) Simülasyon LiDAR-DSM verisi



Şekil 3. Gerçek Houston Üniversitesi Robertson Stadyumu veri seti a) hiperspektral görüntüden çıkartılan son elemanlar b) Gerçek hiperspektral görüntünün renkli görüntüsü c) Gerçek LiDAR-DSM verisi

Sentetik veri seti üzerinde yapılan deneysel çalışmaların sayısal sonuçları Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Sentetik veri bolluk değeri haritaları

Gürültü	RMSE	
	SunsaL	Sunulan Yaklaşım
20 dB	0,0698	0,0012
30 dB	0,4563	0,4301

Çizelge incelendiğinde, sunulan yaklaşımın RMSE değerlerinin farklı gürültülerde de daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Çizelge 1’deki sonuçlardan da görüldüğü gibi uygulanan yöntem, daha düşük RMSE değerini, yani çözünürlüğü daha da artırılmış hiperpspektral veri elde edilmesini sağlamaktadır.

3.1. Reel Veri Seti

Deneyin ikinci kısmı Houston Üniversitesi Kampüsünden, (Texas, USA) Haziran 2012’de alınan veri setinin stadyum bölgesini içeren alt kümesinden oluşmaktadır. Bu veri 104×128 boyutunda 144 banttan oluşan bir alt küme görüntüsü olarak [33]’den alınmıştır. LiDAR görüntüsü ise aynı bölgenin bir gün öncesinde alınmış 2,5 m uzamsal çözünürlüğe sahip olan DSM görüntüsüdür. Şekil 3’de Houston Üniversitesi veri setinin Robertson stadyum bölgesinden alınan bir alt görüntü görülmektedir. Bu görüntüde yeşil alan, kırmızı çatılar, beton ve asfalt bulunmaktadır. Bu son elemanların spektral imzaları Şekil 3a’da görülmektedir. Stadyum bölgesinin renkli RGB görüntüsü Şekil 3b’de ve gerçek LiDAR-DSM görüntüsü ise, Şekil 3c’de görülmektedir. Hiperpspektral görüntülerde gerçek veri setleri üzerinde yapılan çalışmalarda son elemanlar ve onlara karşılık gelen bolluk haritalarının bilgisine sahip olmak çok zor olduğundan genellikle görsel sonuçlar üzerinde deneyler gerçekleştirilmektedir. Ancak, [33]’deki çalışmada kullanılan gerçek veri setinde dört tane son eleman olduğu bilgisi verilmektedir. Bu çalışmada da bu son elemanlar kullanılmıştır. Gerçek veri seti üzerinde yapılan deneysel çalışma da simülasyon veri setindeki deney gibi gerçekleştirilmiştir. Gerçek veri seti üzerinde

yapılan deneysel çalışmaların sayısal sonuçları Çizelge 2’de sunulmuştur.

Çizelge 2. Gerçek veri bolluk değeri haritaları

	RMSE	
	SunsaL	Sunulan Yaklaşım
Gerçek Veri	1627,8	1625,5

Çizelge 2 incelendiğinde, sunulan yaklaşımın RMSE değerinin DSM kullanılmadan gerçekleştirilen karışım giderimine göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Çizelge 1 ve Çizelge 2’deki sonuçlar karşılaştırıldığında sunulan yaklaşımın hem sentetik veri setinde hem de gerçek veri setinde iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Reel veri seti normalize edilmediği için RMSE değerleri 0-1 arasında çıkmamıştır.

4. SONUÇLAR

Spektral değişkenlik hiperpspektral karışım analizi ve sınıflandırmada zayıf performans sonuçlarına neden olmaktadır. Bu çalışmada sınıf-içi ve sınıflar-arası değişkenliği etkileyen yaklaşımlardan biri incelenmiştir. Bu çalışmada yüksek uzamsal çözünürlüklü hiperpspektral görüntü elde ederken spektral değişkenliği azaltacak yaklaşımlardan birisi olan KBKG bant seçimi yaklaşımı kullanılarak hiperpspektral görüntüde spektral değişkenlik azaltılmıştır. LiDAR-DSM verisi spektral değişkenliğe karşı gürbüzdür. Bu nedenle, hiperpspektral öznelik çıkarımında LiDAR-DSM veri setinin kümeleme bilgisi hiyerarşik kümeleme adımıyla kullanılmıştır. Böylece, hiperpspektral görüntüde sadece spektral değişkenliği azaltmakla kalmayıp, karışım giderimi performansını artırdığı da görülmüştür. Deneyler sentetik ve gerçek veri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonunda performans karşılaştırması yapılmış ve LiDAR-DSM bilgisinin hiperpspektral karışım gideriminde kullanılmasının daha gürbüz bolluk değeri tahminlemesinin elde edilmesine olanak sağladığı görülmüştür. Daha sonraki çalışmalarda bulut gölgeli alanlardaki spektral değişkenliği azaltacak olan LiDAR verisinin de kullanıldığı farklı yaklaşımlar denenecektir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma İstanbul Gelişim Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Uygulama Merkezi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: BP-070220-SK.

6. KAYNAKLAR

1. Hu, Y.H., Lee, H.B., Scarpace, F.L., 1999. Optimal Linear Spectral Unmixing. *IEEE, Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(1), 639 – 644.
2. Keshava, N., Mustard, J.F., 2002. Spectral unmixing. *IEEE Signal Processing Magazine*, 19(1), 44-57.
3. Somers, B., Delalieux, S., Verstraeten, W.W., van Aardt, J.A.N., Albrigo, G.L., Coppin, P., 2010. An Automated Waveband Selection Technique for 2010 Optimized Hyperspectral Mixture Analysis, *International Journal of Remote Sensing*, 31(20), 5549–5568.
4. Healey, G., Slater, D., 1999. Models and Methods for Automated Material Identification in Hyperspectral Imagery Acquired Under Unknown Illumination and Atmospheric Conditions. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 37(6), 2706–2717.
5. Adams, J., Sabol, D., Kapos, V., Filho, R., Roberts, D., Smith, M., Gillespie, A., 1995. Classification of Multispectral Images Based on Fractions of Endmembers: Application to Land-cover Change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing Environ.*, 52(2), 137–154.
6. Drumetz, L., Veganzones, M.A., Henrot, S., Phlypo, R., Chanussot, J., Jutten, C., 2016. Blind Hyperspectral Unmixing Using an Extended Linear Mixing Model to Address Spectral Variability. *IEEE Trans. Image Process.*, 25(8), 3890–3905.
7. Uezato, T., Fauvel, M., Dobigeon, N., 2019. Hyperspectral Unmixing with Spectral Variability Using Adaptive Bundles and Double Sparsity, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 57(6), 3980-3992.
8. Zhang, J., Rivard, B., Sanchez-Azofeifa, A., Castro-Esau, K., 2006. Intra- and Inter-class Spectral Variability of Tropical Tree Species at La Selva, Costa Rica: Implications for species identification using HYDICE imagery. *Remote Sensing of Environment*, 105, 129–141.
9. Drumetz, L., Chanussot, J., Jutten, C., 2016. Variability of the Endmembers in Spectral Unmixing: Recent Advances. 8th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS), 1-5.
10. Somers, B., Asner, G.P., Tits, L., Coppin, P., 2011. Endmember Variability in Spectral Mixture Analysis: A review. *Remote Sensing of Environment, Remote Sensing of Environment*, 115, 1603–1616.
11. Zare, A., Ho, K.C., 2014. Endmember Variability in Hyperspectral Analysis: Addressing Spectral Variability During Spectral Unmixing. *IEEE Signal Processing Magazine*, 31(1), 95-104.
12. Theiler, J., Ziemann, A., Matteoli, S., Diani, M., 2019. Spectral Variability of Remotely Sensed Target Materials: Causes, Models, and Strategies for Mitigation and Robust Exploitation. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 7(2), 8-30.
13. Veganzones, M.A., Drumetz, L., Tochon, G., Dalla Mura, M., Plaza, A., Bioucas-Dias, J., Chanussot, J., 2014. A New Extended Linear Mixing Model to Address Spectral Variability. 6th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS), 1–4.
14. Thouvenin, P., Dobigeon, N., Tournet, J., 2016. Hyperspectral Unmixing with Spectral Variability Using a Perturbed Linear Mixing Model. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 64(2), 525–538.
15. Uezato, T., Murphy, R.J., Melkumyan, A., Chlingaryan, A., 2016. A Novel Spectral Unmixing Method Incorporating Spectral Variability Within Endmember Classes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(5), 2812–2831.
16. Hong, D., Yokoya, N., Chanussot, J., Xiang Zhu, X., 2019. An Augmented Linear Mixing Model to Address Spectral Variability for Hyperspectral Unmixing. *IEEE Transactions on Image Processing*, 28(4), 1923–1938.

17. Uezato, T., Fauvel Ma., Dobigeon, N., 2019. Hyperspectral Unmixing with Spectral Variability Using Adaptive Bundles and Double Sparsity. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1–13.
18. Drumetz, L., Meyer, T.R., Chanussot, J., Bertozzi, A.L., Christian, J., 2019. Hyperspectral Image Unmixing with Endmember Bundles and Group Sparsity Inducing Mixed Norms. *IEEE Transactions on Image Processing*, 28(7), 3435 – 3450.
19. Ibarrola-Ulzurrun, E., Drumetz, L., Marcello, J., Gonzalo-Martín, C., Chanussot, J., 2019. Hyperspectral Classification Through Unmixing Abundance Maps Addressing Spectral Variability. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(7), 4775 – 4788.
20. Borsoi, R.A., Imbiriba, T., Bermudez, J.C.M., 2020. A Data Dependent Multiscale Model for Hyperspectral Unmixing with Spectral Variability, *IEEE Transactions on Image Processing*, 29, 3638 – 3651.
21. Benhalouche, F.Z., Karoui, M.S., Deville, Y., 2019. An NMF-Based Approach for Hyperspectral Unmixing Using a New Multiplicative-tuning Linear Mixing Model to Address Spectral Variability. 2019 27th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), 24-27.
22. Jung, J., Pasolli, E., Prasad, S., Tilton, J., Crawford, M., 2014. A Framework for Land Cover Classification Using Discrete Return LiDAR data: Adopting Pseudo-waveform and Hierarchical Segmentation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(2), 491–502.
23. Uezato, T., Yokoya, N., He, W., 2020. Illumination Invariant Hyperspectral Image Unmixing Based on a Digital Surface Model, *IEEE Transactions on Image Processing*, 29, 3652 – 3664.
24. Kahraman, S., Bacher, R., Uezato, T., Chanussot, J., Tangel, A., 2019. LiDAR-Guided Reduction of Spectral Variability in Hyperspectral Imagery. 2019 10th Workshop on Hyperspectral Imaging and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS), 2019.
25. Somers, B., Delalieux, S., Verstraeten, W.W., van Aardt, J.A.N., Albrigo, G.L., Coppin, P., 2010. An Automated Waveband Selection Technique for Optimized Hyperspectral Mixture Analysis, *International Journal of Remote Sensing*, 31(20), 5549–5568.
26. Bioucas-Dias, J., Plaza, A., Dobigeon, N., Parente, M., Du, Q., Gader, P., Chanussot, J., 2012. Hyperspectral Unmixing Overview: Geometrical, Statistical, and Sparse Regression-based Approaches. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 5(2), 354-379.
27. Lee, D., Seung, H., 1999. Learning the Parts of Objects by Non-negative Matrix Factorization. *Nature*, 401, 788–791.
28. Salembier, P., Garrido, L., 2000. Binary Partition Tree as an Efficient Representation for Image Processing, Segmentation, and Information Retrieval, *IEEE Trans. Image Process.*, Apr., 9(4), 561–576.
29. Tu, T.N., Chen, C.H., Wu, J.L., Chang, C.I., 1998. A Fast Two-stage Classification Method for High-dimensional Remote Sensing Data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, 182–191.
30. Asner, G.P., Lobell, D.B., 2000. A Biogeophysical Approach for Automated SWIR Unmixing of Soils and Vegetation, *Remote Sensing of Environment*, 74, 99–112.
31. Uezato, T., Murphy, R.J., Melkumyan, A., Chlingaryan, A., 2016. A Novel Endmember Bundle Extraction and Clustering Approach for Capturing Spectral Variability Within Endmember Classes, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 54(11), 6712 – 6731.
32. <http://www.lx.it.pt/~bioucas/code.htm>
33. Drumetz, L., Veganzones, M.A., Henrot, S., Phlypo, R., Chanussot, J., Jutten, C., 2016. Blind Hyperspectral Unmixing Using an Extended Linear Mixing Model to Address Spectral Variability, *IEEE Transactions on Image Processing*, 25(8), 3890 – 3905.

On the Thermo Economical Optimization for Solar Hot Water Heating Systems

Mehmet Sait SÖYLEMEZ^{*1}, Murtaza YILDIRIM²

¹University of Gaziantep, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Gaziantep

²University of Gaziantep, Vocational School, Gaziantep

Geliş tarihi: 03.12.2019

Kabul tarihi: 30.12.2020

Abstract

A thermo economic optimization analysis is presented based on steady state performance at annual average condition which yields simple algebraic formula for estimating the optimum heat storage tank capacity for solar energy applications. The P₁-P₂ method is used in the present study, together with the most favorable heat storage tank dimensioning criteria, for thermo economic analysis of solar hot water heating systems, SHW, including costs of all system elements. The optimum storage capacity and the most feasible collector area are calculated at which maximum net life cycle savings occurs for solar hot water heating systems. The validity of the optimization formulation was checked.

Keywords: Thermo economics, Solar hot water heating, Optimization, Storage volume

Güneş Sıcak Su Isıtma Sistemleri için Thermo Ekonomik Optimizasyon Üzerine Bir Çalışma

Öz

Güneş enerjisi uygulamaları için optimum ısı depolama tankı kapasitesini tahmin etmek için basit cebirsel formül üreten yıllık ortalama koşulda kararlı durum performansına dayalı bir thermo ekonomik optimizasyon analizi sunulmuştur. P₁-P₂ metodu, bu çalışmada, tüm sistem elemanlarının maliyetleri de dahil olmak üzere, sıcak kullanım suyu ısıtma sistemlerinin (SHW) thermo ekonomik analizi için en uygun ısı depolama tankı boyutlandırma kriterleri ile birlikte kullanılmaktadır. Optimum depolama kapasitesi ve en uygun kollektör alanı, güneş enerjili sıcak su ısıtma sistemleri için maksimum net yaşam döngüsü tasarrufunun gerçekleştiği yerde hesaplanır. Optimizasyon formülasyonunun geçerliliği kontrol edildi.

Anahtar Kelimeler: Thermo ekonomi, Güneş sıcak su ısıtma, Optimizasyon, Depolama hacmi

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet Sait SÖYLEMEZ, sait@gantep.edu.tr

1. INTRODUCTION

Optimization of SHW, as shown in Figure 1 is extremely important to maximize the savings from these systems. There are many parameters to optimize SHW in a thermo-economic way.

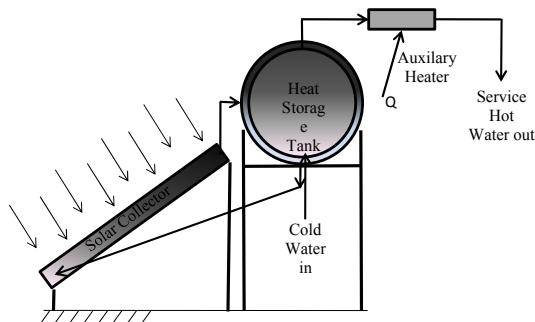


Figure 1. Schematic of SHW

Fixing and, therefore, eliminating all these arbitrary thermal and economic parameters and formulating the most important dependent parameter, the collector area, depending on the storage capacity for the most efficient operation of the SHW, can determine the optimal value for the production of thermal energy. The value of using alternative energy is constantly growing. Solar energy is generally used since it is a clean, renewable and environment conscious type of an alternative energy source. It is known that the efficiency of a solar collector directly depends on its performance, as well as on the temperature at the inlet of the circulating fluid, such as water and antifreeze solution. Before installing alternative energy generating systems, it is necessary to prepare a feasibility study. The main theme of this paper depends on this idea. For this purpose, a new method of thermo-economic optimization has been implemented and presented. An original formula has been developed for calculating the optimal amount of storage of solid waste, which achieves maximum net savings in the life cycle. A thorough search of the current literature are A deep investigation has been accomplished to determine thermal efficiency and cost analysis of solar water heater made in Rwanda [1]. Compared various optimization criteria for a solar domestic hot water system (SDHWS) and considered the energetic,

exergetic, environmental (CO₂ emissions) and financial (life cycle cost) analysis [2]. The proper design of renewable energy based systems is really important to provide their efficient and safe operation. Compared the results obtained during traditional static calculations, with the results of dynamic simulations [3]. Solar water heating (SWH) systems can provide a significant part of the heat energy that is required in the residential sector. The use of SWH systems is motivated by the desire to reduce energy consumption and especially to reduce a major source of greenhouse gas (GHG) emissions [4]. Presented an optimization method to design a solar water heating (SWH) system based on life cycle cost (LCC) [5]. Nowadays the main challenges and principles to increase energy efficiency in the buildings sector are: a very high energy performance of buildings, a significant extent of renewable energy sources and a minimum use of fossil fuels [6]. A solar water heating system for domestic use has been designed and constructed using locally available materials [7]. Solar Water Heaters intercept solar radiation and use it to heat water. Solar thermal collectors can be categorized by the temperature at which they efficiently deliver heat [8]. The design and development of experimental apparatus for demonstrating solar water heating is described. Solar water heating utilizing thermosiphon is attractive because it eliminates the need for a circulating pump [9].

Some of the current literature showed that there were several studies on thermodynamic optimization of the various components of the SHW [10, 11, 12, 13, 14 and 15] and thermo economic optimization of the collector area [16] for fixed storage size per unit collector area excluding the volume dependent first cost of the storage tank. All of these studies do not consider the thermal performances and economics of the system elements all together. A practical method, P₁-P₂ method [11], is used for optimizing the storage tank size of SHW in supplying the thermal energy. Variable parameters used in formulating the thermo economically optimum SHW volume are listed as technical life of the SHW system, first cost of the collector and storage tank per unit size,

annual interest rate, present net price of energy, annual energy price escalation rate, annual average operating time, daily mean operating time, average value of ambient temperature, overall heat loss coefficient of the collector, overall equivalent heat loss coefficient of the heat storage tank, additional independent first expenses of the system for control systems etc., daily average solar energy incoming onto tilted collector surface, collector heat removal factor, transmittance-absorptivity product of the inclined solar collector surface, density and specific heat of water, resale value of the system and the ratio of annual maintenance and operation cost to the original first cost. In addition, the optimal net savings from SHW and payback period is achieved algebraically in the present way of compiling. The optimal amount of accumulated heat of SHW and the corresponding optimal collector area for this storage volume, the optimal net savings from SHW and the payback period can be easily calculated in a few minutes using practical formulas. Designed and presented original formulas by considering three types of tanks as cylindrical, cubic and spherical.

2. MATHEMATICAL FORMULATION

The minimum heat transfer area can be determined by using the method illustrated in [17] for the cylindrical solar heat storage tank as shown in Figure 1 as (Equation 1):

$$A_{\min} = 5.83.V^{2/3} = c.V^{2/3} \quad (1)$$

For a cubic tank similar procedure can be applied which yields (Equation 2):

$$A_{\min} = 6.V^{2/3} = c.V^{2/3} \quad (2)$$

Likewise, if the SHW has a spherical tank its minimum heat transfer area is equal to (Equation 3):

$$A_{\min} = 4.84.V^{2/3} = c.V^{2/3} \quad (3)$$

It is seen that $c = 6$ for cubical tank, 5.83 for cylindrical tank and 4.84 for spherical tank meaning that the minimum heat loss occurs in spherical tank per unit storage volume in comparison with the others.

The net amount of heat that can be stored in the SHW tank can be determined by Equation 4.

$$Q_u = \rho.C_p.V.\Delta T_s \Rightarrow \Delta T_s = \frac{Q_u}{\rho.C_p.V} \quad (4)$$

Energy balance equation for the insulated storage tank (assumed to be at lumped temperature) can be written as in Equation 5.

$$Q_c = Q_u + Q_L \quad (5)$$

Equation 5 can be expanded to get Equation 6 assuming cold water supply temperature is equal to surrounding temperature and average solar energy storage tank temperature is approximately equal to the cold fluid inlet temperature to the collector (Equation 6):

$$F_R.(\tau.\alpha).H_T.A_c.\Delta t - A_c.F_R.U_L.\Delta t.\Delta T = \rho.C_p.V.\Delta T_s + U_t.c.\Delta T.\Delta t.V^{2/3} \quad (6)$$

Area of collector can be formulated after combination of Equations 4 and 6:

The net saving function for disposing of waste heat from SHW can be recorded using the well-known P_1 - P_2 method [18] equipment cost estimation parameters for the solar collector area and storage tank as follows (Equation 7):

$$A_c = \frac{\rho.C_p.V.Q_u}{\Delta t} + c.U_t.Q_u.V^{2/3} \quad (7)$$

$$S = \frac{P_1.C_E.Q_u.H}{\Delta t} - P_2.[(C_A.A_c) + C_{EX}] - P_2.C_V.V^{2/3} \quad (8)$$

P₁-P₂ method is selected since it is an easy method and widely used in solar energy economics. P₁ is the ratio of the energy cost savings during the life cycle to the energy savings in the first year, and P₂ is the ratio of the life cycle costs incurred as a result of the additional investments to the initial investments. Combining Equations 7 and 8 yields:

$$S = \frac{P_1 \cdot C_E \cdot Q_u \cdot H}{\Delta t} - P_2 \cdot C_A \left[\frac{\frac{\rho C_p V Q_u}{\Delta t} + c U_t Q_u V^{2/3}}{\rho C_p V H_T F_R (\tau \alpha) - F_R U_L Q_u} \right] - P_2 \cdot C_{EX} - P_2 \cdot C_V \cdot V^{2/3} \quad (9)$$

Equation 9 can be rearranged to:

$$S = S_F - P_2 \cdot C_A \left[\frac{\frac{\rho C_p V Q_u}{\Delta t} + c U_t Q_u V^{2/3}}{\rho C_p V H_T F_R (\tau \alpha) - F_R U_L Q_u} \right] - P_2 \cdot C_V \cdot V^{2/3} \quad (10)$$

S_F is given as in the Equation 11:

$$S_F = \frac{P_1 \cdot C_E \cdot Q_u \cdot H}{\Delta t} - P_2 \cdot C_{EX} \quad (11)$$

Equation 10 can be reformulated as Equation 12:

$$S = S_F - P_2 \cdot C_A \left[\frac{a_1 V + a_2 V^{2/3}}{a_3 V - a_4} \right] - P_2 \cdot C_V \cdot V^{2/3} \quad (12)$$

Where a₁, a₂, a₃, a₄ and S_F are constants. By taking the derivative of Equation 12 with respect to volume, V, gives the following equation:

$$\frac{\partial S}{\partial V} = -P_2 \cdot C_A \left[\frac{(a_1 + \frac{2}{3} a_2 V^{-1/3})(a_3 V - a_4) - a_3 (a_1 V + a_2 V^{2/3})}{(a_3 V - a_4)^2} \right] - \frac{2}{3} P_2 \cdot C_V \cdot V^{-1/3} = 0 \quad (13)$$

Resultant equation can be simplified to Equation 14.

$$b_1 \cdot V_{opt}^{-1/3} - b_2 \cdot V_{opt}^{2/3} - b_3 \cdot V_{opt}^{-1/3} = b_4 \quad (14)$$

Where:

$$b_1 = \frac{2 \cdot C_V}{3 \cdot C_A} \quad (15)$$

Trial error method is applied to solve Equation 14 to get V_{opt}. Convergence is achieved with few iteration. One can get the second derivative of the net savings function with respect to V, (∂²S/∂V²), and the result is found to be always negative, which indicates a local maximum point.

$$b_2 = \frac{4 F_R U_L Q_u C_V}{3 C_A \rho C_p F_R (\tau \alpha) H_T} + \frac{U_t c Q_u}{3 \rho C_p F_R (\tau \alpha) H_T} \quad (16)$$

$$b_3 = \frac{2 F_R U_L U_t c}{3} \left(\frac{Q_u}{\rho C_p F_R H_T (\tau \alpha)} \right)^2 \quad (17)$$

$$- \frac{2 C_V}{3 C_A} \left(\frac{F_R U_L Q_u}{\rho C_p F_R (\tau \alpha) H_T} \right)^2$$

$$b_4 = \frac{F_R U_L}{\rho C_p \Delta t} \left(\frac{Q_u}{F_R \tau \alpha H_T} \right)^2 \quad (18)$$

The payback period of the SHW can be evaluated by equating the net savings function, S, to zero as (Equation 19):

$$S = S_F - P_2 \cdot C_A \left[\frac{a_1 V_{opt} + a_2 V_{opt}^{2/3}}{a_3 V_{opt} - a_4} \right] - P_2 \cdot C_V \cdot V_{opt}^{2/3} = 0 \quad (19)$$

And if i = d, economic parameter P₁ [9] and payback period N_p can be determined as Equation 20:

$$P_1 = \frac{N}{1+i} \quad (20)$$

$$N_p = \frac{\left[C_{EX} + P_2 \cdot C_V \cdot V_{opt}^{2/3} + P_2 \cdot C_A \cdot \frac{a_1 V_{opt} + a_2 V_{opt}^{2/3}}{a_3 V_{opt} - a_4} \right]}{C_E \cdot H \cdot Q_u} \cdot (1+i) \quad (21)$$

Or when $i \neq d$, then the value of the P_1 [9 and 10] and N_p , in years, is calculated by the following equations:

$$P_1 = \frac{1}{d-i} \cdot \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right] \quad (22)$$

and

$$N_p = \frac{\ln \left\{ 1 - \frac{(d-i) \left[C_{EX} + P_2 \cdot C_V \cdot V_{opt}^{2/3} + P_2 \cdot C_A \cdot \left(\frac{a_1 V_{opt} + a_2 V_{opt}^{2/3}}{a_3 V_{opt} - a_4} \right) \right]}{C_E \cdot H \cdot Q_u} \right\}}{\ln \left(\frac{1+i}{1+d} \right)} \quad (23)$$

4. RESULTS AND DISCUSSION

For a typical SHW problem illustrated in [17], it is assumed that $i = d = 0.1$, $C_E = 7.5 \times 10^{-5}$ \$/(W.hr), $H = 2000$ hr/yr, $N = 15$ yr, $c = 6$, $U_t = 5$ W/(m².K), $F_R \cdot (\tau \cdot \alpha) \cdot H_T = 290$ W/m², $F_R \cdot U_L = 4$ W/(m².K), $\rho = 1000$ kg/m³, $C_p = 4200$ J/(kg.K), $\Delta t = 36000$ s, $Q_u = 2.1 \times 10^8$ J, $C_A = 200$ \$/m², $C_V = 300$ \$/m³, $C_{EX} = 1000$ \$, $M_s = 0$, $R_v = 0$. The optimum storage size of the SHW is calculated to be approximately 7 m³ using Equation 14. The savings value for this particular example is shown in Figure 2. It can be concluded that in SHW applications there is a local maximum value. Excessive storage size SHW will not be cost effective compared with the optimal, despite the large storage capacity of heat. On the other hand, the value of A_{opt} is determined to be approximately 25.3 m² for this specific sample problem using Equation 7. Optimum collector area of 38 m² is determined by using the optimization method available in [16] based on TRNSYS simulation

code in f-Chart method [18 and 19] with storage volume per unit collector area of 75 L/m².

Optimal collector area strongly depends upon this parameter in f-Chart method. A lower optimal amount of storage size is obtained by the present optimization method for the sample set of data. It is obtained that the most important parameter affecting the optimal sizes of storage volume and collector area is the ratio of unit cost of storage tank into unit cost of the collector area, C_V/C_A . A set of C_V/C_A values are used to see the effect of these cost parameters on optimal storage volume and collector area values as shown in Figure 3.

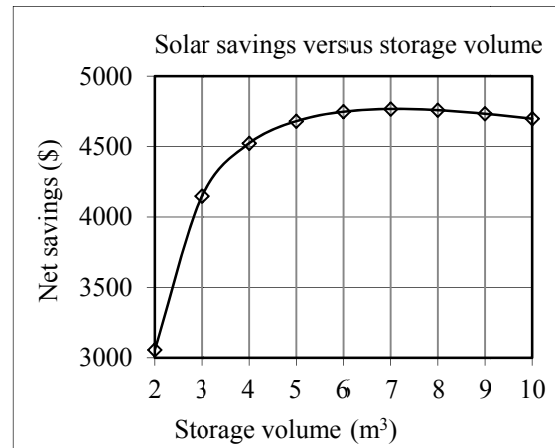


Figure 2. Net savings versus volume of SHW

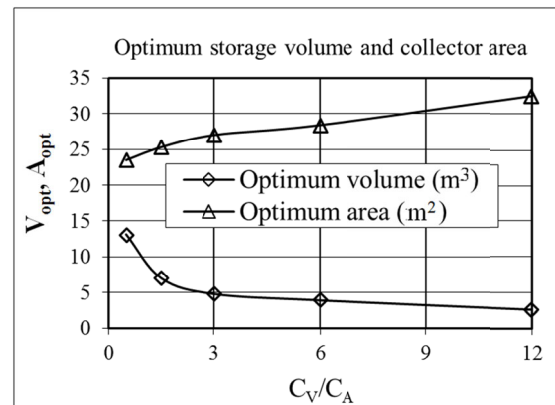


Figure 3. Optimum storage capacity and corresponding optimum collector area versus C_V/C_A

As C_V/C_A increases, optimum V/A ratio decreases and approaches to the result of the f-Chart method. The primary difference between the present results and that obtained from the f-Chart based collector area optimization method [16] is basically additional cost of storage size that was used in the present formulation. A secondary source for this difference is classical f-Chart daily load pattern that was used in [16] and uniform load profile that was assumed in the present work. On the other hand, steady state assumption was used in the present work whereas f-Chart method is an averaged method and is based on unsteady TRNSYS simulation program. Number of payback years is determined to be 9.5 years by using the optimum value of heat storage tank volume in Equation 21.

5. CONCLUSION

It is clear that at the optimum point for SHW there are good thermal and economic indicators. Solar water heating systems should be designed close to this optimum point. Results indicated that the economics of solar hot water heating systems is extremely important and the cost of all system elements must be considered in calculating the solar energy economics. The presented formulas may seem useful for developers and manufacturers, especially for those associated with SHW.

6. NOMENCLATURE

A Length of the side of cubical tank, [m]
 A Heat transfer area of storage tank, [m²]
 a₁ Constant, (a₁ = ρ.C_p.Q_u/Δt)
 a₂ Constant, (a₂ = c.U_t.Q_u)
 a₃ Constant, a₃ = F_R.(τ.α).ρ.C_p.H_T
 a₄ Constant, a₄ = F_R.U_L.Q_u
 A_c Area of collector, [m²]
 A_{min} Minimum heat transfer area of storage tank, [m²]
 A_{opt} Optimum area of collector, [m²]
 b₁₋₄ Constants defined in Equations 14, 17 and 18,
 c Constant connecting to heat transfer area of heat storage tank into its volume,

C_A Area dependent first cost of the collector, [\$/m²]
 C_E Cost of energy supplied by auxiliary heater, [\$(W.hr)]
 C_{EX} Area independent first cost of solar system, [\$]
 C_p Specific heat of water, [J/(kg.K)]
 C_V First cost of solar energy storage tank per unit volume, [\$/m³]
 d Market discount rate in fraction,
 F_R Collector heat removal factor,
 H Annual time of operation of solar energy system, [h/yr]
 H_T Annual seasonal average of instantaneous solar energy incoming onto the tilted collector surface, [W/m²]
 i Energy price escalation rate in fraction,
 M_s Ratio of annual maintenance and operation cost to first original cost,
 N Technical life of the solar system, [yr]
 N_p Payback time, [yr]
 P₁ Ratio of the life cycle energy cost savings to the first year energy cost savings, [yr]
 P₂ Ratio of the life cycle expenditures incurred because of the additional capital investment to the initial investment,
 Q_L Heat loss from heat storage tank, [W]
 Q_c Net solar energy input to collector, [W]
 Q_s Net useful energy that is stored by heat storage tank, [W]
 Q_u Daily net useful energy that is gained by solar system, [J]
 R_v Ratio of resale value into the first original cost,
 S Net savings gained from solar energy, [\$]
 S_F Constant defined in Equation 21, [\$]
 SHW Solar Hot Water,
 T_a Mean temperature of ambient air, [K]
 T_{c,i} Mean inlet temperature of collector fluid, [K]
 T_s Mean lumped temperature of storage tank, [K]
 U_L Overall heat loss coefficient of collector, [W/(m².K)]
 U_t Equivalent overall heat loss coefficient of storage tank, [W/(m².K)]
 V Volume of storage tank, [m³]
 V_{opt} Optimum volume of storage tank, [m³]

- ΔT Temperature difference between collector fluid at the inlet and ambient air or temperature difference between the storage tank and ambient air, [K]
- ΔT_s Temperature difference between mean storage tank and cold water supply, [K]
- Δt Daily mean operating time for solar system, [s]
- ρ Density of water in storage tank, [kg/m³]
- ($\tau \cdot \alpha$) Average transmittance absorptivity product of tilted solar collector surface.

7. REFERENCES

1. Nshimyumuremyi, E., Junqi, W., 2019. Thermal Efficiency and Cost Analysis of Solar Water Heater Made in Rwanda, *Energy Exploration & Exploitation* 2019, 37(3), 1147-1161.
2. Fraisse, G., Bai, Y., Le Pierrès, N., Letz, T., 2018. Comparative Study of Various Optimization Criteria for SDHWS and a Suggestion for a New Global Evaluation, HAL Id: hal-00452757 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00452757> Submitted on 20 Nov 2018.
3. Sornek, K., 2016. The Comparison of Solar Water Heating System Operation Parameters Calculated Using Traditional Method and Dynamic Simulations, *E3S Web of Conferences* 10, 1000137.
4. Serban, A., B̄arbu, N., t̄'a-Mi, su, Ciucescu, N., Paraschiv, S., 2016. Economic and Environmental Analysis of Investing in Solar Water Heating Systems, *Sustainability*, 2016.
5. Jin Ko, M., 2015. Analysis and Optimization Design of a Solar Water Heating System Based on Life Cycle Cost Using a Genetic Algorithm, *Energies*, 8, 11380-11403.
6. Dziugaite, R., Streckiene, G., 2014. Solar Hot Water Heating System Analysis Using Different Software in Single Family House. 10.3846/enviro.2014.258.
7. Andrew Ogie, N., Oghogho, I., Jesumirewhe, J., 2013. Design and Construction of a Solar Water Heater Based on the Thermosyphon Principle *Ashdin Publishing Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, 3, Article ID 235592, 8.
8. Solar Water Heating Andy Walker PhD, 2012. PE Principal Engineer National Renewable Energy Laboratory 7th Annual North American Passive House Conference September 27-30, 2012 Denver CO.
9. I. Abu-Mulaweh, H., 2012. Design and Development of Solar Water Heating System Experimental Apparatus, *Global Journal of Engineering Education*, 14(1), 99-105.
10. Loomans, M., Visser, H., 2002. Application of the Genetic Algorithm for Optimization of Large Solar Hot Water Systems, *Solar Energy*, 72, 427-439.
11. Shariah, A.M., Shalabi, B., 1997. Optimal Design for Thermosyphon Solar Water Heater, *Renewable Energy*, 11, 351-361.
12. Michaelides, I.M., Wilson, D.R., 1996. Optimum Design Criteria for Solar Hot Water Systems, *Renewable Energy*, 9, 649-652.
13. Farkas, I., Matrawy, K.K., 1996. An Estimation for the Solar Storage Size Based on the Annual Solar Fraction, *Renewable Energy*, 7, 613-616.
14. Shariah, A.M., Löf, G.O.G., 1996. The Optimization of Tank-volume-to-collector Area Ratio for a Thermosyphon Solar Water Heater, *Renewable Energy*, 7, 289-300.
15. Forsström, J.P., Lund, P.D., 1985. Optimization of Operating Strategies in a Community Solar Heating System, *Applied Mathematical Modeling*, 9, 117-124.
16. Söylemez, M.S., 1988. Computer Simulation and Economic Feasibility Analysis of Active Solar Assisted Heating Systems. Master Thesis, M.E.T.U., Ankara.
17. Jaluria, Y., 1998. Design and Optimization of Thermal Systems, Mc Graw Hill, Singapore; 432.
18. Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1980. Solar Process Economics. In *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley: New York; 376-407.
19. Burmeister, L.C., 1998. Equipment Cost Estimation. In *Elements of Thermal-Fluid System Design*, Prentice Hall: New Jersey; 263-270.

Ç2842, MS58 ve Al 6013 Malzemelerin Elektolitik Ni Kaplanması ve Yüzeysel Özelliklerin İncelenmesi

Harun KOÇAK*¹

¹Gazi Üniversitesi, Tusaş Kazan MYO, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü,
Ankara

Geliş tarihi: 02.11.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Öz

Bu çalışmada elektolitik Ni kaplamada Ç2842, MS58 ve Al 6013 malzemelerin etkisi ve kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğünün değişimi incelenmiştir. Deneylerde Ç2842 çelik, MS58 pirinç ve Al 6013 alüminyum alaşımı malzemeler Ni ile kaplanmıştır. Bu malzemeler, torna tezgahında farklı ilerleme oranlarında (0,065-0,13 mm/dev) işlenerek numuneler üzerinde farklı yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir. Daha sonra numuneler üzerine Ni kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrasında kaplama kalınlığı ve kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş görüntülü incelemeler yapılarak kaplama kalitesi incelenmiştir. Deneyler sonucunda, diğer malzemelere göre MS 58 malzeme üzerinde daha kalın Ni tabakası (43 µm) elde edilmiştir. Kaplanan malzemenin elektriksel iletkenliğinin yüksek olması kaplama hızını arttırmaktadır. Ancak iletkenlik değerinin düşük olması kaplama yüzeyinin kalitesini iyileştirmektedir. Çelik malzemenin kaplama sayesinde yüzey pürüzlülüğü değeri %33-57 aralığında azalmıştır. Al 6013 malzeme, kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü %94-107 oranında artarak beraber çukur şeklinde yüzeysel hatalar ortaya çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektolitik kaplama, Nikel, Yüzey pürüzlülüğü, Kaplama kalınlığı

Investigation of Coating Thickness and Surface Properties in Electrolytic Ni Coating of 2842, MS58 and Al 6013 Materials

Abstract

In this study, the effect of 2842, MS58 ve Al 6013 materials on electroplate Ni coating and the change of surface roughness after coating were investigated. In the experiments, Ç 2842 steel, MS 58 brass and Al 6013 aluminum alloy materials are coated with Ni. These materials were turned at different feed rates (0,065-0,13 mm/rev) by lathe and different surface roughness were obtained on the samples. Then the samples were coated with Ni. After the coating process, coating thickness and surface roughness were measured. Visual examinations were made and coating quality was examined. As a result of the experiments, a thicker Ni layer (43 µm) was obtained on the MS 58 material according to other materials. The high electrical conductivity of the coated material increases the coating speed. However, the low conductivity value improves the quality of the coating surface. The surface roughness value of the steel

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Harun KOÇAK, harunkocak@gazi.edu.tr

material has decreased in the range of 33-57% thanks to the coating. In Al 6013 material, surface roughness was increased in rate of 94-107% after coating, at the same time superficial defects in the form of pits occurred.

Keywords: Electroplating, Nickel, Surface roughness, Coating thickness

1. GİRİŞ

Elektrolitik kaplama, malzemelerin görünümünü veya yüzeysel özelliklerini geliştirmek için bir substrat üzerine metal tabakası biriktirme işlemidir [1,2]. Bu yöntemde kaplama işlemi elektrolitik sıvı(kaplama banyosu) içerisinde yapılmaktadır. Elektrik akımı pozitif yüklü anot ve negatif yüklü katot olarak isimlendirilen iki elektrot arasında cereyan eder. Kaplama olarak uygulanacak metal anot olarak üzeri kaplanan malzeme de katot olarak devreye bağlanır. Elektrik enerjisi, redresör gibi bir DC güç kaynağı tarafından sağlanır. Sisteme enerji sağlandığında elektrolitik sıvı içerisinde bulunan metal iyonları katotta bulunan parça yüzeyine çekilir. Sonra yüzey boyunca gelişeceği noktaya doğru hareket eder ve metal kafesinin içine dâhil olur [3].

Elektrolitik Ni kaplama yöntemi dekoratif amaçlı veya mühendislik uygulamalarında metalik malzemelerin yüzeysel özelliklerini geliştirmek için kullanılmaktadır [4]. Diğer kaplama yöntemlerine göre daha ekonomik bir yöntemdir [5]. Dekoratif amaçlı yapılan kaplamalar daha iyi bir görünümün elde etmek için yapılsa da mühendislik uygulamaları için yapılan kaplamalar genel olarak korozyon ve aşınma direnci arttırmak için uygulanmaktadır [6]. Özellikle otomotiv endüstrisinde nikel kaplama yaygın bir kullanım alanına sahiptir [7-9].

Kaplama işlemlerinde kaplama kalitesi ve Nikel tabakasının yapısı, banyo sıcaklığı, akım yoğunluğu, kaplanacak yüzeyin pürüzlülüğü vb. faktörlere bağlı olarak değişir. Nikel tabakasının sertlik, elastisite modülü, mukavemet ve aşınma direnci gibi özellikleri banyo tipi, katkı maddeleri ve elektroliz koşullarına bağlıdır [10]. Çelik üzerine yapılan nikel kaplama tabakasının kalınlığının artması ile kaplama tabakasının atma ihtimalinin arttığı bulunmuştur [11].

Bu çalışmada Ç2842 çelik, MS58 pirinç ve Al 6013 alüminyum alaşımı malzemelerin elektrolitik yöntemle Ni kaplanması araştırılmıştır. Bu malzemeler, torna tezgahında farklı ilerleme oranlarında işlenerek numuneler üzerinde farklı yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir. Daha sonra numuneler üzerine Ni kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrasında kaplama kalınlığı ve kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş görüntülü incelemeler yapılarak kaplama kalitesi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Malzeme ve Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada Ç2842 çelik, MS 58 pirinç ve Al 6013 malzemeler kullanılmıştır. Malzemelere ait kimyasal bileşim Çizelge 1’de verilmiştir. Kaplama işlemlerinde kullanılan Ni kaplama banyosu Teknik Döküm firmasından hazır olarak alınmıştır.

Çizelge 1. Malzemelerin kimyasal içeriği

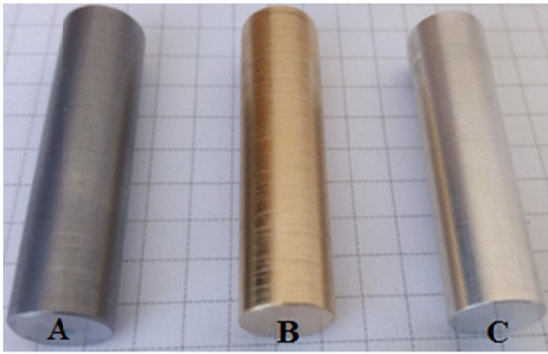
	Ç2842	MS58	Al 6013
C	0,8-0,9	Cu 58	Cu 0,6-1,1
Si	0,1-0,4	Pb 2,4-2,6	Mg 0,8-1,2
Mn	1,9-2,1	Zn kalan	Zn 0,25
Cr	0,2-0,5	Fe 0,4-0,6	Fe 0,5
V	0,1	Ni 0,5-0,6	Cr 0,1
Fe	kalan	Sn 0,4-0,5	Mn 0,2-0,8
		Al 0,1-0,2	Si 0,6-1
			Ti 0,1
			Al kalan

Kaplama öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki değişimlerin gözlenebilmesi için numuneler torna tezgahıyla işlenerek farklı pürüzlülükler oluşturulmuştur. Pürüzlülük değerlerinin 1-2 µm/2-3 µm aralıklarında olmak üzere iki farklı değerde olması planlanmıştır. Bunun için Eş 1’den yararlanılarak istenilen yüzey

pürüzlülüğünün elde edilmesi için torna tezgahının ilerleme miktarı hesaplanmıştır (Eşitlik 1).

$$Ra = \frac{f_n^2}{8r} \times 1000 \quad (1)$$

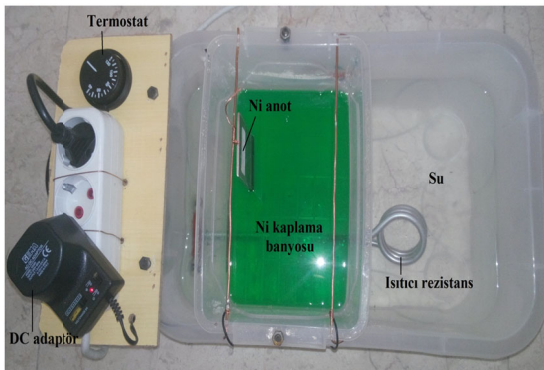
Malzemeler torna tezgahında farklı ilerleme hızlarında işlenerek 12 mm çapına ve 40 mm boyuna getirilerek işlenmiştir.



Şekil 1. Numuneler (a: Ç2842, b: MS58, c: Al 6013)

2.2. Kaplama İşlemleri

Kaplama işlemleri Şekil 2’de görülen sıcaklık kontrollü kaplama sisteminde yapılmıştır. Bu sistemde alttaki büyük kap içerisinde bulunan su, ısıtıcı rezistans sayesinde ısıtılmakta ve ısınan suyla birlikte üstteki küçük kap içerisinde yer alan Ni kaplama banyosu ısıtılmaktadır. Sistemde bulunan termostat sayesinde sıcaklık kontrolü sağlanmaktadır.



Şekil 2. Kaplama sistemi

Kaplama işleminde teknik döküm firmasından hazır olarak alınan Ni kaplama banyosu kullanılmıştır. Kaplama işlemi standart oluşturmak için Çizelge 2’de verilen şartlarda yapılmıştır. Kaplama işlemlerinde pH değerinin değişmesinden kaynaklanacak etkileri en aza indirmek için her bir kaplama işleminde kaplama banyosu değiştirilmiştir. Kaplama işlemi sonrası kaplama kalınlığı 1/1000 hassasiyetinde mikrometre kullanılarak çap yüzeyinden ölçülmüştür.

Çizelge 2. Elektrolitik Ni kaplama şartları

Anot	Banyo sıcaklığı	Voltaj	Akım yoğunluğu	Bekleme süresi
Elektrolitik Nikel	50-60 °C	2,5-3 V	4A/dm ²	1 µm için 2 dk

2.3. Yüzeysel Özelliklerin İncelenmesi

Kaplama işlemi öncesinde ve sonrasında numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde Mitutoya SJ-210 pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Üç farklı bölgeden ölçüm yapılarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri (Ra) bulunmuştur. Kaplama yüzeyleri mikroskop yardımıyla incelenerek yüzeysel hatalar araştırılmıştır.



Şekil 3. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

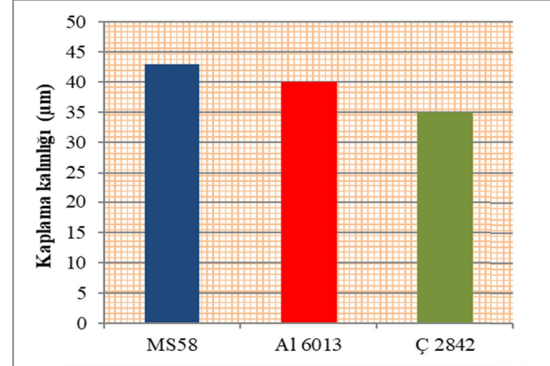
3.1. Kaplama Kalınlığı

Kaplama işlemi 40 dakika sürede yapılarak numunelerin uç kısmı 15 mm uzunlukta kaplanmıştır. Kaplama sonrası mikrometre yardımıyla kaplama kalınlığı ölçülmüştür. Ölçülen kaplama değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Kalınlık değerleri karşılaştırıldığında MS 58 malzemenin en yüksek olarak 43 µm, sonrasında Al 6013 malzemenin 40 µm ve Ç2842 malzemenin 35 µm kaplandığı görülmüştür. Bütün numuneler eşit sürede ve aynı şartlarda kaplanmasına rağmen MS 58 malzeme üzerinde daha kalın Ni tabakası oluşmuştur.

Elektrolitik Ni kaplama işlemini banyo sıcaklığı, akım yoğunluğu, kaplanacak yüzeyin pürüzlülüğü vb. gibi faktörler etkilemektedir [10]. Ancak bu faktörler olabildiğince sabit tutulmaya çalışılmış ve kaplama işlemleri aynı şartlarda yapılmıştır. Kaplama kalınlığında ortaya çıkan bu farkın malzemelerin fiziksel özelliklerinden dolayı kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Malzemelerin elektriksel iletkenlikleri karşılaştırıldığında Al 6013 alaşımının 37-39 S/m*10⁶ [12], MS 58 pirinç malzemenin 14-16 S/m*10⁶ [13] ve Ç2842 çelik malzemenin 2-6 S/m*10⁶ [14] olduğu görülmüştür. Malzemelerin elektriksel iletkenliğinin yüksek olması anot-katot arasında iletimi arttırdığı ve bu sayede birim zamanda elde edilen kaplama kalınlığının arttığı düşünülmektedir. Ancak bu değerler göz önüne alındığında en yüksek kalınlığın Al 6013 malzemede meydana gelmesi beklenirken MS 58 malzemede ölçülen kaplama kalınlığı daha fazladır.

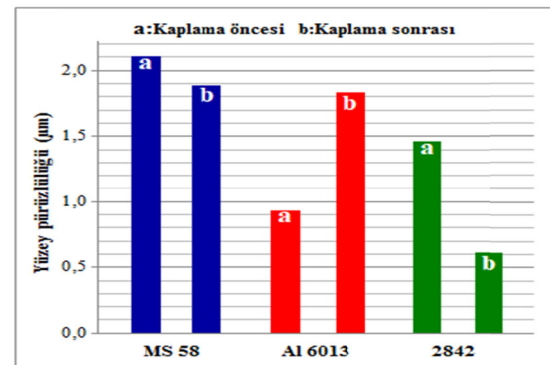
Alüminyum malzeme doğal bir özelliği olarak havaya maruz kaldığında yüzeyinde ince oksit tabakası oluşmaktadır [15]. Malzemeler üzerinde oluşan oksit tabakaları iletkenliği olumsuz olarak etkilemektedir [16]. Bu nedenle Al malzeme üzerinde oluşan oksit tabakası elektriksel iletkenliği düşürdüğü için buna bağlı olarak Al malzemede oluşan kaplama kalınlığı da MS 58 malzemeden daha düşüktür.



Şekil 4. Kaplama kalınlığı

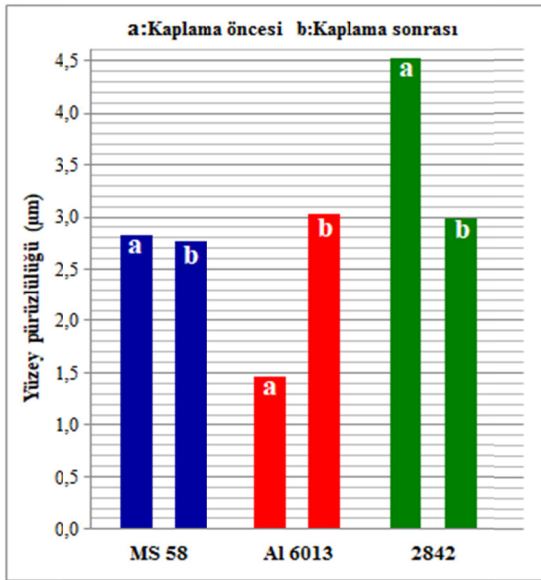
3.2. Yüzeysel Pürüzlülüğü Değişimi

Numuneler iki farklı ilerleme (0,065-0,13 mm/dev) değerinde işlenerek farklı pürüzlülükler oluşturulmuştur. Daha sonra numunelere Ni kaplama işlemi yapılarak ve kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü değişimleri incelenmiştir. Yüzeysel pürüzlülüğündeki değişimler Şekil 5 ve Şekil 6'da görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde MS58 numunede kaplama öncesi 2,11 µm olan yüzey pürüzlülüğünün 1,89 µm değerine düştüğü görülmüştür. Benzer şekilde Ç2842 çelik numunede de kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü değeri azalarak 1,46 µm'dan 0,62 µm değerine düşmüştür. Çelik malzemede kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü Şekil 5'te yer alan değerlere göre %57 Şekil 6'da ki değerlere göre de %33 azalmıştır. Çelik malzemede yüzey pürüzlülüğü değeri kaplama sonrası MS58 malzemeden daha fazla azalmıştır.



Şekil 5. Yüzeysel pürüzlülüğü değerleri (f. 0,065 mm/dev ilerlemede işlenen numuneler)

Al 6013 malzemenin kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde diğer malzemelere zıt olarak arttığı tespit edilmiştir. Şekil 5'te görüldüğü gibi Al 6013 numunede kaplama öncesi yüzey pürüzlülüğü değeri 0,94 μm iken kaplama sonrası artış meydana gelmiş ve pürüzlülük değeri 1,83 μm olmuştur. Şekil 6'da da yine yüzey pürüzlülüğü artarak 1,46 μm 'dan 3,03 μm değerine çıkmıştır. Al 6013 malzemenin kaplama öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüğü değerleri kıyaslandığında yaklaşık olarak %50 artış meydana geldiği söylenebilir.



