



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
DERGİSİ

CUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING

Cilt/Vol: 36

Sayı/Issue: 1

Mart/March 2021

ISSN 2757-9255



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



Sahibi (Owner)

Ulus ÇEVİK
Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi Dekanı

Editör (Editor)

Serin MEZARCIÖZ

EDİTÖR KURULU (Editorial Board)

Ramazan ÇOBAN (ÇÜ)	Ulvi Can ÜNLÜGENÇ (ÇÜ)
Mutlu AVCI (ÇÜ)	Özen KILIÇ (ÇÜ)
Mustafa GÖK (ÇÜ)	Serin MEZARCIÖZ (ÇÜ)
Ahmet DAĞ (ÇÜ)	Zeynep ZAIMOĞLU (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 VAPUR (ÇÜ)
Mevlüt Sami AKÖZ (ÇÜ)	Hüseyin R. YERLİ (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

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

YAZIŞMA ADRESİ/CONTACT

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

AMAÇ ve KAPSAM

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, yılda dört sayı olarak yayımlanan hakemli bilimsel bir dergidir. Dergi akademik ve araştırma kurumlarındaki mühendislik 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 Faculty of Cukurova 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 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valuable, and useful research articles including original and current scientific research and applications, previously unpublished anywhere else, will be regarded.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

Örme Kumaş Gözenekliliği ile Hava Geçirgenliği Arasındaki İlişkinin İncelenmesi.....	1
<i>Investigation of the Relationship Between Porosity of Knitted Fabrics and Air Permeability</i>	
Abdurrahman TELLİ	
Güneş Enerjisi Santrali için Uygun Alanların CBS Tabanlı AHP Yöntemi ile Belirlenmesi: Mersin İli Örneği	11
<i>Determination of Suitable Areas for Solar Power Plant with GIS Based AHP Method: Mersin Province Example</i>	
Esra Deniz GÜNER, Senem TEKİN, Ahmet ÇİLEK ve Müge ÜNAL ÇİLEK	
Bir Doğaltaş İşleme Fabrikasında Çalışanların Metabolizma Hızları Göz Önüne Alınarak Termal Konfor Şartlarının İncelenmesi	25
<i>Investigation of Thermal Comfort Conditions by Considering Metabolic Rates of Natural Stone Processing Plant Employees</i>	
Ali Ekrem ARITAN ve Zişan MEMİŞ	
Ülkelerin Afet Riski Performans Değerlendirmesi: Bulanık Mantık Uygulaması.....	33
<i>Disaster Risk Performance Assessment of Countries: Application of Fuzzy Logic</i>	
Ali Erkan KARAMAN ve Barış ÖZKUL	
Güç Tutuşurluk Apresinin Denim Kumaş Performans Özelliklerine Etkisinin Araştırılması	43
<i>Investigation on the Effect of Flame Retardant Finishing on Denim Fabric Properties</i>	
Pınar DURU BAYKAL ve Eda KARATAŞ	
The Factors Causing Height-Fall Accidents Occurring During Roofing and Facing Works	55
<i>Çatı ve Cephe Kaplama İşlerinde Meydana Gelen Yüksekten Düşme Kazalarına Sebep Olan Faktörler</i>	
Olcay GENÇ, Gülgün MISTIKOĞLU, Onur YILDIZ ve Ercan ERDİŞ	
Renksiz Kaynağın Pasif Optik Ağ Sisteminde Veri Silme Analizi.....	63
<i>Data Deletion Analysis of Colorless Source in Passive Optical Network System</i>	
Nisa NACAR ÇIKAN ve Murat AKSOY	

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Numerical Investigation of Effects of Different Injection Pressure on Diesel Engine Performance and NO_x Emission..... 71**
Farklı Enjeksiyon Basıncının Dizel Motor Performansı ve NOX Emisyonu Üzerindeki Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi
Adem AVCU, Gökhan TÜCCAR ve Naghdali CHOUPANI
- Çelik Lif Katkılı Alüminyum Tüp İçine Beton Doldurulmuş Kirişlerin Eğilme Dayanımlarının İncelenmesi 79**
Flexural Behaviour of Steel Fiber Reinforced Concrete-Filled Aluminum Tube Beams
Namık YALTAY, Demet YAVUZ ve Soner GÜLER
- Akıllı Tekstil Ürünü Olarak Spor Ceket: Yeni Bir Ürüne Yönelik Tüketici Tepkilerinin Örneklem Özelliklerine Göre Değişimi..... 89**
Sports Jacket as a Smart Textile Product: Change of Consumer Reactions to a New Product According to Sample Characteristics
Güliden TURHAN ve Füsun DOBA KADEM
- Bakır Anot Çamurundan Bakırın Liçinde Düşük Ötektik Noktalı Çözücü Kullanımının Araştırılması 105**
Investigation of Use of Deep Eutectic Solvent on Copper Recovery from Copper Anode Slime
Mehmet Ali TOPÇU, Volkan KALEM ve Aydın RÜŞEN
- Çeşitli Dayanımlara Sahip Atık Betonlardan Üretilen Geri Kazanılmış Agregaların Fiziksel ve Geomekanik Özellikleri..... 121**
Physical and Geomechanical Properties of Recycled Aggregate Sourced by Various Grade Concrete Wastes
Hasan DİLBAS
- Comparison of the Performance of K-Nearest Neighbours and Generalized Neural Network in Construction Crew Productivity Prediction..... 131**
İnşaat Ekibi Üretkenlik Tahmininde K-En Yakın Komşu ve Genelleştirilmiş Sinir Ağının Performansının Karşılaştırılması
Okyanus ORAL, Emel LAPTALI ORAL ve Mehmet Sait ANDAÇ