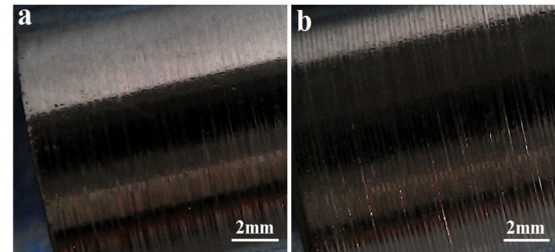
Şekil 6. Yüzey pürüzlülüğü değerleri (f:0,13 mm/dev ilerlemede işlenen numuneler)

Yüzey pürüzlülüğü malzemelerin yorulma direnci ve aşınma dayanımı gibi özellikleri etkilediği [17,18] için önemli bir faktördür ve kaplama işlemlerinde pürüzlülük azaltılmaya çalışılmaktadır. Deneylerde kullanılan bütün malzemeler incelendiğinde yüzey pürüzlülüğünün azalması bakımından en iyi sonuç çelik malzeme alındığı tespit edilmiştir. Bu sonucun da malzeme özelliklerine bağlı olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir. Elektrolitik kaplamada kaplama kalitesini etkileyen en önemli bir parametre akım değeridir ve bu değer yüksek olduğunda yüzey hata ortaya çıkmaktadır [19]. Her bir malzeme aynı sistemde kaplanmasına rağmen böyle bir

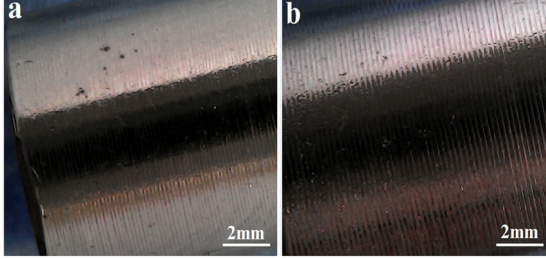
sonucun ortaya çıkması çelik malzemenin elektriksel iletkenliğinin diğer malzemelerden daha düşük olmasıyla açıklanabilir. İletkenliğin düşük olmasıyla daha dirençli bir kaplama işlemi söz konusu olmakta ve yüzey pürüzlülüğünü oluşturan girinti çıkıntılarda bütün yüzey boyunca daha düzgün bir kaplama birikintisi elde edilmektedir. Bu nedenle çelik malzeme kaplama sonrası pürüzlülük değeri diğer malzemelerden daha fazla azalmıştır (Şekil 5).

3.3. Kaplama Yüzeyinin İncelenmesi

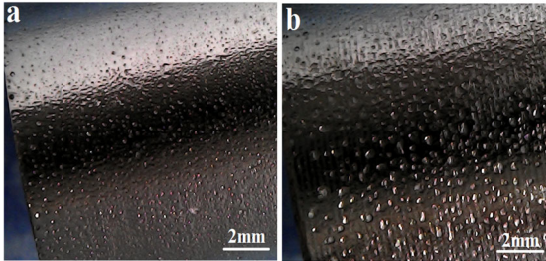
Kaplama işlemlerinde malzemelerin korozyon direncinin artırılmasının yanında istenilen bir özellikte dış görünümün iyileştirilmesidir [20]. Bu nedenle kaplama işlemleri mümkün olduğunca optimum parametrelerde yapılırsa yüzey görünümü de iyileşmektedir. Yapılan deneylerde hazır kaplama banyosu alınmış ve kaplama işlemleri optimum parametrelerde yapılmıştır. Çelik ve MS58 malzemelerin kaplanmasında yüzey hata ortaya çıkmamasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de azaldığı belirlenmiştir (Şekil 7 ve Şekil 8). Bu istenilen bir sonuçtur. Ancak Al 6013 malzemenin kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü artmakla beraber yüzey hata da ortaya çıktığı Şekil 9'da görülmektedir. Şekil 9 incelendiğinde yüzeyde çukurlar şeklinde hatalar olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü daha fazla olan numune kaplandığında ise oluşan çukurlar (Şekil 9b) büyümektedir. Sadece Al 6013 malzeme böyle bir durumun ortaya çıkması yüzey oksitlerinin bazı bölgelerde malzeme yüzeyini yalıtkan hale getirerek [15,16] o bölgelerin kaplamaya engel teşkil etmesiyle açıklanabilir.



Şekil 7. MS58 malzemenin kaplama sonrası yüzeyi, (a: 0,065 mm/dev, Ra: 1,89 μm , b: 0,13 mm/dev, Ra: 2,76 μm)



Şekil 8. Ç2842 malzemenin kaplama sonrası yüzeyi (a: 0,065 mm/dev, Ra: 0,62 µm, b: 0,13 mm/dev, Ra: 2,99 µm)



Şekil 9. Al6013 malzemenin kaplama sonrası yüzeyi (a: 0,065 mm/dev, Ra: 1,83 µm, b: 0,13 mm/dev, Ra: 3,03 µm)

4. SONUÇLAR

Bütün numuneler eşit sürede ve aynı şartlarda kaplanmasına rağmen MS 58 malzeme üzerinde daha kalın Ni tabakası elde edilmiştir. Kaplanan malzemenin elektriksel iletkenliğinin yüksek olması kaplama hızını artırdığı belirlenmiştir. Ancak, iletkenlik değerinin düşük olması kaplama yüzeyinin kalitesini iyileştirmektedir. Bu nedenle çelik malzemenin iletkenlik değeri daha düşük olduğu için kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü değeri diğer malzemelere kıyasla daha fazla azalmıştır. Çelik malzemenin kaplama sayesinde yüzey pürüzlülüğü değeri %33-57 aralığında azalmıştır. Al 6013 malzemede kaplanma sonrası yüzey pürüzlülüğü artmakla beraber yüzeysel hatalar da ortaya çıkmıştır. Al 6013 malzemenin iletkenlik değerinin yüksek olmasıyla beraber yüzey oksitleri, kaplamamın yüzey kalitesini düşürmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Rose, I., Whittington, C., 2002. Nickel Plating Handbook, OM Group, Espoo, Finland.
2. Kaya, B., 2007. Nano Kompozit Kaplama, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 117.
3. Riedel, W., 1991. Electroless Nickel Plating, ASM International Metals Park, Ohio, USA.
4. İnternet: Ni Plating Handbook. URL: https://nickelinstitute.org/media/2323/nph_141015.pdf, Son erişim tarihi: 31.10.2020.
5. Borisenko, N., Zein El Abedin, S., Endres, F., 2017. Electrodeposition from Ionic Liquids. Electrodeposition from Ionic Liquids. Wiley, doi: 10.1002/9783527622917.
6. TS ISO 4526, Metalik Kaplamalar-mühendislik amaçlı-elektrolitik Nikel Kaplamalar, Nisan-1999.
7. Hou, K.H., Ger, M.D., Wang, L.M. 2002. The Wear Behavior of Electro-codeposited Ni-SiC Composites, Wear, 253, 994-1003.
8. Wang, S.C., Wei, W.C.J., 2003. Kinetics of Electroplating Process of Nano-sized Ceramic Particle/Ni Composite, Mater. Chem. Phys. 78, 574-580.
9. Chen, L., Wang, L., Zeng, Z., Zhang, J., 2006. Effect of Surfactant on the Electrodeposition and Wear Resistance of Ni-Al₂O₃ Composite Coatings, Mater. Sci. Eng. A 434, 319-325.
10. Kortman, W., 1986. En Çok Uygulanan Yüzeysel İşlemleri-karşılaştırmalı bir Bakış, Çeviren: Yüksel, M., Metalurji Dergisi, 44, 13-25.
11. Chan, K.C., Wang, S.H., 2001. The Effect of a Coatings on the Springback of Integrated Circuit Leadframes, Journal of Materials Processing Technology, 116, 231-234.
12. SAE International Group, 2009. Hardness and Conductivity Inspection of Wrought Aluminum Alloy Parts, Aerospace Material Specification AMS2658B, 2009-10.
13. İnternet: Malzemelerin İletkenli Değerleri, URL:http://wiki.robotz.com/index.php?title=Electrical_Conductivity_of_Various_Metals, Son erişim tarihi: 31.10.2020.
14. İnternet: Malzemelerin İletkenli Değerleri, URL:<http://kocwn.xcache.kinxcdn.com/data/do>

- cument/2017/chonnam/johnfisher053/3.pdf,
Son erişim tarihi: 31.10.2020
15. Ateş, S., Mutlu, R.N., Mert, B.D., Yazıcı, B., 2017. Etilen Glikol+ Sülfürik Asit İçerisinde 7075 Alüminyum Alaşımı Üzerinde Alüminyum Oksit Tabakasının Geliştirilmesi. *Engineering Sciences*, 12(2), 123-132.
 16. İnternet: Elektriksel Temas Direnci Üzerindeki Olumsuz Etkiler, URL: http://sarkuysan.com/Upload/Document/document_ff1655bcd7d34ca08a2f23c864b7c20f.pdf, Son erişim tarihi: 31.10.2020.
 17. Çetin, M., Bilgin, M., Ulaş, H.B., Tandıroğlu, A., 2011. Kaplamasız Sermet Takımla A1sı 6150 Çeliğinin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 1(1), 168-176.
 18. Özdemir, M., 2019. Optimization with Taguchi Method of Influences on Surface Roughness of Cutting Parameters in CNC Turning Processing. *Mechanics*, 25(5), 397-405.
 19. Alp, A., 2016. Elektrolitik Metal Kaplama Ders Notları, SAÜ Müh. Fak. Metalurji ve Malzeme Müh.Böl., <https://docplayer.biz.tr/18034369-Elektrolitik-metal-kaplama.html>.
 20. Laçın, M.K., 2003. Elektrolitik Kaplamanın Günlük Hayatımızdaki Yeri, *Yüzey İşlemler*, 36(6), 4-6.

24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depreminin Şartlı Olasılığının Değerlendirilmesi

Kaan Hakan ÇOBAN^{*1}, Nilgün SAYIL¹

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Trabzon

Geliş tarihi: 09.10.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Öz

Bu çalışmada dört farklı istatistiksel dağılım modeli (Weibull, Rayleigh, üstel ve log-normal dağılım modelleri) uygulanarak 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminin şartlı olasılığı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar için, bölgede 1900 yılı ile 2019 yılları arasında meydana gelmiş $M \geq 4,7$ depremlerin tekrarlama periyotları kullanılmıştır. Modeller ile kullanılan veri arasındaki uyum ilişkisi üç farklı test kriteri (Olabilirlik değeri (lnL), Akaike ve Bayesian bilgi kriteri) ile değerlendirilmiştir. Log-normal model, çalışma verisini en iyi temsil eden model olarak belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre Sivrice (Elazığ) depreminin şartlı olasılık değerleri ($t=0$ ve $te=2$ için); Log-normal modele göre %80, üstel modele göre %72, Weibull modele göre %70, Rayleigh modele göre %36 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sivrice (Elazığ) Depremi, Weibull, Rayleigh, Üstel, Log-normal

Evaluation of the Conditional Probability of January 24, 2020 Sivrice (Elazığ) Earthquake

Abstract

In this study, the conditional probability of 24 January 2020 Sivrice (Elazığ) earthquake was calculated by applying four different statistical distribution models (Weibull, Rayleigh, exponential and log-normal distribution models). For these calculations, the recurrence periods of $M \geq 4.7$ earthquakes that occurred between 1900 and 2019 in the region were used. The fitting between the models and the data was evaluated with three different test criteria (Likelihood value (lnL), Akaike and Bayesian information criteria). Log-normal model was determined as the model that best represents the study data. According to the results of the study, the conditional probability values of the Elazığ (Sivrice) earthquake (for $t = 0$ and $te = 2$) were calculated as 80% to the log-normal model, as 72% to the exponential model, as 70% to the Weibull model, and as 36% to the Rayleigh model.

Keywords: Sivrice (Elazığ) Earthquake, Weibull, Rayleigh, Exponential, Log-normal

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Kaan Hakan ÇOBAN, h.coban@ktu.edu.tr

1. GİRİŞ

Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) üzerinde 24 Ocak 2020 günü saat 20:55'de Elazığ'ın Sivrice ilçesinde meydana gelen magnitüdü (büyüklüğü) $M_w=6,8$ olan deprem (T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre), bölgenin büyük deprem oluşturma potansiyelini bir kez daha göstermiştir. DAFS, Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde, Anadolu ve Afrika levha sınırı boyunca yaklaşık 600 km uzunluğunda sol yanal atımlı bir fay sistemidir. Bu levha hareketlerinin sonucunda [1-3] DAFS üzerinde meydana gelmiş büyük depremler nedeniyle, bu bölgede yer alan küçük ve büyük ölçekteki yerleşim alanları ve sanayi bölgeleri yüksek deprem riskine sahiptir. Bu nedenle bölgede farklı magnitütlü depremler için tekrarlamaya periyotları incelenmeli ve deprem tehlikesi güncel verilerle değerlendirilmelidir. Deprem tehlikesini belirlemek için deterministik ve olasılıksal yöntemler kullanılmaktadır [4-18]. İstatistiksel dağılım modelleri farklı bölgelerdeki deprem tehlikesini belirlemek için olasılıksal yöntemler içerisinde kullanılmıştır [13-23]. Deprem tehlike değerlendirme çalışmalarının ilk ve en önemli basamağı, bir depremin olasılığının doğru ve güvenilir olarak belirlenmesidir. Ayrıca deprem olasılık hesaplamalarında, birden fazla istatistiksel model sonuçlarının karşılaştırılması daha güvenilir ve doğru sonuç verdiği literatürdeki çalışmalarda belirtilmiştir [13-17,21-23].

Bu çalışmada 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) $M_w=6,8$ depreminin şartlı olasılık değeri dört farklı istatistiksel model ile hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışma verisi olarak, Elazığ-Sivrice depremin merkez üssüne yakın bölgelerde, bu depremi tetikleyebilecek 1900 ile 2019 yılları arasında meydana gelmiş magnitüdü 4,7'den büyük olan depremlerin tekrarlamaya periyotları (oluş zaman aralıkları) kullanılmıştır. Bu hesaplamalar için literatürde farklı bölgelerde meydana gelmiş deprem verileriyle test edilmiş Weibull (WB), Rayleigh (RA), üstel(ÜS) ve log-normal (LG) dağılım modelleri kullanılmıştır. Model ile veri uyumu birçok çalışmada kullanılan

Olabilirlik değeri (lnL), Akaike ve Bayesian bilgi kriteriyle test edilmiştir. Böylece 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminin istatistiksel olarak şartlı olasılığının daha doğru ve güvenilir hesaplanması hedeflenmiştir. Ayrıca bölge için yapılacak deprem tehlike çalışmalarına altlık bilgiler sağlamak için yakın gelecekteki ($t=0,10,20\dots,50$ ve $t_e=2,4,6\dots,20$ yıl) şartlı deprem olasılık değerleri de hesaplanmıştır. Çalışmanın metodolojisi; öncü ve artçı depremlerin çalışma verisinden çıkarılması, meydana gelen depremlerin tekrarlamaya periyotlarının belirlenmesi, bu veriler kullanılarak istatistiksel modellerin parametrelerinin belirlenmesi, kullanılan istatistiksel modellere göre şartlı olasılıkların hesaplanması, veri-model uyumunun kullanılan test kriterlerine göre belirlenmesi ve dört farklı dağılım modeline göre sonuçların değerlendirilmesi şeklindedir.

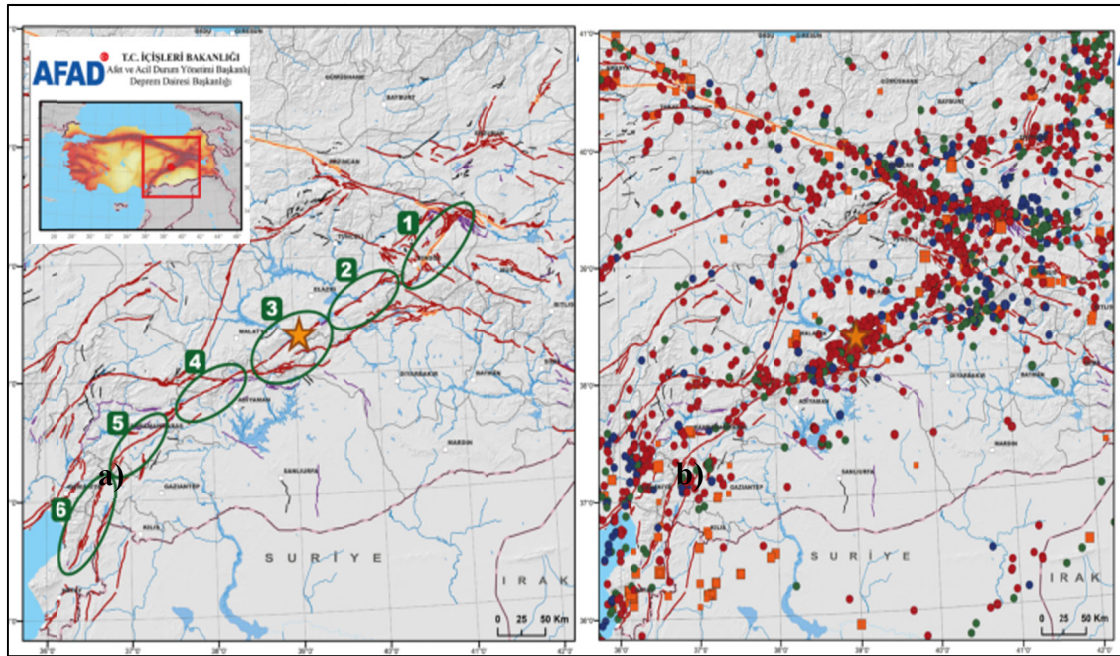
2. ÇALIŞMA ALANI VE TEKTONİĞİ

DAFS Arap levhasının kuzeye doğru hareketi ile Anadolu levhasının batıya doğru hareketi sonucunda, yaklaşık 600 km uzunluğunda ve 30 km genişliğinde Kuzeydoğu-Güneybatı yönlü sol yanal doğrultu atımlı bir transform levha sınırı oluşturmaktadır [24-26]. DAFS, Karlıova ile Bingöl arasında "Karlıova-Bingöl Segmenti (~65 km)", Palu ile Hazar Gölü arasında "Palu-Hazar Gölü Segmenti (~50 km)", Hazar Gölü ile Sincik arasında "Hazar-Sincik Segmenti (~85 km)", Çelikhhan ile Gölbaşı arasında "Çelikhhan-Gölbaşı Segmenti (~50 km)", Gölbaşı ile Türkoğlu arasında "Gölbaşı-Türkoğlu Segmenti (~90 km)" ve Türkoğlu ile Antakya arasında "Türkoğlu-Antakya Segmenti (~145 km)" yer alan 6 farklı yapısal segmentten (Şekil 1a) oluşmaktadır [27-32].

DAFS ve civarında aletsel dönemde meydana gelen magnitüdü 6,0'dan büyük yıkıcı etki yaratmış depremler; 1905 Pütürge-Malatya ($M_s=6,8$), 1908 Malatya ($M_s=6,1$), 1964 Sincik-Adıyaman ($M_s=6,0$), 1966 Varto-Muş ($M_s=6,9$), 1966 Karlıova-Bingöl ($M_s=6,2$), 1971 Bingöl ($M_s=6,8$), 1975 Lice-Diyarbakır ($M_s=6,6$), 1986 Doğanşehir-Malatya ($M_w=6,0$), 2003

Pülümür-Tunceli (Mw=6,3) ve 2010 Kovancılar-Elazığ (Mw=6,1) depremleridir (Şekil 1b, AFAD verilerine göre). Ayrıca tarihsel dönem içerisinde bölgede birçok yıkıcı etki yaratmış depremler meydana gelmiştir. Bu depremlerden büyüklüğü 7'den büyük olarak tahmin edilen ve yıkıcı etkisi olanlar: 1114 yılında Gölbaşı-Türkoğlu segmentinde, 1513 yılında Malatya'dan Adana'ya kadar olan bölgeyi etkileyen, 1789 yılında Palu-Bingöl arasında, 1822 yılında Türkoğlu-Antakya segmentinde, Karlıova-

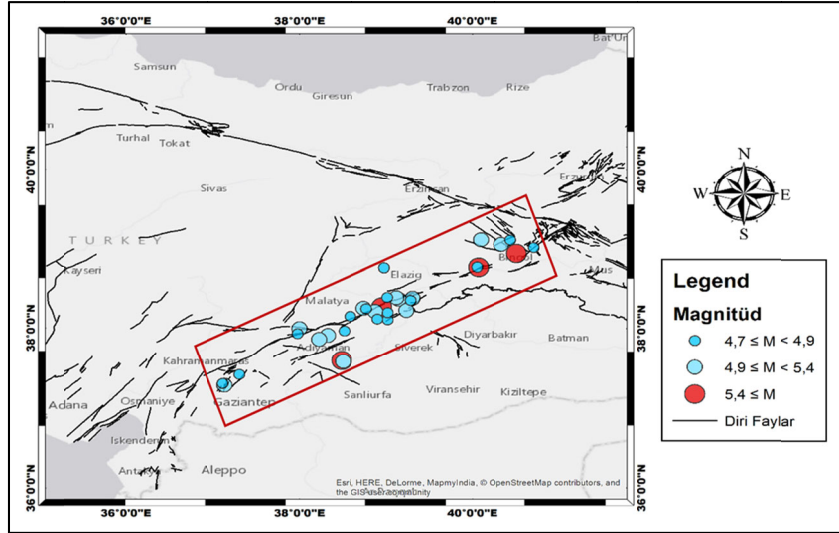
Bingöl segmenti üzerinde 1866 yılında, 3 Nisan 1872 Türkoğlu-Antakya segmenti üzerinde, 1874 ve 1875 yıllarında Palu-Hazar Gölü segmentinde, 1893 yılında Çelikhan-Gölbaşı segmentinde meydana gelen depremlerdir (Şekil 1b) [33]. Bu çalışmalarının yanı sıra, DAFS'ın paleosismolojisini, tektonik yapısını, GPS yardımıyla hareketini, deformasyonunu, deprem oluşum mekanizmasını inceleyen birçok araştırma yapılmıştır [3,34-42,48,49].



Şekil 1. a) DAFS üzerinde tanımlanan 6 farklı segment; Sarı kenarları kırmızı yıldız 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) Mw=6,8 depremini temsil etmektedir. Kırmızı çizgiler fay çizgilerini; Turuncu çizgiler deprem yüzey kırıklarını; Mor kesikli çizgiler ülke sınırlarını; Gri çizgiler il sınırlarını temsil etmektedir. Yeşil çizgiler ve numaralar fay segmentlerini belirtmektedir. b) DAFS üzerinde meydana gelen tarihsel ve aletsel dönem depremlerin konumları; Turuncu kareler şiddeti VI'dan büyük tarihsel depremleri; Kırmızı daireler derinliği 20 km ve magnitudü 4,0'dan büyük depremleri; Yeşil daireler derinliği 20-40 km arasında ve magnitudü 4,0'dan büyük depremleri; Mavi daireler derinliği 40km ve magnitudü 4,0'dan büyük depremleri belirtmektedir. Şekiller AFAD 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depremi Rapor'undan değiştirilerek alınmıştır [43]

Çalışma alanı olarak, 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Mw=6,8 depreminin meydana geldiği segment ile bu depremi tetikleyebilecek DAFS

üzerindeki yakın fay segmentlerini içeren bir bölge seçilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanı (dikdörtgenle gösterilen bölge) ve bu alanda 1900-2019 yıllarını kapsayan inceleme periyodunda meydana gelen depremlerin ($M \geq 4,7$) merkez üslerinin dağılımları

3. VERİ VE METOT

Bu çalışmada 1900 ile 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depremine kadar inceleme alanında meydana gelen magnitüdü 4,7'den büyük olan depremlerin tekrarlama periyotları (oluş zaman

aralıkları) kullanılmıştır. Kullanılan deprem verileri AFAD tarafından oluşturulan deprem kataloglarından seçilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan depremlerin tarihleri, koordinatları ve büyüklükleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Hesaplamalarda kullanılan depremlere ait bilgiler

Tarih gg.aa.yy	Oluş zamanı sa:dak	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Magnitüd türü	Magnitüd değeri
27.12.2019	07:02	38.3898	39.0158	Mw	4,9
04.04.2019	17:31	38.3865	39.1205	Mw	5,2
24.04.2018	00:34	37.5836	38.5036	Mw	5,1
02.03.2017	11:07	37.5955	38.4866	Mw	5,5
08.01.2013	06:05	37.9360	37.9788	Ml	4,7
13.11.2012	23:55	37.3055	37.1200	Ml	4,7
19.09.2012	09:17	37.2838	37.1398	Ml	5,1
25.05.2012	11:22	38.1522	38.5873	Ml	4,8
17.09.2010	10:17	38.1092	39.0208	Ml	4,8
08.03.2010	02:32	38.7665	40.0712	Ml	5,8
07.07.2009	15:57	38.2547	38.7407	Ml	5,0
08.03.2007	12:35	39.1088	40.4412	Ml	4,8
28.02.2007	19:55	38.2267	39.2370	Ml	5,2
21.02.2007	11:05	38.3827	39.3082	Ml	5,4
26.01.2007	08:20	38.7706	40.0551	Md	4,7
26.11.2005	15:56	38.2143	38.8755	Md	5,2
11.08.2004	15:48	38.3680	39.1461	Md	5,3
03.03.2004	14:38	39.0535	40.3334	Md	5,0

26.02.2004	04:13	37.8624	38.2261	Md	5,1
06.01.2004	10:39	38.1200	38.9000	Md	4,7
13.07.2003	01:48	38.2700	38.9500	Md	5,7
01.05.2003	00:27	38.9400	40.5100	Md	6,1
02.04.2003	20:55	37.9137	38.3281	Md	5,2
19.11.2002	01:25	37.9700	38.5200	Md	4,7
02.04.2000	11:41	37.4200	37.3100	Md	4,8
07.05.1992	19:15	39.1100	40.1000	Md	5,2
18.07.1990	15:32	38.0000	38.0000	Md	5,1

Mw: Moment magnitüdü; Ml: Lokal magnitüdü; Md: Süre magnitüdü

Çalışma için oluşturulan deprem kataloğunda öncü ve artçı depremler belirlenmiştir. Her bir ana şokun öncü ve artçı depremlerinin belirlenmesinde, uzaklık (r) ve zaman (t) için geliştirilen Eşitlik 1 kullanılmıştır [44,45].

$$r=e(-1,024+0,804 Mw) \quad t=e(-2,87+1,235 Mw) \quad (1)$$

Oluşturulan deprem kataloğundan 14 deprem artçı ve öncü şok olarak değerlendirilmiş ve katalogdan çıkarılmıştır. Böylece daha güvenilir deprem olasılık değerleri hesaplanması amaçlanmıştır.

Bir depremin şartlı olasılığı gelecek t yılda ve son depremden sonra geçen te aralık zaman içerisinde Eşitlik 2 ile tanımlanmıştır.

$$P(t|te)=(F(te+t)-F(te))/(1-F(te)) \quad (2)$$

Burada, F dağılım modelinin kümülatif dağılım fonksiyonudur. Şartlı olasılık değerleri t ve te zaman parametrelerinin kontrol ettiği iki kademeli bir hesaplama metoduna dayanmaktadır. İnceleme periyodundaki son depremin yılı (2019) şartlı olasılık hesabında baz yıl olarak belirlenir ve $t=0$ olarak kabul edilir.

Literatürde dünyanın farklı bölgelerinde meydana gelmiş depremlerin tekrarlama periyotlarını kullanan araştırmacılar, o bölgedeki depremlerin şartlı olasılıklarını farklı dağılım modellerine göre hesaplamış ve bölgenin deprem tehlikesini değerlendirmişlerdir [13-23]. Bu çalışmada kullanılan dört istatistiksel dağılım modelinin (WB, RA, ÜS ve LG dağılım modelleri) kümülatif dağılım fonksiyonları, şartlı olasılık denklemleri ve maksimum olabilirlik yöntemiyle hesaplanan model parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kullanılan dört farklı istatistiksel modelin kümülatif dağılım fonksiyonları, şartlı olasılık denklemleri ve model parametreleri

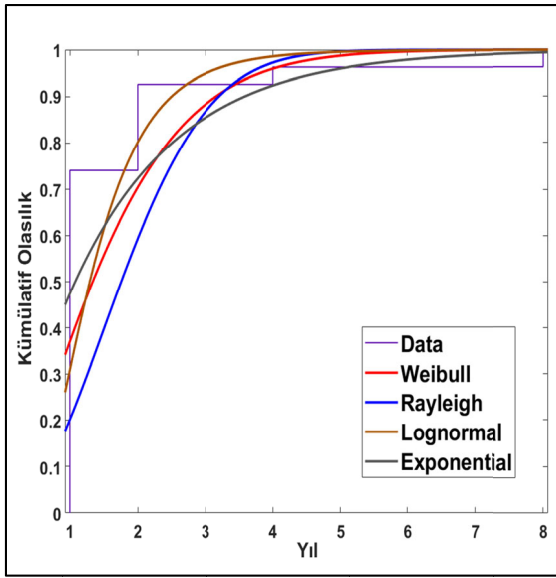
İstatistiksel Model	Kümülatif dağılım fonksiyonu	Şartlı olasılık denklemleri	Model parametreleri
WB	$\varphi(t)=1-\exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right]$	$P(t te)=1-\exp\left[\left(\frac{te}{\alpha}\right)^\beta-\left(\frac{te+t}{\alpha}\right)^\beta\right]$	$\alpha=1,736$ $\beta=1,397$
RA	$\varphi(t)=1-\exp\left[-\frac{t^2}{(2a^2)}\right]$	$P(t te)=1-\exp\left[\frac{te^2}{(2a^2)}-\frac{(te+t)^2}{(2a^2)}\right]$	$a=1,490$
ÜS	$\varphi(t)=1-\exp\left[-\frac{t}{\alpha}\right]$	$P(t te)=1-\exp\left[\frac{te}{a}-\frac{te+t}{a}\right]$	$\alpha=1,555$
LG	$\varphi(t)=1-\Phi\left(\frac{\ln t-m}{\sigma}\right)$	$P(t te)=1-\frac{\left\{1-\Phi\left(\frac{\ln(te+t)-m}{\sigma}\right)\right\}}{\left\{1-\Phi\left(\frac{\ln(te)-m}{\sigma}\right)\right\}}$ $\Phi(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_x^\infty \exp\left[-\frac{u^2}{2}\right] du$	$m=0,256$ $\sigma=0,513$

t , zaman; te , geçen zaman; α , ölçek parametresi; β biçim parametresi; m and σ log-normal model yer ve ölçek parametresi; $\Phi(x)$, hata integrali; $t>0$, $a>0$, $\beta>0$, $m>0$, $\sigma>0$, WB, Weibull; RA, Rayleigh; ÜS, üstel; LG, log-normal model

4. SONUÇLAR

Bu bölümde çalışmada kullanılan modeller ile veri uyumu, hesaplanan şartlı olasılık değerlerinin ve test kriterlerinin sonuçları verilmiştir.

Çalışma verisine uygulanan dört farklı istatistiksel modelin (WB, RA, ÜS ve LG) kümülatif dağılım fonksiyonları ile veri-model uyum grafiği Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Kullanılan modeller ile kullanılan verinin kümülatif (birikimli) dağılım fonksiyonuna göre olasılıkların uyumu (Model-Veri uyumu)

Model-veri uyumu aynı zamanda literatürde kullanılan istatistiksel test kriterleri olan Olabilirlik değeri (lnL), Akaike ve Bayesian bilgi kriteriyle test edilmiştir. Test sonuçlarına göre model-veri uyumu Çizelge 3'de verilmiştir.

Akaike bilgi kriteri $2k-2lnL$ ve Bayesian bilgi kriteri $kln(n)-2lnL$ formülü ile hesaplanmaktadır. Bu formüllerde k ; model parametre sayısı, n ; veri sayısını (27 deprem), lnL ; Olabilirlik değerini ifade etmektedir. Yüksek olabilirlik değeri (lnL) [46] ile düşük Akaike ve Bayesian bilgi kriteri

değeri, model ile verinin daha iyi uyum sağladığını belirtmektedir.

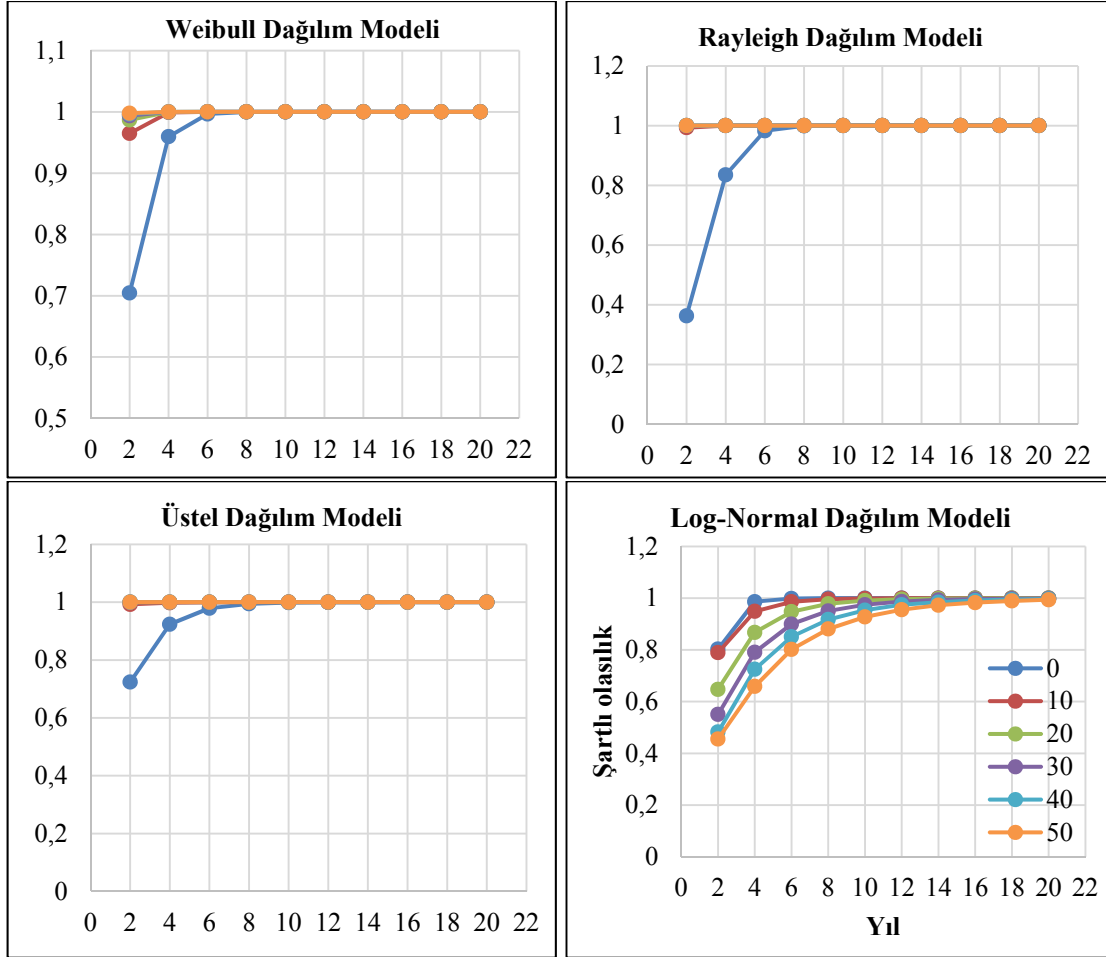
Çizelge 3. İstatistiksel dağılım modellerinin (Weibull, Rayleigh, Üstel ve Log-normal) test kriterlerinin (Olabilirlik değeri, Akaike ve Bayesian bilgi kriterleri) sonuçları ve model sıralaması (1; en iyi uyum gösteren model, 4; en kötü uyum gösteren model)

Test Kriteri	WB	RA	ÜS	LG
lnL	36,036	41,628	-38,929	-26,772
AIC	74,072	84,256	78,858	55,544
BIC	79,003	86,722	81,324	60,475
Model Sıralaması	2	4	3	1

WB, Weibull; RA, Rayleigh; ÜS, üstel; LG, log-normal model; lnL , Olabilirlik değeri; AIC, Akaike; BIC Bayesian bilgi kriteri.

Bayesian bilgi kriteri değerleri arasındaki fark 10'dan büyük ise çok güçlü, 2-4 arasında ise pozitif ve 0-2 arasında ise model ile veri arasında zayıf ayrım olduğu belirtilmiştir [47]. Birden fazla test kriteri uygulanarak daha güvenilir ve veriye daha uyumlu modelin belirlenmesi amaçlanmıştır. Test kriterleri sonuçlarına göre en iyi model-veri uyumu sağlayan istatistiksel dağılım modeli olarak LG dağılım modeli, en kötü uyum sağlayan olarak RA dağılımı modeli seçilmiştir. WB ve ÜS dağılım modelleri ise orta uyum sağlayan modeller olarak belirlenmiştir.

Ayrıca bu çalışmada Sivrice (Elazığ) depreminin şartlı olasılığını hesaplamak için yapılan değerlendirmenin yanı sıra bölgede meydana gelebilecek bir deprem ($M \geq 4,7$) için farklı t (0,10,20,...,50 yıl) ve t_e (2,4,6,...,20 yıl) zamanları için şartlı olasılık değerleri de hesaplanmıştır. Baz yıl olarak katalogdaki son deprem yılı 2019 ele alındığında bu yıldan sonrası için hesaplanan şartlı olasılık değerleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Kullanılan dağılım modellerine göre farklı t (0,10,20,...50) ve t_e (2,4,6,...20) yılları için hesaplanan şartlı olasılık değerleri (x-ekseni t_e yıllarını, farklı renklerdeki noktalı çizgiler t yıllarını temsil etmektedir)

Çalışma sonuçları incelendiğinde her dört model için de olasılık değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle baz yıl olarak $t=0$ (2019) ve $t_e=4$ (2023) için olasılık değerleri dört modele göre 0,83'den yüksektir. Ayrıca t ve t_e değerleri arttıkça olasılık değerleri 1'e yaklaşmıştır. Bu yüksek olasılık değerleri bölgenin yoğun sismik aktivitesiyle örtüşmektedir.

5. TARTIŞMA

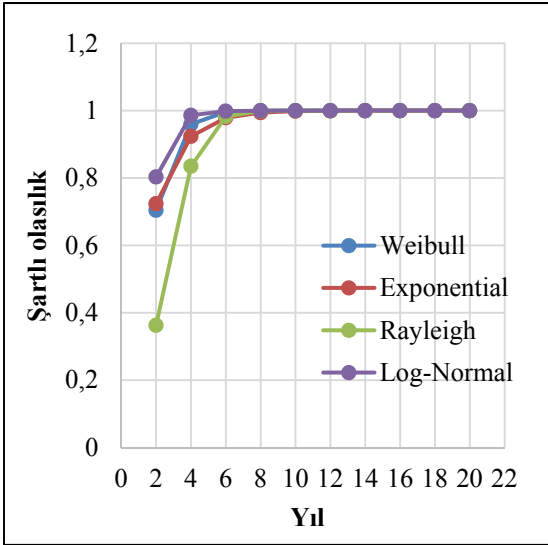
Bu çalışmada 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Mw=6.8 depreminin şartlı olasılık değerleri dört

farklı istatistiksel dağılım modeli (WB, RA, ÜS ve LG) kullanılarak hesaplanmıştır. Model ve veri uyumları Olabilirlik değeri (lnL), Akaike ve Bayesian bilgi kriterleriyle test edilmiştir. Hesaplanan şartlı olasılık değerlerinin daha güvenilir ve doğru elde edilmesi için farklı modeller karşılaştırılmış ve farklı test kriterleri uygulanmıştır. Bu hesaplamalar için çalışma alanı içerisinde meydana gelmiş magnitüdü 4,7'e eşit veya büyük olan depremlerin tekrarlama periyotları (oluş zaman aralıkları) kullanılmıştır. Kullanılan modeller ve test kriterleri birçok araştırmacı tarafından farklı çalışma alanlarında

farklı deprem kataloglarıyla kullanılmış ve şartlı olasılık değerleri hesaplanmıştır [13-23].

Bu çalışmada en iyi model-veri uyumu gösteren LG dağılım modeli literatürdeki bazı çalışmalarda da veriyi en iyi temsil eden model olarak seçilmiştir [5,16]. RA dağılım modeli çalışma verisini kötü temsil eden model olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde RA modeli bazı çalışmalarda da kötü model-veri uyum gösterdiği belirtilmiştir [14,16].

24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depremin uygulanan dört farklı istatistiksel dağılım modeline göre şartlı olasılık değerleri, baz yılı $t=0$ (2019) ve $te=2,4,6...20$ yıl için Şekil 5'te verilmiştir. Böylece bu depremin istatistiksel olarak gerçekleşme olasılığı değerlendirilmiştir.



Şekil 5. Kullanılan dört farklı istatistiksel modele göre hesaplanan şartlı olasılık değerlerinin $t=0$ için karşılaştırması ($t=0$ baz yıl 2019, $t=2$ ise 2021 yılını temsil etmektedir)

Sonuçlar incelendiğinde, en iyi model-veri uyumu sağlayan LG modele göre olasılık değeri %80, en kötü uyum sağlayan RA modeli için $te=2$ zamanında %36'dan başlayan ve $te=4$ zamanında %83 çıkan yüksek olasılık değerleri hesaplanmıştır. Diğer modeller göre bu depremin %70'den yüksek olasılık değerlerine sahip olduğu

gözlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında meydana gelen 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminin şartlı olasılığının %70'den yüksek bir değere sahip olması, bu modeller ile hesaplanan şartlı olasılık değerlerinin tutarlı olduğunu göstermektedir.

Ayrıca bölgenin deprem tehlikesi açısından değerlendirilmesi amacıyla farklı t (0,10,20...,50 yıl) ve te (2,4,6...20 yıl) zamanları için de şartlı olasılık değerleri de hesaplanmıştır (Şekil 4). Kullanılan dört modelin sonuçları incelendiğinde $t=0$ ve $te\geq 6$ zamanları için şartlı olasılık değerleri %96'dan yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4). Bu sonuçlara ek olarak daha düşük $te=4$ zamanında WB, ÜS ve LG dağılım modelleri için bir depremin ($M\geq 4,7$) şartlı olasılık değeri %92'den yüksek olarak hesaplanmıştır (Şekil 4). Baz yıl $t=10$ zamanı için şartlı olasılık değerlerinin %78'den yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 4). Bu olasılık değerleri bölgenin yakın gelecekteki deprem tehlikesinin yüksek olduğuna işaret etmektedir.

Bölge için yapılan farklı bir istatistiksel çalışmada, Poisson ve Üstel dağılım modellerine göre bir depremin ($M_s\geq 5,0$) yüzyıllık zaman periyodu içinde olma olasılığının yüksek olduğu belirtilmiştir [18]. DAFS üzerinde yapılan bir sismik tehlike değerlendirme çalışmasında ise magnitudü 6,0'dan büyük bir depremin olasılık değerinin %90'a ulaştığı ve bu depremin tekrarlama periyodunun 43 yıl olduğu belirtilmiştir [11]. Bu çalışmada hesaplanan yüksek şartlı olasılık değerlerinin, literatürdeki bazı çalışmalarda desteklendiği görülmüştür [11,18].

Yapılan bu çalışmanın bölgenin deprem tehlikesini değerlendirmek için gelecekte yapılacak farklı istatistiksel çalışmalar için altlık veri sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca bölgede yapılacak multi-disipliner (jeofizik, jeolojik, paleosismolojik, jeodezik ve yapı incelemeleri) deprem çalışmalarına da istatistiksel olarak önemli bilgiler sağlayacaktır.

6. TEŞEKKÜR

Yazar, AFAD ve KRDAE kurumlarına deprem verilerini ve raporlarını paylaştığı için teşekkür

eder. Ayrıca makaleye katkılarından dolayı hakemlere ve editöre teşekkür eder.

7. KAYNAKLAR

1. Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliyev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Karam, G., 2006. GPS Constraints on Continental Deformation in the Africa-Arabia-Eurasia Continental Collision Zone and Implications for the Dynamics of Plate Interactions. *J. Geophys. Res. Atmosph.* 111, B05411.
2. McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H.G., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Veis, G., 2000. Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus. *J. Geophys. Res.* 105, 5695–5719.
3. Aktuğ, B., Özener, H., Doğru, A., Sabuncu, A., Turgut, B., Halicioğlu, K., Yılmaz, O., Havazlı, E., 2016. Slip Rates and Seismic Potential on the East Anatolian Fault System Using an Improved GPS Velocity Field. *J. Geodynamics* 94(95), 1-12.
4. Parvez, I.A., Ram, A., 1999. Probabilistic Assessment of Earthquake Hazards in the Indian Subcontinent. *Pure Appl. Geophys.* 154, 23–40.
5. Tripathi, J.N., 2006. Probabilistic Assessment of Earthquake Recurrence in the January 26, 2001 Earthquake Region of Gujarat. *India J. Seismol.* 10, 119–130.
6. Polat, O., Yılmaz, E., 2008. Earthquake Hazard of the Aegean Extension Region (West Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences.* 17(3), 593-614.
7. Yadav, R.B.S., Tripathi, J.N., Rastogi, B.K., Das, M.C., Chopra, S., 2010. Probabilistic Assessment of Earthquake Recurrence in Northeast India and Adjoining Region. *Pure Appl. Geophys.* 167(11), 1331–1342.
8. Öztürk, S., 2011. Characteristics of Seismic Activity in the Western, Central and Eastern Parts of the North Anatolian Fault Zone, Turkey: Temporal and Spatial Analysis. *Acta Geophys.* 59(2), 209–238.
9. Öztürk, S., 2020. A Study on the Variations of Recent Seismicity in and Around the Central Anatolian Region of Turkey. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 301, 106453.
10. Sayıl, N., 2014. Evaluation of the Seismicity for the Marmara Region with Statistical Approaches. *Acta Geophys.* 49 (3), 265-281.
11. Bayrak, E., Yılmaz, Ş., Softa, M., Turker, T., Bayrak, Y., 2015. Earthquake Hazard Analysis for East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Nat Hazards* 76, 1063-1077.
12. Bayrak, E., Yılmaz, Ş., Bayrak, Y., 2017. Temporal and Spatial Variations of Gutenberg-Richter Parameter and Fractal Dimension in Western Anatolia. *Turkey Journal of Asian Earth Sciences.* 138, 1-11.
13. Sil, A., Sitharam, T.G., Haider, S.T., 2015. Probabilistic Models for Forecasting Earthquakes in the Northeast Region of India. *Bull. Seism. Soc. Am.* 105(6), 2910-2927.
14. Pasari, S., 2018. Stochastic Modelling of Earthquake Interoccurrence Times in Northwest Himalaya and Adjoining Regions. *Geomatics, Natural Hazards and Risk.* 9(1), 568-588.
15. Pasari, S., Dikshit, O., 2014. Impact of Three-parameter Weibull Models in Probabilistic Assessment of Earthquake Hazards. *Pure Appl Geophys* 171(7), 1251–1281.
16. Pasari, S., Dikshit, O., 2015. Earthquake Interevent Time Distribution in Kachchh. Northwest India. *Earth Planets Space.* 67, 129.
17. Pasari, S., Dikshit, O., 2018. Stochastic Earthquake Interevent Time Modeling from Exponentiated Weibull Distributions. *Nat Hazards.* 90(2), 823–842.
18. Coban, K.H., Sayıl, N., 2018. Investigation of the Seismicity of East Anatolian Fault Zone (EAFZ) According to Poisson and Exponential Distribution Models. *Duzce University Journal of Science and Technology.* 6 (2), 491-500.

19. Rikitake, T., 1991. Assessment of Earthquake Hazard in the Tokyo Area, Japan. *Tectonophysics*. 199, 121–131.
20. Ferraes, S.G., 2003. The Conditional Probability of Earthquake Occurrence and the Next Large Earthquake in Tokyo. *Jpn. J. Seismol.* 7, 145–153.
21. Coban, K.H., Sayil, N., 2019. Evaluation of Earthquake Recurrences with Different Distribution Models in Western Anatolia. *J. Seismol.* 23, 1405–1422.
22. Coban, K.H., Sayil, N., 2020. Conditional Probabilities of Hellenic Arc Earthquakes Based on Different Distribution Models. *Pure Appl. Geophys.* <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02576-z>
23. Coban, K.H., Sayil, N., 2020. Different Probabilistic Models for Earthquake Occurrences Along the North and East Anatolian Fault Zones. *Arab. J. Geosci.* 13, 971. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05945-z>
24. McKenzie, D., 1976. The East Anatolian Fault: A Major Structure in Eastern Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*. 29, 1.
25. Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F., Şengör, A.M.C., 1986. Shortening of Continental Lithosphere: the Neotectonics of Eastern Anatolia—a Young Collision Zone. *Geological Society London Special Publications* 19, 1-36.
26. Yönlü, O., Altunel, E., Karabacak, V., 2017. Geological and Geomorphological Evidence for the Southwestern Extension of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Earth Planet Sci. Lett.* 469, 1-14.
27. Jackson, J., McKenzie, D., 1984. Active Tectonics of the Alpine-Himalayan Belt Between Western Turkey and Pakistan. *Geophysics J.R. Ast.Soc.*, 185,264.
28. Şengör, A., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape; Turkey as a Case Study in; Biddle K.T., Christie-Blick N. (Eds). *Strike-slip Faulting and Basin Formation. Soc. Econ. Paleontol. Mineral.Sp. Pub.*, 37, 227-264.
29. Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ., 1992. The East Anatolian Fault Zone of Turkey. *Annales Tectonicae*.6, 99-125.
30. Demirtaş, R., 2003. DAFZ’nda Deprem Üreten Diri Faylar; 1900-2003 Yılları Arasında Doğu Anadolu Fay Zonunda Olmuş Hasar Yapıcı Depremler. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları*. 78, 3.
31. Westaway, R., 2003. Kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean Updated. *Turkish Journal of Earth Sciences*. 12(1), 5-46
32. Aksoy, E., İnceöz, M., Koçyiğit, A., 2007. Lake Hazar Basin: A Negative Flower Structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*. 16, 1. Ambraseys, N. N., Jackson, J. A., 1998. Faulting Associated with Historical and Recent Earthquakes in the Eastern Mediterranean Region. *Geophysical Journal International*, 133(2), 390-406.
33. Ambraseys, N.N., Jackson, J.A., 1998. Faulting Associated with Historical and Recent Earthquakes in the Eastern Mediterranean Region. *Geophysical Journal International*, 133(2), 390-406.
34. Taymaz, T., Eyidoğan, H., Jackson, J., 1991. Source Parameters of Large Earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). *Geophysical Journal International*. 106(3), 537–550.
35. Zor, E., Gurbuz, C., Turkelli, N., Sandvol, E., Seber, D., Barazangi, M., 2003. The Crustal Structure of the East Anatolian Plateau from Receiver Functions. *Geophys. Res. Lett.* 30 (24), 8044.
36. Pamukçu, O., Akçığ, Z., Demirbaş, Ş., Zor, E., 2007. Investigation of Crustal Thickness in Eastern Anatolia Using Gravity, Magnetic and Topographic Data. *Pure appl. Geophys.* 164, 2345–2358.
37. Sertçelik, F., 2012. Estimation of Coda Wave Attenuation in the East Anatolia Fault Zone, Turkey. *Pure Appl. Geophys.* 169(7), 1189-1204.
38. Bektaş, Ö., 2013. Thermal Structure of the Crust in Inner East Anatolia from Aeromagnetic and Gravity Data. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 221, 27-37.
39. Oruç, B., Gomez-Ortiz, D., Petit, C., 2017. Lithospheric Flexural Strength and Effective Elastic Thicknesses of the Eastern Anatolia

- (Turkey) and Surrounding Region. Journal of Asian Earth Sciences. 150, 1-13.
40. Kaypak, B., 2008. Three-dimensional VP and VP/VS Structure of the Upper Crust in the Erzincan Basin (Eastern Turkey). Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 113(7), 20.
 41. Özer, C., Özyazıcıoğlu, M., Gök, E., Polat, O., 2019. Imaging the Crustal Structure Throughout the East Anatolian Fault Zone, Turkey, by Local Earthquake Tomography. Pure. Appl. Geophys. 176(6), 2235–2261.
 42. Konakoğlu, B., Akar, A., 2020. Elazığ ve Çevresindeki İllerde Meydana Gelen Tektonik Hareketlerin TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Konumlarına Etkisinin Statik Deformasyon Modeller Kullanılarak İncelenmesi. Geomatik. 6(2), 165-178.
 43. AFAD, 2020. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depremi Rapor.
 44. Gardner, J.K., Knopoff, L., 1974. Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, with Aftershocks Removed, Poissonian? Bull. Seismol. Soc. Am. 64(5), 1363–1367.
 45. Urhammer, R.A., 1986. Characteristics of Northern and Central California Seismicity. Earthq Notes. 1, 21.
 46. Johnson, N.L., Kotz, S., Balakrishnan, N., 1995. Continuous Univariate Distributions. New York: Wiley.
 47. Raftery, A.E., 1995. Bayesian Model Selection in Social Research. Sociological Methodology. 25, 11-163.
 48. Cetin, H., Guneyli, H., Mayer, L., 2003. Paleoseismology of the Palu-Lake Hazar Segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. Tectonophysics. 374, 163-197.
 49. Güneşli, H., 2002. Doğu Anadolu Fay Sistemi, Palu-Hazar Gölü Segmentinin Neotektoniği ve Paleosismolojisi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 142, Adana.

Kavisli Delikli Plaka ile Girdap Kaynaklı Türbülanslı Akışın Kontrolü

Göktürk Memduh ÖZKAN^{*1}, Tahir DURHASAN², Engin PINAR³

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

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

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

Geliş tarihi: 17.11.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Öz

Bu çalışmada, dairesel bir silindir art izinde oluşan girdap kaynaklı türbülanslı akışın, farklı ve kısmi geçirgenlik oranlarına sahip kavisli delikli plaka (kontrol elemanı) ile kontrolü incelenmiştir. Ele alınan parametre aralıklarında PIV ile hız ölçümleri yapılmış, akış alanında Reynolds kayma gerilmeleri hesaplanmış ve kontrol durumu ile yalın silindir durumunun kontur dağılımları nicel olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ele alınan Reynolds sayılarının akış kontrolüne benzer oranda etki ettiği anlaşılmıştır. Bununla birlikte, incelenen tüm geçirgenlik oranları ve yay açıları için silindir art izinde oluşan kayma gerilmelerinin azaldığı görülmüştür. $120^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ yay açılarında ve $\beta=0,5$ ve $\beta =0,6$ geçirgenlik oranlarında, yalın silindire kıyasla maksimum Reynolds kayma gerilmelerinin %96'ya kadar düştüğü ve silindir art izindeki daimi olmayan akışın tamamen kontrol edildiği ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akış kontrol, Daimi olmayan akış, Girdap kopması, Küt cisim, PIV

Control of Vortex-Induced Turbulent Flow by Curved Perforated Plate

Abstract

In this study, the control of the vortex-induced turbulent flow in the wake of a circular cylinder was investigated using curved perforated plate (control element) having various and partial porosities. PIV measurements were performed for the considered parameter ranges, Reynolds shear stresses were calculated in the flow field and the contour distributions of the bare cylinder and controlled cases were compared quantitatively. According to the results, it was understood that the Reynolds numbers had identical effects on the flow control. However, it was observed that the shear stresses in the cylinder wake decreased for all examined cases of porosity and arc angle. It has been revealed that the maximum value of Reynolds shear stress is decreased by 96% compared with the bare cylinder and the unsteady flow in the cylinder wake is completely controlled at $120^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ for $\beta = 0.5$ and $\beta = 0.6$.

Keywords: Flow control, Unsteady flow, Vortex shedding, Bluff body, PIV

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Göktürk Memduh ÖZKAN, gmozkan@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Aerodinamik özelliklerin (yüksek taşıma ve sürüklenme katsayısı) ikinci planda tutulduğu birçok mühendislik uygulamasında incelenen yapılar, “küt cisim” olarak adlandırılabilir. Bir küt cisim akışa maruz bırakıldığında, yüzeyinin büyük bir kısmında akışın ayrıldığı görülür ve cismin art izinde ayrılmış akış bölgesi meydana gelir. Yüzeyden ayrılan akış, cismin akışa dik yöndeki alt ve üst noktalarından girdap oluşumuna sebebiyet verir. Oluşan bu girdaplar ayrılmış akış bölgesinde etkileşime girerek periyodik “girdap kopması” hareketine, devamında cismin aşağı akım yönünde giderek genişleyen Karman Girdap Caddesi’ni oluşturur. Bu akış yapısı, faydalı olabileceği gibi (ısı dönüştürücülerinde transfer katsayısını artırmak) yıkıcı etkiye sahip yüksek genlikli titreşimlere de sebep olmaktadır. Girdap kopma frekansı, cismin doğal frekansı ile çakıştığında rezonans devreye girerek yapıda tamiri mümkün olmayan hasarlar oluşturmaktadır. Deniz ve hava araçları, şiddetli rüzgâra maruz kalan bina, baca ve köprü gibi yapılar, deniz platformlarında petrolün yukarıya taşındığı borular, nükleer yakıt çubukları ve daha birçok uygulama, girdap kaynaklı titreşime (GKT) maruz kalan ve tasarımları esnasında yüksek mukavemet ve darbe dayanımına sahip olarak üretilmeleri planlanan yapılara örnek olarak verilebilirler.

Yine girdap kopmasına bağlı olarak cisim arkasında oluşan Karman Girdap Caddesi cisme kıyasla çok daha geniş bir alana yayıldığı için, özellikle yakıt taşıyan gemilerden olası bir sızıntı durumunda açık denizlerde kirliliğin çok daha büyük boyutlara ulaşmasına neden olarak, çevresel anlamda da problem teşkil etmektedir. Son olarak girdap kopma frekansına bağlı oluşan akustik gürültü, elektrik iletim hatları, köprü halatları ve endüstrideki bazı uygulamalarda önüne geçilmesi gereken sorunların başında gelmektedir.

Yukarıda sayılan sebeplerden ötürü GKT’lerin kontrolü son yıllarda mühendislerin üzerine çalıştıkları önemli bir konu haline gelmiştir. Tasarım esnasında seçilecek malzemenin sönümü artıracak veya rezonansı önleyecek özelliklere sahip olması her ne kadar çözüm sunsa da, daha

düşük maliyetli olan girdapların durumuna yönelik kontrol tekniklerinin gelişimi oldukça hız kazanmaktadır. Bu yöntemler aktif ve pasif kontrol olmak üzere ikiye ayrılmakta; aktif yöntemlerde sisteme dışarıdan enerji verilirken, pasif kontrol yöntemlerinde ise daha çok geometrik şekil değişikliklerine gidilmektedir. Şimdiye kadar literatürde yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, pasif kontrol tekniklerinin ilk yatırım maliyeti ve pratik uygulama olabilmesi bakımından daha avantajlı olduğu anlaşılmaktadır.

Küt cisimler etrafındaki akışı kontrol etmek için sınır tabaka ayrılmasının kontrolünü amaçlayan çok çeşitli yöntemler bulunmaktadır. İlgili çalışmalarda çoğunlukla, analizi nispeten kolay olan dairesel silindir ele alınmış ve uygulanan yöntem yalnız silindir durumu ile kıyaslanmıştır. Akış kontrol yöntemlerine örnek olarak; emme-üfleme, yüzey pürüzlülüğü, ayırıcı plaka vb. verilebilir [1-8].

Dairesel silindirden kopan girdapların bastırılması üzerine çeşitli teknikler uygulayan Zdravkovich [9], uygulanan metodun etkinliğini belirleyen temel faktörün girdap oluşum uzunluğu olduğunu belirtmiştir. Çalışmasında, cisim üzerine yerleştirilecek çıkıntılarının art izindeki akış yapısını ayrılma çizgilerini ve/veya yüzey akışı yönünü değiştirmek suretiyle etkili bir şekilde kontrol elde edileceğini vurgulamıştır. Akıllı ve arkadaşları [10], silindir arkasına çeşitli uzunluklarda plakalar yerleştirerek oluşan girdapları kontrol etmeyi başarmışlardır. Ozkan ve arkadaşları [11], dairesel bir silindir (iç silindir) etrafındaki akışı kontrol etmek amacıyla dört farklı geçirgenlik ($\beta=0,4, 0,5, 0,6, 0,7$) ve beş farklı çap ($D/d = 1,2, 1,4, 1,6, 1,8, 2,0$) oranına sahip ağ yapıları silindir (dış silindir) kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre geçirgen dış silindir, iç silindirden oluşan organize girdap kopma hareketini bastırılmış, ayrıca türbülans çalkantılarını kayda değer ölçüde azaltmıştır. İncelenen parametrelerin ($\beta, D/d$) akış kontrolü için önemli iki parametre olduğu, bununla birlikte $1,4 \leq D/d \leq 2,0$ ve $0,4 \leq \beta \leq 0,6$ aralıklarının uygulamada tavsiye edilebilir olduğu belirtilmiştir. Geçirgen plakaların ayırıcı olarak kullanılması ile girdap etkileşiminin kontrolü, farklı plaka açıları için Ozkan ve arkadaşları [12] tarafından

incelenmiş olup, $0,4 \leq \beta \leq 0,6$ geçirgenlik ve $\theta \geq 30^\circ$ plaka açısı aralıkları için GKT'lerin önemli derecede sönümlendiği rapor edilmiştir. Plakalarda geçirgenliğin sağlanmasının bir başka yolu de üzerine delikler açmaktır [13].

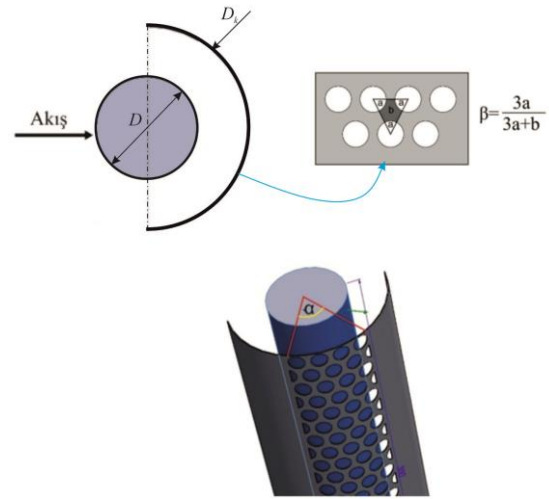
Bu çalışmada, akış içerisine yerleştirilen dairesel kesitli silindirin, art izinde oluşan daimi olmayan girdap yapılarını kontrol etmesi amaçlanmaktadır. Bu çerçevede, etkinliği önceki çalışmalarda belirtilmiş olan [14-16] delikli plakalar kullanılacaktır. Benzer çalışmalardan farklı olarak, 180° kavis verilmiş yarım daire şeklinde plakalar (kontrol elemanı) kullanılacak ve yüzey boyunca geçirgen bölge yay açısı belirlenmek suretiyle sınırlandırılacaktır. Tamamı geçirgen elemanlar kullanılan önceki çalışmalara kıyasla, kısmi geçirgenliğe sahip bu yöntemin, devamlı surette daimi olmayan kuvvetlere maruz kalacak kontrol elemanının rijitliğini artıracığı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında, silindir çapına bağlı Reynolds sayısı (U_∞ serbest akış hızı, D silindir çapı ve ν kinematik viskozite olmak üzere $Re_D = U_\infty D / \nu$), kontrol elemanının geçirgen bölgesi (yay açısı- α) ve kontrol elemanı geçirgenlik oranının (β) akış kontrolü üzerine etkisi incelenecektir (Şekil 1). Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Akışkanlar Mekanik Laboratuvarı'nda kurulu olan $(8\text{ m}) \times (1\text{ m}) \times (0,75\text{ m})$ boyutlarındaki kapalı devre açık su kanalında Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme (PIV) tekniği ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu parametreler çerçevesinde deneyler dört farklı geçirgenlik oranı ($\beta = 0,3, 0,5, 0,6$ ve $0,7$), altı farklı yay açıları ($\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ ve 180°) ve iki farklı Reynolds sayısı için gerçekleştirilmiştir. Serbest akış hızı, frekans kontrollü elektrik pompası ile sağlanmış olup, $Re_D = 5000$ ve $Re_D = 10000$ sayılarına karşılık gelecek şekilde, $U_\infty = 0,1\text{ m/s}$ ve $U_\infty = 0,2\text{ m/s}$ olarak ayarlanmıştır. Şekil 1'de geçirgenlik oranının tanımı, silindir-kontrol elemanı konfigürasyonu ve yay açısı gösterilmiştir. İç

silindirin çapı $D=50\text{ mm}$, kontrol elemanının çapı $D_k=100\text{ mm}$ ve su yüksekliği $h_w=420\text{ mm}$ olarak belirlenmiştir. Levhalar paslanmaz çelik malzemeden olup, istenilen geçirgenlik oranına karşılık gelmek üzere lazer kesim yöntemi ile delikler açılmıştır. Daha sonra delikli levhalar 180° bükülerek kavisli hale getirilmiş ve silindir ile eş merkezli bir biçimde art izine yerleştirilmiştir (Şekil 1). Kısmi geçirgenliği sağlamak amacı ile, kontrol elemanına yay açısı tanımlanarak (α) geçirgenlik sınırlandırılmış ve akış kontrolüne etkisi incelenmiştir.

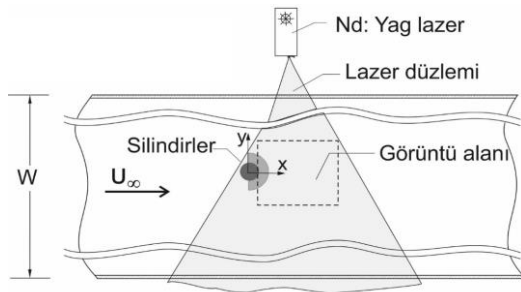


Şekil 1. Silindir çapı (D), kontrol elemanı çapı (D_k), geçirgenlik oranı β , ve yay açısının (α) şematik gösterimi

2.2. Metot

PIV ölçümleri için kurulan deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 2'de sunulmuştur. Ölçümler için, 120 mJ çift darbeli ve 15 Hz frekansta çalışabilen bir lazer ünitesi (Nd: YAG Lazer) kullanılmıştır. Optik elemanlar yardımıyla 2 mm kalınlığında lazer huzmesi oluşturulmuş ve akışa paralel düzlemde ayarlanmıştır. Ele alınan her iki Reynolds sayısı için de, Adrian ve Westerweel'e göre [17] iki lazer darbesi arasındaki zaman $\Delta t = 1750\text{ ms}$ olarak belirlenmiştir. Lazer düzleminde parlayan, ortalama $10\text{ }\mu\text{m}$ çapındaki gümüş kaplı parçacıklar (1600×1200) px çözünürlüklü 8-bit CCD kamera ile görüntü altına

alınmıştır. Kamera üzerinde Nikon AF Micro 60 f/2,8D lens kullanılmıştır. Dantec- Dynamic Studio programı ile korelasyon hesaplanmış, (32×32) px sorgulama alanı ve %50 üst üste bindirme kullanılarak toplam 7326 (99×74) adet hız vektörü, yaklaşık olarak $(150 \text{ mm} \times 200 \text{ mm})$ fiziksel alan içerisinde elde edilmiştir. Bu işlem kapsamında her bir görüntü çiftinin korelasyonu esnasında elde edilen hatalı vektör oranı, %2'nin altında kalmıştır. PIV ölçümlerinin belirsizliği, serbest akış hızına göre %2'nin altında hesaplanmıştır [18].

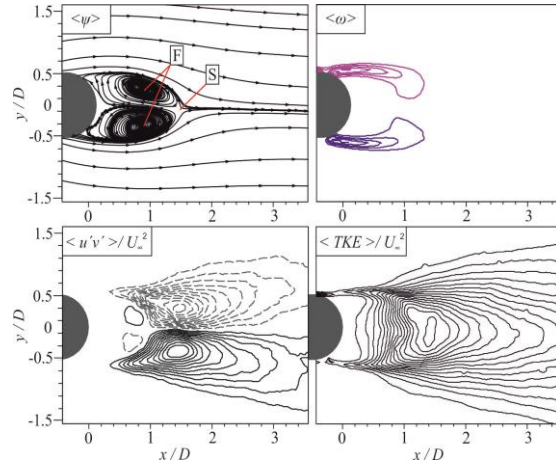


Şekil 2. PIV ölçümü için kurulan deney düzeneğinin üstten şematik görünümü

3. BULGULAR

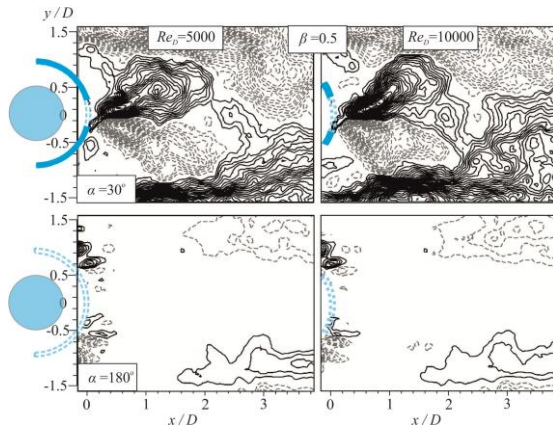
Yapılan çalışma bir akış kontrol çalışması olduğundan, sonuçların irdelenmesi için en iyi yöntem, kontrol elemanı sonuçları ile kontrolün olmadığı yalın silindir sonuçlarını kıyaslamak olacaktır. Bu nedenle, yalın silindire ait sonuçlar Şekil 3'de gösterilmiştir. Burada yalın silindire ait zaman-ortalama akım çizgileri, hemen yanında girdap konturları, ikinci satırda Reynolds kayma gerilmeleri ve türbülans kinetik enerji dağılımları gösterilmektedir. Her bir kontur gösterimi için minimum ve maksimum değerleri şekil alt başlığında belirtilmiştir. Zaman-ortalama akım çizgilerine, $\langle \psi \rangle$ bakıldığında silindirin ölü akış bölgesinde bir çift odak noktası (F), odak noktalarının hemen yanında ise durma noktası (S) oluşumu gözlenmektedir. Odak noktaları aşağıakım yönünde $x/D=0,8$ 'de oluşurken, hızın sıfır olduğu durma noktası ise $x/D=1,4$ 'de belirmektedir. Elde edilen sonuçlar ilgili literatür sonuçlarıyla uyumludur [12,19]. Girdap

konturlarına bakıldığında ise silindirin üst ve alt kayma tabakası boyunca oluşan pozitif (mavi) ve negatif (kırmızı) girdapların yaklaşık $x/D= 1,2$ 'de birbirlerine yaklaştığı görülmektedir ki bu durum, girdap çiftinin art izindeki etkileşiminin bir göstergesidir. Pozitif ve negatif girdap yapılarının birbirleriyle etkileşime girmesi, girdap kopması ile sonuçlanmakta ve Karman Girdap Caddesi'ni oluşturmaktadır. Bu etkileşim ve girdap kopmasının silindir art izindeki fiziksel sonucu ise türbülans çalkantılarının artışıdır. Hem yatay hem de dikey ekseninde oluşan çalkantılar, Şekil 3'ün ikinci satırında boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri, $\langle u'v' \rangle / U_\infty^2$ ve türbülans kinetik enerji, $\langle TKE \rangle / U_\infty^2$ dağılımları ile gösterilmiştir. Reynolds kayma gerilmelerine bakıldığında silindirin hemen ardında küçük ölçekli bir çift pozitif (düz çizgi) ve negatif (kesikli çizgi) gerilme kümesi görülmekle birlikte, çalkantıların artmasının beklediği daha uzak aşağıakım bölgelerinde çok daha büyük ölçekte pozitif ve negatif kümelenmelere dönüşmektedir. Bu bölge, $x/D= 1,2$ olarak ölçülen durma, girdap etkileşim noktaları ile aynı noktadır ve burada hem Reynolds kayma gerilmesi, hem de türbülans kinetik enerji maksimum değerine ulaşmaktadır.



Şekil 3. Yalın silindir için elde edilen zaman-ortalama akım çizgileri, $\langle \psi \rangle$ ve girdap, $|\langle \omega \rangle|_{min} = |\langle \omega \rangle| = 2,1$, Reynolds Kayma Gerilmesi, $|\langle u'v' \rangle / U_\infty^2| = 0,01$, türbülans kinetik enerji, $|\langle TKE \rangle / U_\infty^2|_{min} = |\langle TKE \rangle| = 0,02$ dağılımları

Ele alınan önceki çalışmalara [12-13] göre, bilinen en etkin geçirgenlik oranı $\beta=0,5$ için Reynolds sayısının akış kontrol üzerine etkisi, $Re_D=5000$ ve $Re_D=10000$ değerlerinde incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Şekil 4’de sunulan Reynolds kayma gerilmesi dağılımlarından anlaşılacağı üzere, $\alpha=180^\circ$ ’lik yay açısı her iki Reynolds sayısında da gerilmeleri dramatik ölçüde azaltmıştır. Bununla birlikte $\alpha=30^\circ$ durumu ise kısmi geçirgenliğe sahip olmasına rağmen yalın silindirden (Şekil 3) bile daha şiddetli çalkantılar oluşturmaktadır. Şekil 4’de sunulan sonuçlara göre, kontrol elemanının akış üzerine etkisi, ele alınan Reynolds sayılarından bağımsızdır. Bu nedenle, çalışmaya yalnızca $Re_D=5000$ değeri ile devam edilmiştir.



Şekil 4. $\beta=0,5$ geçirgenliğinde, $\alpha=30^\circ$ ve $\alpha=180^\circ$ için $Re_D=5000$ ve $Re_D=10000$ değerlerinde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri dağılımı, $|\langle u'v' \rangle|/U_\infty^2 = 0,01$

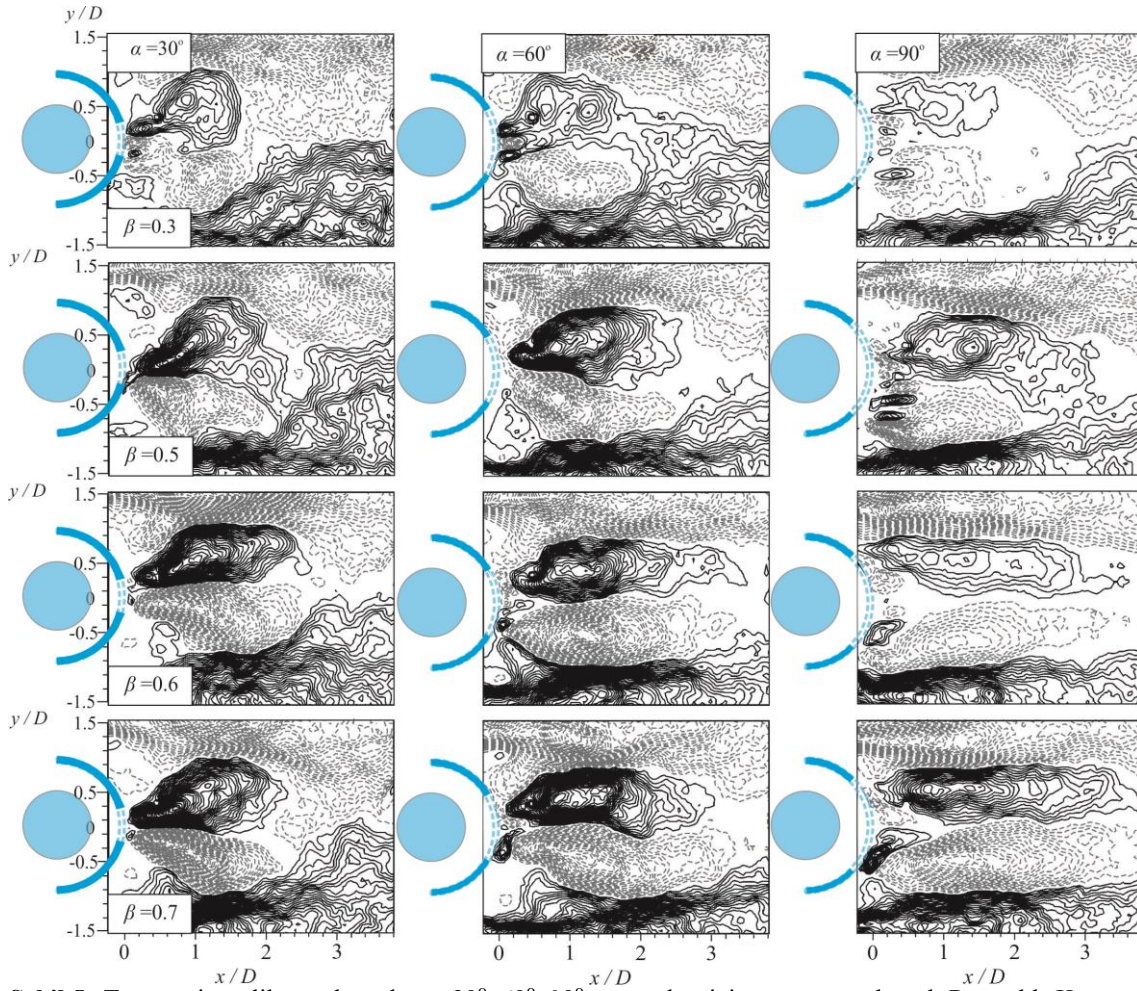
Delikli silindirin kontrol elemanı olarak kullanıldığı durumlar Şekil 5’de yine Reynolds kayma gerilmeleri göz önüne alınarak incelenmiştir. Burada tüm geçirgenlik oranları ve $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ yay açıları için elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Kontur dağılımlarına bakmadan önce Şekil 5’in alt başlığında dikkat çeken husus, kontur artırım miktarlarıdır ($|\langle u'v' \rangle|/U_\infty^2$). Kontrol elemanı kullanılan durumlar için sunulan Reynolds kayma gerilmeleri dağılımına ait artırım yalın silindir (Şekil 3) için kullanılan artırım miktarının beşte biri mertebesindedir. Bu nedenle hemen hemen her

durum için yalın silindir durumuna göre daha düşük çalkantılı bir akış yapısı oluştuğu söylenebilir. Tüm sonuçlara bakıldığında ilk göze çarpan nokta, silindir ve kontrol elemanı için ayrı ayrı art izi oluşumudur. Kontrol elemanına ait üst ve alt kayma tabakalarının görüntü alanı dışına taşarak oldukça geniş bir alana yayıldığı, silindire ait art izinin ise dış silindirden etkilenmek suretiyle, yay açısına da bağlı olarak, daha dar bir alanda çalkantı dağılımı gösterdiği anlaşılmaktadır. Deneyle, dış silindir akış yapısını da bir bütün olarak görmeye imkân sağlayacak bir görüntü alanı ile de gerçekleştirilebilirdi, ancak bu durumda çalışmanın temel amacı olan silindir art izinde yeterli çözünürlük sağlanamaz ve kontrol etkisi irdelenemezdi. Bu nedenle çalışmalar silindir art izini daha net ve doğru ölçebilmek adına kontrol elemanı art izi göz ardı edilerek gerçekleştirilmiştir.

Şekil 5’de $\beta=0,3$ geçirgenlik oranına ait sonuçlara bakıldığında yay açısı arttıkça daha düşük şiddetli gerilmeler gözlemlenmektedir. Bunun sebebi, kontrol elemanının hemen ardında oluşan gerilme kümelerinden de anlaşılacağı üzere; artan yay açısıyla art izine jet akışı şeklinde giren momentum miktarının daha fazla olmasıdır. Burada oluşan jet akış, literatürde bilinen üfleme yoluyla akış kontrol tekniğine benzer şekilde etki etmektedir. $\alpha=90^\circ$ için silindirden kopan girdapların dış silindir ardında sönmüldüğü görülmektedir, ancak $\beta=0,3$ ’e ait akış yapısına tüm açılar için bakıldığında, bu geçirgenlik oranının yalın bir silindir gibi davrandığı da anlaşılmaktadır. Bu nedenle $\beta=0,3$ geçirgenliğini akış kontrolünde kullanmak, kontrolden ziyade başlı başına yeni bir art izi ve girdap caddesi oluşturmak anlamına gelebilir. $\beta=0,3$ ’e ait diğer yay açılarının da yorumlanmasından sonra bu durum daha da netleşecektir. $\alpha=30^\circ$ kavi açısı için silindir ardından kontrol elemanı ardına geçen momentum miktarı kısıtlı olduğundan, bu yay açısı değerinde hemen hemen tüm geçirgenlik oranları için benzer sonuçlar elde edilmiştir. $\alpha=60^\circ$ için ise, silindir ardında oluşan çalkantılı akış yapısının kontrol elemanı ardında da görüldüğü, ancak açıklık oranı (β) arttıkça pozitif ve negatif gerilmelerin kapladığı alanın değiştiği anlaşılmaktadır. Geçirgenlik oranı arttıkça $\alpha=60^\circ$

için art izinin uzadığı sonucuna varılabilir. Benzer durum $\alpha = 90^\circ$ için de geçerli olmakla birlikte, gerilme yoğunluğunun bir miktar azaldığı söylenebilir. Gerilmeler açı arttıkça bir miktar azalsa da, hatta yalın silindire göre oldukça düşmüş olsa da, elde edilen çalkantılı akış yapısına göre girdap oluşumu, girdap kopması ve takiben

Karman Girdap Caddesi'nin kontrol edildiğini söylemek mümkün değildir. Bu sonuçlara göre yay açısının $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında kullanılan akış kontrol yönteminin tüm geçirgenlik oranları için Reynolds kayma gerilmelerini azalttığı, ancak girdaplı akış yapısının oluşumunu engelleyemediği sonucuna varılmıştır.



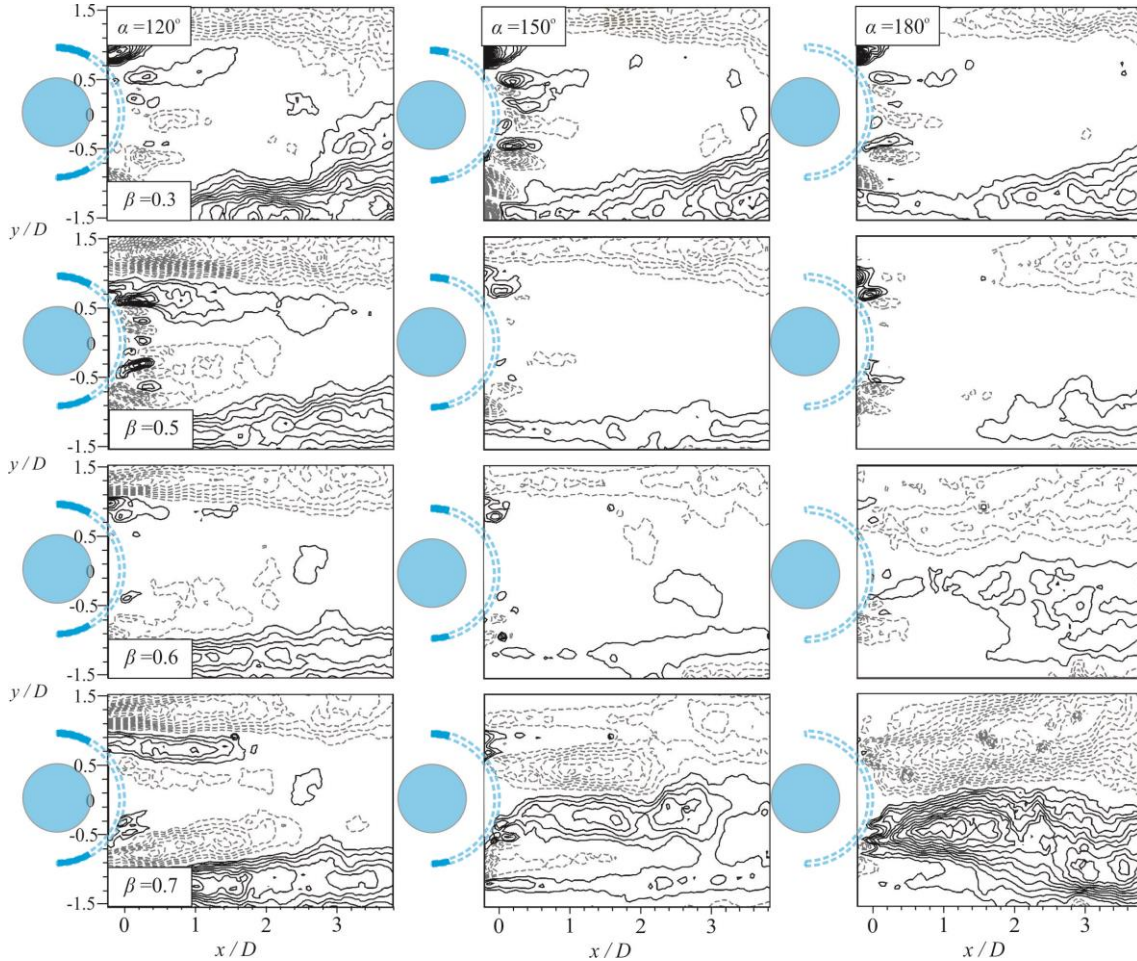
Şekil 5. Tüm geçirgenlik oranlarında $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ yay açıları için zaman-ortalamalı Reynolds Kayma Gerilmesi dağılımı, $|\langle u'v' \rangle|/U_\infty^2 = 0,002$

Şekil 6'da $120^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ yay açıları için tüm geçirgenlik oranlarında sonuçlar verilmiştir. Şekil 6'ya bakıldığında daha düşük yay açlarına göre Reynolds kayma gerilmelerinde belirgin bir azalma görülmektedir. Kontrol elemanından evirilen kayma gerilmelerinde de yine gözle

görülür bir azalma mevcuttur. Bu azalmanın sebebi; kontrol elemanının akışa maruz kalan katı yüzeyinin azalmasıdır. Böylelikle kontrol elemanının katı bölgesinden oluşan girdapların etkileşimi ve oluşturduğu türbülanslı yapılar etkisini azaltmaktadır. Silindirden oluşan girdaplı

akış yapısının çalkantı değerlerindeki azalmanın sebebi ise, yüksek yay açısının, dolayısıyla daha yüksek kısmi geçirgenliği silindir alt ve üst

noktalarından evrilen girdapları daha etkili bloke etmesi/parçalaması sebebiyledir.



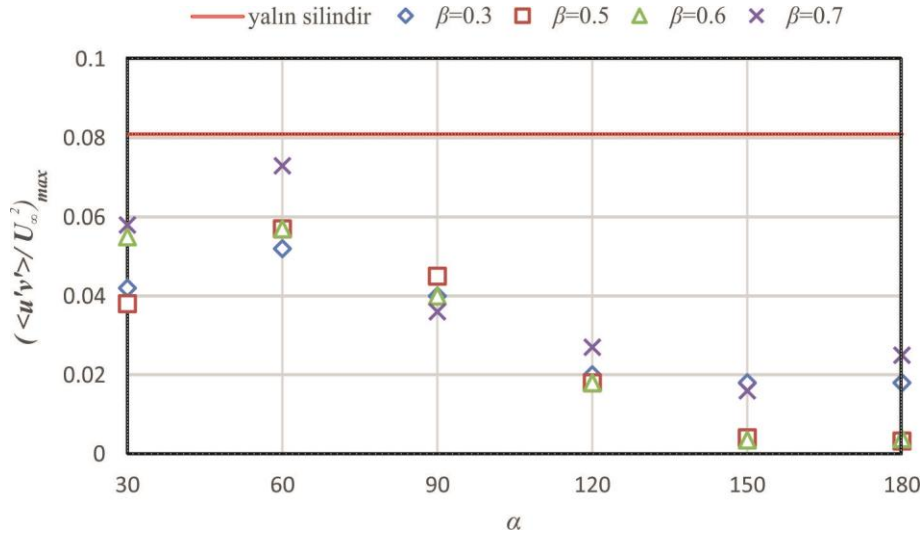
Şekil 6. Tüm geçirgenlik oranlarında $\alpha= 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$ için zaman-ortalama Reynolds Kayma Gerilmesi dağılımı, $|\langle u'v' \rangle / U_\infty^2| = 0,002$

$\beta= 0,3$ geçirgenliğine ait kontrol elemanının, Şekil 6'da sunulan açı aralığında da tek başına bir silindir gibi davrandığı açıkça görülmektedir. Bununla birlikte, elde edilen Reynolds kayma gerilmelerinin Şekil 5'deki düşük yay açısı değerlerine göre daha geniş bir alana yayıldığı, deliklerin hemen ardında oluşan gerilme kümelenmelerinden de anlaşılmaktadır. Bu kümelenmeler, deliklerden oluşan jet akışın bir sonucu olmakla birlikte, $\beta= 0,3$ değerinin silindir

ardında oluşan girdapların deliklerden geçmesini engellediği de anlaşılmaktadır. Geçirgenlik oranı $\beta= 0,5$ 'e çıkarıldığında silindirden oluşan girdapların deliklerden geçmekte ve etkisi akış alanında görülmektedir. Özellikle $\alpha= 120^\circ$ için deliklerden geçen girdap çifti parçalanarak oldukça etkisiz hale gelmektedir. $\beta= 0,5$ ve $\alpha= 150^\circ$ 'de ise kayma gerilmeleri neredeyse sıfır olmaktadır. Bu durum, girdapların kontrolünün tamamen sağlandığı, çalkantılı ve daimi olmayan akış

yapısının kontrol ettiği en etkili durum olarak not edilebilir. Yay açısı, $\alpha= 180^\circ$ 'ye çıkıldığında ise $\beta= 0,5$ için yalnızca kontrol elemanına ait bir çift gerilme kümesi art izinin uzak bölgelerinde görülmektedir ki, bu durum da etkili bir akış

kontrolü olarak belirlenmiştir. $\beta= 0,6$ geçirgenliğine bakıldığında, $\beta= 0,5$ 'e nazaran $\alpha= 180^\circ$ yay açısında az da olsa silindir kaynaklı girdaplı akış yapısından söz edilebilir.



Şekil 7. Maksimum Reynolds Kayma Gerilmesinin yay açısı ve geçirgenlik oranına bağlı değişimi

Bu durum delikli levhada geçirgenliğin, dolayısıyla momentum geçişinin artmasından kaynaklanmaktadır. Bu etki, $\beta= 0,7$ geçirgenliği için daha nettir. Tüm geçirgenlik değerlerindeki sonuçlara bakıldığında, $\beta= 0,6$ oranının bir geçiş değeri olduğu söylenebilir. Çünkü $\beta= 0,7$ için elde edilen gerilme konturları daha düşük geçirgenlik oranlarına göre, aniden ve önemli derecede artmıştır. Bunun sebebi ise daha önce de vurgulandığı üzere; geçirgenlik oranının artmasıyla daha fazla miktarda akışın, dolayısıyla momentumun deliklerden geçerek silindir kaynaklı girdapları bastırma etkisini yitirmesindedir. Yine de elde edilen gerilme miktarları, artırım miktarına da bakıldığında, yalnız silindir durumuna göre düşüktür. Sonuç olarak, Reynolds kayma gerilmesi sonuçlarına göre hemen hemen tüm açı değerlerinde $\beta= 0,7$ 'nin akış kontrolünde daha az etkili olduğu sonucuna varılmıştır, çünkü girdap kaynaklı çalkantı ve buna bağlı kayma gerilmelerini silindir art izinde yok edememiştir.

Geçirgenlik oranı ve yay açısının akış kontrolü üzerinde etkisi, silindir art izinde hesaplanan

Reynolds kayma gerilmeleri $\langle u'v' \rangle_{maks} / U_\infty^2$ ele alınarak Şekil 7'de irdelenmiştir. Ayrıca yalnız silindire kıyasla maksimum gerilmelerdeki yüzde azalma miktarları da Çizelge 1'de gösterilmiştir. Yalnız silindir durumu için elde edilen maksimum Reynolds kayma gerilmesi yaklaşık olarak $\langle u'v' \rangle_{maks} / U_\infty^2 = 0,08$ 'dir. Buna göre, kontrol elemanının kullanıldığı tüm konfigürasyonlar için $\langle u'v' \rangle_{maks} / U_\infty^2$ değeri yalnız silindire göre düşüktür.

Çizelge 1. Yalnız silindire göre Reynolds kayma gerilmelerindeki değişim; [$\langle u'v' \rangle_{maks, silindir} - \langle u'v' \rangle_{maks, kontrol} / \langle u'v' \rangle_{maks, silindir} \times 100$]

% fark	β				
	0,3	0,5	0,6	0,7	
α	30°	-48,1	-53,1	-32,1	-28,4
	60°	-35,8	-29,6	-29,6	-9,9
	90°	-50,6	-44,4	-50,6	-55,6
	120°	-75,3	-77,8	-77,8	-66,7
	150°	-77,8	-95,1	-95,7	-80,2
	180°	-77,8	-96,0	-95,3	-69,1

Genel olarak tüm geçirgenlik oranlarında $\alpha = 30^\circ$ 'den $\alpha = 60^\circ$ 'ye geçişte $\langle u'v' \rangle_{maks}/U_\infty^2$ değerinde artış gözlenirken $\alpha = 60^\circ$ 'den yüksek açılar için kayda değer bir azalma görülmektedir. Yalın silindire en yakın olan durum, $\beta = 0,7$ geçirgenliği ve $\alpha = 60^\circ$ yay açısı için geçerli olup, bu konfigürasyon için akış kontrolünün sağlanmadığı söylenebilir. Nitekim önceki sonuçlarda sunulan kontur dağılımları da bu sonucu desteklemektedir. $\alpha \geq 90^\circ$ için elde edilen $\langle u'v' \rangle_{maks}/U_\infty^2$ 'daki azalma, $\beta = 0,5$ ve $\beta = 0,6$ için, $\alpha = 150^\circ$ yay açısında en düşük değerine ulaşmaktadır. $\beta = 0,7$ geçirgenlik değeri ise daha az etkili gözükse de $\alpha = 150^\circ$ 'de yalın silindir durumuna göre çalkantıların düşürülmesinde son derece etkilidir.

4. SONUÇ

Çalışmada, küt cisimler ardında oluşan daimi akış yapısının kontrolünü sağlamak üzere farklı geçirgenlik oranları ve yay açıları göz önüne alınarak Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Dört farklı geçirgenlik oranı ($\beta = 0,3, 0,5, 0,6$ ve $0,7$), altı farklı yay açısı ($\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ ve 180°) ve iki farklı Reynolds sayısı $Re_D = 5000$, $Re_D = 10000$ için tamamlanan deneyler sonucunda, ele alınan Reynolds sayılarının akış kontrolü üzerinde nitel olarak bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

Reynolds Kayma Gerilmeleri, $\langle u'v' \rangle/U_\infty^2$ referans alınarak irdelenen sonuçlara göre, mevcut metodun uygulandığı tüm durumlarda, yalın silindir verilerine nazaran azalma görülmektedir. Ancak akış kontrolünün en etkili olduğu $120^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$, gerilmelerin ani bir şekilde düştüğü yay açısı aralığı olarak tavsiye edilebilir. Bununla birlikte, $\beta = 0,5$ geçirgenliği ve $\alpha \geq 150^\circ$ yay açısı için girdap kontrolünün tamamen sağlandığı, çalkantılı ve daimi olmayan akış yapısının tamamen kontrol edildiği en etkili durumdur. $\alpha \leq 60^\circ$ ve $\beta > 0,5$ için ise, gerilme değerlerindeki azalmanın yavaşladığı ve $\beta = 0,7$ için maksimum değerlere ulaştığı söylenebilir.

Bununla birlikte, $\beta = 0,3$ geçirgenliğinin özellikle düşük yay açılarında tek başına bir silindir gibi davrandığı, elde edilen sonuçlara dayanarak ortaya çıkarılmıştır. Bu nedenle $\beta = 0,3$ geçirgenliğe sahip delikli silindirin akış kontrolü amaçlı kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak; kontrol elemanının en etkisiz olduğu durumda ($\beta = 0,7$ ve $\alpha = 60^\circ$) bile gerilmeleri %7 oranında düşürdüğü, ancak $120^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ yay açılarında, $\beta = 0,5$ ve $\beta = 0,6$ geçirgenliğinde bu oranın %96'ya kadar ulaştığı, yani girdapları tamamen sönmülediği belirlenmiştir. Ele alınan akış kontrol tekniğinin, girdap kopması ve buna bağlı titreşimleri büyük oranda kontrol edecek alternatif bir pasif yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından, FBA-2016-6431 kodlu proje ile desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Unal, M.F., Rockwell, D., 1988. On Vortex Formation from a Cylinder. Part 2. Control by Splitter-plate Interference. Journal of Fluid Mechanics, 190, 513-529.
2. Kwon, K., Choi, H., 1996. Control of Laminar Vortex Shedding Behind a Circular Cylinder Using Splitter Plates. Physics of Fluids, 8, 479-486.
3. Mittal, S., Raghuvanshi, A., 2001. Control of Vortex Shedding Behind Circular Cylinder for Flows at Low Reynolds Numbers. Int J Num Meth Fl, 35, 421-447.
4. Akilli, H., Sahin, B., Tumen, N.F., 2005. Suppression of Vortex Shedding of Circular Cylinder in Shallow Water by a Splitter Plate. Flow Meas. Instrum. 16, 211-219.
5. Wang, J.J., Zhang, P.F., Lu, S.F., Wu, K., 2006. Drag Reduction of a Circular Cylinder Using an Upstream Rod. Flow Turbul Combust, 76, 83-101.

6. Baek, H., Karniadakis, G.E., 2009. Suppressing Vortex-induced Vibrations Via Passive Means. *J Fluid Struct*, 25, 848–866.
7. Dehkordi, B.G., Jafari, H.H., 2010. On the Suppression of Vortex Shedding from Circular Cylinders Using Detached Short Splitter-plates. *J Fluid Eng-T ASME*, 132, 044501.
8. Yucel, S.B., Cetiner, O., Unal, M.F., 2010. Interaction of Circular Cylinder Wake with a Short Asymmetrically Located Downstream Plate. *Exp Fluids*, 49, 241–255.
9. Zdravkovich, M.,M., 1981. Review and Classification of Various Aerodynamic and Hydrodynamic Means for Suppressing Vortex Shedding. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 7(2), 145-189.
10. Akilli, H., Karakus, C., Akar, A., Sahin, B., Tumen, N.F., 2008. Control of Vortex Shedding of Circular Cylinder in Shallow Water Flow Using an Attached Splitter Plate. *J Fluid Eng-T ASME*, 130, 041401.
11. Ozkan, G.M., Oruc, V., Akilli, H., Sahin, B., 2012. Flow Around a Cylinder Surrounded by a Permeable Cylinder in Shallow Water. *Exp Fluids*, 53, 1751–1763.
12. Ozkan, G.M., Firat, E., Akilli, 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.
13. Pinar, E., Ozkan, G.M., Durhasan, T., Akilli, H., Sahin, B., 2015. Flow Structure Around Perforated Cylinders in Shallow Water. 55, 52-63.
14. Durhasan, T., Aksoy, M.M., Pinar, E., Ozkan, G.M., Akilli, H., Sahin, B., 2016. Vortex Street Suppression of a Circular Cylinder Using Perforated Semi-circular Fairing in Shallow Water, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 79, 101-110.
15. Durhasan, T., Pinar, E., Ozkan, G.M., Aksoy, M.M, Akilli, H., Sahin, B., 2018. PIV Measurement Downstream of Perforated Cylinder in Deep Water, *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 72, 225-234.
16. Durhasan, T., Pinar, E., Ozkan, G.M., Akilli, H., Sahin, B., 2019. The Effect of Shroud on Vortex Shedding Mechanism of Cylinder, *Applied Ocean Research*, 84, 51-61.
17. Adrian, R.J., Westerweel, J., 2011. *Particle Image Velocimetry*, Cambridge University Press, New York, USA, 350.
18. Adrian, R.J., Westerweel, J., 2011. *Particle Image Velocimetry*, Cambridge University Press, New York, USA, 34-35.
19. Aljure, D.E., Rodriguez, I., Lehmkuhl, Perez-Segarra, Oliva, A., 2015. Influence of Rotation on the Flow Over a Cylinder at $Re=5000$. *Int. J. Heat Fluid Flow* 55, 76–90.

Analitik Hiyerarşi Süreci ve Veri Önışleme Yoluyla Türkiye'nin Güç Sistemi Portföyünün Planlanması

Üzeyir FİDAN^{*1}, Mehmet ATAĞ²

¹Uşak Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Uşak

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara

Geliş tarihi: 05.08.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Öz

Bu çalışmada amaç, enerji konusunda dışa bağımlı bir ülke olan Türkiye'nin 2020-2039 yılları arasında ihtiyaç duyacağı elektrik enerjisini karşılayabilecek bir yatırım planı sunmaktır. Elektrik enerjisi üretimi için stratejik yatırım planı sürdürülebilir arz güvenliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Yatırım planının oluşturulması aşamasında çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılmıştır. Model oluşturulurken uygulanan bir dizi veri önışleme tekniği sayesinde AHS'nin öznellik yaklaşımı büyük ölçüde ortadan kaldırılarak görece daha nesnel sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır. Çalışmaya özgünlük kazandıracak şekilde kullanılan veri önışleme teknikleri ve AHS yöntemiyle Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın (ETKB) stratejik hedefleri doğrultusunda bir portföy senaryosu ortaya konmuştur. Araştırma elde edilen portföy senaryosuyla ETKB'nin hedeflerini destekleyecek nitelikte bulgular ortaya koymaktadır. Buna göre, artan ihtiyacı karşılarken kullanılan enerji kaynaklarına göre elektrik üretiminde kömürün %10,6, doğal gazın %3, hidroelektrik kullanımının ise %4,3 azalacağı, rüzgârın %1,68, güneşin %4,34 ve jeotermal kullanımının da %2,98 artacağı öngörülmüştür. Sonuç olarak, yapılan planlama dışa bağımlılık oranını, fosil yakıt kullanım oranını ve emisyon değerlerini düşürürken, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını, istihdam potansiyelini ve arz güvenliğini arttırmaktadır. Bu araştırmanın sonuçları ETKB'nin 20 yıllık stratejik planında yer alan hedeflerin tutarlı olduğunu göstermesi açısından büyük önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir enerji planlaması, Enerji verimliliği, Karar teorisi, Veri önışleme, Analitik hiyerarşi süreci

Planning Power System Portfolio of Turkey through Analytic Hierarchy Process and Data Preprocessing

Abstract

The purpose of this study is to suggest an investment plan for Turkey, which is dependent on foreign energy, that meets Turkey's electrical energy demand between 2020-2039. Strategic investment plan for electricity generation is crucial in terms of ensuring sustainable supply security. Analytical Hierarchy Process (AHP), which is a multi-criteria decision-making method, was utilized to build this investment proposal. Under a series of data preprocessing techniques applied within the model, the subjectivity that is often observed in AHP has been largely eliminated, resulting in relatively more objective results. With the

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Üzeyir FİDAN, uzeyir.fidan@usak.edu.tr

unique data preprocessing techniques and the AHP method applied within the study, a portfolio scenario that is in line with the strategic objectives of the Republic of Turkey Ministry of Energy and Natural Resources has been offered. With the obtained portfolio scenario, the research reveals findings that support the goals of ETKB. Accordingly in proportion to the energy sources used to meet increasing demand, it is predicted that while the use of coal, natural gas and hydroelectric within this production will decrease by 10.6%, 3%, and 4.3% respectively, the use of wind, sun and geothermal will increase by 1.68%, 4.34%, and 2.98% respectively. As a result, the suggested plan reduces the rates of external dependency, fossil fuel use, and emission values while increasing the use of renewable energy sources, employment potential, and security of supply. The results of the research are of great importance in terms of demonstrating that the goals in the 20-year strategic plan of ETKB are consistent.

Keywords: Sustainable energy planning, Energy efficiency, Decision theory, Data preprocessing, Analytical hierarchy process

1. GİRİŞ

Elektrik modern toplumların refah düzeylerinde belirleyici bir öneme sahiptir [1-2]. Günlük yaşamsal faaliyetlerden üretim süreçlerine kadar uzanan geniş çerçevede ihtiyaç duyulan bir kaynaktır. Türkiye'de her geçen yıl nüfusun artması ve sanayileşmenin gelişmesi ile artan talep karşısında yerli fosil enerji kaynaklarının yetersiz hale geleceği öngörülmektedir [3-4]. Ayrıca çevre bilincinin artması [5], arz güvenliğinin en önemli unsuru olarak değerlendirilen dışa bağımlılığı düşürme isteği ve değişen sosyoekonomik yapı [6] fosil enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını gündemde tutmaktadır.

Elektrik üretim süreçlerinde hem mevcut durum analizi hem de gelecek projeksiyonları bir arada düşünülerek ülkeler tarafından uzun dönemli stratejik planlar oluşturulmaktadır. Türkiye'de bu planlar ETKB tarafından dört yılda bir oluşturularak kamuoyuna sunulmaktadır. Hayati öneme sahip elektrik üretim planlarında yer alan hedeflerin gerçekleşme durumları ne yazık ki süreçler tamamlandıktan sonra değerlendirilebilmektedir. Fakat bu kadar önemli planların sonuçlarının bilimsel yaklaşımlarla öngörülebilir kılınması hedeflerin tutarlılığı açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, uygulanan analitik yaklaşımla ETKB tarafından belirlenen hedeflerin tutarlılığı ortaya koyulmuştur. Bu kapsamda, Türkiye'de elektrik üretiminde kullanılan enerji kaynaklarının mevcut

durumu ve etkileri analiz edilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

Fosil enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında olumsuz çevre etkileri, kaynakların azalması ve dışa bağımlılık oranında artış gibi birçok sorunu gündeme getirmektedir. Diğer taraftan enerji ihtiyacının sürekli artması yapılacak planlamanın da yeterli miktarda, sürekli, güvenilir ve ekonomiye maksimum katkı sağlayacak şekilde yapılmasını gerektirmektedir [6]. Bu planlama dışa bağımlılığı ve çevreye olumsuz etkileri minimize edecek yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan, güvenlik önlemleri tam anlamıyla sağlanmış, düşük maliyetli yüksek enerji üreten nükleer enerji kaynağı kullanan [7-8] ve çevre kirliliğini minimize edecek önlemlerle yerli linyit kaynaklarını kullanan santraller ile birlikte yapılmalıdır [6].

Genel olarak güç sistemi planlanırken çevre, teknik, ekonomi ve sosyo-politik faktörler dikkate alınmaktadır [9]. Fakat bu planlama sürecinin ilk aşaması ihtiyaç duyulacak enerji miktarının doğru belirlenmesini gerektirmektedir. Bu sebeple ihtiyaç duyulacak elektrik talep tahmininin doğruluğu uzun dönemli yatırım kararlarında oldukça etkilidir [10]. Uzun dönemli yük tahminlerinde nüfus artış hızı, sanayi ve teknoloji gelişim endeksleri, kişi başına düşen ortalama yıllık gelir gibi makroekonomik faktörler kullanılmaktadır [11-14].

Planlama sürecinin ikinci aşaması ise ihtiyaç duyulacak elektrik enerjisini karşılayabilmek için optimal yatırım kararlarının verilmesi olarak değerlendirilebilir. Bu süreç dinamik bir bakış açısı gerektirmektedir. Politika oluşturucuların öngörülen ya da öngörülemeyen risk faktörlerini de bu planlamalara dâhil etmesi gerekmektedir [15].

Örneğin; yenilenebilir enerji kaynakları için güneşlenme miktarı, barajlar ve akarsulardaki doluluk oranları, rüzgâr durumu gibi faktörler oluşturulacak politikalarda değişimlere neden olabilmektedir. Bu planlar çerçevesinde her yıl Türkiye elektrik üretim karmasında değişiklikler yaşanmaktadır. Tük'ten alınan verilere göre yıllar içinde bu enerji karmasının değişimi Şekil 1'de verilmiştir.

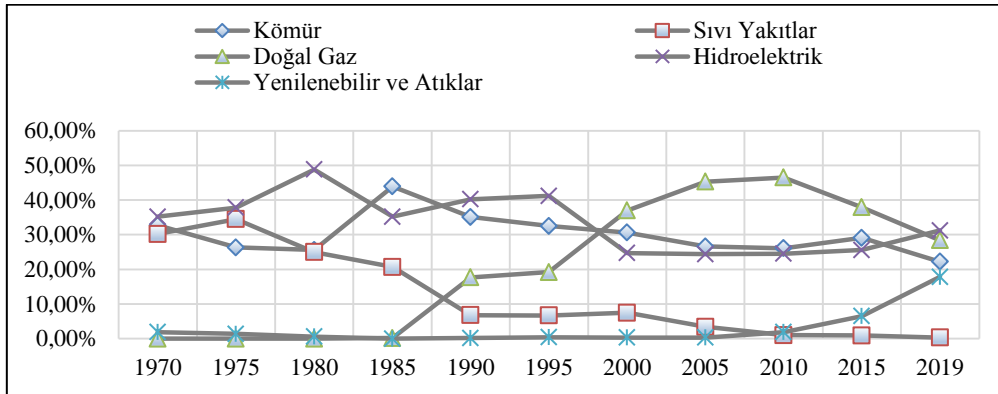
Bu çerçevede, ETKB'nin gelecek 20 yıllık projeksiyonları göz önünde bulundurularak uygulanan karar verme modeliyle hedeflerin gerçekleşme durumları incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek ve dışa bağımlılığı azaltabilmek için fosil kaynak kullanımı miktar olarak bir artış gösterse de elektrik üretimindeki enerji karması içindeki oranının azalacağı öngörülmektedir. Diğer taraftan, yenilenebilir enerji kaynaklarının ise hem kullanım miktarlarının hem de enerji karması içindeki paylarının artma eğilimi göstereceği tespit edilmiştir.

2. ENERJİ YATIRIMLARINDA KARAR VERME SÜRECİ

Doğanın insana sunduğu ve günümüzde yaşam koşullarının en büyük bağımlılığı enerjidir. İnsan varlığını sürdürürken hemen her alanda enerji tüketmektedir [9]. Dolayısıyla, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği ile ilgili çalışmalar önemini ve güncelliğini korumaktadır.

Tüm dünyada hissedildiği gibi 1973 ve 1979 petrol krizleri [16] ile 1990 petrol fiyatı şoku [17] gelişmekte olan ülkelerde de etkisini hissettirmiştir. Türkiye de bu kriz dönemlerinden sonra alternatif enerji kaynağı arayışına girmiştir [18]. Elektrik üretim tesislerinin çeşitlendirilmesi, ham madde satın alınan ithalatçı ülkelerin çeşitlendirilmesi bu arayışın en önemli göstergeleridir [15,19].

Türkiye'de özellikle 1985 yılında yaşanan pik seviyeden sonra günümüze kadar kömür yakıtlı çalışan santrallerin enerji karması içindeki payının azaldığı görülmektedir (Şekil 1). Fakat yenilenebilir enerji ile ilgili yatırımların gecikmesi artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için gelişmekte olan çok sayıda ülke gibi Türkiye'yi de bir diğer fosil kaynak olan doğal gaz kullanımına yönlendirmiştir. 1970 yılından bu güne kadar bir değerlendirme yapılırsa, her ne kadar fosil kaynaklı elektrik üretim oranı yüksek gibi görünse de çeşitlilik anlamında giderek bir dengelemenin yaşandığı gözlemlenmektedir.



Şekil 1. Yıllar bazlı Türkiye'deki enerji karması değişim [21]

Elektrik enerjisi üretiminde çeşitliliğin değerlendirilmesi karar vericiler için önemli bir faktördür [15]. Çeşitlilik oranı bir gösterge olarak dışa bağımlılık, tek tip enerji kaynağına bağımlılık [19] gibi konularda fikir vererek güvenilir bir elektrik arz sistemi oluşturmak noktasında karar vericilere yol göstermektedir.

Enerji üretiminde çeşitlilik, üretimde kullanılan kaynak, enerji ithal edilen ülke, taşıma güzergâhları ve dağıtım ağı olmak üzere dört temel başlıkta incelenmektedir [15,19-20]. Bu çalışmada çeşitlilik elektrik üretiminde kullanılan kaynak kapsamında incelenmektedir.

Ele alınan elektrik enerjisi ikincil enerji kaynağı olduğu için üretiminde petrol, doğal gaz, kömür, uranyum gibi fosil yakıtların yanı sıra rüzgâr, su, güneş, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır [22]. Burada kullanılan enerji türlerinden fosil yakıtlar sonlu ve tükenebilirken, yenilenebilir enerji kaynaklarının bu gibi kısıtları yoktur. Bu farklılık sebebi ile ülkeler yaptıkları stratejik planlamalarda sürekliliği koruyabilmek amacı ile yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi göstermektedir [5].

Elektrik üretimi ile ilgili ülkelerin farklı tutumları olmasına rağmen fosil enerji kaynakları kullanmanın çevreye olumsuz etkileri değerlendirildiğinde üretim portföyünün çeşitlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır [3,19,23]. Bilimsel çalışmalar bu durumu kanıtlar nitelikte olsa da özellikle Avrupa Birliği ülkelerindeki uygulamalar bunun aksini göstermektedir [24]. Dolayısıyla, bu çalışmada beklenen tutumdan ziyade gerçek koşulların enerji üretim portföyündeki etkileri değerlendirilmiştir.

Türkiye doğal kaynakları açısından incelendiğinde doğal gaz ve petrol kaynaklarında fakir bir ülkedir [3]. Bu sebeple ekonomik sürdürülebilirlik bağlamında mevcut linyit kaynaklarının kullanımının tamamen durdurulması mümkün görülmemektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları ile gerçekleştirilecek kararsız ve dalgalı elektrik üretimi bir ülkenin tüm enerji portföyünün oluşmasında bu kaynaklarının kullanımına imkân tanımamaktadır. Böylece olumsuz çevre etkileri de

düşünüldüğünde, fosil yakıtlı elektrik üretim tesislerinin enerji karmasındaki paylarının azaltılması ya da başka bir ifadeyle paylarındaki artış hızının düşürülmesi bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum karar vericileri, nükleer enerji santrali ve yenilenebilir enerji santrallerinin planlamadaki gücünü arttırmaya teşvik etmektedir.

2.1. Yeni Yatırımların Planlanmasında Kullanılan Yöntemler

Literatür incelendiğinde elektrik enerjisi üretiminde yeni yatırım planlarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKVY) ile belirlendiği görülmektedir. ÇKKVY, politika oluşturmak ve en uygun çözümü elde etmek için güvenilir ve verimli araçlardır [25]. Bu yaklaşımlar kriter ve alternatiflerin göreceli önem derecelerinin belirlenmesini sağlamaktadır [26]. Bu sayede alternatiflerin sıralanması, aralarında en ideal seçimin belirlenmesi veya bir portföyü oluşturan kararın belirlenmesi gibi amaçlarla kullanılmaktadır.

Çok kriterli karar vermenin görece kısa bir geçmişi vardır. Modern çok kriterli karar verme yöntemlerinin temellerinin atıldığı 1950'lerden bu yana, yeni çok kriterli karar verme modelleri ve tekniklerinin geliştirilmesine odaklanılmıştır [27]. Çizelge 1'de en çok kullanılan ÇKKVY listelenmiştir.

Çizelge 1. Çok kriterli karar verme yöntemleri

Yöntem	Yazarlar ve Kaynak No
AHP-ANP	Saaty [30-31]
DEMATEL	Gabus Fontela [32]
ELECTRE	Roy [33]
MAUT-MAVT	Fisburn [34]
PROMETHEE	Brans [35]
SAW	Churchman ve Ackoff [36]
TOPSİS	Yoon [37]
ARAS	Zavadskas ve Turskis [38]
COPRAS	Zavadskas ve Kaklauskas [39]
MOORA	Brauers ve Zavadskas [40]
SWARA	Zavadskas vd. [41]
WASPAS	Zavadskas vd. [42]

Enerji planlanmasında teknolojinin sürdürülebilirliği çeşitli yöntem ve kriter kombinasyonları ile değerlendirilmektedir [28].

Bazı çalışmalar geleneksel enerji üretim teknolojilerini yeni teknolojilerle karşılaştırmaya veya çeşitli yenilenebilir enerji teknolojilerini yaşam döngüsü açısından karşılaştırmaya odaklanmaktadır [26,29]. Elektrik santrallerinin değerlendirilmesinde kullanılan kriterler, aynı zamanda yapılacak yeni yatırımların planlanmasında da kullanılabilirlerdir.

2.2. Yeni Yatırımların Planlanmasında Kullanılan Kriterler

Elektrik üretim sistemlerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda çok sayıda kriter kullanılmaktadır [22,43]. Bu kriterlerin bir özeti Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Elektrik üretim sistemleri değerlendirilmesinde kullanılan kriterler

KRİTER	ALT KRİTER
Teknik	Yıllık Üretim
	Birincil Enerji Oranı
	Kapasite Faktörü
	Kurulu Güç
Sosyo-politik	Sosyal Kabul Edilebilirlik
	Yeni İş Oluşturma
Çevre	CO ₂ Emisyonu
	CO Emisyonu
	CH ₄ Emisyonu
	SO Emisyonu
	N ₂ O Emisyonu
	NO _x Emisyonu
	Arazi Kullanımı
Ekonomik	Yatırım Maliyeti
	İşletme ve Bakım Maliyeti
	Yakıt Maliyetleri
	Gerİ Ödeme Süresi

Çizelge 2’de Wang’ın ortaya koyduğu kriterler, genel değerlendirme kriterleri olarak kabul görmüş olmasına rağmen çok sayıda araştırmada problemin odağına göre kullanılan kriterlerde farklılıklar görülmektedir [9,43]. Yang ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada teknoloji,

ekonomi, çevre ve sosyal indeks olmak üzere Çizelge 2’de verilen kriterlere benzer bir yaklaşım sergilenmiştir [44]. Fakat alt kriterler incelendiğinde bu çalışmada sosyal indeksin daha baskın olduğu görülmektedir. Ayrıca güvenlik alt kriteri çoğunlukla teknik kriterinin altında yer alırken, Yang ve arkadaşları bu kriteri sosyal bir kriter olarak ele almışlardır [44]. Benzer şekilde Özcan ve Erol’un [45] yaptıkları çalışmada sosyal kabul kriterinin araştırmanın odağında olduğu görülmektedir. Alanne ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada verilen kriterlere ek olarak teknoloji kullanımı ile ilgili yeni bir kriter eklemişlerdir [46].

Bu çalışma kapsamında kullanılan kriterler ve alt kriterler ilgili elektrik santral tipi karşılaştırmaları ile birlikte bir sonraki bölümde verilmiştir.

3. YÖNTEM

Bu çalışmada elektrik santralleri ile ilgili yapılacak planlamada Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın halka açık olarak yayınladığı elektrik enerjisi talep projeksiyonları verileri kullanılmıştır (Çizelge 3) [47].

Çizelge 3. Türkiye elektrik talep tahminleri (TWh)

YIL	Düşük	Baz	Yüksek
2020	327,30	329,60	332,10
2021	340,50	344,40	348,70
2022	353,20	359,60	366,40
2023	366,80	375,80	385,20
2024	380,40	392,10	404,30
2025	392,60	406,90	422,30
2026	404,60	421,80	440,70
2027	416,60	436,60	458,90
2028	428,80	451,70	477,60
2029	441,00	466,80	496,60
2030	453,00	481,70	515,40
2031	464,60	496,70	534,00
2032	476,30	511,60	552,90
2033	487,80	526,40	571,60
2034	499,30	541,00	590,20
2035	510,80	555,70	608,50
2036	522,70	570,80	627,00
2037	534,00	585,30	644,90
2038	545,10	599,40	662,50
2039	556,30	613,40	679,90

Talep tahminleri doğrultusunda hangi birincil enerji kaynağından ne oranda bir yatırım karması oluşturulacağına karar verilecektir. Karar problemi için AHS yöntemi kullanılmıştır. Fakat öncesinde AHS yönteminin özneliğini azaltmak ve enerji karmasını arz güvenliği yaklaşımı ile şekillendirmek için tasarlanmış veri önifleme adımları uygulanmıştır. Bu aşamada verilerin 13 kriter için sahip oldukları değerler kendi içinde değerlendirilerek ödül ve ceza puanları verilmiştir. Bu puanların oluşmasında kullanılan yöntem 3.2 başlığı altında detaylandırılmıştır.

3.1. Analitik Hiyerarşı Süreci (AHS)

AHS, karmaşık kararları bir dizi ikili karşılaştırmaya indirgeyerek ve ardından sonuçları sentezleyerek, karmaşık bir sorunun hiyerarşiler sistemine bölünmesine izin veren çok kriterli bir karar verme yöntemidir [48]. AHS, karar vericinin kriterleri ikili karşılaştırmasına göre her değerlendirme kriteri için bir ağırlık oluşturur. Ağırlık ne kadar yüksek olursa, karşılık gelen kriter de o kadar önemlidir ve analiz edilen kriterler arasında bir öncelik sıralaması oluşturulması mümkündür [49].

AHS yönteminin algoritmik yapısı aşağıdaki gibi özetlenebilir [31].

- Problemin tanımlanması
- Kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesi
- Hiyerarşik karar diyagramının belirlenmesi
- Veri matrislerinin oluşturulması
- Ağırlıkların hesaplanması
- Karşılaştırmaların yapılması
- Tutarlılık kontrolünün yapılması
- Kararın verilmesi

Kriterler ve alternatiflerin önem düzeyleri belirlenirken Saaty'nin geliştirdiği ölçek

kullanılmaktadır [31]. Saaty önem düzeyi ölçeği Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. AHS Önem düzeyleri çizelgesi

Puan	Değer
1	Eşit önem düzeyi
3	Kısmen önemli
5	Önemli
7	Çok önemli
9	Aşırı önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Çizelge 4'de belirtilen önem düzeyleri arasında göreceli belirsizlikler olduğunda ara değer olarak verilen 2, 4, 6 ve 8 değerleri kullanılmaktadır.

Buradan elde edilen değerlendirmelere dayanarak karşılaştırma matrisi Eşitlik 1'deki gibi oluşturulur.

$$A_{n \times n} = [a_{ij}], \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (1)$$

Karşılaştırma matrisinde $i=j$ olduğunda hücreler 1 değerini alırken, diğer hücrelerde belirlenen önem düzeylerine göre puanlamalar yapılır. Ayrıca simetrik hücreler için Eşitlik 2'deki dönüşüm uygulanmaktadır.

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (2)$$

Karşılaştırma matrisleri her kriter için ayrı ayrı yapılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Her bir karşılaştırma matrisi Eşitlik 3 ile normalize edilerek sütun değerleri toplamının 1 olması sağlanır.

$$*a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum a_j} \quad (3)$$

Normalize edilen kriter matrislerinin Eşitlik 4 yardımı ile satır ortalamaları alınarak öncelik (ağırlık) matrisi elde edilir.

$$w_i = \frac{\sum *a_{ij}}{n} \quad (4)$$

Son adım olarak Eşitlik 8 ve Çizelge 5’de verilen Rastgele Gösterge (RI) değerleri ile elde edilen sonuçların tutarlılıkları (CR) hesaplanır. Burada CI değerlerinin hesaplanması için sırası ile Eşitlik 5, 6 ve 7 uygulanır.

$$\det(A-\lambda I)=0 \quad (5)$$

$$\lambda_{\max}=\max \lambda_i \quad (6)$$

$$CI=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1} \quad (7)$$

$$CR=\frac{CI}{RI} \quad (8)$$

Çizelge 5. Rastgele gösterge değerleri

n	RI	n	RI
1	0,00	6	1,24
2	0,00	7	1,32
3	0,58	8	1,41
4	0,90	9	1,45
5	1,12	10	1,49

Hesaplanan CR değerinin 0’a olan yakınlığı karar vericinin yaptığı karşılaştırmaların tutarlılığının arttığını göstermektedir [31].

AHS yönteminde asıl sorun kriter ve alternatiflerin ağırlıklarının belirlenmesi sürecinde, insanların öznel yargılarının etkisidir [50]. Sonuç olarak, karar matrislerinin oluşturulması bazı belirsiz faktörlerden etkilenir ve tutarlılığı sağlamak zordur [51]. Bu çalışmada AHS yönteminin doğasında yer alan öznellik tutumu azaltabilmek için bir dizi önışlem uygulaması önerilmektedir.

3.2. Veri Önışleme

Literatürde birçok veri önışleme yöntemi bulunmaktadır. Veri ön işlemenin genel amacı uygulanacak olan yöntem verilerin en iyi girdiyi oluşturmasıdır [52]. Bu çalışmada uygulanacak veri önışleme tekniği ise AHS yönteminde göze çarpan öznelliği azaltacak bir yaklaşım olarak tasarlanmıştır.

μ_i :i. Alt kriterin ortalama değeri

σ_i :i. Alt kriterin standart sapması

γ Esneklik katsayısı

olmak üzere puanlama aralığı (r) Eşitlik 9’da verilmiştir,

$$r_i: \frac{\sigma_i}{\gamma} \quad (9)$$

Eşitlik 10 yardımı ile her kriter kendi içinde puanlanmaktadır.

$$p_i(x_i)=\begin{cases} 0, & \text{vex}_i \in (\mu_i - \frac{r_i}{2}, \mu_i + \frac{r_i}{2}) \\ t, & \text{vex}_i \in (\mu_i - \frac{t.r_i}{2}, \mu_i + \frac{(t+2).r_i}{2}) \end{cases} \quad (10)$$

Burada alt kriterlerin aldığı ödül puanları pozitif, ceza puanları negatif olarak elde edilmektedir. Her bir kriterin puanı hesaplanırken alt kriterlerinin ödül ve ceza puanlarının ortalaması alınır. Son olarak elde edilen kriter puanları min-max yöntemi ile standardize edilir.

3.3. Çalışmada Kullanılan Kriter Değerleri ve Puanları

Çalışmada kullanılan her bir alternatifin kriterlerinin aldığı değerler ve uygulanan veri önışleme sonucunda elde edilen puanlamaları aşağıda verilmiştir.

3.3.1. Kurulu Güç (K1)

Bu kriter Türkiye’de 2019 yılı sonunda oluşmuş kurulu güçleri (Çizelge 6) göstermektedir [53].

Çizelge 6. Kurulu güç

Santral Tipi	MW	Yüzde	Puan
Nükleer	0,00	0,00	-
Kömür	20321,3	22,4	6
Doğal gaz	25945,9	28,6	11
Hidroelektrik	28486,1	31,4	13
Rüzgar	7348,3	8,1	-5
Güneş	5624,6	6,2	-6
Jeotermal	1451,5	1,6	-10
Diğer (Atık vb.)	1542,2	1,7	-10
TOPLAM	90720	100	-

3.3.2. Yıllık Üretim Miktarı (K2)

Bu kriter 2019 yılının tamamında birincil enerji kaynaklarına göre üretilen elektrik enerjisini (Çizelge 7) göstermektedir [54].

Çizelge 7. Yıllık üretim

Santral Tipi	GW	Yüzde	Puan
Nükleer	0,00	0,00	-
Kömür	113117,82	37,18	16
Doğal gaz	56702,69	18,64	3
Hidroelektrik	88886,24	29,21	10
Rüzgar	29672,90	9,75	-3
Güneş	240,90	0,08	-10
Jeotermal	11363,20	3,73	-7
Diğer (Atık vb.)	5257,63	1,4	-9
TOPLAM	305241,40	100	-

3.3.3. Kapasite Faktörü (K3)

Çizelge 8. Ortalama kapasite faktörü

Santral Tipi	KF	Puan
*Nükleer	0,9000	12
Kömür	0,8354	10
Doğal gaz	0,2495	-9
Hidroelektrik	0,4562	-2
Rüzgar	0,2610	-9
Güneş	0,2049	-11
Jeotermal	0,7937	9
Diğer (Atık vb.)	0,6892	5

*Türkiye'de kurulu nükleer santral olmadığı için EIA'dan hesaplanan ortalama değer verilmiştir.

Kapasite faktörü bir santralin bir yılda ürettiği gücün yine bir yılda üretilebilecek maksimum güç değerine oranı Eşitlik 11 kullanılarak hesaplanır [55].

$$KF = \frac{\text{Üretilen toplam güç}}{\text{Kurulu güç (yıllık)}} \quad (11)$$

3.3.4. Yatırım Maliyetleri (K4)

Yatırım maliyeti birçok maliyet kaleminin toplamından oluşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan veriler ekipman, malzeme, inşaat, işçilik, vinçler, mühendislik hizmetleri, inşaat yönetimi, devreye alma ve işletmeye alma

maliyetlerinin toplamını (Çizelge 9) içermektedir [56,57].

Çizelge 9. Yatırım maliyetleri

Santral Tipi	\$/kWh	Puan
Nükleer	6041	-18
Kömür	3676	-5
Doğal gaz	978	11
Hidroelektrik	5316	-16
Rüzgar	1265	10
Güneş	1755	6
Jeotermal	2521	2
Diğer (Atık vb.)	4097	-8

3.3.5. İşletme ve Bakım Maliyetleri (K5)

İşletme ve bakım maliyetleri de birçok maliyet kaleminin toplamından oluşmaktadır. Araştırmada kullanılan veriler sabit işletme, bakım, malzeme, sözleşme bedelleri, geçici işçi, su, kimyasallar ve sarf malzeme maliyetlerinin toplamını (Çizelge 10) içermektedir. Bu maliyetlere vergi ve sigorta maliyetleri dâhil edilmemiştir [57].

Çizelge 10. İşletme ve bakım maliyetleri

Santral Tipi	\$/kWh	Puan
Nükleer	121,64	-13
Kömür	40,58	3
Doğal gaz	13,17	8
Hidroelektrik	29,86	5
Rüzgar	26,34	6
Güneş	15,25	8
Jeotermal	128,54	-15
Diğer (Atık vb.)	125,72	-14

3.3.6. Yakıt Maliyetleri (K6)

Çizelge 11. Yakıt maliyetleri

Santral Tipi	\$ cent/kWh (yıl)	Puan
Nükleer	0,76	3
Kömür	4	-8
Doğal gaz	8	-22
Hidroelektrik	0	5
Rüzgar	0	5
Güneş	0	5
Jeotermal	0	5
Diğer (Atık vb.)	0	5

Bu kriterde üretim süreçlerinde kullanılan birincil enerji kaynağının kW başına ortalama cent değerleri (Çizelge 11) verilmiştir [57].

3.3.7. Geri Ödeme Süresi (K7)

Bu kriter önceki çalışmalarda emisyon değerlerine karşılık alınan ödül sistemine göre [58] ve finansal olarak yatırım bedelinin karşılama süresi olarak iki farklı şekilde değerlendirilmiştir. Bu araştırmada finansal bir değerlendirme kullanılmıştır (Çizelge 12).

Çizelge 12. Geri ödeme süresi

Santral Tipi	Ortalama (yıl)	Puan
Nükleer	9,2	6
Kömür	10	3
Doğal gaz	9,72	4
Hidroelektrik	14,65	-11
Rüzgar	6,94	13
Güneş	8,65	7
Jeotermal	16	-15
Diğer (Atık vb.)	11,5	-1

Geri ödeme süresi her kaynak için birçok maliyet kalemi hesaplanarak yapıldığından veriler ortalama değerler olarak alınmıştır [59-64]. Verilen değerler ülkelere göre farklılık gösterebilmektedir.

3.3.8. Emisyonlar (K8-K9-K10-K11)

Önceden yapılan çalışmalarda bu kriterde genellikle tüm sera gazlarını temsilen karbon piyasasındaki ödül ve ceza puanları kullanılmıştır [21]. Bu çalışmada ise santral tiplerinin inşaat ve işletme aşamasında doğaya saldıkları CO₂, CH₄, NO_x ve SO₂ gazların ortalama değerleri (Çizelge 13) kullanılmıştır [57].

Çizelge 13. Emisyonlar (g/kWh)

Santral Tipi	CO ₂	CH ₄	NO _x	SO ₂
Nükleer	17	0	0,047	0,072
Kömür	838	4,716	0,696	0,351
Doğal gaz	386	1,076	0,351	0,125
Hidroelektrik	32	0,135	0,056	0,055
Rüzgâr	38	0,169	0,055	0,071
Güneş	319	0,883	0,408	0,494
Jeotermal	21	0,059	0	0
Diğer (Atık vb.)	0	0	0,35	0,087

Çizelge 14. Emisyon puanları

Santral Tipi	CO ₂	CH ₄	NO _x	SO ₂
Nükleer	6	5	8	5
Kömür	-21	-24	-18	-11
Doğal gaz	-6	-1	-4	2
Hidroelektrik	6	4	8	6
Rüzgar	6	3	7	5
Güneş	-4	0	-10	-20
Jeotermal	6	5	10	9
Diğer (Atık vb.)	7	5	-4	4

Çizelge 14 emisyon değerlerine uygulanan veri ön işlemeden sonra oluşan puanlamayı göstermektedir.

3.3.9. Arazi Kullanımı (K12)

Elektrik üretim santralleri belirli büyüklüklerde arazi üzerine kurulurlar. Büyüklük ölçüsü santralin kapasitesine bağlı olarak değişmektedir. Bu sebeple santral tiplerinin kuruldukları alan 1000 MW eş değeri (Çizelge 15) olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 15. Arazi kullanımı

Santral Tipi	Km ² / 1000 MW	Puan
Nükleer	2,5	8
Kömür	2,5	8
Doğal gaz	2,5	8
Hidroelektrik	750	0
Rüzgar	100	7
Güneş	35	8
Jeotermal	18	8
Diğer (Atık vb.)	5000	-49

3.3.10. İş Oluşturma (K13)

Elektrik üretim santralleri yaşam döngüsü boyunca inşaat işletme ve hizmet alma aşamalarında birçok kişiye iş imkânı sağlamaktadır [21,65]

Bu kriter enerji tedarik sistemlerinin istihdam potansiyeli olarak değerlendirilmiş ve ortalama çalışan sayıları Çizelge 16'da verilmiştir.

Çizelge 16. İş oluşturma

Santral Tipi	Kişi / MW	Puan
Nükleer	0,833333	16
Kömür	0,537634	3
Doğal gaz	0,394737	-3
Hidroelektrik	0,740741	12
Rüzgar	0,30303	-7
Güneş	0,447412	-1
Jeotermal	0,155556	-14
Diğer (Atık vb.)	0,354167	-5

4. BULGULAR

Çalışmada yapılan veri önileme süreci, ortalamalardan sapmaya dayalı ödül ve ceza puanlarının verilmesi esasında uygulandığı için model her geçen yıl enerji karmasını daha dengeli bir hale getirmeye amaçlamaktadır.

Enerji santrallerinin değerlendirilmesi amacıyla dört ana kriter altında 13 alt kriter (K1, ..., K13) kullanılmıştır. Bu kriterlerden K1 ve K2'nin değerleri her yıl yeniden oluşturulan yeni enerji karmasından dolayı değişim göstermektedir. Diğer kriterlerin değerleri dolar cinsinden veya ortalama olarak verildiği için değişmeyeceği varsayılmıştır. Bu sebeple veri önileme adımları her yıl eklenecek yeni yatırım karması için tekrarlanarak iteratif bir süreç ortaya koymaktadır. Böylece bu iteratif süreç enerji karmasını dengelenmesi noktasında bir baskı oluşturmaktadır. Bu sebeple, bu araştırmada enerji karmasının dengelenmesi sağlanarak arz güvenliğine katkı sağlayacak bir planlama önerilmektedir.

Çalışmada kullanılan ana kriterlerin kendi aralarında karşılaştırılmasında Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2019-2023 Stratejik Plan ve Performans Göstergeleri baz alınmıştır. Böylece dışarıdan alınan ikili karşılaştırmalardan uzaklaşarak öznellik vurgusu zayıflatılmıştır [66]. Türkiye'de enerji sistemlerinde karar verici ve politika yapıcı Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı olduğundan dolayı bu yaklaşım daha gerçekçi sonuçları ortaya çıkaracaktır.

Bu yaklaşımda Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yayımladığı Stratejik Plan ve Performans Göstergeleri Çizelge 17'de verilen hedefleri göstermektedir [66]. Burada yer alan hedefler çalışmanın hangi kriteri ya da kriterleri ile ilgiliyse bu kriterlerin görece üstünlüklerini artırmıştır. Böylece klasik yaklaşımda uzman görüşlerine dayanan puanlama sistemi bu çalışmada Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yazılı olarak sunduğu amaçlar ile çözümlenmiştir.

Çizelge 17'de elde edilen toplam puanlar kendi aralarında ikişer ikişer oranlanarak AHS karşılaştırma matrisi elde edilmiştir (Çizelge 18).

Çizelge 17. Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2019-2023 stratejik planları

	T	E	Ç	S
Sürdürülebilir enerji arz güvenliği sağlamak	7	2	5	3
Enerji verimliliğini önceliklendirmek ve artırmak	5	5	3	6
Kurumsal ve sektörel kapasiteyi güçlendirmek	2	0	0	4
Enerji ve tabii kaynaklarda bölgesel ve küresel etkinliği artırmak	1	2	0	0
Enerji ve tabii kaynaklar alanında teknoloji geliştirme ve yerleştirme	4	1	0	3
Piyasalarda öngörülebilirliği artırmak	2	2	0	2
Sürdürülebilir madencilik ile üretim kapasitesini artırmak	3	4	0	3
TOPLAM	24	16	8	21

Çizelge 18. AHS karşılaştırma matrisi

	T	E	Ç	S
T	1,000	1,500	3,000	1,143
E	0,667	1,000	2,000	0,762
Ç	0,333	0,500	1,000	0,381
S	0,875	1,313	2,625	1,000

Çizelge 18’den elde edilen değerlere AHS metodolojisi uygulanarak Çizelge 19’de ki ağırlıklar hesaplanmıştır.

Çizelge 19. AHS faktör ağırlıkları

	T	E	Ç	S
w	0,3478	0,1159	0,2319	0,3044

Çalışmada tutarlılık ölçütü $CR=1,1*10^{-8}$ elde edilmiştir. Değerin sıfıra çok yakın olması Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın stratejik hedeflerinden elde edilen karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğuna işaret etmektedir.

Diğer taraftan alt kriterlerde de özneliği zayıflatılmak için sahip oldukları değerlere göre ikili karşılaştırmalarını sağlayacak bir veri önileme daha uygulanmıştır. Burada uygulanan veri önileme süreci Başlık 3.2’de anlatılan metodoloji yardımıyla yapılmıştır. Son olarak veri önileme adımları ile elde edilen ödül ve ceza puanları Eşitlik 12’de belirtilen min-max normalizasyonu uygulanarak Çizelge 20’deki veri önileme puan matrisi elde edilmiştir.

$$p_j = \frac{p_j - \min(p_j)}{\max(p_j) - \min(p_j)} \quad (12)$$

Çizelge 20. 2019 yılı veri önileme puan matrisi

Santral Tipi	T	E	Ç	S
Kömür	1,0000	0,2807	0,0000	0,6538
Doğal gaz	0,5424	0,4211	0,6250	0,4231
Hidroelektrik	0,8136	0,1053	0,8654	1,0000
Rüzgâr	0,1695	1,0000	0,9038	0,2692
Güneş	0,0000	0,8596	0,3846	0,5000
Jeotermal	0,3220	0,0000	1,0000	0,0000
Diğer (Atık vb)	0,2203	0,0877	0,2788	0,3462

Çizelge 18 stratejik planlara göre hesaplandığı için sabit kalırken Çizelge 20’de yer alan değerler her yıl sonu hesaplamasında güncellenmektedir.

AHS ağırlıkları ile veri önileme puan matrisi çarpılarak oluşturulacak yatırım portföyünün oranları belirlenmiş Çizelge 21’de verilmiştir.

Çizelge 21. 2020 yılı planlaması ve enerji karmasına eklenecek güç miktarı

Santral Tipi	S1 (GW)	S2 (GW)	S3 (GW)	%
Nükleer	-	-	-	-
Kömür	3,80	4,20	4,63	17,09
Doğal gaz	3,35	3,70	4,08	15,06
Hidroelektrik	5,24	5,79	6,39	23,58
Rüzgâr	3,05	3,37	3,72	13,73
Güneş	2,24	2,47	2,72	10,05
Jeotermal	2,25	2,49	2,74	10,12
Diğer (Atık vb)	1,68	1,86	2,05	7,57
TOPLAM	21,62	23,87	26,32	100

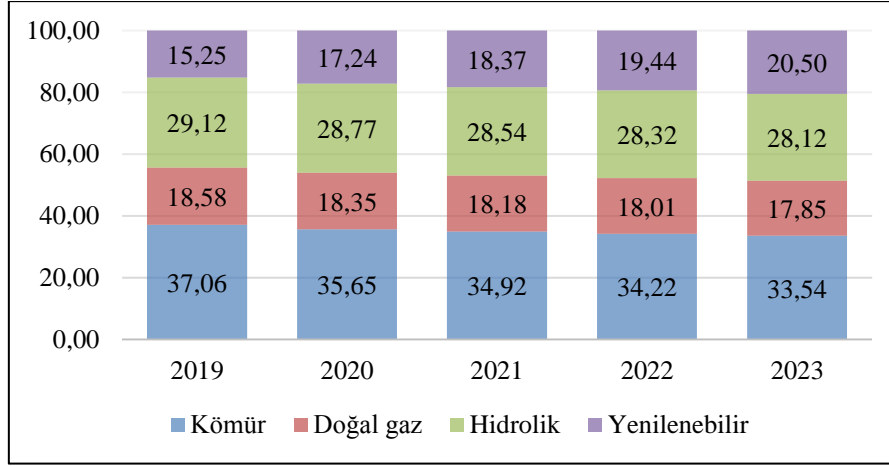
Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın 2020 yılı için düşük (S1), baz (S2) ve yüksek (S3) olmak üzere üç farklı senaryoda yaptığı elektrik tüketim tahminleri doğrultusunda kapasitesi arttırılacak veya yeni yatırım yapılacak enerji santral güç dağılımı Çizelge 21’de verilmiştir.

Çizelge 22. 2020-2023 planlaması ve enerji karmasına eklenecek güç miktarları (GW)

Santral Tipi	2020	2021	2022	2023
Nükleer	-	-	-	-
Kömür	4,2	2,53	2,60	2,77
Doğal gaz	3,7	1,99	2,04	2,19
Hidroelektrik	5,79	3,27	3,38	3,64
Rüzgâr	3,37	2,11	2,19	2,32
Güneş	2,47	1,49	1,53	1,63
Jeotermal	2,49	1,55	1,61	1,74
Diğer (Atık vb)	1,86	1,18	1,19	1,28
TOPLAM	23,87	14,12	14,54	15,56

Buradan elde edilen sonuçlara göre kapasite artırımını veya yeni santral kurulması karar vericilerin değerlendirmesine bağlıdır. Çalışmada Akkuyu Nükleer Santrali 2023 yılı itibari ile portföye dâhil edilmiştir.

Uygulanan yöntemin sonuçlarına göre 2019-2023 yılları arasındaki elektrik üretim portföyündeki planlanan değişim Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. 2019-2023 yılları arasında enerji karmasındaki değişim

Analiz sonucuna ve mevcut stratejilere göre 2019 yılından 2023 yılına kadar elektrik üretim karmasında yenilenebilir (hidroelektrik hariç) enerjinin payı %5,25 oranında artmış, hidroelektrik %1, doğal gaz %0,73 ve kömür %3,52 oranında azalmıştır (Şekil 2).

Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın stratejik hedefleri ve elektrik talep

projeksiyonları göz önüne alındığında 2019-2039 yılları arasında elektrik üretim karmasının değişimi Çizelge 23'de verilmiştir [66].

20 yıllık planlama sürecinde baz yıl olarak kabul edilen 2019 yılı ile hedef yıl olarak belirtilen 2039 yılları arasındaki nihai üretim değişimi Çizelge 24'de verilmiştir.

Çizelge 23. 2019-2039 yılı elektrik üretim karmasındaki değişimler (%)

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Nükleer	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	1,22	1,74	2,23	2,70	3,14
Kömür	37,06	35,65	34,92	34,22	33,54	32,80	32,18	31,60	31,07	30,55	30,06
Doğal gaz	18,58	18,35	18,18	18,01	17,85	17,60	17,41	17,21	17,04	16,87	16,71
Hidroelektrik	29,12	28,77	28,54	28,32	28,12	27,77	27,47	27,19	26,94	26,70	26,46
Rüzgar	9,72	10,04	10,24	10,44	10,62	10,71	10,78	10,84	10,90	10,96	11,01
Güneş	0,08	0,82	1,22	1,60	1,97	2,23	2,45	2,65	2,84	3,02	3,19
Jeotermal	3,72	4,21	4,49	4,76	5,02	5,20	5,34	5,48	5,61	5,73	5,84
Diğer (Atık vb)	1,72	2,16	2,42	2,65	2,89	3,03	3,16	3,28	3,38	3,49	3,59
		2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
Nükleer		3,54	3,97	4,34	4,68	5,00	5,30	5,60	5,88	6,13	6,37
Kömür		29,60	29,06	28,65	28,28	27,93	27,59	27,26	26,96	26,69	26,42
Doğal gaz		16,56	16,43	16,29	16,17	16,05	15,94	15,84	15,74	15,65	15,56
Hidroelektrik		26,25	26,07	25,88	25,70	25,53	25,37	25,21	25,07	24,94	24,81
Rüzgar		11,06	11,11	11,16	11,20	11,24	11,28	11,31	11,35	11,38	11,41
Güneş		3,35	3,49	3,63	3,77	3,89	4,01	4,12	4,23	4,33	4,42
Jeotermal		5,95	6,08	6,18	6,27	6,35	6,43	6,51	6,58	6,65	6,71
Diğer (Atık vb)		3,68	3,79	3,87	3,94	4,01	4,08	4,14	4,20	4,25	4,31

Çizelge 24. 2019 ve 2039 yılları elektrik üretim miktarları

Santral Tipi	2019 (GW)	2039 (GW)
Nükleer	0	38,035
Kömür	113,118	157,796
Doğal gaz	56,703	92,924
Hidroelektrik	88,886	148,168
Rüzgar	29,673	68,120
Güneş	241	26,385
Jeotermal	11,363	40,073
Diğer (Atık vb)	5,258	25,718
TOPLAM	305,241	597,219

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri enerji planlama çalışmalarında sıklıkla tercih edilen yöntemlerdir [1, 3, 19, 21]. ÇKKV’de yöntemlerin büyük bir bölümü ağırlıkların hesaplanması süreçlerinde öznellik içermektedir [43]. Bu sebeple çalışmada AHS’nin matematiksel metodolojisinden faydalanılmakla birlikte ortalamadan sapmaları baz alan bir veri önışleme tekniği önerilmiştir. Bu veri önışleme tekniği alt kriterlerin gerçek değerlerinin karşılaştırılması esasını temel alarak her bir alternatif için alt kriterlere ödül ve ceza puanları verilmesini sağlamıştır. Böylece yöntem Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın stratejik planları ve kriterlerin gerçek değerlerine yönelik bir çözüm üretmiştir.

Elde edilen sonuçlar dünya genelinde oluşturmuş projeksiyonlara göre yenilenebilir enerji kaynakları kullanımında daha iyimser bir Çizelge ortaya koymaktadır. U.S. Energy Information Administration Office of Energy Analysis (EIA)’nın raporuna göre dünyada yenilenebilir enerji kaynakları (hidroelektrik dâhil), 2018-2050 döneminde yılda ortalama %3,6 artarak en hızlı büyüyen elektrik üretim kaynağıdır [56,67]. Çalışmanın sonucuna göre Türkiye’de 2019-2039 döneminde yenilenebilir enerji kaynaklarının (hidroelektrik dâhil) yılda ortalama %6,08 artış göstermesi beklenmektedir. Birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de teknolojik gelişmeler ve mevcut devlet teşvikleri artan

yenilenebilir enerji kaynak kullanımını desteklemektedir.

2050’de Çin, Hindistan, OECD, Avrupa ve ABD dünyadaki yenilenebilir enerji üretiminin neredeyse %75’ine sahiptir. Bu bölgelerdeki büyüme hem politikalarından hem de Hindistan ve Çin’de yeni nesil kaynaklara olan talebin artmasından kaynaklanmaktadır [56].

Dünyada elektrik üretimindeki doğal gaz kullanımının 2018’den 2050’ye kadar yılda ortalama %1,5 oranında artacağı öngörülmektedir. Çalışmanın sonucuna göre Türkiye’de bu oranın yılda ortalama %3,04 olarak gerçekleşmesi beklenmektedir.

Kömür yakıtlı santrallerin elektrik üretimindeki payı 2018’de %35’ten toplam üretim arttıkça 2050’ye kadar %22’ye düşeceği öngörülmektedir [56]. Bu araştırmanın en önemli sonuçlarından birisi olarak, Türkiye’de 2019 yılında elektrik üretim karması içinde kömürün payı %37 iken 2039 yılında bu payın %26,42’ye düşeceği öngörülmektedir.

Türkiye projeksiyonlarına bakıldığında fosil yakıtlı kaynakların sürdürülebilir ve çevre dostu olmadığı değerlendirilmektedir. Fakat artan enerji ihtiyacı, elektrik üretiminde bir süre daha fosil yakıtlı enerji kullanımını zorunlu kılmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda fosil yakıtlı enerji kullanımı ile ilgili sürelerinde bu planlamaya dâhil edilmesi söz konusu sürenin netleştirilebilmesine katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, yapılan planlama dışa bağımlılık oranını, fosil yakıt kullanım oranını ve emisyon değerlerini düşürürken, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını, istihdam potansiyelini ve arz güvenliğini arttırmaktadır.

6. KAYNAKLAR

1. Mansur, E.T., 2008. Measuring Welfare in Restructured Electricity Markets. The Review of Economics and Statistics, 90(2), 369-386.
2. Kurlinski, R.E., Lave, L., Ilic, M.D., 2008. Creating Reliability Choice: How Building Less Reliability into Electric Power Grids Could Improve the Welfare of all Customers. In 2008 IEEE Power and Energy Society General

- Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century (1-8). IEEE.
3. Özcan, E.C., Ünlüsoy, S., Tamer, E., 2017. ANP ve TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(2), 204-219.
 4. Ürün, E., Soyu, E., 2016. Türkiye'nin Enerji Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üzerine Bir Değerlendirme. Dumlupınar University Journal of Social Science/Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi.
 5. Çoban, O., Kılınç, N.Ş., 2016. Enerji Kullanımının Çevresel Etkilerinin İncelenmesi. Marmara Coğrafya Dergisi, (33), 589-606.
 6. Bayrak, M., Esen, Ö., 2014. Türkiye'nin Enerji Açığı Sorunu ve Çözümüne Yönelik Arayışlar. Atatürk University Journal of Economics ve Administrative Sciences, 28(3).
 7. Furuncu, Y., 2016. Türkiye'nin Enerji Bağımlılığı ve Akkuyu Nükleer Enerji Santrali. Fen Bilimleri Dergisi (CFD), 37.
 8. Temurçin, K., Aliğaoglu, A., 2003. Nükleer Enerji ve Tartışmalar Işığında Türkiye'de Nükleer Enerji Gerçeği. Coğrafi Bilimler Dergisi, 1(2), 25-39.
 9. Wang, J.J., Jing, Y.Y., Zhang, C.F., Zhao, J.H., 2009. Review on Multi-criteria Decision Analysis Aid in Sustainable Energy Decision-making. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(9), 2263-2278.
 10. Lin, Y., Luo, H., Wang, D., Guo, H., Zhu, K., 2017. An Ensemble Model Based on Machine Learning Methods and Data Preprocessing for Short-term Electric Load Forecasting. Energies, 10(8), 1186.
 11. Zhang, Z., Hong, W.C., 2019. Electric Load Forecasting by Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition Adaptive Noise and Support Vector Regression with Quantum-based Dragonfly Algorithm. Nonlinear Dynamics, 98(2), 1107-1136.
 12. Metaxiotis, K., Kagiannas, A., Askounis, D., Psarras, J., 2003. Artificial Intelligence in Short Term Electric Load Forecasting: a State-of-the-art Survey for the Researcher. Energy Conversion and Management, 44(9), 1525-1534.
 13. Alfares, H.K., Nazeeruddin, M., 2002. Electric Load Forecasting: Literature Survey and Classification of Methods. International journal of Systems Science, 33(1), 23-34.
 14. Park, D.C., El-Sharkawi, M.A., Marks, R.J., Atlas, L.E., Damborg, M.J., 1991. Electric Load Forecasting Using an Artificial Neural Network. IEEE transactions on Power Systems, 6(2), 442-449.
 15. Roques, F.A., Newbery, D.M., Nuttall, W.J., 2008. Fuel Mix Diversification Incentives in Liberalized Electricity Markets: A Mean-Variance Portfolio Theory Approach. Energy Economics, 30(4), 1831-1849.
 16. Campbell, C.J., Duncan, R.C., 1988. The Coming Oil Crisis. Brentwood, Essex, England: Multi-Science Publishing.
 17. Salameh, M.G., 2001. A Third Oil Crisis?. Survival, 43(3), 129-144.
 18. Karagöl, E., Erbaykal, E., Ertuğrul, H.M., 2007. Türkiye'de Ekonomik Büyüme ile Elektrik Tüketimi İlişkisi: Sınır Testi Yaklaşımı.
 19. Cohen, G., Joutz, F., Loungani, P., 2011. Measuring Energy Security: Trends in the Diversification of Oil and Natural Gas Supplies. Energy Policy, 39(9), 4860-4869.
 20. Rugman, A.M., 1979. International Diversification and the Multinational Enterprise.
 21. Fidan, Ü., Atak, M., 2020. Elektrik Üretim Teknolojileri Özelinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Sonuçlarının Karşılaştırılması, Enerji Bilimlerinde Güncel Araştırmalar, Ankara: Iksad Yayınevi.
 22. Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz, S.E., Gezder, V., Şengül, A.B., 2015. Fuzzy TOPSIS Method for Ranking Renewable Energy Supply Systems in Turkey. Renewable Energy, 75, 617-625.
 23. Baltuttis, D., Töppel, J., Tränkler, T., Wieth, C., 2020. Managing the Risks of Energy Efficiency Insurances in a Portfolio Context: An Actuarial Diversification Approach. International Review of Financial Analysis, 101313.
 24. Martins, F., Felgueiras, C., Smitkova, M., Caetano, N., 2019. Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries. Energies, 12(6), 964.
 25. Lak Kamari, M., Isvand, H., Alhuyi Nazari, M., 2020. Applications of Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) Methods in Renewable Energy

- Development: A Review. *Renewable Energy Research and Application*, 1(1), 47-54.
26. Stein, E.W., 2013. A Comprehensive Multi-criteria Model to Rank Electric Energy Production Technologies, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 22, 640–654.
 27. Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Kildienė, S., 2014. State of Art Surveys of Overviews on MCDM/MADM Methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1), 165-179.
 28. Lee, A.H., Chen, H.H., Kang, H.Y., 2009. Multi-criteria Decision Making on Strategic Selection of Wind Farms. *Renewable Energy*, 34(1), 120-126.
 29. Atilgan, B., Azapagic, A., 2016. An Integrated Life Cycle Sustainability Assessment of Electricity Generation in Turkey, *Energy Pol.* 93, 168-186.
 30. Saaty, T.L., 1980. *The Analytical Hierarchy Process, Planning, Priority. Resource allocation.* RWS publications, USA.
 31. Saaty, T.L., 1988. What is the Analytic Hierarchy Process?. In *Mathematical models for decision support.* Springer, Berlin, Heidelberg, 109-121.
 32. Gabus, A., Fontela, E., 1972. *World Problems, an Invitation to Further Thought Within the Framework of DEMATEL.* Battelle Geneva Research Center, Geneva, Switzerland, 1-8.
 33. Roy, B., Bertier, P., 1968. La Methode ELECTRE. *Revue d'Informatique et. de Recherche Operationelle (RIRO)*, 8, 57-75.
 34. Fishburn, P.C., 1974. Exceptional Paper-Lexicographic Orders, Utilities and Decision Rules: A Survey. *Management Science*, 20(11), 1442-1471.
 35. Brans, J.P., 1982. *L'ingénierie de la Décision: L'élaboration D'instruments D'aide a la Décision.* Université Laval, Faculté des Sciences de L'administration.
 36. Churchman, C.W., Ackoff, R.L., 1954. An Approximate Measure of Value. *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(2), 172-187.
 37. Yoon, K., 1987. A Reconciliation Among Discrete Compromise Solutions. *Journal of the Operational Research Society*, 38(3), 277-26.
 38. Zavadskas, E.K., Turskis, Z., 2010. A New Additive Ratio Assessment (ARAS) Method in Multicriteria Decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159-172.
 39. Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A., 1996. Determination of an Efficient Contractor by Using the New Method of Multicriteria Assessment. In *International Symposium for "The Organization and Management of Construction"*. *Shaping Theory and Practice*, 2, 94-104.
 40. Brauers, W.K., Zavadskas, E.K., 2006. The MOORA Method and its Application to Privatization in a Transition Economy. *Control and Cybernetics*, 35, 445-469.
 41. Keršuliene, V., Zavadskas, E.K., Turskis, Z., 2010. Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243-258.
 42. Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., Zakarevicius, A., 2012. Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment. *Elektronika ir elektrotechnika*, 122(6), 3-6.
 43. Wang, T.C., Lee, H.D., 2009. Developing a Fuzzy TOPSIS Approach Based on Subjective Weights and Objective Weights. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8980-8985.
 44. Yang, K., Ding, Y., Zhu, N., Yang, F., Wang, Q., 2018. Multi-criteria Integrated Evaluation of Distributed Energy System for Community Energy Planning Based on Improved Grey Incidence Approach: A Case Study in Tianjin. *Applied Energy*, 229, 352-363.
 45. Özcan, E.C., Erol, S., 2013. Türkiye'de Elektrik Üretim Planlaması için Çok Amaçlı Bir Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama Modeli, *Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech.*, 1(1), 41-54.
 46. Alanne, K., Salo, A., Saari, A., Gustafsson, S.I., 2007. Multi-criteria Evaluation of Residential Energy Supply Systems. *Energy and buildings*, 39(12), 1218-1226.
 47. https://enerjiapi.etkb.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/Raporlar/Enerji_Talep_Projeksiyonu/114176-turkiye_elektrik_enerjisi_talep_projeksiyonu_raporu.pdf (Erişim Tarihi: 01.08.2020)
 48. Millet, I., Saaty, T.L., 2000. On the Relativity of Relative Measures—accommodating Both Rank Preservation and Rank Reversals in the AHP.

- European Journal of Operational Research, 121(1), 205-212.
49. Leccese, F., Salvadori, G., Rocca, M., Buratti, C., Belloni, E., 2020. A Method to Assess Lighting Quality in Educational Rooms Using Analytic Hierarchy Process. Building and Environment, 168, 106501.
50. Lin, Y.C., Chen, T., 2020. A Multibelief Analytic Hierarchy Process and Nonlinear Programming Approach for Diversifying Product Designs: Smart Backpack Design as an Example. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 234(6-7), 1044-1056.
51. Han, Y., Zhou, R., Geng, Z., Bai, J., Ma, B., Fan, J., 2020. A Novel Data Envelopment Analysis Cross-model Integrating Interpretative Structural Model and Analytic Hierarchy Process for Energy Efficiency Evaluation and Optimization Modeling: Application to Ethylene Industries. Journal of Cleaner Production, 246, 118965.
52. Yüncü, V., Kopal, C., 2019. Is Cultural Environment a Determinant of Perceived Corporate Reputation?, Journal of Business Research- Turk, 11 (2), 1044-1056.
53. Kapasite Ölçümleri
<https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/uretim/planlama/kgup.xhtml> (Erişim Tarihi: 01.08.2020)
54. Teiaş Elektrik Üretim Tüketim Raporları, 2020. <https://www.teias.gov.tr/tr/elektrik-istatistikleri> (Erişim Tarihi: 11.07.2020)
55. Easterling, R.G., 1979. Statistical Analysis of Power Plant Capacity Factors (Vol. 382). Nuclear Regulatory Commission, Office of Management and Program Analysis, Division of Technical Support, Applied Statistics Branch.
56. Eia Report, 2019. International Energy Outlook 2019 with Projections to 2050, U.S. Energy Information Administration.
57. Eia Report, 2020. Capital Cost and Performance Characteristic Estimates for Utility Scale Electric Power Generating Technologies, U.S. Energy Information Administration.
58. Krishna, S.M., Mahapatra, S., Raj, S., Daya, J.F., 2020. Estimation of Simple, Energy and Carbon Payback Periods of a 1 MWp Ground-Mounted Solar PV. Innovation in Electrical Power Engineering, Communication, and Computing Technology: Proceedings of IEPCCCT 2019, 630, 439.
59. Fernández, J.C.R., 2019. Integration Capacity of Geothermal Energy in Supermarkets Through Case Analysis. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 34, 49-55.
60. Dümenli, Ş., 2019. Rüzgar ve Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının ve İşletme Faaliyetlerinin Tms/tfrs Çerçevesinde Muhasebeleştirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi)
61. Yıldırım, H.H., 2017. Rüzgâr Enerjisi Santral Yatırımlarında Geri Ödeme Süresinin Monte Carlo Simülasyonu ile Belirlenmesi. Institute of Business Administration-Management Journal/İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi, (82).
62. Karaman, G., 2015. Enerji İhtiyacının Karşılmasında Doğalgaz ve Rüzgâr Kaynaklı Enerji Çevrim Santralleri; Yatırımlar Üzerine Stratejik Bir Analiz (Master's thesis, Güven Karaman).
63. Kumar, R., Sharma, A.K., Tewari, P.C., 2015. Cost Analysis of a Coal-fired Power Plant Using the NPV Method. Journal of Industrial Engineering International, 11(4), 495-504.
64. Weißbach, D., Ruprecht, G., Huke, A., Czerski, K., Gottlieb, S., Hussein, A., 2013. Energy Intensities, EROIs (energy Returned on Invested), and Energy Payback Times of Electricity Generating Power Plants. Energy, 52, 210-221.
65. Maqbool, U., Tyagi, A., Tyagi, V.V., Kothari, R., 2020. Optimization of the Renewable-energy-based Micro-grid for Rural Electrification in Northern Region of India. Clean Technologies and Environmental Policy, 1-12.
66. https://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2019_2023_Stratejik_Planı.pdf (Erişim Tarihi: 01.08.2020)
67. Bayer, P., Kennedy, R., Yang, J., Urpelainen, J., 2019. The Need for Impact Evaluation in Electricity Access Research. Energy Policy, 137, 111099.

Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kireçtaşı ve Volkanik Cüruf Filler Kullanımının Dayanıma Etkisinin Araştırılması

Nur Erdem AKGÜL ŞEKER^{*1}, Ali SARIŞIK¹

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

Geliş tarihi: 28.11.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Öz

Bu çalışmada karayollarında sıklıkla kullanılan bazalt, kaba-ince agrega ve kontrol filler olarak kullanılmıştır. Alternatif filler malzemesi olarak kalker ve volkanik cüruf kullanılmıştır. Agregalara fiziksel, kimyasal ve mekanik özellik tayini yapıldıktan sonra uygun gradasyonda %4,5, 5, 5,5, 6, 6,5 oranlarında bitüm kullanılarak Marshall stabilite deneyi yapılmıştır. Her bitüm yüzdesinde 3 numune olmak üzere toplam 45 numune döküm yapılmıştır. Optimum bitüm yüzdesi belirlendikten sonra bazalt, kalker ve volkanik cüruf fillerin kullanıldığı numuneler karayolları teknik şartnamesine göre kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda kalker fillerin, optimum bitüm oranını düşürmesi, metilen mavisi deney sonucuna göre sınır değeri aşmaması ve bölgede kalker ocaklarının çok sayıda bulunması nedeniyle alternatif filler olarak kullanılabilirliği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Marshall stabilite, Filler, Bitümlü sıcak karışım, Bazalt, Kireçtaşı

Investigation of the Effect of Using Limestone and Volcanic Slag Filler on Strength in Hot Bituminous Mixtures

Abstract

In study, basalt, which is frequently used in highways, was used as coarse-fine aggregate and control filler. Limestone and volcanic slag were used as alternative filler materials. After determining the physical, chemical and mechanical properties of the aggregates, Marshall stability test was carried out using bitumen at the rate of 4,5, 5, 5,5 6, 6,5% in appropriate gradation. A total of 45 samples were casted as 3 samples per bitumen percentage. After determining the optimum bitumen percentage, used samples basalt, limestone and volcanic slag were compared according to the highway technical specifications. As a result of the study, it was determined that limestone fillers can be used as alternative fillers because they reduce the optimum bitumen rate, do not exceed the limit value according to the methylene blue test result and there are many limestone quarries in the region.

Keywords: Marshall stability, Filler, Bituminous hot mix, Basalt, Limestone

^{*}Sorumlu yazar (Corresponding author): Nur Erdem AKGÜL ŞEKER, nurerdema@gmail.com

1. GİRİŞ

Tarihte nüfusun artması ve gelişen teknoloji beraberinde gelen ticaret hacminin artmasıyla yolların gelişimi arttırmıştır [1]. İnsanoğlu MÖ 4000'li yıllarda ilk yolları taş yol olarak yapmıştır [2]. Artan nüfus ve gereklilikler yol ağlarının ve yol performansının geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur.

Güvenli ve konforlu bir ulaşım için gelen trafik yüklerinin zemine güvenle aktarılmasında üstyapı tipi seçimi etkilidir [3-5]. Trafik yüklerine doğrudan maruz kalan üstyapı kaplamaları; yüzeyde bulunan suların drenajını alt tabakalara geçirmeden sağlamalı, aşındırıcı etkilere dayanmalı, kayma ve basınç gerilmelerini zemine güvenle iletmeli, güvenli-konforlu sürüş sağlamalıdır [6]. Bitümlü sıcak karışımlarda yolun üst tabakası için dayanım ve çevre etkilerine karşı dayanıklılığı sağlayan element, kaplamanın %90-95'ini oluşturan agregalardır [7,8]. Esnek üstyapı malzemelerinden bitüm yaklaşık %5 oranında kullanılarak, kaplamayı çevre etkilerden korur, agregaları bir arada tutar ve pürüzsüz yüzey oluşturarak konforlu sürüşü sağlamaktadır. Agregalar ise gelen trafik yüklerini karşılayarak güvenli şekilde zemine iletir [9,10]. Yol yapımında kullanılan malzemelerin performans düşüklüğü, yolun servis ömrünü de azaltmaktadır. Servis ömrü malzemeye bağlı olarak bitüm ve agrega cinsi ve miktarına göre değişmektedir. Agregada dizaynı; uygulamaya bağlı olarak karıştırma süresi ve sıcaklığı, sıkıştırma gibi birçok etkiye bağlıdır [11,12].

Uygun gradasyondaki agrega ve uygun miktardaki bitümün karıştırılmasıyla oluşturulan bitümlü sıcak karışımlar (BSK), trafik yüklerini karşılamalı ve iklim şartlarından en az derecede etkilenmelidir. BSK kaplamanın taşıtlardan gelen statik ve dinamik yükleri karşılayarak yüksek stabilite göstermesi beklenir. Ayrıca uzun ömür için esneklik, geçirimsizlik, işlenebilirlik ve yüksek yorulma mukavemeti de beklenir [13]. Kaplama aynı zamanda güvenli sürüş için uygun kayma direncine sahip olmalı, agregaların yüksek cilalanma derecesine sahip olması beklenir [14].

Agregada bulunan minerallerin sertliği ve porozite de cilalanmayı etkilemekte ve yolun kayma direncini de etkileyen bir etkidir [15-17]. Yapılan araştırmada trafik kazaları ve kayma direnci arasındaki ilişki incelendiğinde, kayma direncinin %13 artmasıyla kazaların %60 azaldığı sonucuna varılmıştır [18].

Yol ağlarının gelişmesi gerekliliği, yol performansını arttırmadaki çalışmaların da önemini arttırmıştır. Araştırmacılar, birçok atık madde ve modifiye edilmiş bitümü kullanarak yol üstyapısını geliştirmeyi hedeflemiştir. Ishai ve ark. [19]; dolomit, kumtaşı, bazalt, cam parçacıkları, kireçtaşı ve hidrate kireci filler malzemesi olarak kullanıp, bitümlü sıcak karışımlarda filler sınıflandırma yaparak fillerin temel özelliklerini incelemiştir. Shahrour ve Saloukeh [20], yaptığı çalışmada çimento, hidrate kireç ve sodyum silikatu filler malzeme olarak kullanıp, karışıma bitüme ağırlıkça %0,5 ve %1,5 oranlarında ekleme yapmıştır. Filler oranı arttıkça yumuşama noktası ve penetrasyon indeksinin arttığı ancak penetrasyon değerinin düştüğü sonucuna varmışlardır. Nan Su ve Chen [21], %5, %10 ve %15 oranlarında cam atığını bitümlü karışımlara katarak, atık kullanılmayan karışımların stabilite, nem ve kayma özelliklerini incelemiştir. Marshall stabilite deneyi sonucunda cam atığının uygun oranda kullanılabilirliğini bildirmişlerdir. Yılmaz ve Kök [22], ferrokrom cürufunun bitümlü sıcak karışımlarda agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Ferrokrom cürufunun modifiyeli bitümle birlikte kullanılmasının mekanik özelliklerini incelemiştir. Ferrokrom cürufunun iyi performans verdiği ve modifiye bitümün performansı arttırdığı sonucuna varılmıştır. Arabani ve Mirabdolazimi [23], bitümlü sıcak karışımlarda demir tozunu kullanarak, karışımın çekme mukavemeti performansını incelemiştir. Çalışma sonucunda demir tozunun karışımda yorulma ömrünü uzattığı bildirilmiştir. Mazlum [24], yaptığı çalışmada İstanbul çevresinde yol ömrünü tamamlamış yolları %10, 25, 40 oranlarında kullanarak yeni numunelere Marshall stabilite deneyi uygulamıştır. Elde edilen bulgular katkısız numunelerle karşılaştırılıp, ekonomik

katkılar değerlendirilmiştir. Morova ve Terzi [25], yaptıkları çalışmada kolemanit atıklarının bitümlü karışımlarda kullanılabilirliğini dört farklı agrega ile araştırmışlardır. Çalışma sonucunda en iyi performansı kireçtaşı gösterirken, KGM Teknik Şartname değerlerine sadece kolemanit ve kireçtaşı uygunluk göstermiştir. Nabiun ve Khabiri [26], yaptığı çalışmada ferritin filler malzeme olarak kullanılabilirliğini ve karışımın nem hassasiyetini araştırmışlardır. Farklı oranlarda kullanılan ferrit, kalkerin kullanıldığı numunelerle kıyaslanmıştır. Deney sonucunda, ferritin bitümlü karışımlarda yüksek oranda kullanılması durumunda etki ettiği görülmüştür. Keskin ve Karacasu [27], çalışmada 1,18 mm'lik eleğin altında kalan bor atıklarını %5, %10 ve %15 oranlarında kullanarak toplam 170 adet bitümlü sıcak karışım numuneleri oluşturmuştur. Deney sonucunda, bor mineralinin optimum bitüm yüzdesini artırdığı ve karışımlarda kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. Wozzuk ve arkadaşları [28] endüstride ciddi bir atık olan uçucu külü, kalker fillerin yerine %25, %50 ve %75 oranlarında ikame etmiştir. Çalışmada iki farklı kül türü kullanılmıştır. Çalışma sonucunda her iki kül türünün de alternatif filler malzemesi olarak kullanılabileceği görülmüştür. Beycioğlu ve arkadaşları [29] çalışmalarında endüstriyel atık olan cam elyaf takviyeli polyester boru atık tozunun bitümlü sıcak karışımlarda filler malzeme olarak kullanılmasını değerlendirmiştir. Atık içeriği %0, %25, %50 ve %75 olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda endüstriyel atıkların bitümlü sıcak karışımlarda kullanımının önemi vurgulanmış ve cam elyaf takviyeli polyester boru atığının kullanılabileceğini de belirlemişlerdir. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak karayollarında sıklıkla tercih edilen bazalt agregasıyla birlikte filler malzeme olarak kalker ve volkanik cürufun kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Ülkemizde 01.01.2020 tarihi itibarıyla otoyol, devlet yolu ve il yolu olmak üzere Karayolları

Genel Müdürlüğü (KGM) sorumluluğunda toplam 68.231 km yol ağır bulunmaktadır. Bunların %37,7'si asfalt betonu, %56,89'u sathi kaplamadan oluşmaktadır. Ayrıca toplam 25.705 km bölünmüş yol ağı bulunmaktadır. Çalışmanın gerçekleştirildiği Şanlıurfa ilinin bulunduğu 9. Bölge Müdürlüğüne ait toplam 4781 km yol ağı bulunmaktadır.

9. Bölge Müdürlüğü yol ağı haritasında 146 km otoyol, 2030 km devlet yolu ve 2605 km ilk yolu ağı KGM sorumluluğundadır. Bölgede toplam 1371,30 km bölünmüş yol ağı bulunmaktadır. Yol ağlarının %91'i asfalt kaplama yollardır. Ayrıca Şanlıurfa ilinde KGM sorumluluğunda otoyol, devlet yolu ve il yolu olmak üzere toplam 1350 km yol ağı bulunmaktadır. Bunların 452 km'si asfalt beton, 853 km'si sathi kaplama yollardır [30]. Bölgede bulunan önemli yollar, yol ağı uzunlukları göz önüne alındığında bölgedeki yol performansı geliştirme çalışmaları daha da önem kazanmıştır.

Bu çalışmada ana materyal olarak agrega ve bitüm olmak üzere iki farklı materyal kullanılmıştır. Bazalt, kalker ve volkanik cüruf olmak üzere üç farklı doğal agrega kullanılmıştır. Kaba-ince agrega tüm karışımlarda bazalt olarak kullanılmış olup, sadece filler değişken materyal olarak kullanılmıştır. Bölgede çoğunlukla bazaltın kullanılmasından dolayı ise bazalt, kontrol filler olarak değerlendirilmiştir.

Bazalt ve kalkerin ocağı Şanlıurfa İli'nde, volkanik cürufun ise Adıyaman İli'nde bulunmaktadır. Doğal agregaların Şanlıurfa İli'nde ve çevresinde bulunmasına özen gösterilmiştir. Bazalt ve kalker Beltaş A.Ş.'den, volkanik cüruf ise Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi'nden temin edilmiştir.

Çalışmada 50/70 penetrasyonlu bitüm tercih edilmiş olup, Şanlı Asfalt A.Ş.'den temin edilmiştir. İlgili firma ise Batman TÜPRAŞ Rafinerisinden temin ettiğini bildirmiştir.

Çalışmada Karayolları Teknik Şartnamesine uygun, aşınma tabakası tip-1 için belirlenen sınırlar değerlerde gradasyon oluşturulmuştur.

Çizelge 1’de verilen aşınma tabakası tip-1 için filler sınır değerleri %3-8 arasında verilmiş olup, çalışmada %6 olarak sabit tutulmuştur. Çalışmada filler malzeme değişken olarak kullanılıp, etkisi araştırılmıştır.

Çizelge 1. Aşınma tabakası tip-1 sınır değerleri [31]

Elek çapı (mm)	Alt Limit (%Geçen)	Üst Limit (%Geçen)
19,00	100	100
12,50	88	100
9,50	72	80
4,75	42	52
2,00	25	35
0,425	10	20
0,180	7	14
0,075	3	8

2.2. Metotlar

Çalışma 3 farklı deney aşamasında gerçekleştirilmiştir. Öncelikle agregalara fiziksel, mekanik ve kimyasal deneyler uygulanmıştır. Daha sonra kullanılan 50/70 penetrasyon bitüme fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla deneyler uygulanmıştır. Özellikleri belirlenen agrega ve bitüm aşınma tabakası tip-1’e uygun gradasyonda karışımlar yapılarak %4,5, 5, 5,5, 6, 6,5 oranlarında bitüm kullanılarak, her karışımdan 3 numune olmak üzere toplam 45 adet numune dökülerek Marshall stabilite deneyine tabii tutulmuştur. Optimum bitüm yüzdesi belirlenen numuneler kontrol filler malzemesi olan bazalt ile karşılaştırılarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

Kullanılacak bazalt, kalker ve volkanik cürufun karışımında kullanıldığı boyuta göre deneyler yapılmıştır. Özgül ağırlık ve absorpsiyon deneyi [32] kaba ve ince agregada bazalta, filler malzemede bazalt, kalker ve volkanik cürufa uygulanmıştır. Los Angeles aşınma deneyi [33] kaba agrega olan bazalt agregasına, Soyulma mukavemeti deneyi [34] ince agrega olan bazalt agregasına, Slake durabilite deneyi [35] kaba ve ince agrega olan bazalt agregasına, hava tesirlerine

karşı dayanım deneyi [36] kaba ve ince agregadan dolayı bazalt agregasına uygulanmıştır. Metilen mavisi deneyi [37] ve X-Işını floresans spektrometresi (XRF) ise bazalt, kalker ve volkanik cüruf agregalarına uygulanmıştır. Sınır değerler için Karayolları Teknik Şartnamesinde uygun görülen değerler baz alınmış olup araştırma bulgularının verildiği bölümde verilmiştir. Slake durabilite katsayısının sınıflandırılması Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Slake durabilite sınıflaması (%) [38]

İndeks Değeri (I _{d-1})	İndeks Değeri (I _{d-2})	Dağılıma Dayanım Sınıflaması
<60	0-30	Çok düşük
60-85	30-60	Düşük
85-95	60-85	Orta Derecede
95-98	85-95	Orta-Yüksek
98-99	95-98	Yüksek
>99	>98	Çok Yüksek

Kullanılan 50/70 penetrasyonlu bitümün fiziksel özelliklerini belirlemek için KGM Teknik Şartnamesinde de belirtilen belli başlı deneyler uygulanmıştır. 50/70 penetrasyonlu bitüme özgül ağırlık deneyi [39], penetrasyon tayini deneyi [40], yumuşama noktası deneyi [41], parlama noktası deneyi [42], düktilite deneyi [43] uygulanmıştır.

Bitümlü sıcak karışımların uygun gradasyonda karıştırılmasından sonra Marshall stabilite deney aletiyle karışımın akmaya karşı direncinin ölçülmesi gerekir. Bu yöntemde yanal yüzeylere yapılan yükleme sonucu akma değeri elde edilmiştir.

Karayolları teknik şartnamesinde belirtilen aşınma tabakası tip-1’deki aralığa uygun agrega karışımı 1200 g olacak şekilde hazırlanır ve 105°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Bitümlü bağlayıcının akışkan olması için 140°C sıcaklıktaki etüvde bekletilmiştir. Aynı esnada kullanılacak 4 inç Marshall kalıplar da etüvde bekletilerek ısıtılmıştır. Uygun sıcaklığa gelen agrega ve bitüm, karıştırma süresi 2 dakikayı geçmeyecek şekilde homojen olarak karıştırılmıştır. Her bitüm yüzdesinden 3 numune hazırlanmıştır. Etüvden alınan kalıplar

numunenin kolay çıkarılması için yağlanmıştır. Karışım kalıplara 1/3 oranında dökülerek 25 defa şişlenerek sıkıştırılmıştır. Marshall kalıplara doldurulan karışım, her iki yüzüne 25 vuruş olacak şekilde Marshall tokmağında sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan numuneler kalıpların içerisinde 24 saat soğumaya bırakılır. 24 saatin sonunda oda sıcaklığına gelen numuneler kriko yardımıyla kalıptan çıkarılmıştır. Numunelere 3 farklı noktadan yükseklik ölçümü yapılır ve aritmetik ortalaması not edilmiştir. Bu değer, numune için düzeltme katsayısı olarak kullanmak için cihaza girilmiştir. Marshall stabilite deneyinin gerçekleştirilmesi için numuneler 60°C sıcaklıktaki suda 30-45 dakika bekletilmiştir. 60°C sıcaklıktaki sudan alınan numuneler hızlı şekilde dış yüzeyi kurutularak bekletilmeden cihaza yerleştirilmiştir. Şekil 2’de Marshall stabilite ve akma deney cihazına yerleştirilmiş numune görülmektedir.



Şekil 2. Marshall stabilite ve akma deney cihazı

Şekil 2’deki Marshall stabilite deney cihazına yerleştirilen numune ısı kaybetmeden deneyin gerçekleştirilmesi gerekir. Cihazın yük ve akma değerleri sıfırlanır. Numunenin yüksekliği değeri

girilen cihaz çalıştırılarak, yanal eksenlerden yük uygulanmaya başlanmıştır. Deney yaklaşık 5-15 saniye aralığında gerçekleştirilmiştir. Cihaz, akma ve stabilite değerini vermiştir. ASTM D6927-15 [44] standardına uygun olarak gerçekleştirilen deney sonunda hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar yardımıyla optimum bitüm yüzdesi elde edilerek dayanımı en iyi, bitüm oranı en uygun olan ekonomik karışım elde edilir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Agreg a Fiziksel, Mekanik ve Kimyasal Özellik Tayini Sonuçları

Bazalt, kalker ve volkanik cüruf agregalarına kaba, ince ve filler malzeme olarak, standarda uygun gerçekleştirilen özgül ağırlık deney sonuçları Çizelge 3’te verilmiştir.

Karayollarında agregaların uygulanacak deneylerle bazı sınır değerleri aşmaması beklenir. Sınır değerleri aşan agregalar karayolları için uygun görülmez ve kullanılmaz. Çizelge 4’te Karayolları Teknik Şartnamesinde sınır değerleri bulunan deneylerin sonuçları ve sınır değerler bir arada verilmiştir.

Çizelge 3. Özgül ağırlık deney sonuçları

Deney Sonuçları (g/cm ³)			Dene y Standartı TS EN 1097-6 [32]
Kaba Agreg a (Bazalt)	Hacim özgül ağırlık	2,57	
	Doygun yüzey özgül ağırlık	2,63	
	Zahiri özgül ağırlık	2,75	
İnce Agreg a (Bazalt)	Hacim özgül ağırlık	2,70	
	Zahiri özgül ağırlık	2,86	
Filler	Bazalt	2,57	
	Kalker	2,51	
	V. Cüruf	2,60	

Çizelge 4. Karayolları Teknik Şartnamesi sınır değerleri olan deneylerin sonuçları

Deney Adı		Deney Standardı	Deney Sonucu		Sınır Değer
Los Angeles Aşınma Deneyi (%)		TS EN 1097-2	18,1		≤ 27
Su Emme (%)	Kaba Agregası	TS EN 1097-6	2,49		≤ 2,0
	İnce Agregası		2,70		
Metilen Mavisi (%)		TS EN 933-9+A1	Bazalt	2,50	≤ 3,0
			V.Cüruf	5,75	
			Kalker	1,50	≤ 1,50
Soyulma Mukavemeti (%)		TS EN 12697-11	98		≥ 60
Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi (%)		TS EN 1367-2	1		≤ 16

Çizelge 4'te karayolları teknik şartnamesinde sınır değerleri bulunan deneyler incelendiğinde kaba ve ince agregada kullanılan bazalt agregasının su emme değerinin sınır değeri aştığı görülmektedir. Kullanılan agreganın aşınma tabakası tip-1 için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Metilen mavisi deneyi incelendiğinde kalker sınırda bulunurken, volkanik cürufun sınır değeri çok fazla aştığı görülmektedir. Kullanılan bazalt agregası ise metilen mavisi deneyi için belirtilen sınır değerini aşmamıştır.

Suda dağılım deneyi olarak da adlandırılan Slake durabilite deneyi, karayollarında kullanılan bir deney değildir. Agregaların ıslanma, sıcaklık ve tekrar kuruma etkisiyle yapısında oluşabilecek bozulmaları tahmin etmeye yarar. Karayollarında kullanılan agregaların doğrudan sıcaklık, yağmur ve tekrar kuruma etkisinde kalmasından dolayı bu deneyi yapma gerekliliği oluşmuştur. Slake durabilite deney sonucu Çizelge 5'te verilmiştir. Değerlendirme Çizelge 2'yi referans alarak yapılmıştır.

Çizelge 5. Slake durabilite sonuçları

Deney Sonucu (%)		Değerlendirme	Deney Standardı ASTM D4644-87 [35]
I _{d-1}	99,71	Çok Yüksek	
I _{d-2}	96,48	Yüksek	
Ortalama	98,10	Yüksek	

Çizelge 5 incelendiğinde deneyin uygulandığı bazalt agregasının suda çevrim ve daha sonrasında kurulanma durumunda çok yüksek dayanım gösterildiği sonucuna varılmıştır.

Bazalt, kalker ve volkanik cüruf için yapılan XRF analiz sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Bazalt, kalker ve volkanik cüruf XRF analiz sonuçları (%)

Bazalt		Kalker		Volkanik cüruf	
Bileşen	Sonuç	Bileşen	Sonuç	Bileşen	Sonuç
SiO ₂	46,12	CaO	55,31	SiO ₂	42,89
Al ₂ O ₃	17,56	Ig	43,40	Al ₂ O ₃	18,85
Fe ₂ O ₃	11,35	SiO ₂	0,53	Fe ₂ O ₃	10,40
CaO	11,05	MgO	0,21	CaO	9,19
Na ₂ O	3,95	Al ₂ O ₃	0,21	Na ₂ O	5,45
MgO	3,65	Fe ₂ O ₃	0,15	MgO	4,31
TiO ₂	2,18	SrO	0,06	K ₂ O	3,35
Ig	1,89	P ₂ O ₅	0,03	TiO ₂	2,45
K ₂ O	1,26	SO ₃	0,03	Ig	1,21
P ₂ O ₅	0,35	TiO ₂	0,02	P ₂ O ₅	0,82

Çizelge 6'daki XRF sonuçları incelendiğinde SiO₂ bileşeninin bazalt ve volkanik cüruf agregasında fazla bulunduğu görülmektedir. Bu bileşen dayanımı artırıcı etki gösterse de içeriğinde bulunan Si elementinin varlığı bitümlü karışımlarda soyulmayı artırması nedeniyle katkı madde kullanımı gerektirebilir. Kalkerde bulunan CaO bileşeni dayanımı artırıcı etki gösterse de yağmur etkisiyle oluşacak ufak bir bozulmada hızlı bir şekilde yaşlanma görülecektir.

3.2. Bitümlü Bağlayıcı Fiziksel Özellik Tayini Sonuçları

Çalışmada kullanılan bitüme çalışmaları kolaylaştırmak ve oluşabilecek kazaları önlemek için bazı deneylerin yapılması gerekir. Çalışmada bitümlü bağlayıcı özgül ağırlık deneyi, penetrasyon deneyi, yumuşama noktası deneyi, parlama noktası deneyi ve düktilite deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Bitümlü bağlayıcı fiziksel özellik tayini sonuçları

Deney Adı	Standart	Sonuç
Penetrasyon Tayini	TS EN 1426	58
Yumuşama Noktası Tayini (°C)	TS EN 1427	53,25
Düktilite Tayini (cm)	TS EN 13589	100+
Parlama Noktası Tayini (°C)	TS EN ISO 2592	303,6
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	TS EN 15326+A1	1,04

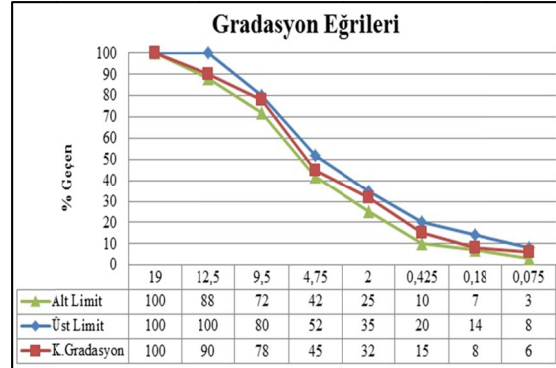
3.3. Karışım Gradasyonu ve Marshall Stabilite Deney Sonuçları

Karayolları teknik şartnamesine uygun olarak tamamlanan agregata ve bitüm deneylerinden sonra sınır değerlere uygun şekilde kullanılacak gradasyon belirlenmiştir. Karışımın aşınma tabakası tip-1 sınır değerleri ve kullanılan gradasyon Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 8. Sınır değerler ve kullanılan gradasyon

Elek çapı (mm)	Alt Limit (%Geçen)	Üst Limit (%Geçen)	Kullanılan Gradasyon (%)
19,00	100	100	100
12,50	88	100	90
9,50	72	80	78
4,75	42	52	45
2,00	25	35	32
0,425	10	20	15
0,180	7	14	8
0,075	3	8	6

Karayolları teknik şartnamesi aşınma tabakası tip-1 için verilen alt ve üst limit aralığında kalan gradasyon eğrisi Şekil 3’te verilmiştir.

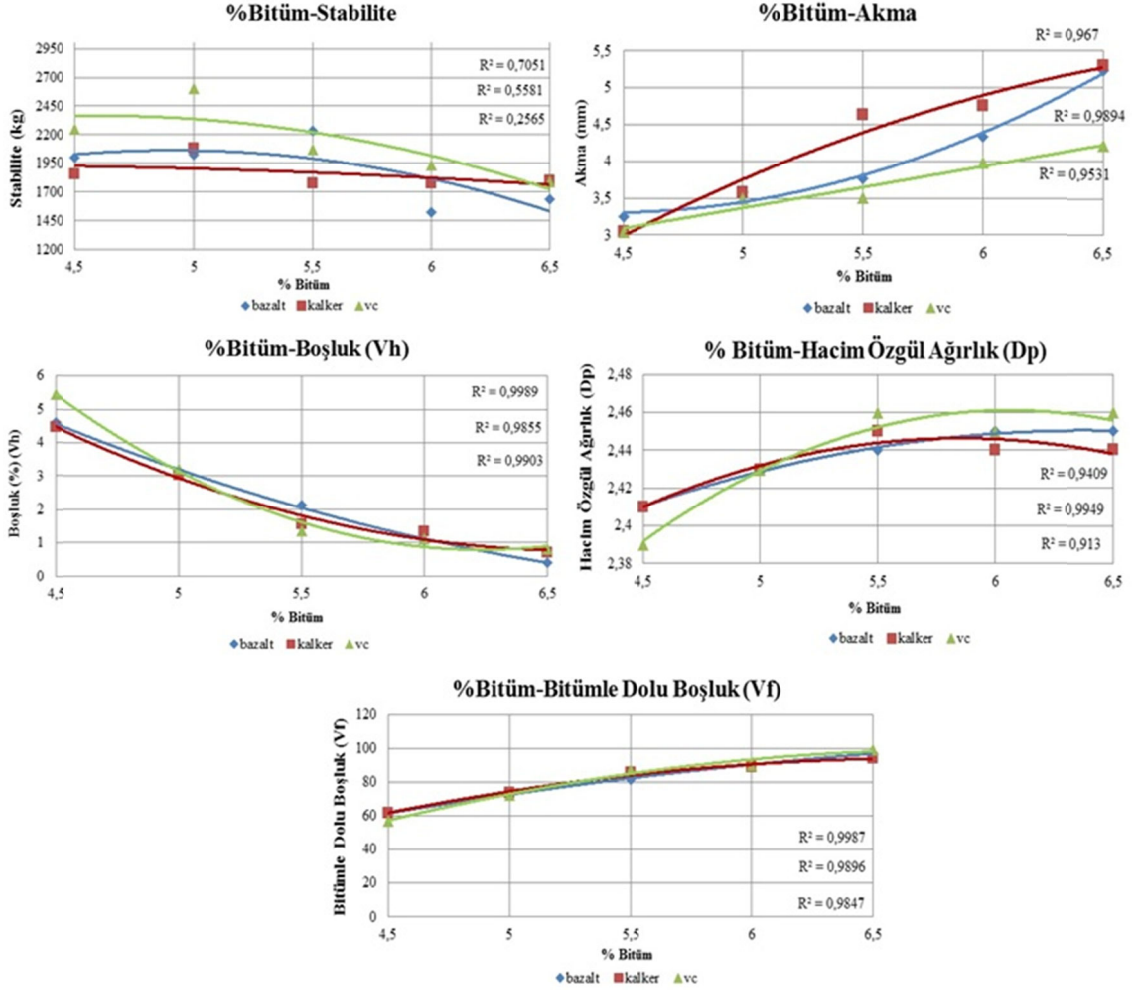


Şekil 3. Gradasyon eğrisi

Şekil 3 incelendiğinde karışımın %55’i kaba agregata, %39’u ince agregata ve %6’sı filler malzemeden oluşmaktadır. Karışım, alt ve üst sınır değerlere uygundur. Her numune 1200 g olacak şekilde uygun yüzdelerde numuneler hazırlanmıştır

Gradasyona uygun şekilde toplam 1200 g olan agregalar etüvde kurutulduktan sonra %4,5, 5, 5,5, 6, 6,5 oranlarında bitümün karıştırılmasıyla oluşturulan numuneler soğumaya bırakılır. Her bitüm yüzdesinden 3 numune olmak üzere toplam 45 numune dökülmüştür. 30-45 dakika aralığında 60°C sıcaklıkta bekletilen numuneler Marshall stabilite deneyine tabii tutulmuştur. Deney sonucunda ilgili işlemler yapıldıktan sonra %Bitüm-Stabilite, %Bitüm-Akma, %Bitüm-Boşluk, %Bitüm-Hacim özgül ağırlık, %Bitüm-Bitümle dolu boşluk grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler optimum bitüm yüzdesinin bulunmasında yardımcı olmuştur. İlgili grafikler Şekil 4’te verilmiştir.

Şekil 4’teki %Bitüm-Stabilite grafiği incelendiğinde bitüm oranı arttıkça stabilite değerinin yükseldiği görülmektedir. Bitüm oranının arttıkça stabilitenin artma sebebi, agregalar arası boşlukların dolarak gelen yüklere karşı yükleri birbirlerine ileten agregata ve bitüm karışımı daha yüksek stabilite göstermiştir. Karışımın stabilite değerleri incelendiğinde en yüksek stabiliteyi volkanik cürufun filler malzeme olarak kullanıldığı karışımlarda olduğu, en düşük stabiliteyi ise kalkerin filler malzeme olarak kullanıldığı karışımlarda olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Marshall stabilite deney sonucu grafikleri

% Bitüm-Akma grafiği incelendiğinde bitüm oranı arttıkça akma değerinin de arttığı görülmektedir. Bazalt ve kalker fillerin kullanıldığı karışımlar benzer davranış gösterirken, volkanik cürufun kullanıldığı numunelerde akma miktarının daha az olduğu görülmektedir. Bu durumun volkanik cürufun gözenekli yapısından dolayı bitümü emmesinden kaynaklanmaktadır.

% Bitüm-boşluk grafiği incelendiğinde bitüm oranı arttıkça karışımdaki boşluk oranı azalmıştır. Bu durum stabilite bakımından iyi olarak yorumlansa da optimum bitümden fazla kullanılacak bitüm

miktarı kuma yapmakla birlikte bitümün fiyatından dolayı ekonomik olmayacaktır. Karayolları Teknik Şartnamesinde en uygun boşluk oranı %4 olarak belirlenmiştir.

%Bitüm-Hacim özgül ağırlık grafiği incelendiğinde bitüm miktarı arttıkça hacim özgül ağırlığın arttığı görülmüştür. Kalker ve bazaltın kullanıldığı karışımlar yakın sonuçlar verirken, volkanik cürufun kullanıldığı karışımlarda %4,5 bitüm oranında daha düşük ve %6,5 bitüm oranında ise daha yüksek sonuç vermiştir. %5

bitüm oranında tüm karışımlar çok yakın sonuç vermiştir.

%Bitüm-Bitümle dolu boşluk grafiği incelendiğinde tüm karışımların çok yakın sonuç verdiği görülmüştür. Bitüm oranı arttıkça bitümle dolu boşluğun arttığı tüm karışımlarda görülmüştür. Karayolları teknik şartnamesinde uygun bitümle dolu boşluk oranı %70 olarak belirlenmiştir.

Şekil 4'te bulunan grafikler yardımıyla optimum bitüm yüzdesi belirlenmiştir. Maksimum stabilite, maksimum hacim özgül ağırlık (Dp), %4 boşluk oranı (Vh) ve %70 bitümle dolu boşluk (Vf) oranına denk gelen bitüm yüzdelerinin aritmetik ortalaması dikkate alınmıştır. Bazalt, kalker ve volkanik cürufun kullanıldığı karışımların optimum bitüm oranları Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9. Optimum bitüm yüzdesi

	Bazalt	Kalker	Volkanik cüruf
Max stabilite	5,0	4,5	4,5
Max Dp	6,5	5,7	6,0
% 4 Vh	4,7	4,7	4,8
% 70 Vf	5,0	5,0	5,0
Optimum bitüm	5,30	5,00	5,07

Çizelge 9 incelendiğinde bazalt fillerinin kullanıldığı kontrol karışımın optimum bitüm yüzdesi %5,30 olarak belirlenmiştir. Kalker ve volkanik cürufun kullanıldığı karışımlar kontrol fillerden daha düşük elde edilmiştir. Optimum bitüm yüzdesinin düşük olması maliyeti de düşürmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada karayollarında sıklıkla tercih edilen bazalt agregasıyla birlikte filler malzeme olarak kalker ve volkanik cürufun kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada öncelikle agregada deneyleri, bitüm deneyleri ve daha sonra karışım gradasyonunun oluşturulmasıyla Marshall stabilite ve akma deneyi uygulanarak optimum bitüm belirlenmiştir. Çalışmada %55 kaba agregada, %39 ince agregada ve %6 filler kullanılmıştır. Bitümlü

bağlayıcı olarak 50/70 penetrasyonlu bitüm tercih edilmiştir.

Agrega deney sonuçları incelendiğinde bazalt agregasının su emme sınırı değeri aşması nedeniyle aşınma tabakasında kullanılması uygun görülmemiştir. Diğer sonuçlar incelendiğinde bazalt agregasının binder tabakasında kullanılmasının teknik şartname açısından daha doğru olduğu görülmüştür. Metilen mavisini inceleyen bitümle dolu boşluk oranı %70 olarak belirlenmiştir. Volkanik cürufun sınırı değeri çok fazla aşması ilerde sorun oluşabileceğini göstermiştir.

Marshall stabilite ve akma deneyi sonuçları incelendiğinde düşük bitüm yüzdesinde en yüksek stabiliteyi volkanik cürufun kullanıldığı karışımlar vermiştir. Kalker fillerinin kullanıldığı karışımlar, kontrol karışımlardan daha düşük stabilite sonuçları vermiştir. Üç numunenin optimum bitüm yüzdeleri kıyaslandığında en yüksek bitüm yüzdesi bazaltta elde edilirken, en düşük yüzde kalker fillerinin kullanıldığı karışımlarda elde edilmiştir. Kalker ve volkanik cürufun kullanıldığı karışımların optimum yüzdeleri yakın sonuçlar verse de volkanik cürufu karışımlar yüksek stabilite göstermiştir.

Sonuçlar genel olarak incelendiğinde bazalt agregasının binder tabakasında kullanılması önerilmiştir. Volkanik cürufun karayolları için önemli bir deney olan metilen mavisini inceleyen bitümle dolu boşluk oranı %70 olarak belirlenmiştir. Volkanik cürufun kullanıldığı karışımlar yüksek stabiliteye ulaşsa da ilerde oluşabilecek sorunlar öngörüldüğünden kullanımı önerilmemiştir. Kontrol bazalt filler karışımından daha düşük stabiliteyi vermesine karşın; optimum bitüm yüzdesini düşürmesi ve bundan dolayı maliyetin düşmesi, metilen mavisini inceleyen bitümle dolu boşluk oranı %70 olarak belirlenmesi ve bundan dolayı kullanılması durumunda yolun kullanım ömrünü uzatması, bölgede kalker ocaklarının daha fazla bulunması ve bundan dolayı nakliye maliyetini düşürerek aynı zamanda ocaklardaki atık kalker tozlarının değerlendirilmesi kalker fillerinin bitümlü sıcak karışımlarda alternatif filler olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (HÜBAP) tarafından 19102 numaralı proje tarafından desteklenmiştir. Çalışmada kullanılan malzeme temini Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi, Beltaş A.Ş. ve Şanlı Asphalt A.Ş. tarafından yapılmıştır. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Gray, L., Graham, I., 2015. Yakından Tanıyın-Ulaşım. TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Ankara, 72.
2. Akgül Şeker, N.E., 2020. Bitümlü Sıcak Karışımların Farklı İklim Şartlarında Bozulmasına Filler Etkisinin Değerlendirilmesi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa. 100.
3. Clarkson, O.H., Hicks, G.R., 1982. Highway Engineering. New York, 730.
4. Prozzi, J.A., 2001. Modelling Pavement Performance by Combining Field and Experimental Data. Civil and Environmental Engineering, University of California Berkeley, 139.
5. Gürer, C., Karşahin, M., 2015. Hasarsız Deneylerle Bir Sathi Kaplamalı Yol Kesiminin Performans Değişiminin İncelenmesi. 11.Ulaştırma Kongresi, İstanbul. 213-220.
6. Aslan, D., Sarıışık, A., 2018. Diyarbakır Yöresinde Bitümlü Sıcak Karışımlarda Bazalt, Kalker, Dere Malzemelerinin Karakteristik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi. 3(3), 243-250.
7. Prowell, B.D., Zhang, J., Brown, E.R., 2005. Aggregate Properties and the Performance of Superpave-Designed Hot Mix Asphalt, National Center for Asphalt Technology. Auburn, AL. Transportation Research Board. Report, 539.
8. Turabi, A., Okucu, A., 2007. Balıkesir İli Yol Çalışmalarında Kullanılan Agregaların Özellikleri ve Şartnameye Uygunluğu. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1), 45-51.
9. Deniz, M.T., Lav, A.H., 2010. Asfaltlarda Bitümle Birlikte Granüler Sülfür Kullanımının Stabiliteye Etkisi. İTÜ Mühendislik Dergisi, 9(6), 137-148.
10. Eker, A.N., 2019. Bazalt ve Gabroların Bitümlü Sıcak Karışımlarda Agregata Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi. Batman Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Batman, 109.
11. Çelik, O.N., Yonar, F., Ceylan, S., 2007. Bitümlü Sıcak Karışımların Performansına Filler Etkisi. 7.Ulaştırma Kongresi, 196-204.
12. D'Angelo, J.A., Harm, E.E., Bartoszek, J.C., Baumgardner, G.L., Corrigan, M.R., Cowser, J.E., Newcomb, D.E., 2008. Warm-Mix Asphalt: European Practice. Washington, USA, FHWA.
13. Umar, F., Ağar, E., 1991. Yol Üstyapısı. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 339.
14. Tunç, A., 2007. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Nobel Yayınevi, Ankara, 840.
15. Uluçay, M., 2000. Yollarda Pürüzlülük Sorunu. 3. Ulusal Asphalt Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 213-217.
16. OECD, 1984. Road Surface Characteristics-Their Interaction and Their Optimization. Road Transport Research, Paris.
17. Akbulut, H., İçağa, Y., Gürer C., 2003. Atık Agregaların Asfalt Yol Kaplamalarında Tekrar Kullanım İmkânı ve CEN Standartları. 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
18. Xiao, J., Kulakowski, B.T., El-Gindy, M., 2000. Prediction of Risk of Wet-Pavement Accidents: Fuzzy Logic Model. Transportation Research Record, 1717(1), 28-36.
19. Ishai, I., Graus, J., Sides, A., 1980. A Model for Relating Filler Properties to Optimal Behavior of Bituminous Mixtures. Proc. Association of Asphalt Paving Technologists. 49, 416-436.
20. Shahrour, A.M., Saloukeh, G.B., 1992. Effect of Quality and Quantity of Locally Produced Filler on Asphalt Mixtures in Dubai, Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt

- Mixture Performance: ASTM STP 1147, 187-208.
21. Su, Nan. Chen, J.S., 2002. Engineering Properties of Asphalt Concrete Made with Recycled Glass. National Yunlin University of Science and Technology, 259.
 22. Yılmaz, M., Kök, B.V., 2008. Ferrokrom Cürufu Kullanımının Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(3), 186-194.
 23. Arabani, M., Mirabdolazimi, S.M., 2011. Experimental Investigation of the Fatigue Behaviour of Asphalt Concrete Mixtures Containing Waste Iron Powder. Materials Science and Engineering. 528(10-11), 3866-3870.
 24. Mazlum, M.S., 2014. Ekonomik Ömrünü Tamamlamış Asfalt Kaplamaların Kazınarak Bitümlü Sıcak Karışımlarda Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 85.
 25. Morova N., Terzi, S., 2015. Kolemanit Atıkların Sıcak Karışım Asfalt Betonda Agregası Olarak Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(2), 8-15.
 26. Nabiun, N., Khabiri, M.M., 2016. Mechanical and Moisture Susceptibility Properties of HMA Containing Ferrite for Their USA in Magnetic Asphalt. Construction and Building Materials, 113, 691-697.
 27. Keskin, M., Karacasu, M., 2018. Atık Bor İçeren Asfalt Betonlarının Performanslarının Değerlendirilmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(2), 185-192.
 28. Wozuk, A., Bandura, L., Franus, W., 2019. Fly Ash as Low Cost and Environmentally Friendly Filler and its Effect on the Properties of Mix Asphalt. Journal of Cleaner Production.
 29. Beycioğlu, A., Kaya, O., Yıldırım, Z.B., Bağrıaçık, B., Dobiszewska, M., Morova, N., Çetin, S., 2020. Use of GRP Pipe Waste Powder as a Filler Replacement in Hot-Mix Asphalt. Materials, 13(20), 4630.
 30. 2020. Karayolları Genel Müdürlüğü. <http://www.kgm.gov.tr/>. Erişim: Kasım 2020.
 31. Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013. Karayolu Teknik Şartnamesi, Ankara, 431.
 32. TS EN 1097-6, (2013). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler-Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranının Tayini, Ankara.
 33. TS EN 1097-2, 2010. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler-Bölüm 2: Parçalanma Direnci Tayini için Yöntemler, Ankara.
 34. TS EN 12697-11, 2012. Bitümlü Karışımlar-Deney Metotları-Sıcak Karışım Asfalt için Bölüm 11: Agregası ve Bitüm Arasındaki Bağlanmanın Tayini, Ankara.
 35. ASTM D4644-87, 1998. Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks. 4.
 36. TS EN 1367-2, 2010. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri için Deneyler-Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, Ankara.
 37. TS EN 933-9+A1, (2014). Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler-Bölüm 9: İnce Tanelerin Tayini-Metilen Mavisini Deneyi, Ankara.
 38. Gamble, J.C., 1971. Durability-Plasticity Classification of Shales and Other Argillaceous Rocks. Ph. D., Thesis, University of Illinois, 159.
 39. TS EN 15326+A1, 2010. Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Yoğunluk ve Özgül Kütle Tayini -Kapiler Kapaklı Piknometre Yöntemi, Ankara.
 40. TS EN 1426, 2015. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar-İğne Batma Derinliği Tayini, Ankara.
 41. TS EN 1427, 2015. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar- Yumuşama Noktası Tayini-Halka ve Bilye Yöntemi. Ankara.
 42. TS EN ISO 2592, 2017. Petrol ve İlgili Ürünler -Parlama ve Yanma Noktasının Tayini-Cleveland Açık Kap Yöntemi, Ankara.
 43. TS EN 13589, 2018. Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Kuvvet Uygulamalı Süneklik Yöntemiyle Modifiye Bitümün Gerilme Özelliklerinin Belirlenmesi, Ankara.
 44. ASTM D6927-15, 2015. Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures. 7.

Analyses of Current Wind Energy Status of Turkey and its Future Prospect

Akın İLHAN¹, Mehmet BİLGİLİ², Beşir ŞAHİN^{*3}

¹Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara

²Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

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

Geliş tarihi: 02.10.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Abstract

In this study, wind power status of Turkey is extensively investigated. In this regards, wind power occasion, which is one of the most popular and promising renewable energy types of today, is studied for Turkey in the year range of 2009-2018. Finally, Turkey's long term wind energy status till 2030 is predicted. In this context, it is demonstrated that Turkey's wind energy status will even surpass the case of 2018; in which wind energy ratio by 2030 based on whole sources is expected to be 16.61% exceeding the case of 2018, which is 16.56%.

Keywords: Available power potential, Renewable energy, Wind energy

Türkiye'nin Mevcut ve Gelecekteki Rüzgar Enerjisi Durumunun Analizi

Öz

Bu çalışmada, Türkiye'nin rüzgâr enerjisi durumu etraflıca araştırılmıştır. Bu bağlamda, günümüzün en popüler ve gelecek vaat eden yenilenebilir enerji türlerinden birisi olan rüzgâr enerjisi uygulamaları, Türkiye için, 2009 ile 2018 yıl aralığını kapsayacak şekilde incelenmiştir. En son olarak ise, Türkiye'nin 2030 yılına kadar olan uzun vadeli rüzgar enerjisi durumu tahmin edilmiştir. Bu kapsamda, Türkiye'nin 2030 yılındaki rüzgâr enerjisi durumunun, 2018'deki durumunu bile aşacağı gösterilmiştir; şöyle ki, rüzgar enerjisinin, 2018 yılında, tüm enerjilere göre verilen oranı olan %16,56'lık değerinin, 2030 yılında aşılıp, %16,61'lik değere ulaşacağı beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mevcut güç potansiyeli, Rüzgar enerjisi, Yenilenebilir enerji

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Beşir ŞAHİN, bsahin@cu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Fossil energy resources have declined rapidly over the past decade; on the other hand, the frequent increasing population and technological developments in parallel have substantially increased the demand for energy [1]. Thus, the use of fossil energy sources and the ever-increasing global warming associated with the greenhouse gas emissions are unfortunately the most critical and urgent global problems at the present time [2-4]. According to a report released by the International Energy Agency (IEA), unless any precautions are not taken; greenhouse gas emissions are foreseen to be doubled by 2050 year [5]. Therefore, it is quite essential to shift from the utilization of fossil fuels to renewable energy sources in order to meet this demand and to simultaneously reduce global CO₂ emissions down to tolerable levels.

1.1. Global Renewable Energy Generation

As a renewable energy source, the global installed capacity of 1,288 GW in 2009 rapidly increased by %58.09 and reached the total capacity of 2,036.493 GW in 2015, considering the global situation. On the other hand, energy generation from renewable sources up to 2016 reached the largest annual increase by this year; i.e., 173.839

GW of recent capacity in this sector was introduced to the global system of renewable power. This amount of renewable power corresponded to rise of 8.54% compared to the former case of 2015 and exhibited an overall enhancement of renewable power generation reaching to the value of 2,210.332 GW at the end of 2016. These new annual installations of renewable energy sources throughout 2016 contributed with percentages of 42.40%, 29.19%, and 19.42% by means of solar PV technology, wind energy, and hydropower, respectively to the total installed renewable energy capacity worldwide. Further increase of global installed capacity of the 2017 year was reported as to correspond 2,392.571 GW of total worldwide installations [6-7]. And finally, by 2018, the global total renewable power installations reached to 2,572.755 GW in which the shares of different sources including hydropower, wind energy, solar energy, bioenergy, geothermal energy, and marine energy are reported as 50.35%, 21.91%, 18.89%, 8.31%, 0.52%, and 0.02%, respectively, corresponding to 1,295.317 GW, 563.659 GW, 486.05 GW, 213.888 GW, 13.277 GW, and 0.529 GW, respectively. These explained situations are demonstrated in Figure 1 for to reveal global renewable power installations in terms of different source types [8].

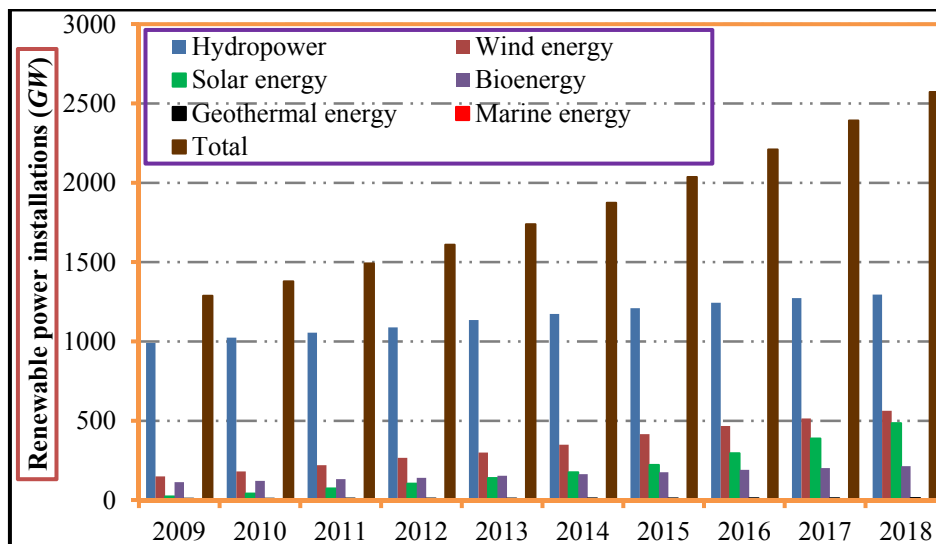


Figure 1. Cumulative global renewable power installations based on different sources

1.2. Renewable Energy Generation of Europe

Considering the importance of energy, especially renewable energy generation methods; this study aims to focus on general renewable energy situation of Europe as well. In this regards, Figure 2 indicates renewable power installations of Europe.

Renewable energy generation capacity of Europe having 338.653 GW in 2009 rapidly increased by %52.03 and reached the total capacity of 514.863 GW in 2015, considering the Europe's situation. Besides, energy generation from renewable sources reached a cumulative value of 539.886 GW by 2016; i.e., 25.023 GW of recent capacity in this sector was introduced to the total renewable power of Europe. This amount of renewable power corresponded to cumulative rise of 4.86% compared to the former case of 2015. These new annual installations of renewable

energy sources throughout 2016 in Europe contributed with percentages of 51.60%, 25.92%, and 15.19% by means of wind energy, solar energy, and hydropower, respectively to the total installed renewable energy capacity. Further increase of the installed capacity of the 2017 year was reported as to correspond a cumulative of 564.444 GW of total Europe's installations [6-7]. And finally, by 2018, the global total renewable power installations reached to 589.523 GW in which the shares of different sources including hydropower, wind energy, solar energy, bioenergy, geothermal energy, and marine energy are reported as 37.43%, 30.95%, 20.55%, 10.76%, 0.28%, and 0.04%, respectively, corresponding to 220.643 GW, 182.440 GW, 121.153 GW, 63.417 GW, 1.623 GW, and 0.247 GW, respectively. These explained situations are demonstrated in Figure 2 for to reveal renewable power installations of Europe Continent considering different sources [8].

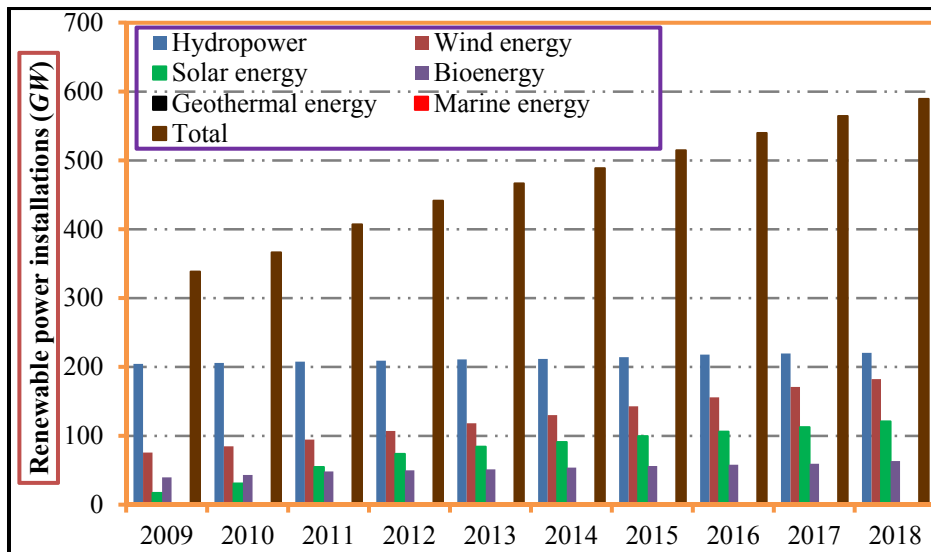


Figure 2. Cumulative renewable power installations based on different sources in Europe

1.3. Renewable Energy Generation of Eurasia

Armenia, Azerbaijan, Georgia, Russian Federation, and Turkey are the countries which are included in the Eurasia location. In this regards, renewable energy generation capacity of Eurasia having 70.124 GW in 2009 rapidly increased by 29.44%

and reached the total capacity of 90.770 GW in 2015, considering the location of Eurasia's situation. Besides, energy generation from renewable sources reached a cumulative value of 93.890 GW by 2016; i.e., 3.120 GW of recent capacity in this sector was introduced to the total renewable power of Europe. This amount of

renewable power corresponded to cumulative rise 3.44% compared to the former case of 2015. These new annual installations of renewable energy sources throughout 2016 in Eurasia contributed with percentages of 40.90%, 28.72%, and 19.87% by means of wind energy, hydropower, and solar energy, respectively to the total installed renewable energy capacity. Further increase of the installed capacity of the 2017 year was reported as to correspond a cumulative of 7.570 GW of total Eurasia's installations [6-7]. And finally, by 2018, the total renewable power installations of Eurasia

reached to 105.794 GW in which the shares of different sources including hydropower, wind energy, solar energy, bioenergy, geothermal energy, and marine energy are reported as 83.23%, 6.80%, 5.39%, 3.30%, 1.28%, and 0.002%, respectively, corresponding to 88.048 GW, 7.197 GW, 5.702 GW, 3.488 GW, 1.357 GW, and 0.002 GW, respectively. These explained situations are demonstrated in Figure 3 for to reveal renewable power installations of Eurasia location taking a variety of different sources into account [8].

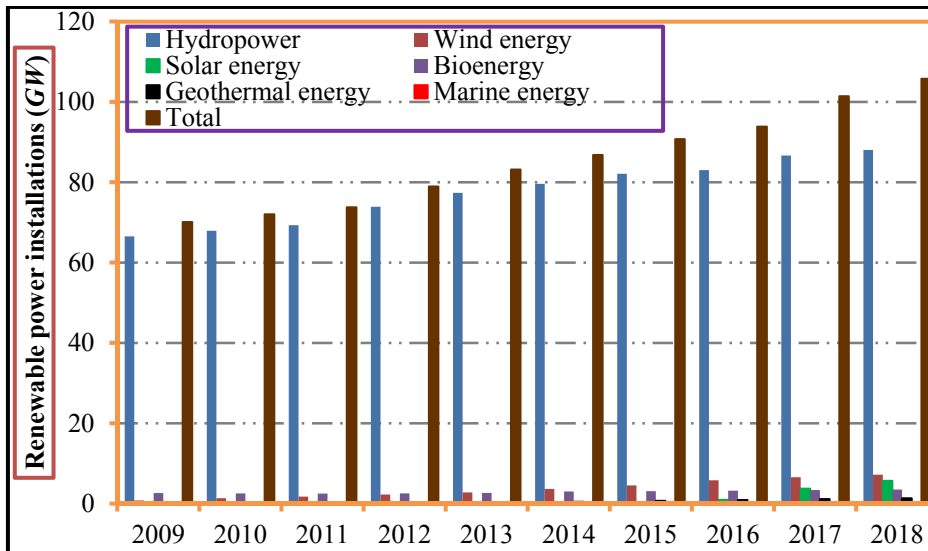


Figure 3. Cumulative renewable power installations based on different sources in Eurasia region

1.4. Renewable Energy Generation of Turkey

On the other hand, renewable energy generation capacity of Turkey being a member of Eurasia had a total 15.576 GW installed power by 2009, which later increased by 102.37% and reached the total capacity of 31.521 GW in 2015, considering this country's situation. As well as, energy generation from whole renewable sources reached a cumulative value of 34.494 GW by the year 2016; i.e., 2.973 GW of recent capacity in this sector was introduced to the total renewable power of Turkey. This amount of renewable power corresponded to cumulative rise 9.43% compared to the former case of 2015. These new annual installations of renewable energy sources throughout 2016 in this

country contributed with percentages of 41.98%, 27.35%, and 19.64% by means of wind energy, hydropower, and solar energy, respectively to the total installed renewable energy capacity of the country. Additional increase of the installed capacity of the 2017 was reported as to correspond a cumulative of 4.324 GW of total Turkey's installations [6-7]. And finally, by 2018, the total renewable power installations of Turkey have attained a value of 42.306 GW in which the shares of hydropower, wind energy, solar energy, bioenergy, geothermal energy, and marine energy are reported as 66.87%, 16.56%, 11.97%, 1.567%, 3.03%, and 0%, respectively, corresponding to 28.291 GW, 7.005 GW, 5.064 GW, 0.663 GW, 1.283 GW, and 0.000 GW, respectively. Similarly,

these explained situations are demonstrated in Figure 4 in order to demonstrate renewable power installations of Turkey regarding a variety of

different sources into account. As observed from this figure, no marine energy generation method has yet been used in this country [8].

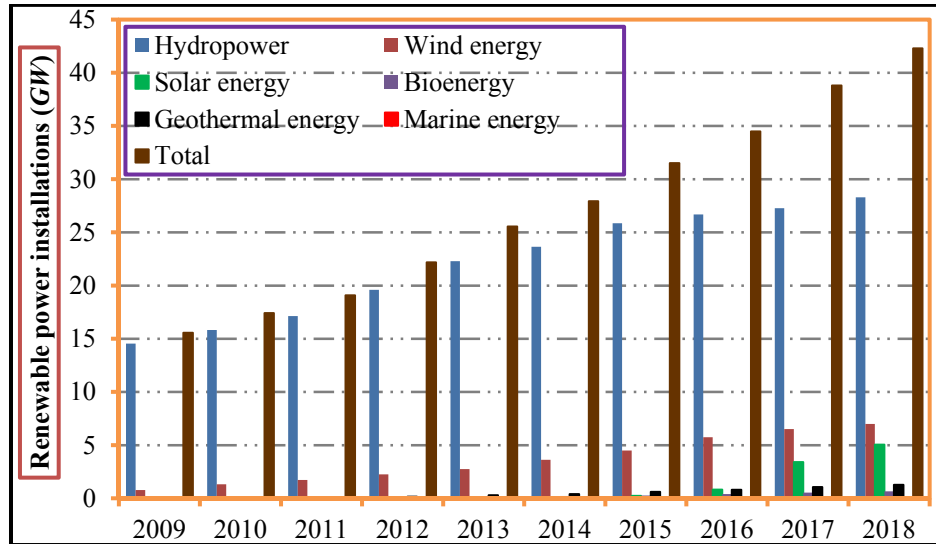


Figure 4. Cumulative renewable power installations based on different sources in Turkey

2. WIND POWER EXAMINATION OF TURKEY

2.1. Territorial Wind Power Analysis of Turkey

Wind power of Turkey dealing with a specific region of eastern Mediterranean location of Turkey is studied in literature [9]. In this regards, while cumulative wind power installations of Turkey was presented in Figure 4; Figure 5 similarly demonstrates the power capacities of the operating, under construction, and licensed wind farms in Turkey based on the comparison of seven different state geographical territories. It is specified in this figure that the main operating wind farms are mainly constructed in the West and South parts of Turkey, i.e., Aegean, Marmara, and the Mediterranean territorial regions are pretty dense with operating wind farms. However, the leader region in terms of the operating wind power in Turkey is reported to be the Aegean region having the largest wind farm installations by the end of 2019, corresponding to a total installed wind power of 3.098 GW. This power value of operating

wind farms in Aegean region is secondly and thirdly followed by Marmara and Mediterranean regions having 2796.45 MW and 996.10 MW of installed power, respectively. However, Central Anatolia, Black Sea, Southeastern Anatolia, and Eastern Anatolia Regions have comparatively less installed operating power values corresponding to 763.90 MW, 297.20 MW, 93.05 MW, and 11.70 MW of installations, respectively.

On the other hand, the fastest construction site in the wind power sector was observed to be located in the Marmara region by the end of 2019. While, the additional wind power capacity including under constructional wind power capacity of this territory reached 729.40 MW in end of this year, it is observed that no wind farms are observed to be under construction in state geographical territories of Black Sea and Southeastern Anatolia regions. Followed by Marmara region, Aegean region has second highest wind power capacity of 410.49 MW of installations which is under construction. However, the least regional based wind power under construction was observed in

the Central Anatolia region with the maximum capacity of 52.80 MW. Similarly, Mediterranean and Eastern Anatolia regions have 63.90 MW and 53.20 MW of installed power which can also be referred few in amount in terms of under constructional wind power. But, most of these additional under constructional installations in these cited provinces are reported to be probably completed by end of 2023.

The territory where the licensed wind farms were most concentrated is conducted to be Marmara region by the end of 2019 to be 825 MW of wind power. As well as, the region where the licensed wind farms were least concentrated is the Mediterranean Region corresponding to only 12 MW of wind power installations in this year.

On the other hand, wind power situation of Turkey based on two types of wind farms of operating and under constructional types reveals that the leader state territorial location in terms of wind power applications is the Marmara region having total of 3525.85 MW of power. This is followed by Aegean and Mediterranean regions having 3508.64 MW and 1060.00 MW of installations, respectively. But, state territorial regions including Central Anatolia, Black Sea, Southeastern Anatolia, and Eastern Anatolia Regions have

comparatively less total power values corresponding to 816.70 MW, 297.20 MW, 93.05 MW, and 64.90 MW of capacities, respectively. Since these power values include under constructional wind farm applications besides the operating ones, this situation states that these power values will be reached by the end of 2023 year, according to the policy of Turkey State.

Finally, the total power values of wind farms including three groups are observed to be highest in Marmara region having 4350.95 MW of total installations, followed by Aegean and Mediterranean regions having 3592.49 MW and 1072.00 MW of capacities, respectively. These results demonstrate that Turkey is performing an essential attack in terms of wind power applications, especially in these three state geographical territories. However, state territorial regions including Central Anatolia, Black Sea, Southeastern Anatolia, and Eastern Anatolia Regions have comparatively less total power values corresponding to 953.70 MW, 472.80 MW, 93.05 MW, and 64.90 MW of capacities, respectively. The reason of high capacities in Marmara, Aegean and Mediterranean regions is due to the high wind power potentials in these regions [10].

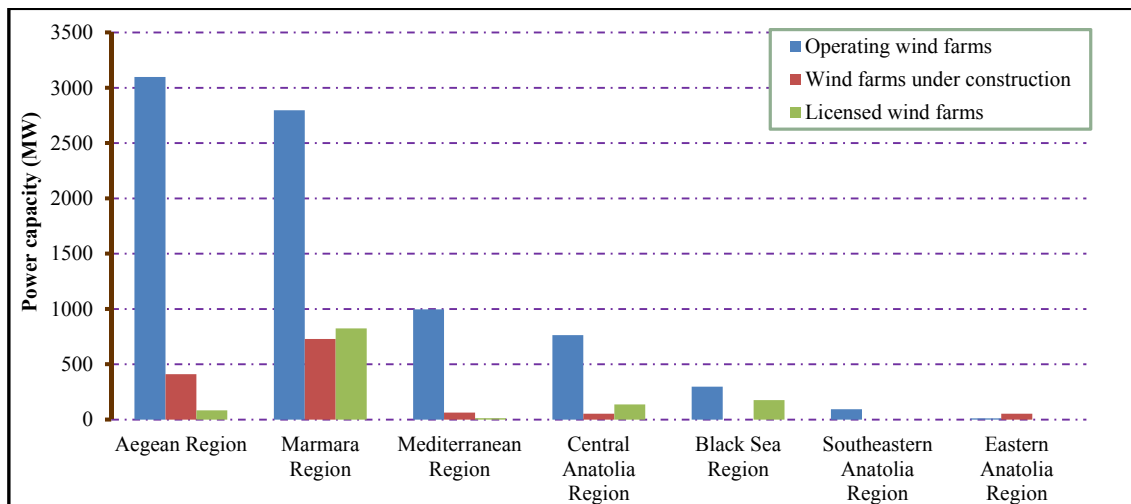


Figure 5. Wind power capacities in Turkey expressed by geographical territories and installation types

2.2. Province Based Wind Power Analysis of Turkey

Electric energy demand of Turkey is rapidly increasing, in which it is concluded in this study that a solution to this problem could be handled by the utilization of unused wind energy potential in this country [11]. In this regards, wind power potential analysis performs a significant role of determining unused wind power potential of a considered location [12-15].

Similarly in this study, Turkey's theoretical potential of the wind power is expressed in terms of the provinces as well the power extraction of each province is shown to reveal how much the total theoretical potential of the provinces have turned into reality [10,16,17]. According to the Turkish Wind Energy Association (TWEA), total available wind power potential of Turkey corresponding to 115,329 MW is quite higher than the current cumulative installed power of this country. Since, the installed wind power of Turkey, also including pre-licensed potential reveals that the total installations of this state had

only reached 14,958 MW. Namely, in the case of utilizing the remaining unused 87% of the theoretical wind potential of Turkey, the greenhouse gas emissions in this country can be reduced to a quite tolerable level. Secondly, the significant reduction in energy generations from the carbon-based fuels would be reduced. In this perspective, the theoretical wind power potential map and province-based wind power analysis of Turkey are reported in detail as indicated in Figure 6 and Table 1, respectively. The available data presented for the theoretical potential of Turkey indicates the total wind potential of Turkey including wind power generations with wind speeds of 6.8 m/s and higher. On the other hand, for power generation using larger wind turbines, the wind speed is required to exceed 7 m/s resulting the theoretical potential of Turkey to be less than half of the cited 115,329 MW of projected power as seen in this table. Besides, the wind power potential that can be settled at offshore is around 17.393 MW which is not included in Table 1 [17].

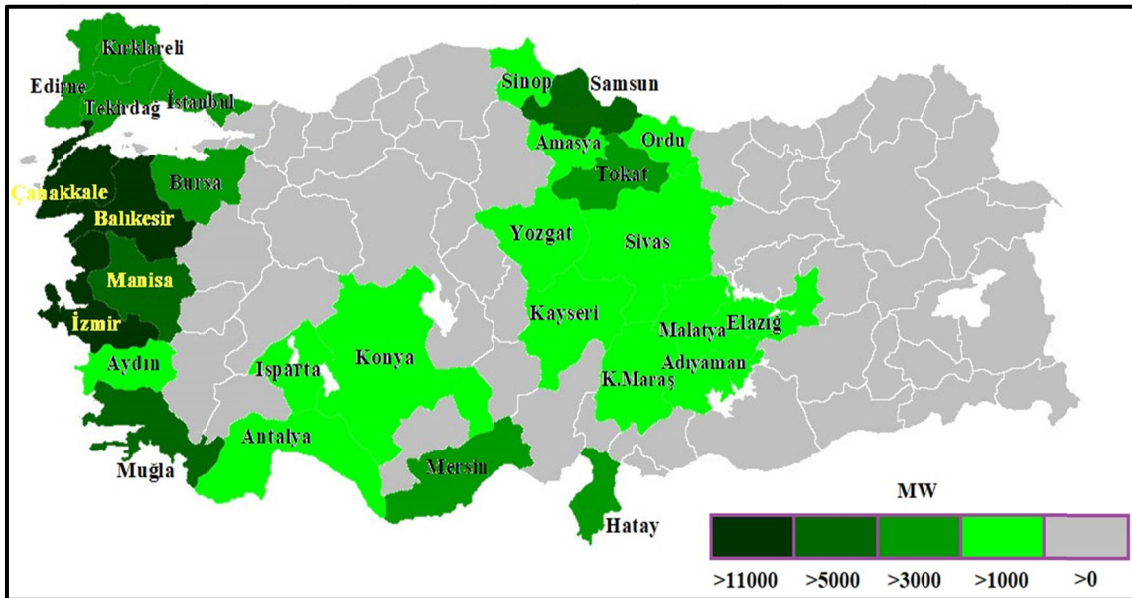


Figure 6. The map indicating the regions where desirable theoretical wind power exists for electricity generation in Turkey

Table 1. Turkey’s total available theoretical wind energy potential and its current production

No	City	Theoretical potential (MW)	Operational (MW)	Under construction (MW)	Licensed (MW)	Pre-licensed (MW)	Total process (MW)	Process/theoretical (%)
1	Balikesir	13,827	1,091	173	74	478	1,816	13.1
2	Çanakkale	13,013	323	70	425	501	1,319	10.1
3	İzmir	11,854	1,295	266	62	73	1,696	14.3
4	Manisa	5,302	640	58	10	30	738	13.9
5	Samsun	5,222	0	52	9	49	110	2.1
6	Muğla	5,171	196	59	0	275	530	10.2
7	Tekirdağ	4,627	153	49	19	60	281	6.1
8	İstanbul	4,177	231	108	277	250	866	20.7
9	Bursa	3,882	119	4	0	130	253	6.5
10	Mersin	3,531	173	0	0	30	203	5.7
11	Edirne	3,470	167	27	0	344	538	15.5
12	Hatay	3,414	360	27	33	30	450	13.2
13	Kırklareli	3,079	116	11	150	145	422	13.7
14	Tokat	3,002	128	1	0	40	169	5.6
15	Aydın	2,524	250	2	184	250	686	27.2
16	Ordu	2,276	0	0	10	50	60	2.6
17	Kahramanmaraş	2,072	82	36	0	40	158	7.6
18	Kayseri	1,885	264	8	0	80	352	18.7
19	Konya	1,860	130	71	60	48	309	16.6
20	Sivas	1,642	150	0	37	240	427	26.0
21	Sinop	1,491	0	0	5	5	10	0.7
22	Isparta	1,423	60	0	0	0	60	4.2
23	Malatya	1,395	0	0	10	80	90	6.5
24	Amasya	1,200	126	4	0	60	190	15.8
25	Adıyaman	1,197	25	0	0	40	65	5.4
26	Antalya	1,170	0	0	0	100	100	8.5
27	Yozgat	1,076	0	5	0	0	5	0.5
28	Elazığ	1,028	0	0	0	40	40	3.9
29	Karaman	934	7	0	40	0	47	5.0
30	Adana	899	0	0	0	120	120	13.3
31	Afyonkarahisar	860	263	0	88	0	351	40.8
32	Osmaniye	718	235	0	0	0	235	32.7
33	Diyarbakır	635	0	0	0	0	0	0.0
34	Yalova	533	84	50	32	110	276	51.8
35	Kastamonu	515	0	0	0	0	0	0.0
36	Mardin	509	0	0	0	0	0	0.0
37	Erzincan	383	0	0	0	50	50	13.1
38	Kocaeli	334	10	294	0	30	334	100.0
39	Çankırı	315	0	0	0	50	50	15.9
40	Bilecik	309	39	41	90	0	170	55.0
41	Gaziantep	267	86	0	0	0	86	32.2
42	Denizli	239	0	0	66	0	66	27.6
43	Kütahya	190	0	0	0	50	50	26.3
44	Sakarya	180	0	0	70	110	180	100.0
45	Kırşehir	168	168	0	0	0	168	100.0
46	Giresun	160	0	0	0	0	0	0.0
47	Çorum	156	0	0	0	65	65	41.7
48	Zonguldak	120	0	0	120	0	120	100.0
49	Bolu	117	0	0	0	0	0	0.0
50	Eskişehir	89	0	39	0	50	89	100.0

51	Ankara	80	0	0	0	80	80	100.0
52	Karabük	73	0	0	0	30	30	41.1
53	Bartın	62	0	0	0	0	0	0.0
54	Niğde	62	0	0	0	0	0	0.0
55	Bingöl	61	0	0	0	50	50	82.0
56	Burdur	58	0	1	0	0	1	1.7
57	Uşak	57	54	3	0	0	57	100.0
58	Ağrı	50	0	0	0	50	50	100.0
59	Erzurum	50	0	0	0	50	50	100.0
60	Van	50	0	0	0	50	50	100.0
61	Bitlis	40	0	0	0	40	40	100.0
62	Kars	40	0	0	0	40	40	100.0
63	Kilis	40	0	0	0	40	40	100.0
64	Kırkkale	40	0	0	0	40	40	100.0
65	Trabzon	30	0	0	0	30	30	100.0
66	Hakkâri	29	0	0	0	0	0	0.0
67	Siirt	15	0	0	0	0	0	0.0
68	Tunceli	13	0	0	0	0	0	0.0
69	Artvin	10	0	0	0	0	0	0.0
70	Ardahan	9	0	0	0	0	0	0.0
71	Batman	8	0	0	0	0	0	0.0
72	Nevşehir	8	0	0	0	0	0	0.0
73	Iğdır	2	0	0	0	0	0	0.0
74	Gümüşhane	1	0	0	0	0	0	0.0
75	Şanlıurfa	1	0	0	0	0	0	0.0
76	Aksaray	0	0	0	0	0	0	0.0
77	Bayburt	0	0	0	0	0	0	0.0
78	Düzce	0	0	0	0	0	0	0.0
79	Muş	0	0	0	0	0	0	0.0
80	Rize	0	0	0	0	0	0	0.0
81	Şırnak	0	0	0	0	0	0	0.0
TOTAL		115,329	7,025	1,459	1,871	4,603	14,958	13.0

3. TURKEY'S WIND ENERGY PREDICTION AMONG THE OTHER SOURCES

The investigations on wind energy status of Turkey compared to other renewables, considering above analyses, indicated that Turkey's wind power installations by 2009 were only 5.08% to total installed renewable power. However, this situation is rapidly accelerated reaching 2018 in which the percentage is increased to 16.56%, at the end of this year. According to seven territorial geographical regions of Turkey and considering operating, under constructional, and licensed wind farms, it is investigated that Marmara region of the state will have the highest wind power installations reaching 2023. This will be followed by Aegean and Mediterranean regions of the state. So, the expected wind power installations based on

operating wind farms, and the other two types reveal that Marmara, Aegean, and Mediterranean regions of the state will have 3525.85 MW, 3508.64 MW, and 1060.00 MW, respectively, by 2023 year. Furthermore, installed power analysis considering 81 cities of Turkey are conducted. In this context, reaching 2023, it is analyzed that Turkey will have 251 wind farms in operating which are currently in the status of operating, under constructional and licensed wind farms. Apart from that, it is shown that Turkey has a high potential of wind power. But, most of this potential of wind power is unfortunately not benefited in electricity generations. Namely, while Turkey has 115,329 MW of total wind power potential, only 13.0% of the total potential is assessed in wind energy conversion systems for power generation. This percentage corresponds to 14,958 MW of installed wind power including pre-licensed wind

farms as well. Besides, it is investigated that Balıkesir province of Turkey being the leader city in terms of wind power applications. In this city, it is shown that wind power installations exceeds the average of Turkey, i.e., in this city 13.1% of the total theoretical wind power potential has been turned to benefited wind power, surpassing the average situation of Turkey, i.e. 13%.

Besides, based on 2023 renewable vision plans of Turkey for hydroelectricity, wind power, solar energy, geothermal, and biomass were expected to reach 36 GW, 20 GW, 3 GW, 0.6 GW, and 2 GW of power, respectively. On the other hand, the total installed power capacity of Turkey considering whole resources were expected to exceed 120 GW according to this vision plan by 2023 [18]. Similarly, with a slight difference, Ozcan (2018) reported the forecasted installations for the same renewable resources were expected to be 34 GW, 20 GW, 5 GW, 1 GW, and 1 GW of power, respectively by 2023 [19]. However, as reported in Figure 4, it is shown that Turkey is in a better situation by 2018 compared with respect to the forecasted plans constituted earlier. Since, these values of two model forecasting data predicting 2023 case are already exceeded in reality, especially in the case of solar and geothermal power installations, as shown in Figure 4.

Similarly, another forecasting model of power generation of Turkey till the year 2030 is shown in Figure 7 considering the annual source-based installations which have rapidly accelerated since 2014. This figure involves the situation of the whole source-based power generations depending on the current politics scenario including the period range of 2014-2030. This forecasting scenario was structured based on the state politics of Turkey. Thus, the relevant institution that conducts the task of related matters; i.e., Energy Marketing Regulation Board of Turkey performed the study of the estimations till the year 2030 [10].

Eight different energy sources are compared in this figure to reveal the situation of the wind energy source on the total generated power of Turkey based on the state forecasting results. In these regards, the eight sources including the stone coal,

lignite, oil, natural gas, nuclear, hydroelectric power, wind, and solar types are considered in this figure. In this regards, the total of the eight sources indicates that the total installations currently is expected to rise from the current total installed power of 88.551 GW to reach 120.406 GW of cumulative installations by the end of 2030 year [20]. In this context, it is reported that at least 35.97% enhancement in total installed power of Turkey is necessarily required in forthcoming 10 years based on this forecasting model, due to the rapid social, industrial, and technological developments, as well the population rise.

Based on the forecasted plans shown in Figure 7, hydropower was expected to reach a total of 26.410 GW of installations by 2018, however in reality, at the end of 2018, Turkey's total installed power in hydroelectricity is shown to reach 28.291 GW of installations as demonstrated in Figure 4. Similarly, forecasting indicates that 6.815 GW of installations could be attained by 2018 in wind power, on the other hand in reality, by 2018 shown in Figure 4, total wind power of Turkey reached a total of 7.005 GW of installations at the end of this year. Additionally, while forecasting plans declared that total installed power of solar energy of Turkey could reach 2.840 GW of installations by 2018, real installations exceeded this value in which 5.064 GW of installations had occurred by this year in this sector.

In this figure, it is shown that the development of the wind power reported with respect to other sources is generally better. Based on the current progress in wind power, the forecasting reveals that 10.8 GW of total wind power installations will be obtained until the end of 2023. This case corresponds to 16.187 GW for the installations until the end of 2030 year. So, the state forecasting scenario absolutely requires 765.134 MW/year annual renewable installations for wind power in the period between 2018 and 2030, when considered the case of wind power situation by 2018 year in Figure 4 [10].

On the other hand, beyond the plans of Energy Marketing Regulation Board of Turkey, the

Ministry of Energy and Natural Resources of Turkey also forecasts a strategic plan of wind power installations till the end of 2020 to reach in the total of 10,000 MW of power generations. The related prediction is performed according to the current performance indicators of wind power installations eventuated up to the present time.

However, the ministry also declares that the necessary annual investment has to be done according to the annual plan of the ministry to exceed 20 GW of installations until the end of 2023 year, in order to achieve the Turkish Republic policy planned initially [21-23].

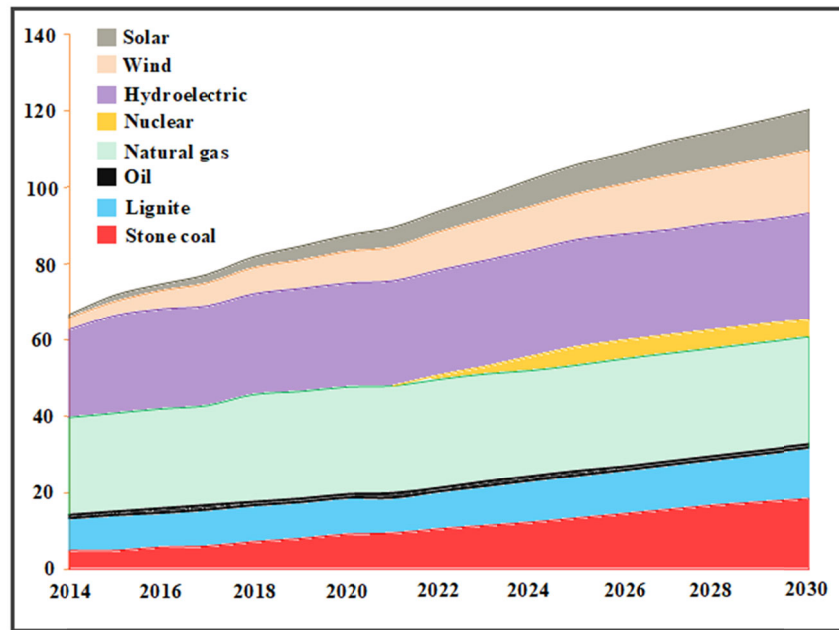


Figure 7. Variation of the source based installed power (GW) in Turkey based on the current state politics scenario

4. CONCLUSIONS

This study presented the importance of renewable power applications, especially wind energy status of Turkey are focused on. So in this study, wind energy generation status of Turkey and its future prospect are revealed. Wind energy production of Turkey is compared with other renewable energy generation methods in this country, as well as, World's, Europe's and Eurasia's renewable power generation status are shown. So, Turkey's situation in renewable power applications considering World, Europe, and Eurasia's location is clarified.

In this regards, while renewable power installations of Turkey are reported to correspond 42.306 GW; renewable power installations of

World, Europe, and Eurasia location are demonstrated to reach 2573 GW, 589.523 GW, and 105.794 GW, respectively. While there are 42 countries found in the Europe continent, there are 5 countries including Armenia, Azerbaijan, Georgia, Russian Federation, and Turkey found in the Eurasia region. In this way, the current study indicates the total installed renewable power of Turkey based on European continent is 7.18%, and as well as demonstrates 39.99% with respect to Eurasia location, revealing Turkey's good position in renewable power generation. Namely, it is presented that Turkey has performed a great attack of reducing the percentage of conventional fossil fuel power generation methods, and showed a rapid attack of renewable power applications in electricity generations. Turkey, being a country of

the European continent and when compared with its neighbors in Eurasia location; in this study, it is revealed that this country has shown a very good development in the field of renewable energy sector applications when compared with respect to other countries located in Europe continent and Eurasia region.

On the other hand, wind energy is one of the most popular and promising renewable energy types of today. Therefore, wind energy status of Turkey compared to whole renewable energy sectors is presented in the study, as well. Based on the conducted results of the year range between 2009 and 2018; it is demonstrated that, in 2009, while wind power applications were only 5.08% of total renewable generation types, in 2018, those reached 16.56% of total renewable generation methods in this state. Besides, today's territorial wind power analysis, as well as, near future prediction of these territories till 2023 based on the current progress are also conducted. Among the seven territorial geographical locations of the State, based on the results, it is shown that Marmara region will have the highest applications of wind power attaining 3525.85 MW of installations reaching 2023 year. Similarly, by 2023, this power value is followed secondly and thirdly by Aegean and Mediterranean regions of the State, respectively, which will have 3508.64 MW and 1060.00 MW, respectively.

Based on the total of 251 operating, under constructional, and licensed wind farms, province based wind power analysis of Turkey is also performed considering 81 discrete cities of the country. So, total wind power installations of each, including pre-licensed wind farm installations as well, are shown, in which it is demonstrated that Balıkesir province is the leading city in terms of wind power applications. In this city, it is investigated that 13.1% of the total theoretical wind power potential has been turned benefited wind power in electricity generations.

Finally in this study, Turkey's wind energy status by 2030 is forecasted. Based on the predictions, it is foreseen that the total installed power of Turkey by 2030 is expected to reach 120.406 GW in which the share of wind power in this total

installed power is expected to reach approximately 16.61%, corresponding to approximately 20 GW of installations at 2030. These predictions indicate Turkey's attacks in wind power applications in the next decade, in terms of transforming unused wind power potential to used wind power converted to beneficial electrical power.

5. REFERENCES

1. Bilgili, M., Ozbek, A., Sahin, B., Kahraman, A., 2015. An Overview of Renewable Electric Power Capacity and Progress in New Technologies in the World, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 323-334.
2. Kaygusuz, K., 2010. Wind Energy Status in Renewable Electrical Energy Production in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2104-2112.
3. Ata, R., 2013. The Current Situation of Wind Energy in Turkey, *Hindawi Publishing Corporation, Journal of Energy*, 1-8.
4. Wind Europe, 2018. Wind Energy in Europe in 2018, Trends and Statistics, <http://www.windeurope.org/>.
5. International Energy Agency (IEA), 2015. Carbon Capture and Storage: The Solution for Deep Emissions Reductions, <https://www.iea.org>.
6. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), 2018. Renewables, Global Status Report, 2018, <http://www.ren21.net/>.
7. World Energy (WE), 2018. Renewable Energies 2018 Global Status Report, <https://www.dunyaenerji.org.tr/>.
8. International Renewable Energy Agency (IRENA), 2019. Renewable Energy Statistics, 2019, <http://www.irena.org/>.
9. Sahin, B., Bilgili, M., Akilli, H., 2005. The Wind Power Potential of the Eastern Mediterranean Region of Turkey, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93(2), 171-183.
10. Turkish Wind Energy Association (TWEA), 2020. Turkey Wind Energy Statistical Report, <https://www.tureb.com.tr/>.
11. Bilgili, M., Sahin, B., Yasar, A., Simsek, E., 2012. Electric Energy Demands of Turkey in Residential and Industrial Sectors, *Renewable*

- and Sustainable Energy Reviews, 16(1), 404-414.
12. Bilgili, M., Sahin, B., 2010. Comparative Analysis of Regression and Artificial Neural Network Models for Wind Speed Prediction, Meteorology and Atmospheric Physics, 109(1), 61-72.
 13. Audu, M.O., Terwase, A.S., Isikwue, B.C., 2019. Investigation of Wind Speed Characteristics and its Energy Potential in Makurdi, North Central, Nigeria, SN Applied Sciences, 1:178.
 14. Kulkarni, S., Deo, M.C., Ghosh, S., 2018. Impact of Active and Break Wind Spells on the Demand-Supply Balance in Wind Energy in India, Meteorology and Atmospheric Physics, 130, 81-97.
 15. Said, Z., Mansour, R., Seyfeddine, G., Mehdizadeh, M., 2019. Configuration of Wind Farm in Kaberten Region: Wind Potential and Optimal Capacity, SN Applied Sciences 1, 1561.
 16. Turkish Wind Energy Association (TWEA), 2020. Turkish Wind Power Plant Atlas (TWPPA), 2020, <https://www.tureb.com.tr/>.
 17. Energy Map (EM), 2020. Turkish Wind Energy Potential Map, <http://www.enerjiatlasi.com/>.
 18. Melikoglu, M., 2016. The Role of Renewables and Nuclear Energy in Turkey's Vision 2023 Energy Targets: Economic and Technical Scrutiny, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 1-12.
 19. Ozcan, M., 2018. The Role of Renewables in Increasing Turkey's Self-sufficiency in Electrical Energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 2629-2639.
 20. Turkey's Electricity Transmission Corporation (TEIAS), 2019. <https://www.teias.gov.tr/>.
 21. General Directorate of Renewable Energy (GDRE), 2017. <http://www.eie.gov.tr/>.
 22. General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), 2017. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/>.
 23. Republic of Turkey Energy Market Regulatory (TEMR), 2017. <http://www.emra.org.tr/en/home>.

Antibacterial and Optical Properties of Mn Doped ZnO Nanopowders Synthesized via Spray Drying and Subsequent Thermal Decomposition

Şeyma DUMAN^{*1}, Büşra BULUT¹, Burak ÖZKAL²

¹Bursa Technical University, Metallurgical and Materials Engineering Department, Bursa

²Istanbul Technical University, Metallurgical and Materials Engineering Department, Istanbul

Geliş tarihi: 28.10.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Abstract

Mn doped ZnO nanopowders with homogenous particle distribution were synthesized using spray drying and thermal decomposition dual methods. Synthesis was carried out in spray drying slurry containing zinc acetate powders followed by calcining the as-prepared powders at 300, 400, and 500°C. Mn doping was achieved by adding manganese (II) acetate at different concentrations between 0.01-0.05 M during the synthesis. The obtained powders were characterized by a variety of characterization techniques. The results of phase analysis revealed that Mn-doped ZnO nanopowders having a single hexagonal structured ZnO phase. According to the results of microstructural and UV-vis characterizations; morphologies and optical properties of the Mn-doped ZnO nanopowders were affected by Mn doping. Furthermore, the results of this study exhibited that the addition of Mn have a significant influence on the antibacterial performance of the synthesized ZnO nanopowders.

Keywords: Mn doped ZnO, Spray drying, Optical properties, Antibacterial properties

Püskürtmeli Kurutma ve Ardından Termal Bozunma ile Sentezlenen Mn Katkılı ZnO Nanotozların Antibakteriyel ve Optik Özellikleri

Öz

Homojen dağılımlı Mn katkılı ZnO nanotozlar, püskürtmeli kurutma ve termal bozunma ikili yöntemleri kullanılarak sentezlenmiştir. Sentez, çinko asetat tozları içeren püskürtmeli kurutma bulamacında gerçekleştirilmiş olup, ardından hazırlanan tozlar 300, 400 ve 500°C’de kalsine edilmiştir. Sentez sırasında 0,01-0,05 M arasında farklı konsantrasyonlarda mangan (II) asetat ilave edilerek Mn katkısı sağlanmıştır. Elde edilen tozların karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Faz analizinin sonuçları, Mn katkılı ZnO nanotozlarının, altıgen bir yapıda tek bir ZnO fazına sahip olduğunu ortaya çıkardı. Mikroyapısal ve UV-görünür karakterizasyon sonuçlarına göre Mn katkısı, ZnO nanotozlarının morfolojilerini ve optik özelliklerini değiştirmiştir. Ayrıca sonuçlar, Mn ilavesinin sentezlenmiş ZnO nanotozların antibakteriyel performansını önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Mn katkılı ZnO, Püskürtmeli kurutma, Optik özellikler, Antibakteriyel özellikler

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Şeyma DUMAN, seyma.duman@btu.edu.tr

1. INTRODUCTION

ZnO is an important material due to its low cost, environment-friendly, high stability property, and high optical transparency thanks to its direct large bandgap (3.37 eV) and high binding energy (60 meV) [1,2]. By doping the transition metals (Fe, Mn, Co, Cr, Ni) into ZnO, the properties of ZnO nanostructures can be altered like the shape and size of the nanoparticles, and its optical, antibacterial, electrical, and magnetic properties can be enhanced [2,3]. Transition metals doped ZnO, especially manganese (Mn), is a promising functional material with good optic, ferromagnetic, photocatalytic activity, and antibacterial properties due to the fact that new energy situation within the bandgap of ZnO is generated by Mn⁺² doping [4]. So, it can be used for applications including optoelectronics, solar cells, varistors, high performance, and biomedical sensors [4,5]. Furthermore, Mn-doped ZnO nanoparticles display strong absorption in the UV visible range [6,7]. It was reported by Ma and Wang [7] who found that while particle size decreased, the absorbance of UV light increased. Venkataprasad Bhat and Deepak were also reported that increasing calcination temperature was increased the particle size of nanoparticles [6,8]. According to studies in the literature, when Mn concentration into ZnO is increased, the optical band gap and particle size of nanopowders decrease [6,9].

Various methods have been studied for obtaining Mn-doped ZnO nanopowders such as hydrothermal, solvothermal, sol-gel, and chemical vapor deposition [6,10-12]. Synthesis of Mn-doped ZnO nanopowders which has homogeneous dispersed can be difficult with only a thermal decomposition process by using acetate-based powders [13,14]. Therefore, spray drying, which is transformed from feed slurry to dry homogeneous granules by spraying into a hot medium, was performed as a preliminary process [13-15]. The preparation of anode material for lithium-ion batteries was successfully carried out by spray drying and subsequent thermal decomposition [16].

The present study reports the synthesis of Mn-doped ZnO particles during thermal decomposition of spray dried manganese acetate doped zinc acetate-based granules. The effect of various Mn dopant concentrations and different thermal decomposition temperatures were investigated. The characterization of the ultimate powders was conducted using by scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS), nano-particle size distribution (Nano-PSD), specific surface area measurement (BET), X-ray diffractometer (XRD), UV-vis. spectroscopy, true, and apparent density measurements. The antibacterial performance of the nanocomposites was investigated. The results showed that the addition of Mn can significantly improve the antibacterial performance of the synthesized nanocomposites with also improving their optical properties.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Fabrication Procedure

Zinc acetate dihydrate (Zn(CH₃COO)₂·2H₂O Alfa AesarTM), manganese acetate tetrahydrate (Mn(CH₃COO)₂·4H₂O Alfa AesarTM) all in powder form were used as starting materials. Aqueous solutions of 1 M zinc acetate (hereafter Zn(Ac)₂) were prepared by dissolving it in 50 ml distilled water. For the preparation of doped samples, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, or 0.05 M manganese acetate (hereafter Mn(Ac)₂) was added into the zinc acetate solution and stirred to obtain homogeneous solutions at room temperature for 30 minutes. Prepared five different solutions were spray dried prior to thermal decomposition using a laboratory-scale spray dryer. Spray drying conditions such as inlet temperature, feed rate, and drying air flow rate were adjusted 220°C, 3 ml/min and 800 ml/min, respectively. Also, these experiments were spray dried by using on Büchi brand Mini Spray-Dryer B-290. 2 g of the spray dried powders were placed in an alumina crucible and later placed in a furnace. The crucible was heated to 300°C, 400°C and 500°C with a heating rate of 2°C/min in air atmosphere and held for 12 h dwell time at

peak temperature. The flow chart summarizes the experimental details given in Figure 1.

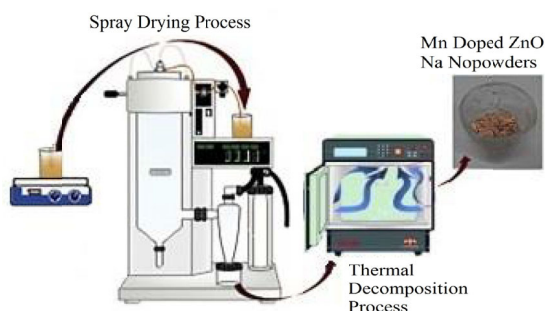


Figure 1. The flow chart showing the applied procedure for prepared samples.

Scanning electron microscopy (FE-SEM, Quanta™ FEG 250) and energy-dispersive spectroscopy (EDS) characterized the morphology of the synthesized Mn-doped ZnO nanopowders. X-ray diffraction (XRD, Bruker™ D8 Advance) analyses were performed on the crystal structures using Cu α radiation in a scanning range from 20° to 80° with a step size of $2^\circ/\text{min}$ on the 2θ . Particle size measurements of the powders were conducted using Microtrac™ Stabino Particle Size Distribution. The specific surface area of the synthesized nanopowders prepared in this study was measured using the Brunauer–Emmett–Teller (BET) method via Quantachrome™ Autosorb-1 MP device. For this purpose, all samples were outgassed for at least 3 h at 120°C prior to the adsorption measurements. The apparent and true densities were measured with Arnold density measurement kit and helium pycnometer (Micromeritics™, Accupyc 1330), respectively. The optical absorbance of the synthesized powders was determined by a Shimadzu™ UVmini-1240 UV-vis Spectrophotometer in the wavelength range between 200 and 800 nm.

Antibacterial activity tests were performed with *Staphylococcus aureus* (S. aureus), yeast and mold ATCC 6538 and ATCC) suspensions of microorganisms in a pH 7 Maximum Recovery Diluent according to ASTM 2149 method. Also, Model bacteria *Escherichia coli* (E. coli), which is yeast and mold (ATCC 35218) suspensions of microorganism, was tested with different

nanocomposites in the same method. Nanocomposites were weighed as 1 g and placed in a 250 mL flask with 50 mL of microorganism solution. The sealed flasks were shaken at 37°C in an incubator, and solution samples were collected after 10 minutes, 20 minutes, and 30 minutes of contact times. Serial dilutions of the solutions contacting the surfaces were plated on Muller-Hinton II agar and incubated for a duration of 24 h and a temperature of 37°C . The presence of viable bacteria was determined by Colony counts.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In our previous studies [13,14], it was reported the synthesis of ZnO nanoparticles by spray drying and subsequent thermal decomposition processes as a result of the decomposition reaction of zinc acetate into ZnO. In this study, the same processes were used and Mn-doped ZnO was synthesized by using manganese acetate tetrahydrate as a dopant material and compared with ZnO nanopowders synthesized previously.

Figure 2 shows FE-SEM micrographs of the spray dried powders and the synthesized Mn-doped ZnO nanopowders. It is clear that spherical granules were obtained after spray drying of zinc acetate based solution (Figure 2a). We observed similar granulation behavior for the Mn-doped ZnO nanopowders as well. During thermal decomposition of zinc acetate to ZnO, new nanoparticles were created by destroying spray dried spherical granules. It is determined in the previous study that a characteristic morphology was not observed after the thermal decomposition of zinc acetate in the absence of dopants [14]. It is shown in Figure 2b-d that rod-shaped morphology was achieved in the presence of Mn dopant after the thermal decomposition process, but this morphology has an irregular structure. Because of Mn doping, the length, and diameter of rod-shaped ZnO nanoparticles increases in comparison to the undoped one. It was previously found reported in the article by Panda et. al [17] that the diameter and length of Mn-doped ZnO nanorods showed a slight increase comparing to the undoped ZnO nanorods. It is very clear that dopants play a key role in the change of morphology.

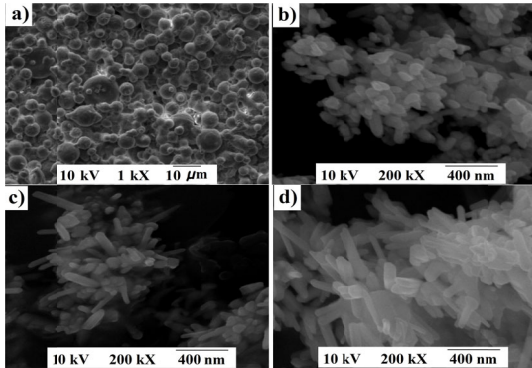


Figure 2. SEM micrographs of the synthesized Mn doped ZnO nanopowders: a) Spray dried zinc acetate powders, b) Z-1M, c) Z-3M and d) Z-5M

The physical properties of powders after thermal decomposition process are summarized in Table 1. While the particle sizes for undoped and

Mn doped ZnO nanopowders were between the range of 235-306 nm. It was observed that with Mn doping and the increase of dopant concentrations, particle size was decreased whereas the BET surface area was increased in the range of 18.50- 28.04 m²/g. The theoretical density of ZnO is 5.61 g/cm³. Apparent and true densities of the synthesized Mn doped ZnO nanopowders are given in Table 1. While the apparent density values for undoped and Mn doped ZnO nanopowders decreased from 0.25 g/cm³ to 0.18 g/cm³, true density values increased from 5.58 g/cm³ to 5.62 g/cm³. The theoretical density of Mn is 7.21 g/cm³ and when Mn incorporated into ZnO, true density values were increased. Mn doped ZnO nanopowders displayed poor flow and packing characteristics due to the formation of rod-like and irregular structures; therefore, apparent density values decrease.

Table 1. Physical properties of the synthesized Mn doped ZnO nanopowders

Sample	Particle Size (nm)	Specific surface area (m ² /g)	Length /Diameter (L/D)	Apparent Density (g/cm ³)	True Density (g/cm ³)
Z	306	18.50	2.5	0.25±0.03	5.58±0.05
Z-1M	298.8	25.40	2.6	0.23±0.01	5.58±0.06
Z-2M	295.7	25.48	-	0.22±0.03	5.59±0.02
Z-3M	292.1	25.57	3.1	0.20±0.07	5.60±0.05
Z-4M	290.3	26.63	-	0.20±0.06	5.61±0.09
Z-5M	289	28.04	3.5	0.18±0.09	5.62±0.01

Z-5M sample synthesized at 300°C was selected due to its high density and synthesized at 400°C and 500°C for investigating the effect of different temperatures. SEM micrographs of the synthesized Z-5M nanopowders at different temperatures were shown in Figure 3. It can be observed from Figure 3 that the morphologies of the Mn doped ZnO changes greatly with an increase in temperature. Thermal decomposition at temperatures higher than 500°C led to having in thicker rod-diameter and shorter rod-length of the nanoparticles. Toloman et. al. [18] reported that the morphology is clearly improved when the temperature increases.

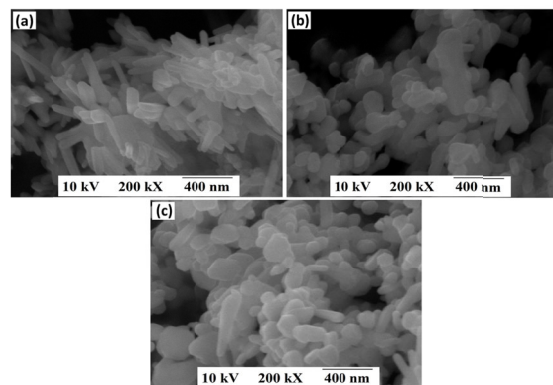


Figure 3. SEM micrographs of the synthesized Z-5M nanopowders at different temperatures: a) 300 °C, b) 400 °C and c) 500 °C.

The density results of the synthesized Z-5M nanopowders at different temperatures are tabulated in Table 2. In this table, it can be noticed a decrease in apparent density with increasing the thermal decomposition temperature. Furthermore, the true density of Z-5M nanopowders, determined as 5.62 g/cm³, increased with increasing of temperature and was measured as 5.65 g/cm³.

Table 2. Density results of the synthesized Z-5M nanopowders at different temperatures

Temperature (°C)	Apparent Density (g/cm ³)	True Density (g/cm ³)
300	0.18±0.09	5.62±0.01
400	0.16±0.04	5.63±0.014
500	0.11±0.03	5.65±0.02

Figure 4a presents the XRD patterns of Mn doped ZnO nanopowders by thermal decomposition of the spray dried powders. It was confirmed in the XRD patterns that the peaks of ZnO have crystalline quality and peaks position are in good agreement with standard JCPDS card no. 70-8070 [14]. The high-density peaks corresponding to the planes (100), (002), and (101) are clear evidence of the formation of the hexagonal structure of ZnO. No other peaks corresponding to Mn related secondary or impurity phase was found in Mn-doped ZnO nanopowders. This situation was commented in the literature as the incorporation of Mn ion into the Zn lattice site [19]. Furthermore, peaks intensity of Mn doped ZnO nanopowders increased with increasing of Mn concentration.

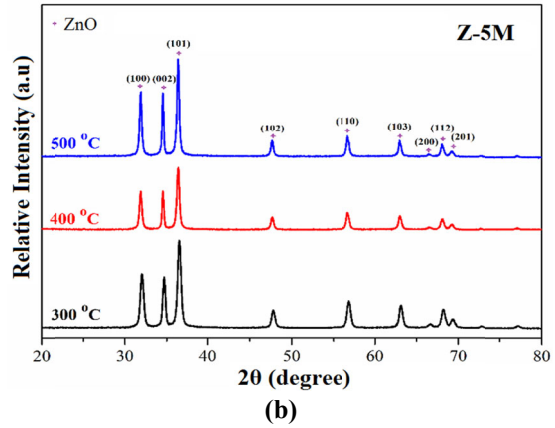
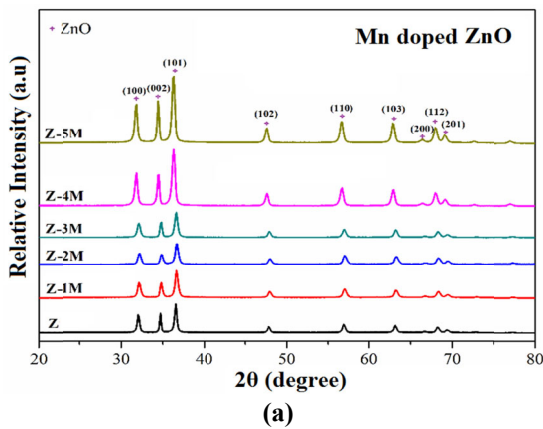


Figure 4. XRD patterns of the synthesized nanopowders by thermal decomposition of the spray dried powders: a) Mn doped ZnO and b) Z-5M synthesized at different temperatures

Figure 4b shows the XRD patterns of the Z-5M nanopowders synthesized by thermal decomposition at different temperatures of the spray dried powders. While thermal decomposition temperature increased to 400 °C and 500 °C, crystalline quality increased and all the diffraction peaks were in accordance with the JCPDS card no. 70-8070. Except for ZnO characteristic peaks, no extra peaks which can be composed of manganese clusters, zinc or their complex oxides could be detected. These results are in good agreement with those obtained by Ahmed [20].

The average crystallite sizes of undoped and Mn-doped ZnO nanopowders are estimated from the full width at half maximum (FWHM) of the XRD peaks using Debye-Scherrer's equation as follows:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

where β is the corrected half-peak width of the experimental sample (FWHM), θ is Bragg angle, λ is the X-ray wavelength (1.54 Å), and k is the shape factor of value 0.9. The mean crystallite sizes of the samples synthesized in different Mn concentrations are given in Table 3. The XRD patterns show a slight shift in the peaks of the high concentration of Mn doping compared to undoped

ZnO nanopowders. According to Table 3, the mean crystalline size of the undoped and Mn-doped ZnO nanopowders is in the range of 22.7–28.1 nm. The small grain growth of Mn doped ZnO as compare to pure ZnO nanoparticles resulted in a decrease in the mean crystallite size when Mn doping in ZnO crystal increases. Mote et al. [5] also reported quite parallel mean crystallite size for Mn-doped ZnO samples. The mean crystallite sizes of the Z-5M sample synthesized in different thermal

decomposition temperature are given in Table 4. Using the plane (101) (main peak) for Z-5M nanopowders, the crystallite size was found to increase in this thermal decomposition range (Table 4). ZnO crystallite size increased from 22.7 nm for the Z-5M sample thermally decomposed at 300°C to 26.4 and 31.3 nm for Z-5M samples thermally decomposed at 400 and 500°C. However, the XRD patterns show slight in the peaks of Z-5M with an increase in temperature.

Table 3. XRD results of undoped and Mn doped ZnO nanopowders

Mn concentration (M)	(101), 2θ (°C)	D (nm)	Lattice parameters	
			a (Å ^o)	c (Å ^o)
0	36.871	28.1	3.2496	5.2065
1	36.832	27.8	3.2501	5.2069
3	36.778	25.9	3.2510	5.2088
5	36.615	22.7	3.2519	5.2094

Table 4. XRD results of Z-5M nanopowders synthesized at different temperatures

Temperature (°C)	(101), 2θ (°C)	D (nm)	Lattice parameters	
			a (Å ^o)	c (Å ^o)
300	36.615	22.7	3.2519	5.2094
400	36.587	26.4	3.2498	5.2019
500	36.413	31.3	3.2432	5.1911

Effect of dopant and temperature on optical properties of the synthesized samples by thermal decomposition of the spray dried powders was determined by UV-vis Spectrophotometric analysis at room temperature. Figure 5 shows

optical absorption spectra of Mn doped ZnO nanopowders in the visible range prepared by synthesizing in different Mn concentration and thermally decomposing at various temperatures.

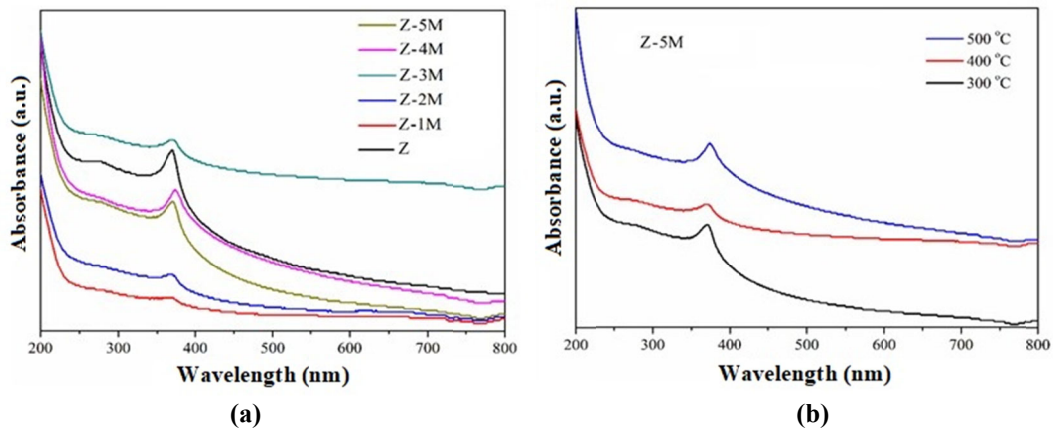


Figure 5. UV-vis spectroscopy of the synthesized samples: (a) Mn doped ZnO in different concentrations and (b) Z-5M sample in different temperatures

In the previous study, a single and the characteristic band peaking of undoped ZnO nanopowders was indicated at 375 nm [14]. It can be seen from Figure 5a that the absorption peak of Mn doped ZnO get shifted towards higher energy values compared to undoped ZnO. This situation shows that optical properties in the visible region improve with Mn doping. Our UV-vis results are in agreement with Li et al. [21] reported enhancing optical properties while the sample color is darker. Figure 5b shows the optical absorption spectra of Z-5M nanopowders in the visible range thermally decomposed at various temperatures. The thermally decomposed Z-5M nanopowders at different temperatures revealed the increase in the intensity of the 381 nm peak (the characteristic peak of wurzite structure of ZnO) increases with the increase of the decomposition temperature. The resulting Z-5M nanorods exhibited enhanced

optical properties even after thermal decomposition at high temperatures.

Antibacterial activities of ZnO and Mn doped ZnO nanopowders synthesized at 300°C are shown in Table 5. Our study aimed to develop the antibacterial properties of ZnO nanopowders by Mn addition. According to antibacterial activity results in Table 5, the antibacterial activity of the Mn doped ZnO granules is impressed regardless of dependent on the type of bacteria in both gram-positive and gram-negative bacteria. Mn doped ZnO nanopowders had stronger antibacterial activity against the Gram-positive bacterium *S. aureus* than against the Gram-negative bacterium *E. coli*. Moreover, the antibacterial properties of Z-5M nanopowders increased with decreasing crystallite size.

Table 5. Antibacterial activities of ZnO and Mn doped ZnO nanopowders synthesized at 300°C

Samples	Concentrations (mg/L)	D (nm)	Zone of inhibition (ZOI) (mm)	
			<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
Z	50	28.1	21	23
Z-3M	50	25.9	23	25
Z-5M	50	22.7	26	29

4. CONCLUSIONS

The effects of the dopant concentration and thermal decomposition temperature on the morphology of the Mn doped ZnO nanopowders synthesized via spray drying and subsequent thermal decomposition processes have been investigated in the present study. Based on the obtained results, the following conclusions can be drawn:

1. Microstructural characterizations by SEM revealed that new ZnO nanoparticles have rod-like structures, were created by destroying spray dried zinc acetate spherical granules. It is very clear that dopant and temperature play a key role in morphology changing.
2. The Mn doping was increased true densities, as the particle sizes of ZnO decreased. The temperature was also increased the true densities of Mn doped ZnO nanopowder.

3. From XRD investigations result that the Mn doped ZnO for the analyzed samples increases with the decrease of the Mn concentration. Contrary to this, the crystallite size for the analyzed samples increases with the increase of the thermal decomposition temperature.
4. As a result of our investigations, it seems that the optical properties in Mn doped ZnO nanopowders gave similar results with those low-temperature thermally decomposed samples. Furthermore, the optical properties in the Z-5M sample enhanced after thermally treated at high temperatures.
5. The antibacterial activity is enhanced for Mn doped ZnO nanopowders by Mn doping.

5. ACKNOWLEDGE

This work is supported by ITU-BAP 36459 project.

6. REFERENCES

1. Ozgur U., Alivov Y.I., Liu C., Take A., Reshchikov M.A., Dogan S., Avrutin V., Cho S.J., Markoc H., 2005. A Comprehensive Review of ZnO Materials and Devices, *Journal of Applied Physics*, 98, 041301.
2. Khosravi-Gandomani S., Yousefi R., Jamali-Sheini F., Huang N.M., 2014. Optical and Electrical Properties of P-type Ag-doped ZnO Nanostructures, *Ceramics International*, 40, 7957-7963.
3. Yousefi, R., Jamli-Sheini, F., 2012. Effect of Chlorine Ion Concentration on Morphology and Optical Properties of Cl-doped ZnO Nanostructures, *Ceramics International*, 38(7), 5821-5825.
4. Ravichandran, K., Karthika, K., Sakthivel, B., Jabena Begum, N., Snega, S., Swaminathan, K., Senthamilselvi, V., 2014. Tuning the Combined Magnetic and Antibacterial Properties of ZnO Nanopowders Through Mn Doping for Biomedical Applications, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 358-359, 50–55.
5. Mote, V.D., Dargad, J.S., Purushotham, Y., Dole, B.N., 2015. Effect of Doping on Structural, Physical, Morphological and Optical Properties of $Zn_{1-x}Mn_xO$ Nanoparticles, *Ceramics International*, 41, 15153–15161.
6. Omri, K., El, Ghoul, J., Lemine, O.M., Bououdina, M., Zhang, B., El Mira, L., 2013. Magnetic and Optical Properties of Manganese Doped ZnO Nanoparticles Synthesized by Sol-gel Technique, *Superlattices and Microstructures* 60, 139–147.
7. Ma, X., Wang, Z., 2011. The UV and Blue Light Emission Properties of Mn Doped ZnO Nanocrystals, *Microelectronic Engineering*, 88(10), 3168-3171.
8. Bhat, S.V., Deepak, F.L., 2005. Tuning the Bandgap of ZnO by Substitution with Mn^{2+} , Co^{2+} and Ni^{2+} , *Solid State Communications*, 135(6), 345-347.
9. Senthilkumaar, S., Rajendran, K., Banerjee, S., Chinic, T.K., Sengodan, V., 2008. Influence of Mn Doping on the Microstructure and Optical Property of ZnO, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 11(1) 6-12.
10. Vethanathan, S.J.K., Brightson, M., Sundar, S.M., Perumal, S., 2011. Synthesis of Mn Doped ZnO Nanocrystals by Solvothermal Route and its Characterization, *Materials Chemistry and Physics*, 125, 872–875.
11. Jiang, Y.J., Wang, W., Jing, C.B., Cao, C.Y., Chu, J.H., 2011. Sol-gel Synthesis, Structure and Magnetic Properties of Mn-doped ZnO Diluted Magnetic Semiconductors, *Materials Science and Engineering: B* 176, 1301–1306.
12. Yan, H.L., Wang, J.B., Zhong, X.L., 2011. Zn-catalyzed Growth Processes and Ferromagnetism of Mn-doped ZnO Nanorods on Si Substrate, *Applied Surface Science*, 257, 5017–5020.
13. Duman, Ş., Ozkal, B., 2016. Powder State Characterization of ZnO/C and NiO/C Composite Nanopowders Synthesized Via Spray Drying Subsequent Thermal Decomposition, XIII. International Congress Winter Session ‘Machines, Technologies, Materials’ (MTM 2016), 14-17 September 2016, Varna – Bulgaria, 36-39.
14. Duman, Ş., Ozkal, B., 2016. Effect of Dopant and Binder on the Formation of ZnO Powders During Thermal Decomposition of Spray Dried Zinc-acetate Based Granules, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 18, 705-711.
15. Bertrand, G., Roy, P., Filiatre, V., Coddet, C., 2005. Spray-dried Ceramic Powders: A Quantitative Correlation Between Slurry Characteristics and Shapes of the Granules, *Chemical Engineering Science*, 60, 95-102.
16. Lin, B., Wen, Z.Y., Gu, Z.H., Huang, S.H., 2008. Morphology and Electrochemical Performance of $Li[Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}]O_2$ Cathode Material by a Slurry Spray Drying Method, *Journal of Power Sources*, 175, 564-569.
17. Panda, J., Sasmal, I., Nath, T.K., 2016. Magnetic and Optical Properties of Mn-doped ZnO Vertically Aligned Nanorods Synthesized by Hydrothermal Technique, *AIP Advances*, 6, 035118-10.
18. Toloman, D., Mesaros, A., Popa, A., Raita, O., Silipas, T.D., Vasile, B.S., Pana, O., Giurgiu, L.M., 2013. Evidence by EPR of

- Ferromagnetic Phase in Mn-doped ZnO Nanoparticles Annealed at Different Temperatures, *Journal of Alloys and Compounds*, 551, 502–507.
19. Urbieto, A., Fernández, P., Piqueras, J., 2012. Nanowires and Stacks of Nanoplates of Mn Doped ZnO Synthesized by Thermal Evaporation-deposition, *Materials Chemistry and Physics*, 132, 1119–1124.
 20. Ahmed, S.A., 2017. Structural, Optical, and Magnetic Properties of Mn-doped ZnO Samples, *Results in Physics*, 7, 604–610.
 21. Li, W., Wang, G., Chen, C., Liao, J., Li, Z., 2017. Enhanced Visible Light Photocatalytic Activity of ZnO Nanowires Doped with Mn²⁺ and Co²⁺ Ions, *Nanomaterials* 7, 1-11.

Polyamide 12/Antimony Trioxide/Sepiolite or Boron Composites: Mechanical Properties and Flame Retardancy

**Ahmet ÖZTÜRK¹, Fırat SARIBAL¹, Şeyma DUMAN^{*1,2}, Meral AKKOYUN³,
İbrahim ŞEN², Didem OVALI⁴**

¹Bursa Technical University, Metallurgical and Materials Engineering Department, Bursa

²Bursa Technical University, Central Research Laboratory, Bursa

³Bursa Technical University, Polymer Materials Engineering Department, Bursa

⁴Osmaniye Korkut Ata University, Mechanical Engineering Department, Osmaniye

Geliş tarihi: 28.10.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Abstract

This study reports on the mechanical and flame-retardancy properties of polyamide 12 (PA 12) based composites reinforced with antimony trioxide, sepiolite, or boron powders. These composites were fabricated by the twin-screw extruder and hot-press techniques. The microstructural characteristics and flame-retardancy of the PA 12-based composite samples were obtained by using a scanning electron microscope, a vertical UL-94 burning, and limiting oxygen index tests. The Shore-D hardness, Charpy impact, and tensile tests were conducted to reveal the mechanical performance of composites. The PA 12/antimony trioxide/sepiolite sample presented the best mechanical performance. The additions of antimony trioxide/boron into the PA 12 matrix gave the best contribution to the flame-retardancy.

Keywords: PA 12, Sepiolite, Boron, Mechanical properties, Flame-retardant properties

PA 12/Antimon Trioksit/Sepiyolit veya Bor Kompozitleri: Mekanik Özellikler ve Alev Geciktirme

Öz

Bu çalışmada, antimon trioksit, sepiolit veya bor tozları eklenerek üretilen poliamid 12 (PA 12) esaslı kompozitlerin mekanik ve alev geciktirici özelliklerini rapor edilmiştir. Bu kompozitler, çift vidalı ekstrüder ve sıcak presleme teknikleri ile hazırlanmıştır. PA 12 esaslı kompozitlerin mikroyapısal ve alev geciktirici özellikleri, taramalı elektron mikroskobu, dikey UL-94 yanma testi ve sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI) testleri ile karakterize edilmiştir. Polimer kompozitlerin mekanik performansı, Shore-D sertlik, Charpy darbe dayanımı, ve çekme (dayanımı ve kopma uzaması) testleri ile ortaya çıkarılmıştır. En iyi mekanik performansın antimon oksit/sepiyolit katkılı PA 12 numunesi göstermiştir. Antimon oksit/bor katkısı yapılmış PA 12 bazlı kompozit numunenin en iyi alev geciktirici performansı göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: PA 12, Sepiyolit, Bor, Mekanik özellikler, Alev geciktirici özellikler

*Sorumlu (Corresponding author): Şeyma DUMAN, seyma.duman@btu.edu.tr

1. INTRODUCTION

In today's world, it is known that polymer-based materials are widely used for commercial applications. Moreover, recent developments in polymer composites provide them to have growing application areas due to enhanced specific characteristics such as electrical, thermal, and mechanical properties [1,2]. Flame retardancy has become a prominent behavior with the widespread usage of polymer composites which increases the flammability probability of their ambient [3,4]. Therefore, researchers have recently started to study intensely about the flame retardancy behavior of composite materials.

As one of the most commercial polymers, polyamide 12 (PA 12), which is a semi-crystalline polymer, is indispensable material because of its excellent chemical characteristic and its economical production costs [5]. In addition to that, PA 12 presents superior dimensional stability, relatively higher tensile, and flexural strength [6]. It is also known that PA 12 based composites have the potentials to spread their usage with improved flammable properties [7].

Sepiolite is known as a natural fibrous mineral, which consists of two tetrahedral silica and an octahedral magnesium oxide hydroxide sheets. Its fibrous shape makes it possible to reach outstanding adhesion with many polymer matrices and enables it to result in significant improvement in physical properties [8]. The usage of different filler formations as fibrous and powder together in polymer matrices may lead to developing composite materials with advanced properties [9]. In this manner, alongside antimony trioxide (Sb_2O_3), one of the sepiolite and boron powders is added into the polymer matrix as second reinforcement material.

Boron compounds are usually regarded to show good flame retardancy behavior besides their beneficial effects such as environmentally friendly, preservative effectiveness, and neutral pH [10,11]. So far, the effect of boron element with flame retardant properties have been scarcely reported. In recent years, halogen-free flame retardants such as

bor, nitrogen, silicon have gained much attention by comparison to halogen-containing flame retardants [10,12].

Consequently, developing new composite systems with improved physical properties like flame retardancy behavior is getting attention day by day. This research aims to investigate the synergetic effects of PA 12, Sb_2O_3 , sepiolite/boron combinations in the manners of flame retardancy and mechanical properties. In this aspect, mechanical and flame retardancy characterizations were conducted for each composite batch. Results showed that all reinforcement combinations have a good contribution to the mechanical and flame retardancy properties of PA 12. While the best mechanical performance was obtained by antimony trioxide and sepiolite added PA 12 composite, the best flame-retardancy properties were provided by the antimony trioxide and boron additions.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Fabrication Procedure

PA 12 ($(C_{12}H_{23}NO)_n$), antimony trioxide (Sb_2O_3 ; 99,96% purity), crystalline boron (B; 99,99% purity), and sepiolite ($Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2 \cdot 6H_2O$) was supplied from Oo-Kuma 3D Technologies (Istanbul, Turkey), Sigma Aldrich Corporation (Germany), Merck (Darmstadt, Germany) and Ak-Min Mining Industry Company (Ankara, Turkey), respectively. The sample abbreviations nanocomposite compositions were given in Table 1. PA 12 granules (referred to as PA), Sb_2O_3 (referred to as A), sepiolite (referred to as S), and crystalline boron (B) powders were dried separately in a drying oven at 100°C for 12 h.

Table 1. The samples codes and compositions

Sample code	PA12, wt. %	A, wt. %	S, wt. %	B, wt. %
PA	100	-	-	-
PA/A	60	40	-	-
PA/A/S	40	40	20	-
PA/A/B	40	40	-	20

A laboratory type twin-screw extruder (Polmak™ Plastics Machine Company, Turkey) with 0.79 m length of the barrel and 0.018 m diameter of the screw was performed for the production of nanocomposite fibers. The barrel and die temperatures were adjusted to 100 and 245°C, respectively. The screw speed was 80 rpm. The nine temperature zones of the extrusion barrel were set at 230, 235, 240, 245, 250, 250, 250, 250 and 250°C. After that, all extruded nanocomposite fibers were cut into granules by a chopper. Following, nanocomposites were hot-pressed using Model-M, 3853, Carver press under a pressure of 6 bar at 250°C for 5 min. The hot-pressed composite sheets were in the 20x20 cm dimensions with 4 mm thickness. For the characterization measurements, the nanocomposites were cut into appropriate dimensions by laser-beam cutting. The images of the samples prepared for tensile and Charpy tests are shown in Figure 1.



Figure 1. Images of prepared tensile and Charpy test samples

2.2. Characterization Procedure

Scanning electron microscope (SEM) analyses for morphological observations of nanocomposites were conducted using a field-emission scanning electron microscope (FESEM, Carl Zeiss™ Gemini 300, Germany) at 15 kV. All samples were coated with a mixture of gold and palladium layers before SEM analyses. The Fourier transform infrared (FTIR) spectra of nanocomposites were taken by a Nicolet iS50 FT-IR (Thermo Fisher™ Scientific, USA) spectrometer in the frequency range 4000 and 550 cm^{-1} , operating in ATR (attenuated total reflectance) mode.

Tensile tests were performed with a Shimadzu™ AGS-X test machine (Kyoto, Japan) in order to characterize the mechanical properties of nanocomposites. The crosshead speed was 5 mm/min and a 10 kN load cell was applied. These measurements were performed based on the ASTM D638 standard. The impact test was conducted on V-notched specimens using a 15 J Charpy pendulum (CEAST 9050, Instron, Canton, MA, USA) according to the standard method ISO 179:1993. The load is provided by the impact of weight at the end of a pendulum in the Charpy test. A crack begins arising on the tip of the V-notch and runs via the specimen. The material deforms at a strain rate of 103 s^{-1} . The strength is dissipated at some stage in the fracture. It is calculated from the peak of the pendulum weight earlier than and after impact. The dissipated energy was stated because of the impact toughness consistent with unit fracture cross-section (J/m^2) Instron–Cast 9050. The flammability retardancy tests of the nanocomposite were characterized using the FTT UL-94 test chamber (England). The bar specimens used for the vertical UL-94 test were of dimension 130 x 13 x 3.25 mm. The vertical UL-94 test was executed on bars (three mm thick) in step with the ASTM D3801 well-known test, which provided only a qualitative category of the samples. The limiting oxygen index (LOI) was utilized based on TS EN ISO 4589 (Stanton Redcroft, East Grinstead, UK).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Morphological Characterization

The morphologies of PA and composite samples are examined by SEM in Figure 2. The filler contents of composites seem to be well dispersed according to the SEM images. The surface characteristics of the PA/A sample in Figure 2(b) are more continuous and smoother comparing to PA/A/S and PA/A/B in Figure 2 (c) and (d), respectively. SEM surface analysis of PA/A/S (Figure 2(c)) demonstrated that the sepiolite particles percolated into the gaps between the antimony trioxide particles and fully covered the sepiolite particle surface. In the case of PA/A/S (Figure 2(c)), the surface of the particles becomes rough upon formation, indicating that the surface of the sepiolite was encapsulated with silica. We also no observe a surface porosity of the PA12 microparticles, which are most likely results from the high dopant content. When comparing to sepiolite and boron addition, it can be interpreted that boron addition displays a more discrete appearance. Moreover, sepiolite and boron dopants exhibit more aggregation on the surface of PA/A/S and PA/A/B samples and become an uneven surface. This may cause increased particle-particle interactions because of excessive powder content. Due to the high turbulence levels, where their aggregation took place, and the high concentration of powders, particle-particle interactions materialize at regions close to the channel walls. Therefore, aggregation potentially increases with the intensity of the flow turbulence [13].

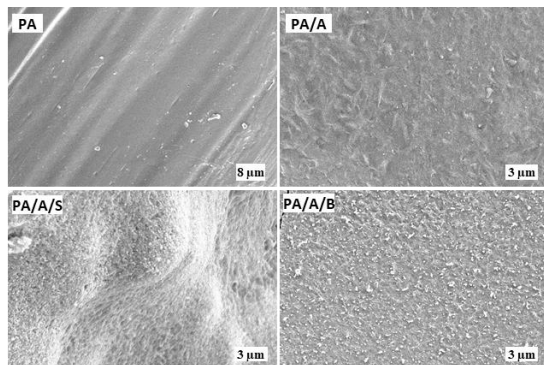


Figure 2. SEM images of composites

3.2. Mechanical Characterization

The Archimedes density and mechanical characterization results of PA and composite samples are given in Table 2. The Archimedes densities of composites increase with filler addition to PA, as expected. In the literature, the Shore D hardness belonging to neat PA is about 59 Sh D which is compatible with our result 60 Sh D [13]. With the addition of antimony trioxide, the Shore D hardness significantly increases to 76.23 Sh D. Furthermore, sepiolite and boron addition make also a good contribution to hardness as seen in Table 2. Tensile strength and elongation breaks of neat PA and composite samples are illustrated in Figure 3. According to this, while the addition of antimony trioxide and sepiolite causes a drastic increase in tensile strength and reduction in elongation break, boron addition into PA/A presents any significant change. As described in Figure 3, tensile strength is inversely proportional to elongation at break. When we increase further additive amounts, agglomeration starts dominating and adversely affecting by decreasing elongations. In the mechanical characterization study, tensile strength has increased, and the elongation at break has decreased with crystallization [6,14,15].

Tensile strength and elongation breaks of PA and composite samples show consistency with their hardness as seen in Table 2 and Figure 3. A notable change is observed for Young's modulus comparing neat PA and composite materials. The PA/A and PA/A/S samples show a significant increase in their Shore D hardness, tensile strength, and Young's modulus which indicates the great contribution of antimony trioxide and sepiolite additions into PA 12 matrix on mechanical performance. Overall, the Shore D hardness, tensile strength, and elongation at break and Young's modulus results of PA/A/B display an increment comparing to PA and PA/A, however, they are under the mechanical performance of PA/A/S. This can be interpreted as sepiolite addition shows a better contribution to the mechanical properties rather than boron addition.

The Charpy impact strength results of neat PA and composite materials are given in Table 3. All

samples were broken during the Charpy test, except neat PA and PA/A. The Charpy impact experiment was conducted at room temperature (RT). In some studies, it is showed that the PA sample may not be broken at RT [16]. When 40 wt.% antimony trioxide powders are added to PA, Charpy impact strength increases to 22.70 kJ/m² from 17.96 kJ/m² of neat PA. Notwithstanding, a further increment in loads of antimony trioxide powder causes the notched impact strength of the nanocomposite to decrease owing to the aggregation of nanoparticles in the PA12 matrix [17].

The values of tensile modulus and Charpy impact strength behave inversely in accordance with the behavior of the additive such as PA/A/S has lower impact strength and higher tensile modulus. According to the table, sepiolite and boron addition into PA/A decreases the absorb impact energy from 106 kJ/m² to 18.9 and 32.8 kJ/m², respectively. The reason for a noticeable decrease in impact strength was stiffness in PA based

composites [15] due to the presence of sepiolite and boron additives. Comparing to Shore D hardness and Charpy impact test results of samples, sepiolite and boron addition make PA/A composites more brittle.

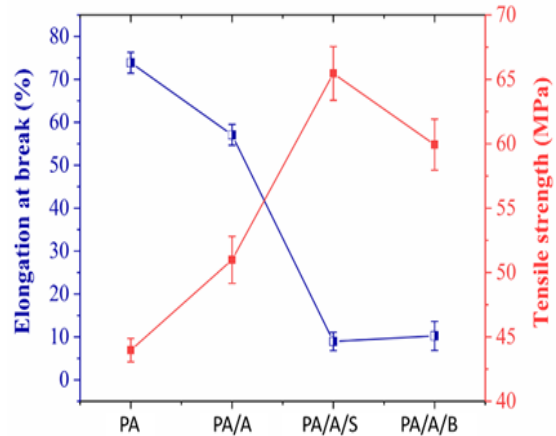


Figure 3. Elongation break and tensile strength of neat PA and composite samples

Table 2. Archimedes density, Shore-D hardness, tensile strength, elongation at break, and Young’s modulus values of neat PA and composite materials

Sample	Archimedes density (g/cm ³)	Shore-D hardness	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young’s modulus (GPa)
PA	1.03 ± 0.07	60,67 ± 0.04	44.0 ± 0.9	73.9 ± 2.4	1.70 ± 3.1
PA/A	1.25 ± 0.05	76,23 ± 0.05	51.0 ± 1.8	57.1 ± 2.4	2.21 ± 2.9
PA/A/S	1.37 ± 0.04	81,55 ± 0.07	65.5 ± 2.1	8.9 ± 2.1	4.83 ± 4.2
PA/A/B	1.29 ± 0.04	79,44 ± 0.05	59.9 ± 2.0	10.2 ± 3.4	3.29 ± 4.6

Table 3. Charpy impact strength of neat PA and composite materials

Sample	Absorbed energy (%)	Impact Energy (kJ m ⁻²)	Energy (J)
PA	17.96 ± 2.0	84.35 ± 0.4	3.30 ± 3.9
PA/A	22.70 ± 1.8	106.57 ± 0.3	3.41 ± 4.3
PA/A/S	4.04 ± 3.6	18.95 ± 0.3	0.61 ± 4.1
PA/A/B	6.99 ± 4.1	32.83 ± 0.2	1.05 ± 4.5

3.3. Flame Retardancy Characterization

In Figure 4, it was shown images of PA-based composite materials which were performed by the UL 94 vertical burning test. The vertical burning

test and LOI test were used to estimate the flammability of PA and composite materials. Table 4 presents the UL94 vertical burning testing results of neat PA and PA-based composites. In the absence of antimony trioxide, sepiolite, and boron

flame retardants, the neat PA ignited cotton placed under the tested sample easily with allowing melt dripping. The vertical UL 94 rating of the neat PA belongs to V-2, certain flame-retardant performance. Antimony trioxide is enhanced the flame retardant efficiency of the polymer composites [18,19], but the PA/A composites correspond to a UL 94 rating of V-2, indicating that only the addition of antimony trioxide into PA did not improve the flame retardant properties. The reason is that antimony trioxide is efficient as a synergist with halogens such as bromine, while it was completely ineffective when used without halogen [20].



Figure 4. Images of composite materials during the vertical burning test

Contrary to this, the flame-retardant properties were enhanced by adding sepiolite and boron into PA. Especially, the flame-retardant performance of PA/A/B improved significantly with the boron addition. PA/A/B composite containing 20 wt.% B achieved a V-0 rating because it extinguished after ignition, and the cotton did not burn. It can also be observed that with the filler of boron, the LOI value has improved significantly. There are many papers that the mechanical properties and flame retardancy were enhanced thanks to sepiolite and boron additive into polymer materials, which is quite similar to the findings of this study [12,21,22].

The LOI value increased from 22.8% for PA to 30.3% for PA/A/B which indicates that boron is a more effective flame retardant for PA rather than sepiolite.

Table 4. Vertical burning test results and limiting oxygen index (LOI) values of PA and composite materials

Sample	Dripping	Rating	LOI value (%)
PA	Yes	V-2	22.8 ± 0.3
PA/A	Yes	V-2	24.1 ± 0.1
PA/A/S	Yes	V-1	26.2 ± 0.2
PA/A/B	No	V-0	30.3 ± 0.2

4. CONCLUSIONS

The effect of antimony trioxide, sepiolite, and boron fillers on the flame-retardancy and mechanical properties of the polyamide 12 (PA 12) were studied in this work. The antimony trioxide added composite sample exhibits a well-dispersed morphology. However, the addition of sepiolite and boron into antimony trioxide added to the PA matrix presents some aggregations. The Shore D hardness and Charpy impact test revealed that the filler additions improved significantly the mechanical strength and toughness of neat PA 12, while they also caused brittleness. After filler of antimony trioxide with sepiolite into PA, the Young modulus value increased by about 180%, the tensile strength value increased by over 45%, and the elongation at break value decreased by about 85% when compared with other PA composite samples. Filler of antimony trioxide with sepiolite or boron shows a remarkable improvement in the flame-retardant performance of the neat PA 12. Especially, the flame-retardancy properties of PA 12 were markedly improved by the combination of antimony trioxide and boron.

5. ACKNOWLEDGE

The authors of this study would like to express their appreciation to Murat EROĞLU (Central Research Laboratory, Bursa Technical University) for his help in SEM analysis.

6. REFERENCES

1. Dasari, A., Yu, Z.Z., Cai, G.P., Mai, Y.W., 2013. Recent Developments in the Fire Retardancy of Polymeric Materials. Progress in

- Polymer Science, 38(9), 1357–1387.
2. Li, F., Jianhuai, W., Jiongtian, L., Bingguo, W., Shuojiang, S., 2007. Preparation and Fire Retardancy of Antimony Oxide Nanoparticles/Mica Composition. *Journal of Composite Materials*, 41(12), 1487–1497.
 3. Hull, T.R., Witkowski, A., Hollingbery, L., 2011. Fire Retardant Action of Mineral Fillers. *Polymer Degradation Stability*, 96(8), 1462–1469.
 4. Lim, K.S., Bee, S.T., Sin, L.T., Tee, T.T., Ratnam, C.T., Hui, D., Rahmat, A.R., 2016. A Review of Application of Ammonium Polyphosphate as Intumescent Flame Retardant in Thermoplastic Composites, *Composite Part B: Engineering*, 84, 155–174.
 5. Chen, P., Tang, M., Zhu, W., Yanga, L., Wen, S., Yan, C., Ji, Z., Nan, H., Shi, Y., 2018. Systematical Mechanism of Polyamide-12 Aging and Its Microstructural Evolution During Laser Sintering. *Polymer Testing*, 67, 370–379.
 6. Hongsriphan, N., Patanatabutr, P., Nongyai, N., Pariyathada, N., Torudomsak, S., 2019. Mechanical and Thermal Properties of Blends Between Poly(Butylene Succinate) and Polyamide 12, *Materials Today: Proceedings*, 17, 1977–1986.
 7. Lao, S.C., Wu, C., Moon, T.J., Koo, J.H., Morgan, A., Pilato, L., Wissler, G., 2009. Flame-retardant Polyamide 11 and 12 Nanocomposites: Thermal and Flammability Properties. *Journal of Composite Materials*, 43(17), 1803–1818.
 8. Ruiz-Hitzky, E., Darder, M., Fernandes, F.M., Wicklein, B., Alcântara, A.C.S., Aranda, P., 2013. Fibrous Clays Based Bionanocomposites, *Progress in Polymer Science*, 38(10-11), 1392–1414.
 9. Laoutid, F., Bonnaud, L., Alexandre, M., Lopez-Cuesta, J.M., Dubois, P., 2009. New Prospects in Flame Retardant Polymer Materials: from Fundamentals to Nanocomposites. *Materials Science Engineering R: Reports*, 63(3), 100–125.
 10. Martín, C., Hunt, B.J., Ebdon, J.R., Ronda, J.C., Cadiz, V., 2006. Synthesis, Crosslinking and Flame Retardance of Polymers of Boron-Containing Difunctional Styrenic Monomers, *Reactive Functional Polymers*, 66(10), 1047–1054.
 11. Dogan, M., Unlu, M.S., 2014. Flame Retardant Effect of Boron Compounds on Red Phosphorus Containing Epoxy Resins, *Polymer Degradation Stability*, 99, 12–17.
 12. Xie, K., Gao, A., Zhang, Y., 2013. Flame Retardant Finishing of Cotton Fabric Based on Synergistic Compounds Containing Boron and Nitrogen, *Carbohydrate Polymers* 988(1), 706–710.
 13. Afkhami, M., Hassanpour, A., Fairweather, M., 2019. Effect of Reynolds Number on Particle Interaction and Agglomeration in Turbulent Channel Flow, *Powder Technology*, 343, 908–920.
 14. Pukánszky, B., 1990. Influence of Interface Interaction on the Ultimate Tensile Properties of Polymer Composites. *Composites* 21(3), 255–262.
 15. Shah, K.J., Shukla, A.D., Shah, D.O., Imae, T., 2016. Effect of Organic Modifiers on Dispersion of Organoclay in Polymer Nanocomposites to Improve Mechanical Properties. *Polymer* 97, 525–532.
 16. Nascimento, R.A., de Souza, A.M.C., 2016. Mechanical Properties of Polyamide 12 After Exposed to Biodiesel; *AIP Conference Proceedings*, 1779, 070010.
 17. Xie, X.L., Li, R.K.Y., Liu, Q.X., Mai, Y.W., 2004. Structure-Property Relationships of In-situ PMMA Modified Nano-Sized Antimony Trioxide Filled Poly (Vinyl Chloride) Nanocomposites. *Polymer*, 45(8), 2793–2802.
 18. Qu, H., Wu, W., Zheng, Y., Xie, J., Xu, J., 2011. Synergistic Effects of Inorganic Tin Compounds and Sb₂O₃ on Thermal Properties and Flame Retardancy of Flexible Poly (vinyl chloride). *Fire Safety Journal*, 46(7), 462–467.
 19. Yurddaskal, M., Nil, M., Ozturk, Y., Celik, E., 2018. Synergetic Effect of Antimony Trioxide on the Flame Retardant and Mechanical Properties of Polymer Composites for Consumer Electronics Applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(6), 4557–4563.
 20. Yu, L., Wang, W., Xiao, W., 2004. The Effect of Decabromodiphenyl Oxide and Antimony Trioxide on the Flame Retardation of Ethylene-

- Propylene-Diene Copolymer/Polypropylene Blends, *Polymer Degradation Stability*, 86(1), 69–73.
21. Ho, T.H., Hwang, H.J., Shieh, J.Y., Chung, M.C., 2009. Thermal, Physical and Flame-Retardant Properties of Phosphorus-Containing Epoxy Cured with Cyanate Ester, *Reactive Functional Polymers*, 69(3), 176–182.
 22. Duquesne, E., Moins, S., Alexandre, M., Dubois, P., 2007. How Can Nanohybrids Enhance Polyester/Sepiolite Nanocomposite Properties?, *Macromolecular Chemistry Physics*, 208(23), 2542–2550.

Fonksiyonel Derecelenmiş Sandviç Kirişlerin Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi ile Statik Analizi

Ahmad Reshad NOORİ¹, Hasibullah RASOOLİ², Timuçin Alp ASLAN^{*2},
Beytullah TEMEL²

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

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

Geliş tarihi: 07.12.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Öz

Bu çalışmada, Fonksiyonel Derecelenmiş (FD) malzemeli simetrik ve simetrik olmayan katmanlardan oluşan sandviç kirişlerin statik davranışı araştırılmıştır. Mekanik özellikleri kesit yüksekliği boyunca değişen sandviç kirişlerin, yüzey tabakaları FD, çekirdek veya öz tabakası ise izotropik homojen malzeme olarak kabul edilmiştir. FD Sandviç kirişlerin eğilme davranışını idare eden kanonik denklemler minimum toplam enerji prensibi yardımıyla Euler-Bernoulli ve Timoshenko kiriş teorilerine göre elde edilmiştir. Elde edilen bu denklemler Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi (TFY) ile sayısal olarak çözülmüştür. Araştırmada, farklı sınır koşullarının, uzunluk-yükseklik (L/h) oranlarının, malzeme değişim katsayılarının ve tabakalanma oranlarının kirişlerin eğilme davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Önerilen yöntemin doğruluğu ve uygulanabilirliği, elde edilen sonuçların literatürde bulunan çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılarak gösterilmiştir.

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

Static Analysis of Functionally Graded Sandwich Beams by the Complementary Functions Method

Abstract

In this paper, the static analysis of sandwich Functionally Graded (FG) beams made of symmetric and asymmetric layers is investigated. The surface layers of the sandwich beam of which mechanical properties change along the thickness of the section are functionally graded and the material of the core layer is assumed to be isotropic homogenous. Canonically equations that govern the bending response of sandwich FG beams are obtained with the aid of the minimum total potential energy principle based on Euler-Bernoulli and Timoshenko beam theories. Obtained equations are solved numerically via the Complementary Functions Method (CFM). In this research the effects of different boundary conditions, length-height (L/h) ratios, material variation coefficients and layer ratios on the bending response of the

* Sorumlu (Corresponding author) yazar: Timuçin Alp ASLAN, taslan@cu.edu.tr

beam are investigated. The accuracy and applicability of the suggested approach are demonstrated by comparing the current results with those of the existing studies in the literature.

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

1. GİRİŞ

FD malzemeler, sahip olduğu birçok üstün mekanik özelliklerinden dolayı denizcilik, inşaat ve havacılık gibi çeşitli mühendislik dallarında geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. İstenilen mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için bu malzemeler, çoğu zaman katmanlı olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamaya en iyi örnek FD sandviç kirişler verilebilir. Bu nedenle FD sandviç kirişlerin statik ve dinamik analizi önem kazanmış olup, davranışları birçok araştırmacı tarafından farklı yöntemler ve teoriler kullanılarak incelenmiştir.

Vo ve arkadaşları [1], yarı-üç boyutlu kiriş teorisini kullanarak düzgün yayılı yükler altındaki FD malzemeli simetrik ve simetrik olmayan sandviç kirişlerin statik davranışını incelemek için çeşitli sonlu eleman modelleri geliştirmişlerdir. Kadoli ve arkadaşları [2], yüksek mertebe kayma deformasyon teorisini kullanarak, sabit ve ankastre sınır koşullarına sahip FD kirişlerin statik davranışını incelemişlerdir. Şimşek ve arkadaşları [3], Timoshenko kiriş teorisini (TKT) kullanarak çeşitli kesit özellikleri ve sınır koşullarına sahip FD sandviç kirişlerin, sabit ivme ile hareket eden harmonik yükler altındaki statik, serbest ve zorlanmış titreşim analizlerini incelemişlerdir. Şimşek [4], basit mesnetli FD malzemeli kirişlerin statik davranışlarını Ritz metoduyla incelemiştir. Bunun yanı sıra elastisite modülünün değişiminin gerilme ve şekil değiştirme üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Demirhan ve Taşkın [5] ise, transfer matris metodu yöntemi ile öz ve yüzey kalınlık oranlarının FD sandviç kirişlerin doğal frekans değerleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Aslan ve arkadaşları [6], FD malzemeli kirişlerin serbest titreşim frekanslarını TFY yardımı ile sayısal olarak elde etmişlerdir. Karamanlı [7], iki

yönlü FD sandviç kirişlerin farklı sınır şartlarına sahip üniform yayılı yükler etkisi altındaki statik davranışlarını yarı-üç boyutlu teorisi ve İnterpolasyonlu Parçacık Hidrodinamiği yöntemleri yardımı ile incelemiştir. Fereidoon ve arkadaşları [8], Euler-Bernoulli ve yüksek mertebe kayma deformasyon teorisini kullanarak, radyal yükleme altındaki eğri eksenli ve enine doğrultuda FD malzemeli sandviç kirişlerin statik davranışını incelemişlerdir. Li ve arkadaşları [9], Timoshenko ve Euler-Bernoulli kiriş teorilerini (EBKT) kullanarak FD kirişlerin farklı sınır koşulları altında eğilme davranışlarını analitik olarak incelemişlerdir.

Vo ve arkadaşları [10], Hamilton prensibi yardımıyla olayı idare eden hareket denklemlerini elde etmişler ve FD kirişlerinin statik ve serbest titreşim analizlerini kayma deformasyon teorisini kullanarak yapmışlardır. Noori ve arkadaşları [11], malzeme özellikleri eksen boyunca derecelenmiş çeşitli sınır şartlarına sahip FD kirişlerin farklı yükler altında gösterdiği eğilme tepkisini TFY yardımı ile incelemişlerdir. Sayyad ve Avhad [12], hiperbolik kayma deformasyon teorisini kullanarak yüzey malzemesi kalınlık boyunca değişen simetrik FD sandviç kirişlerin statik ve serbest titreşim analizlerini yapmışlardır. Apetre ve arkadaşları [13], birçok mevcut sandviç kiriş teorilerinin tek boyutlu FD çekirdekli sandviç plakların üzerine uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Çalışmalarında dört farklı analitik modelleri, sonlu eleman çözümleri ile karşılaştırmışlardır.

Erdurcan ve Cunedioğlu [14], malzeme özellikleri kalınlık boyunca fonksiyonel değişen ankastre mesnetli sandviç kirişin serbest titreşim analizini Timoshenko Kiriş Teorisi (TKT)'yi kullanarak incelemişlerdir. Kahya ve Mosallam [15], orta tabakası homojen izotropik, diğer iki tabakası

kompozit malzemeli sandviç kirişlerin hareketli yükler altındaki dinamik davranışlarını Newmark metoduyla sayısal olarak incelemişlerdir. Zenkour ve Sobhy [16], geliştirilmiş sinüzoidal kayma deformasyon teorisini kullanarak basit mesnetli elastik zemin üzerine oturan FD viskoelastik sandviç kirişlerin eğilme analizini yapmışlardır.

Noori ve arkadaşları [17], aksel yönde FD kemerlerin düzlem içi yükler altındaki serbest ve zorlanmış titreşim analizi için etkin bir yöntem geliştirmişlerdir. Das ve Sarangi [18], basit mesnetli FD kirişin statik davranışını incelemek için ANSYS'te BEAM-188 elemanı kullanarak modellemiş ve neticesinde elde ettikleri sonuçları literatür sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Frostig ve Baruch [19], tabakalı köpük çekirdekli sandviç kirişlerin tekil ve düzgün yayılı yükler altındaki statik analizini analitik olarak araştırmışlardır.

Uzay ve Geren [20], farklı uzunluk çekirdek kalınlıklarında üretilen düşük yoğunluklu polimer köpük çekirdekli sandviç kirişlerin eğilme analizlerini deneysel olarak incelemişler ve elde edilen sonuçları teorik sonuçlarla karşılaştırmışlardır. TFY, çeşitli mühendislik problemlerinde kolay uygulanabilirliği, başarılı ve yüksek hassasiyetli sonuçların elde edilebilmesi için oldukça etkin olduğu gibi nedenler ile yaygın olarak uygulanmıştır [21-33].

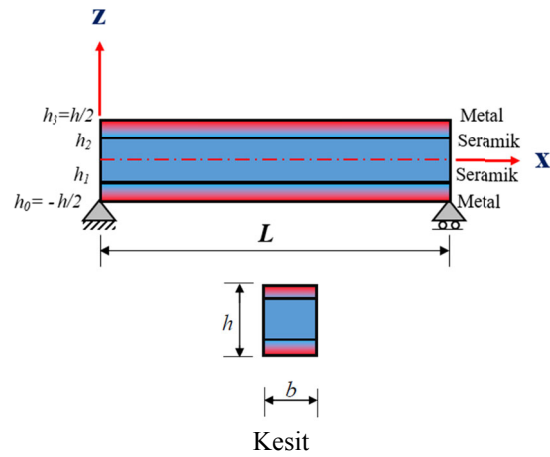
Yazarların bilgisine göre, FD malzemeli sandviç kirişlerin eğilme analizini TFY ile inceleyen hiçbir çalışma ile karşılaşılmamıştır. Bu kirişlerin statik yükler altındaki davranışı ilk kez bu araştırmada TFY ile ele alınmıştır. Minimum toplam potansiyel enerji ilkesi kullanılarak olayı idare eden denklemler çıkarılmıştır.

Bu araştırmada, farklı sınır koşullarının, uzunluk-yükseklik (L/h) oranlarının, malzeme değişim katsayılarının ve tabakalanma oranlarının bu tür kirişlerin eğilme davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, simetrik ve simetrik olmayan katmanlardan oluşan FD malzemeli sandviç kirişlerin statik yükler altında beklenen davranışını belirlemenin yanı sıra, bu metodun

etkin ve kolayca uygulanabilirliğini göstermeyi de amaçlamaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Şekil 1'de görülen FD malzemeli sandviç kirişin malzeme değişim fonksiyonu Eşitlik 1'de verilmektedir.



Şekil 1. FD Sandviç kiriş ve malzeme değişimi

$$P^{(i)}(z) = (P_a - P_s) V_b^{(i)}(z) + P_a \quad (1)$$

Burada, P_a ve P_s sırasıyla alüminyum ve seramik bileşenlerine ait malzeme özellikleridir. $V_b^{(i)}$ ise hacim oranı olup, bu çalışmada malzeme değişim katsayısına (nz) bağlı olarak Eşitlik 2'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} V_b^{(1)}(z) &= \left(\frac{z-h_0}{h_1-h_0} \right)^{nz} & z \in [h_0, h_1] \\ V_b^{(2)}(z) &= 1 & z \in [h_1, h_2] \\ V_b^{(3)}(z) &= \left(\frac{z-h_3}{h_2-h_3} \right)^{nz} & z \in [h_2, h_3] \end{aligned} \quad (2)$$

Tabaka kalınlık değişim oranı, kiriş alt yüzeyinden ($z=h_0=-h/2$) üst yüzeyine ($z=h_3=h/2$) üç farklı betimleme ile gösterilir. Örneğin, 1-1-1 oranı, üç eşit katmana sahip bir sandviç kirişi ifade etmektedir. Aksel ve düşey yer değiştirmeler U_x ve U_z , şekil değiştirmeler ise ϵ_x ve γ_{xz} olup,

bu büyüklükler Timoshenko kiriş teorisi için sırasıyla Eşitlik 3-4'te verilmektedir.

$$U_x = u(x,t) + z \theta(x,t) ; U_z = w(x,t) \quad (3)$$

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} + z \frac{\partial \theta}{\partial x} ; \gamma_{xz} = \theta + \frac{\partial w}{\partial x} \quad (4)$$

Sandviç kirişlere ait gerilme ve şekil değiştirme arasındaki ilişkiler Eşitlik 5'te verilmektedir.

$$\sigma_x^{(i)} = E^{(i)}(z) \epsilon_x ; \tau_{xz}^{(i)} = G^{(i)}(z) \gamma_{xz} \quad (5)$$

Eşitlik 5'te verilen $E^{(i)}(z)$ elastisite modülü ve $G^{(i)}(z)$ kayma modülü kiriş kalınlığı boyunca hacim oranına bağlı olarak değişmektedir. Timoshenko kiriş teorisine dayalı olarak minimum toplam potansiyel enerji ifadesi Eşitlik 6'da verilmiştir.

$$\Pi_t = \int_0^L \int_{A_s} \frac{1}{2} \left[\begin{array}{l} A_{11} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2A_{12} \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial x} + \\ A_{22} \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)^2 + A_{33} \left(\theta + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \\ (q_x u + q_z w) \end{array} \right] dA dx \quad (6)$$

Bu eşitlikte görülen A_{11}, A_{12}, A_{22} ve A_{33} , kesit rijitlik sabitlerini simgelemektedir olup, Eşitlik 7'de verilen integrallerden hesaplanmaktadır.

$$\{A_{11}, A_{12}, A_{22}\} = \sum_{i=1}^3 \left(\int_{h_{i-1}}^{h_i} E^{(i)}(z) \{1, z, z^2\} dz \right) \quad (7)$$

$$A_{33} = k_s \sum_{i=1}^3 \left(\int_{h_{i-1}}^{h_i} G^{(i)}(z) dz \right)$$

Burada k_s , kayma düzeltme faktörüdür. Gerekli büyüklüklerin impulsif bileşenleri ve türevleri teşkil edilerek, FD malzemeli sandviç kirişlerin statik davranışını idare eden adi diferansiyel denklemler elde edilmiş ve Eşitlik 8-13'de verilmiştir.

$$\frac{du}{dx} = \frac{A_{12} M_x - A_{22} N_x}{b(A_{12}^2 - A_{11} A_{22})} \quad (8)$$

$$\frac{dw}{dx} = \frac{Q_z}{b k_s A_{33}} - \theta \quad (9)$$

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{-A_{11} M_x + A_{12} N_x}{b(A_{12}^2 - A_{11} A_{22})} \quad (10)$$

$$\frac{dN_x}{dx} = -q_x \quad (11)$$

$$\frac{dQ_z}{dx} = -q_z \quad (12)$$

$$\frac{dM_x}{dx} = Q_z \quad (13)$$

Bu çalışmada, ele alınan kiriş teorilerinden EBKT'yi kullanılırken, Eşitlik 9'daki $\frac{Q_z}{b k_s A_{33}}$ terimi ihmal edilmektedir. Eşitlik 8-13 matris formunda aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\frac{d\{Y(x)\}}{dx} = [A(x)]\{Y(x)\} + \{F(x)\} \quad (14)$$

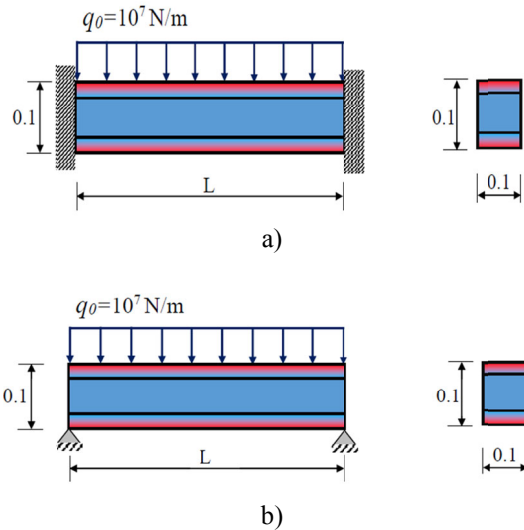
Burada x , bağımsız değişkendir. Eşitlik 14 TFY ile çözülmektedir. Bu yöntem, iki noktalı sınır değer problemini başlangıç değer problemine indirgemektedir. Bu Eşitliğin genel çözümü ise,

$$\{Y(x)\} = \sum_{m=1}^n C_m [U^{(m)}(x)] + \{V(x)\} \quad (15)$$

şekindedir. Burada $[U^{(m)}(x)]$ homojen çözüm olup, m 'inci bileşenine 1, diğerlerine sıfır değeri verilerek elde edilir. $\{V(x)\}$ ise özel çözüm olup, başlangıç şartları sıfır alınarak elde edilir. 8-13 Eşitliklerinin çözümü için gerekli olan sınır şartları [22]'de verilmiştir. İntegrasyon sabitleri (C_m) ise, problemin sınır şartlarından bulunur. (bkz. [21-24]).

3. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu çalışmada, FD malzemeli simetrik ve simetrik olmayan tabakalı sandviç kirişlerin statik davranışı üzerine, farklı sınır koşullarının, uzunluk-yükseklik (L/h) oranlarının, malzeme değişim katsayılarının ve farklı tabakalanma oranlarının etkileri parametrik olarak araştırılmıştır. Bu amaçla, Fortran dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Programda, TFY'ye dayalı başlangıç değer probleminin çözümü RK5 algoritması ile yapılmıştır.



Şekil 2. Yayılı yük etkisinde A-A, a) ve S-S, b) Sınır şartlarına sahip FD Sandviç kirişler

Bu bölümde, farklı sınır şartları ve uzunluk-yükseklik oranları için statik yüklerin etkisinde olan sandviç kirişlerin boyutsuz düşey deplasmanları hesaplanmıştır. Deplasmanlar aşağıda verilen Eşitlik 16 yardımı ile boyutsuz hale getirilmiştir.

$$\lambda = \frac{100 E_a h^3}{q_0 L^4} w \left(\frac{L}{2}, z \right) \quad (16)$$

Sayısal uygulamalarda, FD malzemeler için Çizelge 1'de verilen malzeme özellikleri kullanılmıştır.

Çizelge 1. Malzeme özellikleri

Malzeme	E (Gpa)	v
Alüminyum (P_a)	70	0,3
Seramik (P_s)	380	0,3

Tüm FD sandviç kirişler yayılı yük ($q_z=q_0$) etkisinde olup, geometrik özellikleri şöyledir: Kirişin enkesiti kare olup ($h=0,1$), TKT için kayma düzeltme faktörü 5/6 olarak alınmıştır.

Araştırmada ilk olarak, farklı uzunluk-yükseklik oranları için Şekil 2'de verilen Ankastr-Ankastr (A-A) ve Sabit-Sabit (S-S) sınır şartlarına sahip ve FD Euler-Bernoulli ve Timoshenko sandviç kirişlerin boyutsuz maksimum deplasmanları hesaplanmıştır. Burada, simetrik ve simetrik olmayan tabakalanma durumu için FD sandviç kirişe ait bulunan boyutsuz deplasmanlar literatürde ([1]) verilen değerler ile Çizelge 2-3 üzerinde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2. Ankastr- Ankastr sınır şartları için boyutsuz deplasman değerleri

			Tabakalanma oranı							
			1-1-1		1-2-1		2-1-1		2-2-1	
L/h	Kiriş Teorisi	nz	Vo [1]	TFY	Vo [1]	TFY	Vo [1]	TFY	Vo [1]	TFY
5	EBKT	0	0,5757	0,5757	0,5757	0,5757	0,5757	0,5757	0,5757	0,5757
		1	1,1836	1,1838	1,0160	1,0158	1,2349	1,2354	1,0989	1,0987
		2	1,6015	1,6016	1,2811	1,2813	1,6947	1,6946	1,4368	1,4370
		5	2,1623	2,1627	1,6282	1,6285	2,2693	2,2702	1,8777	1,8771
	TKT	0	0,8630	0,8635	0,8630	0,8635	0,8630	0,8635	0,8630	0,8635
		1	1,5783	1,5781	1,3770	1,3765	1,6489	1,6486	1,4793	1,4795
		2	2,0523	2,0518	1,6758	1,6755	2,1800	2,1806	1,8634	1,8637
		5	2,6879	2,6880	2,0635	2,0630	2,8556	2,8560	2,3624	2,3632

		1-1-1		1-2-1		2-1-1		2-2-1		
20	EBKT	0	0,5757	0,5757	0,5757	0,5757	0,5757	0,5757	0,5757	
		1	1,1836	1,1836	1,0160	1,0160	1,2349	1,2349	1,0989	1,0989
		2	1,6015	1,6015	1,2811	1,2811	1,6947	1,6949	1,4368	1,4370
		5	2,1623	2,1623	1,6282	1,6282	2,2693	2,2698	1,8777	1,8774
	TKT	0	0,5936	0,5936	0,5936	0,5936	0,5936	0,5936	0,5936	0,5936
		1	1,2083	1,2083	1,0385	1,0385	1,2607	1,2608	1,1226	1,1227
		2	1,6297	1,6297	1,3058	1,3058	1,7250	1,7253	1,4635	1,4636
		5	2,1952	2,1952	1,6554	1,6554	2,3060	2,3064	1,9074	1,9077

Çizelge 3. Sabit- Sabit sınır şartları için boyutsuz deplasman değerleri

			Tabakalanma oranı								
			1-1-1		1-2-1		2-1-1		2-2-1		
L/h	Kiriş Teorisi	nz	V_0 [1]	TFY	V_0 [1]	TFY	V_0 [1]	TFY	V_0 [1]	TFY	
5	EBKT	0	2,8783	2,8784	2,8783	2,8784	2,8783	2,8784	2,8783	2,8784	
		1	5,9181	5,9181	5,0798	5,0803	6,1746	6,1746	5,4944	5,4947	
		2	8,0074	8,0069	6,4056	6,4053	8,4744	8,4750	7,1846	7,1848	
		5	10,811	10,811	8,1409	8,1413	11,348	11,349	9,3867	9,3867	
	TKT	0	3,1657	3,1651	3,1657	3,1651	3,1657	3,1651	3,1657	3,1651	
		1	6,3128	6,3123	5,4408	5,4410	6,5886	6,5890	5,8749	5,8755	
		2	8,4582	8,4582	6,8003	6,8006	8,9597	8,9600	7,6112	7,6115	
		5	11,337	11,337	8,5762	8,5758	11,934	11,934	9,8720	9,8728	
	20	EBKT	0	2,8783	2,8783	2,8783	2,8783	2,8783	2,8783	2,8783	2,8783
			1	5,9181	5,9181	5,0798	5,0798	6,1746	6,1746	5,4944	5,4945
2			8,0074	8,0074	6,4056	6,4056	8,4744	8,4746	7,1846	7,1848	
5			10,811	10,811	8,1409	8,1409	11,348	11,348	9,3867	9,3870	
TKT		0	2,8963	2,8963	2,8963	2,8963	2,8963	2,8963	2,8963	2,8963	
		1	5,9428	5,9428	5,1024	5,1024	6,2004	6,2005	5,5182	5,5183	
		2	8,0356	8,0356	6,4302	6,4302	8,5047	8,5049	7,2113	7,2114	
		5	10,844	10,844	8,1681	8,1681	11,385	11,385	9,4170	9,4173	

Çizelgeler incelendiğinde, FDM sandviç kirişler için önerilen yöntem ile hesaplanan boyutsuz maksimum deplasman değerlerinin literatür ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Ayrıca, Ankastre-Sabit (A-S) sınır şartlarında farklı uzunluk-yükseklik oranları ($L/h=5$ ve 20) için FD sandviç kirişin boyutsuz deplasman değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelgelere göre tüm sınır şartları ve tabakalanma durumları için FD sandviç kirişlerin açıklık ortasındaki düşey deplasmanın Timoshenko kiriş

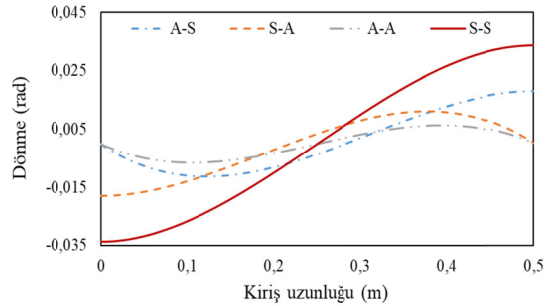
teorisi kullanıldığında daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra her üç sınır şartında da TKT'ne göre L/h oranı arttıkça düşey deplasman değeri azalmaktadır. Ayrıca, her iki kiriş teorisinde de L/h oranı fark etmeksizin tüm tabakalanma durumlarında malzeme değişim katsayısı arttıkça boyutsuz düşey deplasman değerlerinin arttığı görülmüştür. Tabakalanma durumlarına göre çizelgeler incelendiğinde FD sandviç kirişlerde en büyük düşey deplasmanın 2-1-1 tabakalanma oranında gerçekleştiği görülmüştür. Son olarak çizelgelere göre en büyük boyutsuz düşey deplasmanın S-S sınır şartlarında meydana geldiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 4. Ankastre- Sabit sınır şartları için boyutsuz deplasman değerleri

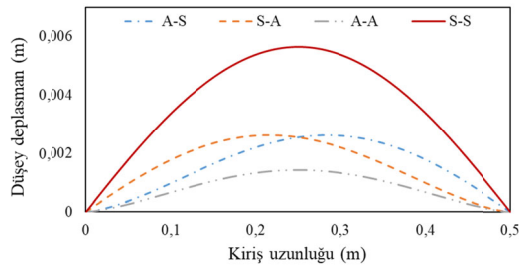
L/h	Kiriş Teorisi	nz	Tabakalanma oranı			
			1-1-1	1-2-1	2-1-1	2-2-1
5	EBKT	0	1,1939	1,1939	1,1939	1,1939
		1	2,4539	2,1067	2,5693	2,2837
		2	3,3208	2,6566	3,5381	2,9949
		5	4,5136	3,3757	4,7566	3,9278
	TKT	0	1,5165	1,5165	1,5165	1,5165
		1	2,8986	2,5122	3,0352	2,6533
		2	3,8282	3,1002	4,0869	3,4765
		5	5,0758	3,8662	5,4208	4,4766
			1-1-1	1-2-1	2-1-1	2-2-1
20	EBKT	0	1,1937	1,1937	1,1937	1,1937
		1	2,4543	2,1067	2,5690	2,2842
		2	3,3208	2,6565	3,5382	0,0300
		5	4,4838	3,3762	4,7569	3,9276
	TKT	0	1,2139	1,2139	1,2139	1,2139
		1	2,4822	2,1322	2,5982	2,3111
		2	3,3526	2,6843	3,5725	3,0252
		5	5,8335	3,4069	4,7985	3,9620

Çalışmanın devamında Timoshenko kiriş teorisine göre, 1-1-1 tabakalanma durumunda farklı sınır şartlarına sahip sandviç kirişin ($L/h=5$), malzeme değişim katsayıları $nz=1$ ve $nz=2$ için kiriş boyunca düşey deplasman ve dönme değerleri bulunarak grafik halinde sunulmuştur (Şekil 3-6).

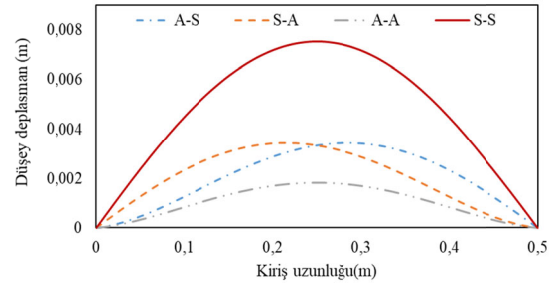
Şekillere bakıldığında her iki malzeme değişim katsayısı durumunda S-S sınır şartlarına sahip kirişlerde düşey deplasman ve dönmelerin en fazla, A-A sınır şartlarında ise en az olduğu görülmektedir.



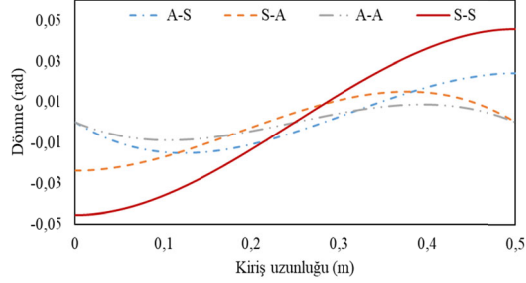
Şekil 4. FD sandviç kirişin dönmesi ($nz=1$)



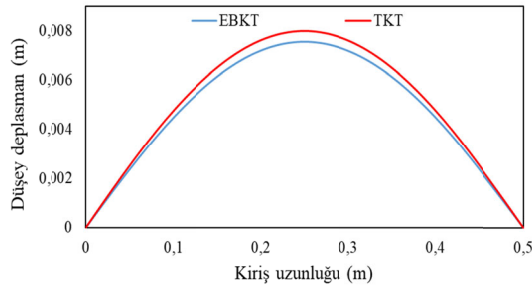
Şekil 3. FD sandviç kirişin düşey deplasmanı ($nz=1$)



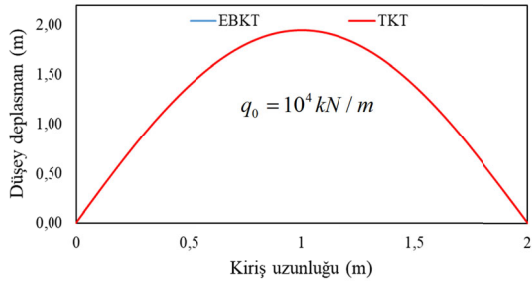
Şekil 5. FD sandviç kirişin düşey deplasmanı ($nz=2$)



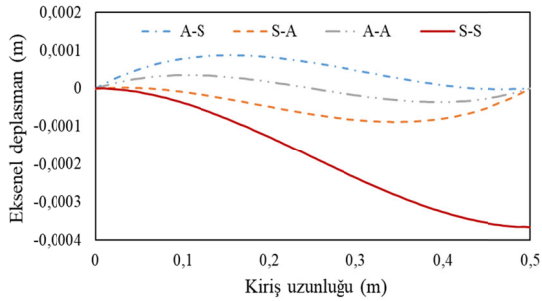
Şekil 6. FD sandviç kirişin dönmesi ($nz=2$)



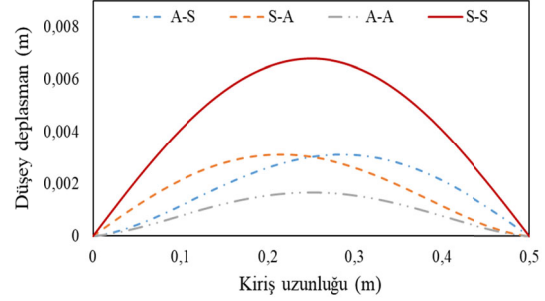
Şekil 7. FD sandviç kirişin $L/h= 5$ için düşey deplasmanın karşılaştırılması ($nz=2$)



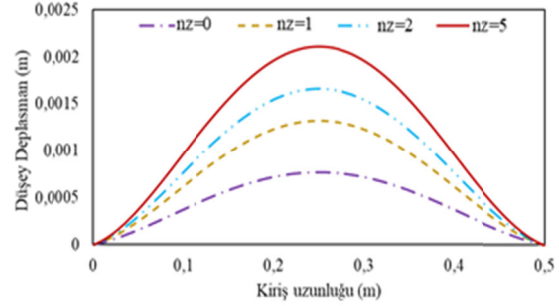
Şekil 8. FD sandviç kirişin $L/h= 20$ için düşey deplasmanın karşılaştırılması ($nz=2$)



Şekil 9. FD sandviç kirişin $L/h= 5$ için eksenel deplasmanın karşılaştırılması ($nz=2$)



Şekil 10. FD sandviç kirişin $L/h= 5$ için düşey deplasmanın karşılaştırılması ($nz=2$)



Şekil 11. FD sandviç kirişin $L/h= 5$ için düşey deplasmanın karşılaştırılması

Daha sonra, 2-1-1 tabakalanma halinde A-A sınır şartları, farklı uzunluk/yükseklik ($L/h=5$ ve 20) oranları ve $nz=2$ durumu için düşey deplasman grafikleri Şekil 7 ve 8'de verilmiş, EBKT ve TKT kiriş teorileri için karşılaştırılmıştır.

Grafikler incelendiğinde, L/h oranı arttıkça, -ki bu durum ince çubuk teorisine karşılık gelmektedir- her iki kiriş teorisine göre elde edilen sonuçlar üst üste düşmektedir. Bu durumda kayma şekil değiştirme etkisinin olmadığı ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca Timoshenko kiriş teorisine göre, 2-2-1 tabakalanma dizilimindeki sandviç kirişlerin statik yük etkisi altındaki davranışı araştırılmıştır. Farklı sınır şartlarına sahip sandviç kirişin, malzeme değişim katsayısı $nz=2$ için kiriş boyunca eksenel ve düşey deplasman değerleri Şekil (9-10)'da karşılaştırılmıştır. Şekiller incelendiğinde, FD sandviç kirişe ait en büyük eksenel ve düşey deplasmanın S-S sınır şartlarında olduğu gözlemlenmiştir.

Son olarak, iki ucundan ankastre mesnetli Timoshenko kirişinin $L/h=5$ oranı ve farklı malzeme değişim katsayıları ($nz=0,1,2,5$) için çözümleri Şekil 11'de sunulmuştur. Şekil 11 incelendiğinde görülmektedir ki, malzeme değişim katsayısı arttıkça deplasman değeri de artmaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, FD malzemeli simetrik ve simetrik olmayan sandviç kirişlerin statik davranışı incelenmiştir. Problemin statik davranışını idare eden kanonik denklemler, birinci mertbe kayma deformasyon teorisine göre minimum toplam potansiyel enerji ilkesi ile elde edilmiştir. Elde edilen kanonik denklemler, TFY ile sayısal olarak çözülmüştür.

Çeşitli malzeme değişim katsayılarının, sınır koşullarının ve L/h oranlarının üzerindeki etkileri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Malzeme değişim katsayısı arttıkça yer değiştirmelerin de arttığı görülmüştür. Ele alınan sınır koşulları arasında en büyük yer değiştirmeler S-S ve en küçük deplasmanlar A-A durumunda gözlemlenmiştir. Sandviç FD kirişlerde de L/h oranı arttıkça kayma şekil değiştirme etkisinin azaldığı görülmüştür.

Tabaklanma oranı hem simetrik hem de simetrik olmayan FD sandviç kirişlerin eğilme davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Dolayısıyla, istenilen mekanik özelliklerine sahip FD sandviç kirişler oluşturulurken bu oranlar göz önünde bulundurulabilir.

Son olarak bu çalışmada önerilen metodun, FD sandviç kirişlerin eğilme analizi için oldukça etkin ve kolayca uygulanabilir olduğu görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

1. Vo, T.P., Thai, H.T., Nguyen, T.K., Inam, F., Lee, J., 2015. Static Behavior of Functionally Graded Sandwich Beams Using a Quasi-3D Theory. Composites Part B: Engineering, 68, 59-74.
2. Kadoli, R., Akhtar, K., Ganesan, N., 2008. Static Analysis of Functionally Graded Beams Using Higher Order Shear Deformation Theory. Applied Mathematical Modelling, 32(12), 2509-2525.
3. Şimşek, M., Al-Shujairi, M., 2017. Static, Free and Forced Vibration of Functionally Graded (FG) Sandwich Beams Excited By Two Successive Moving Harmonic Loads. Composites Part B: Engineering, 108, 18-34.
4. Şimşek, M., 2009. Static Analysis Of a Functionally Graded Beam Under a Uniformly Distributed Load By Ritz Method. International Journal of Engineering and Applied Sciences, 1(3), 1-11.
5. Demirhan, P.A., Taşkın, V., 202. Transfer Matris Metodu ile Fonksiyonel Derecelendirilmiş Sandviç Kirişlerin Titreşim Analizi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11(1), 259-269.
6. Aslan, T.A., Noori, A.R., Temel, B., 2019. Birinci Mertbe Kayma Deformasyon Teorisine Dayalı FD Düz Eksenli Kirişlerin Serbest Titreşim Analizi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(4), 21-28.
7. Karamanlı, A., 2017. Bending Behavior of Two Directional Functionally Graded Sandwich Beams By Using a Quasi-3D Shear Deformation Theory. Composite Structures, 174, 70-86.
8. Fereidoon, A., Andalib, M., Hemmatian, H., 2015. Bending Analysis of Curved Sandwich Beams with Functionally Graded Core. Mechanics of Advanced Materials and Structures, 22(7), 564-577.
9. Li, S.R., Cao, D.F., Wan, Z.Q., 2013. Bending Solutions of FGM Timoshenko Beams from Those of the Homogenous Euler-Bernoulli Beams. Applied Mathematical Modelling, 37(10-11), 7077-7085.
10. Vo, T.P., Thai, H.T., Nguyen, T.K., Inam, F., 2014. Static and Vibration Analysis of Functionally Graded Beams Using Refined Shear Deformation Theory. Meccanica, 49(1), 155-168.
11. Noori, A.R., Aslan, T.A., Temel, B., 2020. Static Analysis of FG Beams Via

- Complementary Functions Method. European Mechanical Science, 4(1), 1-6.
12. Sayyad, A. S., Avhad, P. V., 2019. On Static Bending, Elastic Buckling and Free Vibration Analysis of Symmetric Functionally Graded Sandwich Beams. Journal of Solid Mechanics, 11(1), 166-180.
 13. Apetre, N.A., Sankar, B.V., Ambur, D.R., 2008. Analytical Modeling of Sandwich Beams with Functionally Graded Core. Journal of Sandwich Structures & Materials, 10(1), 53-74.
 14. Erdurcan, E.F., Cunedioğlu, Y., 2020. Porositeli FDM ile Kaplı Alüminyum Kirişin Serbest Titreşiminin İncelenmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(2), 1090-1099.
 15. Kahya, V., Mosallam, A.S., 2009. Kompozit Sandviç Kirişlerin Hareketli Yük Etkisi Altında Dinamik Davranış. XVI. Ulusal Mekanik Kongresi, 22-26 Haziran 2009.
 16. Zenkour, A.M., Allam, M.N.M., Sobhy, M., 2010. Bending Analysis of FG Viscoelastic Sandwich Beams with Elastic Cores Resting on Pasternak's Elastic Foundations. Acta Mechanica, 212(3-4), 233-252.
 17. Noori, A.R., Aslan, T.A., Temel, B., 2018. An Efficient Approach for In-Plane Free and Forced Vibrations of Axially Functionally Graded Parabolic Arches With Nonuniform Cross Section. Composite Structures, 200, 701-710.
 18. Das, S., Sarangi, S.K., 2016. Static Analysis of Functionally Graded Composite Beams. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 149(1), 012138.
 19. Frostig, Y., Baruch, M., 1990. Bending of Sandwich Beams with Transversely Flexible Core. AIAA journal, 28(3), 523-531.
 20. Uzay, C., 2020. Failure Analysis of Low-density Polymer Foam Core Sandwich Structures under Three-point Bending Loading. ÇÜ Müh. Mim. Fak. Dergisi, 35(1).
 21. Rasooli, H., Temel, B., 2019. Değişken Kesitli ve Tabakalanmış Kompozit Malzemeli, Doğru ve Daire Eksenli Karma Sistemlerin Tamamlayıcı Fonksiyonlar Yöntemi ile Statik Analizi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(3), 46-56.
 22. Noori, A.R., Aslan, T.A., Temel B., 2020. Static Analysis of FG Beams via Complementary Functions Method. European Mechanical Science, 4(1), 1-6.
 23. Yıldırım, S., Tütüncü, N., 2018. On the Inertio-Elastic Instability of Variable-Thickness Functionally-Graded Disks. Mechanics Research Communications, 91, 1-6.
 24. Yıldırım, S., Tütüncü, N., 2019. Effect of Magneto-Thermal Loads on the Rotational Instability of Heterogeneous Rotors. AIAA Journal, 57(5), 2069-2074.
 25. Yontar, O., Aydın K., Keleş İ., 2020. Practical Jointed Approach to Thermal Performance of Functionally Graded Material Annular Fin. Journal Of Thermophysics and Heat Transfer, 34(1), 144-149.
 26. Çelebi, K., Yarımabaç, D., Tütüncü, N., Free Vibration Analysis of Functionally Graded Beams Using Complementary Functions Method. Arch Appl Mech <https://doi.org/10.1007/s00419-017-1338-6>.
 27. Temo, A., Yarımabaç, D., 2019. The Effect of Uniform Magnetic Field on Pressurized FG Cylindrical and Spherical Vessels. European Mechanical Science, 3(4), 133-141.
 28. Çalım, F.F., 2019. Vibration Analysis of Functionally Graded Timoshenko Beams on Winkler-Pasternak Elastic Foundation. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40996-019-00283-x>.
 29. Çalım, F.F., 2016. Transient analysis of axially functionally graded Timoshenko beams with variable cross-section. Composite Part B: engineering, 98, 472-483.
 30. Aslan, T.A., Noori, A.R., Temel B., 2019. Birinci Mertebe Kayma Deformasyon Teorisine Dayalı FD Düz Eksenli Kirişlerin Serbest Titreşim Analizi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34 (4), 21-28.
 31. Aslan, T.A., Noori, A.R., Temel B., 2019. Çift Yönlü Fonksiyonel Derecelenmiş Malzemeli Timoshenko Kirişlerinin Serbest Titreşim Analizi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(3), 30-36.

32. Temel B., Noori, A.R., 2020. A Unified Solution for the Vibration Analysis of Two-directional Functionally Graded Axisymmetric Mindlin–Reissner Plates with Variable Thickness. *International Journal of Mechanical Sciences*, 174, 1-20.
33. Yıldırım, S., 2020. Free Vibration Analysis of Sandwich Beams with Functionally-Graded-Cores by Complementary Functions Method. *AIAAJ*, 58(12), 5431-5439. doi: doi/abs/10.2514/1.J059587.

Face Anti-Spoofing Scheme Using Handcraft Based and Deep Learning Methods

Omid SHARIFI*¹

¹Toros University, Engineering Faculty, Software Engineering Department, Mersin

Geliş tarihi: 23.11.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Abstract

Malicious parties which impersonate systems by fake identities affect recognition performance of biometric systems. This study focuses on a strength anti-spoofing scheme based on decision level fusion to monitor individuals in term of real and fake. The proposed fake detection scheme involves consideration of both handcrafted and deep learned techniques on face images to differentiate real and fake individuals. In this context, convolutional neural network (CNN) and Log-Gabor filter methods are used to learn deep representations and extract facial features of images respectively. In order to improve the robustness of proposed anti-spoofing framework, fusion of Log-Gabor and CNN methods is considered by applying decision-level-fusion technique. Finally, the performance of proposed anti-spoofing scheme is examined on public spoof databases such as Print-Attack and Replay-Attack face databases to detect fake facial images.

Keywords: Spoof attacks, Handcrafted texture extraction, Convolutional neural network, Decision level fusion

El Yapımı Tabanlı ve Derin Öğrenme Yöntemlerini Kullanan Yüz Yanıltma Önleme Şeması

Özet

Sahte kimliklerle sistemleri taklit eden kötü niyetli kişiler, biyometrik sistemlerin tanınma performansını etkilemektedir. Bu çalışma, bireyleri gerçek ve sahte terimlerle izlemek için karar düzeyinde füzyona dayalı güçlü bir sahtekarlık önleme şemasına odaklanmaktadır. Önerilen sahte tespit şeması, gerçek ve sahte bireyleri ayırt etmek için yüz görüntülerinde hem el yapımı hem de derin öğrenme tekniklerinin dikkate alınmasını içerir. Bu bağlamda, evrimsel sinir ağı (CNN) ve Log-Gabor filtre yöntemleri sırasıyla görüntülerin derin temsillerini öğrenmek ve görüntülerin yüz özelliklerini çıkarmak için kullanılmaktadır. Önerilen sahteciliği önleme çerçevesinin sağlamlığını geliştirmek için, Log-Gabor ve CNN yöntemlerinin füzyonu, karar seviyesinde füzyon tekniği uygulanarak değerlendirilmiştir. Son olarak, önerilen sahteciliği önleme planının performansı, sahte yüz görüntülerini tespit etmek için Print-Attack ve Replay-Attack gibi halka açık veri tabanlarında incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sahte saldırılar, El yapımı doku çıkarma, Evrimsel sinir ağı, Karar düzeyinde füzyon

*Sorumlu (Corresponding author) yazar: Omid SHARIFI, omid.sharifi@toros.edu.tr

1. INTRODUCTION

In biometric recognition systems a spoofing attack is done by a person or agent to gain an illegitimate access to identify as another by falsifying data. In this area, some important types of attacks can be considered as replay video attack, digital photo attack, printed photo attack, and mask attack [1]. Typically, direct and indirect attacks are investigated on biometric systems [2]. The goal of direct attacks is to consider biometric sensors for impersonating a fake template as a genuine. In fact, the attackers to apply the direct attack don't require any knowledge about details of biometric system such as feature extractors and matching techniques. In order to counter direct attacks, the primary techniques such as liveness, texture and motion detection methods are generally applied. On the other hand, the concentration of indirect attacks is based on awareness of certain information about the system such as template format and communication protocol by attackers. Additionally, the attackers require to access internal parts of the system physically or logically and therefore countermeasures for indirect attacks involve physical or logical security aspects. The concentration of this study is on direct or spoofing attacks specially print and video attack in the area of face biometric. The main goal of print attack is to spoof biometric systems by printing modality images of subjects, whereas video attack focuses on spoofing using video sequences of live subjects on a screen to biometric systems in term of fixed or hand-held to prevent liveness detection. In general, spoof detection is quite challenging in the biometric area and accordingly the investigation of its effect on different modalities such as face, iris, fingerprint, multimodal biometric systems, etc. is encouraged [2-13]. Typically, texture, motion and liveness analyses are common techniques in biometric systems to counter spoofing attacks [2,14-16]. Texture analysis technique concentrates on texture patterns such as print failures and overall image blur to detect the attacks. While motion detection emphasizes on motion features of patterns such as optical flow to alleviate the problem of certain texture patterns dependency. On the other hand, liveness detecting techniques overcome the problem of spoofing by

consideration of vitality signs of biometric characteristics and analyzing spontaneous movements such as eye blinking and lip movements. Therefore, consideration of a global approach for all types of attacks is not possible due to the nature of attacks, biometric traits and spoof detection techniques.

In this paper, the aim is to propose a novel solution based on decision level fusion against video and print attacks. The facial images are used to learn deep representation and extract texture information of individuals using convolutional neural network (CNN) [17,18] and Log-Gabor filter [19] methods respectively. The strength of handcrafted and deep learnt features is then combined through decision level fusion (DLF) with OR rule. As a strong and popular handcrafted method Log-Gabor feature extracts the phase information of face to encode the unique pattern of facial images into bit-wise biometric template. In addition, considering deep learning method as a powerful anti-spoofing technique improves the detection rate. The contribution of the proposed scheme can be considered as: proposing a robust face spoof detection scheme concentrating on print and video attacks. The use of both handcrafted and deep learnt decisions enhances detection performance of the anti-spoofing framework with consideration of both methods advantages. The experiments are performed on two publicly available face spoofing databases namely Idiap Print-Attack [20] and Replay- Attack [21] to represent the robustness of proposed anti- spoofing method in term of detection performance, computational complexity and reduction in detection alteration.

The rest of paper is organized as follows. Section 2 involves previous studies of spoofing attacks and protection techniques in field of biometrics. The concentration of sections 3 and 4 is on handcrafted and deep learnt techniques applied in this study for spoof detection. In section 5, the overall architecture of proposed scheme is described. The demonstration of experimental results and databases is presented in section 6. Finally, Section 7 provides conclusion of this study.

2. RELATED WORKS

The anti-spoofing methods for face biometric has been studied recently using different handcrafted and deep learnt techniques [4,7,14-16,22-29]. In [27] multi-level local binary (MLBP) and CNN schemes has been proposed to obtain hybrid features from two different exploited feature vectors. To classify face images as real or fake support vector machine (SVM) has been utilized on the hybrid features. The authors of [7] a double anti-spoofing pipeline method employed to select optimized textures of face image and image quality assessment techniques for print and video attacks. Finally, the paper applied different texture and image quality algorithms to compare the ability of their proposed framework. Effectiveness of employing multiple methods with the aim of print attack detection for face biometric has been studied in [14]. They compared different techniques based on motion analysis, texture analysis and liveness detection to detect 2D facial print-based spoof attacks.

Furthermore, a CNN based face spoofing detection method has been proposed in [30] where local binary patterns (LBP) has been integrated to extract deep texture features. NUAA spoofing database has been used to evaluate performance of their proposed method that is called LBPnet and n-LBPnet. In [31] a nonlinear diffusion-based method has been employed on an additive operator splitting scheme to detect face images edges. Additionally, specialized CNN has been used to extract discriminative and high-level features of the input diffused image to differentiate between a fake face and a real face. In [32] a new hybrid scheme has been presented to control the authenticity of the users in order to login a system. The scheme uses handcrafted and CNN methods to verify real or spoof entities. First, the scheme uses the hash of a fingerprint to compare with the fingerprint database. After a successful match of the fingerprint, it is tested on a CNN-based model. The proposed method first matches entities with the corresponding databases by integrating fingerprint, palm vein print and face recognition,

then the scheme uses anti-spoofing CNN based models to detect spoofing using fingerprint, palm vein print and face. Also, the similar processes are done for the palm and face respectively to collect efficient and robust evidence. On the other hand, face anti-spoofing based on CNN architecture has been presented in [33] by putting a long short-term memory (LSTM) layer over the fully connected layers for feature extraction. The architecture employs LSTM along with extracting local and dense features through convolution operations. On the other hand, two different deep learning methods for attack detection in several biometric recognition systems such as iris, face, and fingerprint has been introduced in [4]. The authors reported high detection performance of deep learning technique in their work, however the method was not able to improve always the detection rate specifically for face biometric. The concentration of [27] is on a new method based on feature level fusion strategy to fuse handcrafted and deep learnt facial features spoof detection improvement. In order to differentiate real and fake identities, the authors applied SVM classifier.

In [34], score-level-based face anti-spoofing method is proposed using CNN and overlapped histograms of local binary patterns (OVLBP) to extract facial features of images. The produced matching scores provided by CNN and OVLBP then combined to form a fused score vector. Finally, the last decision on real and attack images is done by combining decisions of hybrid scheme using majority vote of CNN, OVLBP and their fused vector.

3. HANDCRAFTED FACIAL TEXTURE EXTRACTION USING LOG-GABOR FILTER

This step aims to extract handcrafted facial features to be used in classification processes using 1D Log-Gabor filter [35]. In general, 1D Log-Gabor filter provides helpful frequency information. By using Log-Gabor filter natural images are better fit compared with Gabor and other wavelet filters. Log-Gabor function has the frequency response as (1).

$$G(f) = \exp\left(\frac{-(\log(f/f_0))^2}{2(\log(\sigma/f_0))^2}\right) \quad (1)$$

Where f_0 and σ represent parameters of the filter. In fact, f_0 presents the center frequency and σ affects the bandwidth of filter. Generally, it is better to consider the same shape while the frequency parameter is varied. Therefore, the ratio σ/f_0 should be considered constant.

Log-Gabor filter method is exploited in some works to extract features. In [36] multi-resolution 2D Log-Gabor filter has been used to extract features along with spectral regression kernel discriminant analysis (SRKDA) in order to reduce features dimensionality. In [37, 38] also 2D Log-Gabor filter has been used in different scales and orientations. A new score-level and feature-level fusion scheme has been proposed in [19]. They employed One-dimensional Log-Gabor to extract facial and iris features. In this study, in the handcrafted facial texture extraction part 1D Log-Gabor filter has been employed to extract optimal and meaningful features.

4. DEEP LEARNING EXTRACTION USING CNN

In this study in order to improve the detection rate of print and video attacks the proposed scheme employs CNN learning-based approach to extract more representative feature set of information. The most significant layer of CNN structure is convolutional layers and fully connected layers. In

the convolutional layers, convolution operations are used to extract and manipulate image features.

A training process is needed based on the characteristics of images to achieve filter coefficients. To imagine general structure of CNN consideration of a cross-channel normalization layer, a rectified linear unit (ReLU) and a pooling layer is needed for each convolutional layer. ReLU, tanh and sigmoid are activation functions which mostly used in the CNN in order to detect non-linear features. Additionally, mostly used max and average pooling operations are employed to reduce feature maps dimension. At the end, for further classification the constructed feature map is sent to fully-connected layers.

The structure of proposed CNN anti-spoofing framework to learn facial features in this study is based on VGG-16 architecture that was presented by the Oxford Visual Geometry Groups’ model in ImageNet Large-Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC) [39].

Generally, VGG-16 is more extensive and richer with compare to other earlier versions of CNN structure, it includes five batches of convolution operations. The architecture of VGG-16 is illustrated in Figure 1. Generally, each batch includes 2–3 adjacent convolution layers connected via max-pooling layers. The kernel sizes of 3×3 with same number of kernels inside each batch starting 64 in the first group to 512 in the last one is used for all convolutional layers in this model.

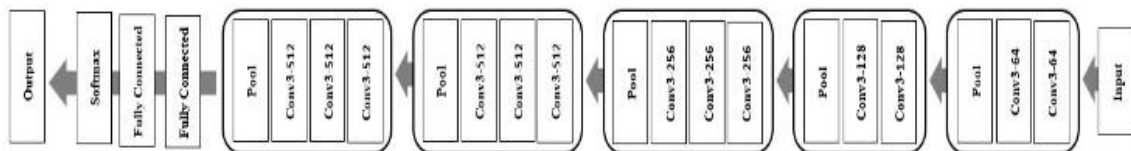


Figure 1. The structure of VGG-16

The proposed anti-spoofing method contains only two type of classes for detection as real and fake, therefore the total number of output neurons is considered as two in the last layer. In order to alleviate the effect of overfitting for training step

of CNN, the proposed method applies several learning rate policies in different layers. Additionally, training part of the study includes data augmentation technique by cropping different regions of input and their fillips.

5. PROPOSED ANTI-SPOOFING SCHEME

The study proposed a robust anti-spoofing scheme to detect print and video attacks in face databases by exerting texture-based 1D Log-Gabor filter and CNN-based deep learning methods. Figure 2 depicts the general structure of the proposed method.

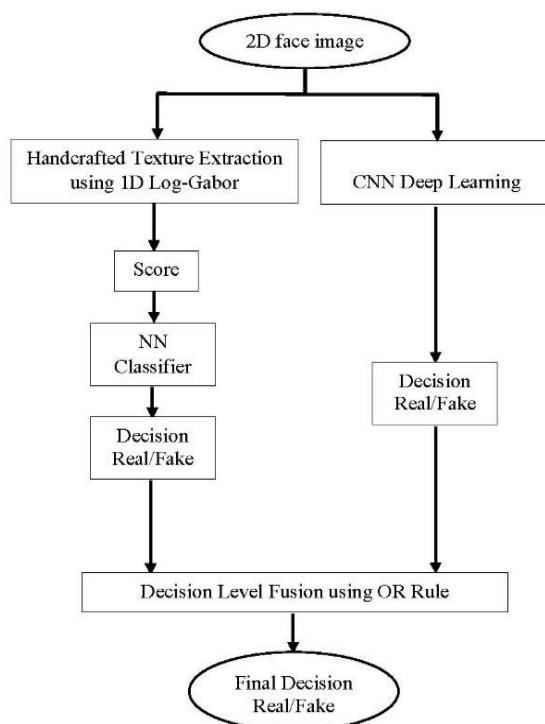


Figure 2. The proposed anti-spoofing diagram

In order to improve the ability of the proposed method for detecting print and video attacks the facial features are extracted using Log-Gabor filter and CNN methods separately. In the handcrafting part of the method nearest neighbor classifier (NNC) is used on set of calculated scores to provide classification and decision. Finally, decision-level fusion (DLF) with OR rule is used to provide final common decision based on two separate obtained decisions (handcrafted and CNN). Generally, OR rule logic represents genuine

if the result of one decision be genuine, otherwise it is fake.

6. EXPERIMENTAL RESULTS AND DATABASES

The experimental result part of this study aims to evaluate the performance of proposed anti-spoofing scheme based on Repla-Attack and Idiap Print-Attack databases. Under different lighting conditions, Repla-Attack databases includes 1300 video clips of photograph and video attack access of 50 individuals where Print-Attack database contains 200 short videos of printed photograph and real-access of 50 individuals.

Prior to performing the experiments, the proposed scheme attempts to extract the face images from video sequences and subsequently detected face images aligned according to center position of left and right irises. In order to perform the experiments, randomly 30 individuals for training and 20 individuals for testing is selected for accessing real and attack images. The total number of 750 real access images, 750 print attack images and 1000 video attack images extracted from videos is used in this work to perform the experiments. Training dataset includes 450 real, 450 print attack and 600 video attack images and test dataset contains 300 real images, 300 print attack images and 400 video attack images. The images are divided into train and test datasets three times and the averaged result of these three sets is considered to report the final performance.

The preprocessing step of proposed method contains image resizing of size 256×256 . This work considers ten different cropped size of 227×227 and their flip for data augmentation. Therefore, the total number of train augmented database contains 9000 real, 9000 print attack and 12000 video attack images. Regularization, momentum parameters and learning rate for this study are considered as 0.1, 0.9 and 0.001 with batch size of 32 respectively to avoid overfitting in this work. The evaluation protocol of proposed method considers Half Total Error Rate (HTER)

that is half of sum of False Genuine Rate (FGR) and False Fake Rate (FFR) of spoof detection errors.

The concentration of experiments for this study is on handcrafted texture extraction method, CNN learnt based extraction method and also fusion of them against print and video attacks. The classification part of handcrafted extraction method contains nearest-neighbor classifier (NN). Generally, NN is considered as a method of data classification to approximate how likely a data point is to be a member of one group. Table 1 shows the experimental results performed using Log-Gabor filter handcrafted extraction method and CNN learnt based extraction method separately for print and video attacks.

Table 1. Experimental results related to Log-Gabor and CNN extractors for print and video attacks in HTER (%)

Method	Print-Attack HTER (%)	Video-Attack HTER (%)
Log-Gabor	37.45	37.30
CNN	18.26	22.18

Investigation of results demonstrates the superiority of CNN method over Log-Gabor handcrafted extractor against both print and video attacks. In fact, handcrafted feature extractor has obtained similar performance for both kinds of attacks while applying CNN learnt based extractor performed better for print attack. Analyzing the results demonstrates 19.19% and 15.12% improvement on accuracy for CNN method against print and video attacks compared to Log-Gabor technique. On the other hand, in order to improve the detection performance of anti-spoofing scheme Table 2 attempts to apply the effect of different fusion techniques on datasets.

As depicted in Table 2, fusion of handcrafted and learnt based methods for feature, score and decision levels outperforms detection rate of spoofing for print and video attacks. The review of results shows higher detection rate for print attacks

in all fusion steps compared to video attacks. The best accuracy is obtained using proposed method to fuse the decision of CNN along with Log-Gabor method using OR rule.

Indeed, the proposed method achieved 27.85% and 26.30% improvement over applying only Log-Gabor filter technique on face spoofing for print and video attacks respectively.

Table 2. Experimental results related to handcrafted and learnt based fusion for print and video attacks in HTER (%)

Method	Print-Attack HTER (%)	Video-Attack HTER (%)
CNN+Log-Gabor using Feature Level Fusion	15.00	15.25
CNN+Log-Gabor using Score Level Fusion	10.14	11.00
CNN+Log-Gabor using Decision Level Fusion (Proposed Method)	9.60	11.00

7. CONCLUSION

This study involves consideration of an effective anti-spoofing framework based on log-Gabor and CNN feature extractors. The proposed pipeline implemented both handcrafted and learn based techniques on face images and then in order to recognize real and attack attempts the fusion strategy has been applied. In fact, decision level fusion combines the decisions of both methods using OR rule to improve the detection rate of face spoofing. The focus of this study for introducing the anti-spoofing framework is on print and video attacks. The performance of proposed anti-spoofing pipeline has been investigated on two public spoof databases namely Print-Attack and Replay-Attack. The comparison of proposed method with other fusion techniques demonstrated the effectiveness of decision level fusion for face anti-spoofing.

8. REFERENCES

1. Galbally, J., Marcel, S., Fierrez, J., 2014. Biometric Antispoofing Methods: A Survey in Face Recognition. *IEEE Access*, 2, 1530-1552.
2. Martinez-Diaz, M., Fierrez, J., Galbally, J., Ortega-Garcia, J., 2011. An Evaluation of Indirect Attacks and Countermeasures in Fingerprint Verification Systems. *Pattern Recognition Letters*, 32(12), 1643-1651.
3. Nguyen, D.T., Yoon, H.S., Pham, T.D., Park, K.R., 2017. Spoof Detection for Finger-vein Recognition System Using NIR Camera. *Sensors*, 17(10), 2261.
4. Menotti, D., Chiachia, G., Pinto, A., Schwartz, W.R., Pedrini, H., Falcao, A.X., Rocha, A., 2015. Deep Representations for Iris, Face, and Fingerprint Spoofing Detection. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 10(4), 864-879.
5. Ratha, N.K., Connell, J.H., Bolle, R.M., 2001. An Analysis of Minutiae Matching Strength. In *International Conference on Audio-and Video-Based Biometric Person Authentication*, Springer, Berlin, Heidelberg, 223-228.
6. Tirunagari, S., Poh, N., Windridge, D., Iorliam, A., Suki, N., Ho, A.T., 2015. Detection of Face Spoofing Using Visual Dynamics. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 10(4), 762-777.
7. Eskandari, M., Sharifi, O., 2018. Designing Efficient Spoof Detection Scheme for Face Biometric. In *International Conference on Image and Signal Processing*, Springer, Cham, 427-434.
8. Anjos, A., Marcel, S., 2011, October. Countermeasures to Photo Attacks in Face Recognition: a Public Database and a Baseline. In *2011 International Joint Conference on Biometrics (IJCB) IEEE*. 1-7.
9. Gupta, P., Behera, S., Vatsa, M., Singh, R., 2014. On Iris Spoofing Using Print Attack. In *2014 22nd International Conference on Pattern Recognition, IEEE*, 1681-1686.
10. Hadid, A., Ghahramani, M., Kellokumpu, V., Pietikäinen, M., Bustard, J., Nixon, M., 2012. Can Gait Biometrics be Spoofed?. In *Proceedings of the 21st International Conference on Pattern Recognition (ICPR2012), IEEE*, 3280-3283.
11. Biggio, B., Akhtar, Z., Fumera, G., Marcialis, G.L., Roli, F., 2012. Security Evaluation of Biometric Authentication Systems Under Real Spoofing Attacks. *IET biometrics*, 1(1), 11-24.
12. Gomez-Barrero, M., Galbally, J., Fierrez, J., 2014. Efficient Software Attack to Multimodal Biometric Systems and its Application to Face and Iris Fusion. *Pattern Recognition Letters*, 36, 243-253.
13. Akhtar, Z., Kale, S., Alfarid, N., 2011. Spoof Attacks on Multimodal Biometric Systems. In *International Conference on Information and Network Technology*, 4, 46-51.
14. Chakka, M.M., Anjos, A., Marcel, S., Tronci, R., Muntoni, D., Fadda, G., Pili, M., Sirena, N., Murgia, G., Ristori, M., Roli, F., 2011. Competition on Counter Measures to 2-d Facial Spoofing Attacks. In *2011 International Joint Conference on Biometrics (IJCB), IEEE*, 1-6.
15. Kollreider, K., Fronthaler, H., Bigun, J., 2005. Evaluating Liveness by Face Images and the Structure Tensor. In *Fourth IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies (AutoID'05), IEEE*, 75-80.
16. Kollreider, K., Fronthaler, H., Bigun, J., 2008. Verifying Liveness by Multiple Experts in Face Biometrics. In *2008 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, IEEE*, 1-6.
17. Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G.E., 2012. Imagenet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1097-1105.
18. Druzhkov, P.N., Kustikova, V.D., 2016. A Survey of Deep Learning Methods and Software Tools for Image Classification and Object Detection. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 26(1), 9-15.
19. Eskandari, M., Toygar, Ö., 2015. Selection of Optimized Features and Weights on Face-iris Fusion Using Distance Images. *Computer Vision and Image Understanding*, 137, 63-75.
20. Print Attack face database, 2014. <https://www.idiap.ch/dataset/printattack>, Accessed October 2014.

21. Replay Attack face database, 2014, <https://www.idiap.ch/dataset/replayattack>, Accessed October 2014.
22. Galbally, J., Marcel, S., Fierrez, J., 2013. Image Quality Assessment for Fake Biometric Detection: Application to Iris, Fingerprint, and Face Recognition. *IEEE Transactions on Image Processing*, 23(2), 710-724.
23. Bharadwaj, S., Dhamecha, T.I., Vatsa, M., Singh, R., 2013. Computationally Efficient Face Spoofing Detection with Motion Magnification. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 105-110.
24. Määttä, J., Hadid, A., Pietikäinen, M., 2011. Face Spoofing Detection from Single Images Using Micro-texture Analysis. In *2011 International Joint Conference on Biometrics (IJCB)*, IEEE, 1-7.
25. de Freitas Pereira, T., Komulainen, J., Anjos, A., De Martino, J.M., Hadid, A., Pietikäinen, M., Marcel, S., 2014. Face Liveness Detection Using Dynamic Texture. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2014(1), 2.
26. Wen, D., Han, H., Jain, A.K., 2015. Face Spoof Detection with Image Distortion Analysis. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 10(4), 746-761.
27. Nguyen, D.T., Pham, T.D., Baek, N.R., Park, K.R., 2018. Combining Deep and Handcrafted Image Features for Presentation Attack Detection in Face Recognition Systems Using Visible-light Camera Sensors. *Sensors*, 18(3), 699.
28. Ojala, T., Pietikäinen, M., Harwood, D., 1996. A Comparative Study of Texture Measures with Classification Based on Featured Distributions. *Pattern Recognition*, 29(1), 51-59.
29. Benlamoudi, A., Samai, D., Ouafi, A., Bekhouche, S.E., Taleb-Ahmed, A., Hadid, A., 2015, May. Face Spoofing Detection Using Local Binary Patterns and Fisher Score. In *2015 3rd International Conference on Control, Engineering & Information Technology (CEIT)*, IEEE, 1-5.
30. De Souza, G.B., da Silva Santos, D.F., Pires, R.G., Marana, A.N., Papa, J.P., 2017. Deep Texture Features for Robust Face Spoofing Detection. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 64(12), 1397-1401.
31. Alotaibi, A., Mahmood, A., 2017. Deep Face Liveness Detection Based on Nonlinear Diffusion Using Convolution Neural Network. *Signal, Image and Video Processing*, 11(4), 713-720.
32. Sajjad, M., Khan, S., Hussain, T., Muhammad, K., Sangaiah, A.K., Castiglione, A., Esposito, C., Baik, S.W., 2019. CNN-based Anti-spoofing Two-tier Multi-factor Authentication System. *Pattern Recognition Letters*, 126, 123-131.
33. Xu, Z., Li, S., Deng, W., 2015. November. Learning Temporal Features Using LSTM-CNN Architecture for Face Anti-spoofing. In *2015 3rd IAPR Asian Conference on Pattern Recognition (ACPR)*, IEEE, 141-145.
34. Sharifi, O., 2019. Score-level-based Face Anti-Spoofing System Using Handcrafted and Deep Learned Characteristics. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, 11(2), 15.
35. Field, D.J., 1987. Relations Between the Statistics of Natural Images and the Response Properties of Cortical Cells. *Josa a*, 4(12), 2379-2394.
36. Ammour, B., Bouden, T., Boubchir, L., 2018. Face-iris Multi-modal Biometric System Using Multi-resolution Log-gabor Filter with Spectral Regression Kernel Discriminant Analysis. *IET Biometrics*, 7(5), 482-489.
37. Du, Y., 2006. Using 2D log-Gabor Spatial Filters for Iris Recognition. In *Biometric Technology for Human Identification III.*, International Society for Optics and Photonics, 6202, 62020F
38. Bounneche, M.D., Boubchir, L., Bouridane, A., Nekhoul, B., Ali-Chérif, A., 2016. Multi-spectral Palmprint Recognition Based on Oriented Multiscale log-Gabor Filters. *Neurocomputing*, 205, 274-286.
39. Simonyan, K., Zisserman, A., 2014. Very Deep Convolutional Networks for Large-scale Image Recognition. *arXiv Preprint arXiv:1409.1556*.

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi Yazım Kuralları

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık 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-Mimarlık 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 yayımlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Makalenin tamamı bilgisayar ortamında hazırlanmalı baskıya hazır biçimde iki adet (birisinde yazar adları ve adresleri olmamak üzere) **Dergi web sayfasında verilen örnek şablona uygun hazırlanmış olarak elektronik ortamda veya e-posta ekinde gönderilmelidir.**

Makale, A4 (210x297 mm) boyutlu kağıda, Windows uyumlu Word ortamında, Times New Roman font kullanılarak, birer aralıkla yazılmalı, ana başlıklar 12 Punto (koyu), yazar adları 12 Punto (koyu), alt başlıklar ve metin 10 punto olmalıdır.

Çizimler ve çizelgelerle birlikte, makaleler 15 sayfadan, kısa bildirimler 4 sayfadan daha uzun olmamalıdır. Makale Türkçe ise: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Öz, Anahtar Kelimeler, Abstract (İngilizce öz), **Keywords, Metin, Semboller** (gerekliyse), **Teşekkür** (gerekliyse) ve **Kaynaklar**,

Makale İngilizce ise: İngilizce Başlık, Türkçe Başlık, Abstract, Keywords, Öz (Türkçe öz), **Anahtar Kelimeler, Text, Notations** (gerekliyse), **Acknowledgments** (gerekliyse) ve **References** sırası içinde düzenlenmelidir.

Başlık kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtılabilmelidir. **Öz** (ve **Abstract**) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 150 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç, en fazla beş tane anahtar kelime verilmelidir. Başlık, Öz ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır. **Metin** yalnız bir dil ve anlatımla yazılmalı, makale Türkçe ise Türkçe, makale İngilizce ise İngilizce yazım kurallarına uygun olmalıdır.

Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır. Denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalıdır. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir. Çizelgeler, çizimler ve fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli, her birine numara ve başlık verilmeli ve başlıklar çizim ve fotoğrafların altına, çizelgelerin üstüne yazılmalıdır.

Kaynaklar metinde köşeli parantez içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Etik kuralları gereğince, alıntılar tırnak içinde verilmeli ve bir referans numarası ile kaynak belirtilmelidir. Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, makalenin (bildirinin veya kitabın) tam başlığı; Makale ise:, derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları, yıl. Kitap ise: cilt numarası, varsa editörü, yayımlandığı yer, yayımlandığı yıl. Bildiri ise: konferansın adı, yapıldığı yer, yıl. Elektronik ortamdan alınmış ise: Bildiri sadece CD/DVD'de yayınlanış ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, bildirinin 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, tezin adı, derecesi, sunulduğu kurum, yıl. Rapor ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, raporun adı, türü, numarası, kuruluşun adı, yayımlandığı yer, yıl. Web Sitesi ise: Yazar(lar) belli ise; yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl. Kurum/Kuruluşlara ait ise: Kurum adı, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl. Elektronik kitap/rapor ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi veya kitap/raporu yayımlayan kurum veya kuruluşun adı, gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl.

Dergi İletişim Adresleri

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı 01330 ADANA

E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr
Tel: (322) 3387050

cu.mmfdergi@gmail.com
Faks: (322) 3386126