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Erkenez Havzası CBS Matris Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi..... 141**
Landslide Susceptibility Assessment with GIS Matrix Method in Erkenez Watershed
Eser KOÇ ve Muhterem KÜÇÜKÖNDER
- Critical Parameter Selection and Survival Model Development for Heart Failure Patients 155**
Kalp Yetmezliği Hastalarında Kritik Parametre Seçimi ve Sağkalım Modeli Geliştirilmesi
Ahmet AYDIN
- Numerical Analysis of Ampicillin Release from Electrospun Nanofibrous Mats 163**
Electrospun Nanofibröz Matlardan Ampisilin Salımının Sayısal Analizi
Mehmet Melih TATLISÖZ ve Çetin CANPOLAT
- Daraltılmış Treyler Şasi Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Metodu ile Yapısal Analizi 175**
Design of Narrowed Trailer Chassis and Structural Analysis with Finite Element Method
Tayfun ÖZGÜR ve Seyfi Burak KARATAŞ
- The Influence of Dimension Effect on the Hydrothermal Aging Behavior of Aramid/Epoxy Composites..... 187**
Numune Boyut Etkisinin Aramid/Epoksi Kompozitlerin Hidrotermal Yaşlanma Davranışına Etkisi
Zeynal Abidin OĞUZ ve Ahmet ERKLİĞ
- Soya ve Mısır Yağından Biyodizel Üretimine Yanıt Yüzey Metodu Kullanılarak Optimizasyonu..... 197**
Using Response Surface Methodology to Optimize Biodiesel Production from Soybean and Corn Oil
Ceyla ÖZGÜR
- Çelik Lifli Betonlarda Agrega Tipinin Kırılma Enerjisine Etkisi 207**
The Effect of Aggregate Type on Fracture Energy of Steel Fiber Reinforced Concretes
**Merve DEMİRALP, Ahmet BEYÇİOĞLU, Fuat KÖKSAL,
Hüseyin Okan ANADUT ve Hüsamettin ÜRÜNVEREN**
- Farklı Çevresel Şartlarda İki Eksenli Yüklemelere Maruz Tabakalı Kompozit Malzemelerin Hasarı..... 219**
Damage of Laminated Composite Materials Exposed to Biaxial Loads in Different Environmental Conditions
Fatih DARICIK ve Sakine KIRATLI

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Çetmi (Konya) Civarının Tektono-Stratigrafisi..... 235**
Tectono-Stratigraphical Investigation of Çetmi (Konya)
Ulaş İnan SEVİMLİ, Özkan AŞIK ve Ulvi Can ÜNLÜGENÇ
- PLC Kontrollü Kurutucu Konveyör Tasarımı..... 249**
PLC Controlled Dryer Conveyor Design
Orçun KÜÇÜKATAY, Ercan KÖSE ve Zehra YILDIZ
- A Dual-Band Patch Antenna with Improved Gain and Group Delay
Characteristics for C-Band and X-Band Applications 261**
*C-Bant ve X-Bant Uygulamaları için İyileştirilmiş Kazanç ve Grup Gecikme Özelliklerine
Sahip Çift Bantlı Yama Anteni*
Duygu Nazan GENÇOĞLAN ve Şule ÇOLAK
- Asidik/Bazik Ortamlarda ve Farklı Miktarlarda Çapraz Bağlayıcı ile Elde Edilen
Silika Kaplamaların Pamuklu Denim Kumaşlara Etkilerinin İncelenmesi 273**
*Investigation of the Effects of Silica Coatings Obtained in Acidic/Basic Environments
and with Different Amounts of Crosslinkers on Cotton Denim Fabrics*
Sabiha SEZGİN BOZOK ve R. Tuğrul OĞULATA

Örme Kumaş Gözenekliliği ile Hava Geçirgenliği Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Abdurrahman TELLİ*¹

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

Geliş tarihi: 26.08.2020

Kabul tarihi: 31.03.2021

Öz

Bu çalışmada farklı yapı ve özellikte on iki adet 1x1 rib örme kumaş kullanılmıştır. Örme kumaşların hava geçirgenlikleri ölçülmüş ve mikroskop altında görüntüleri alınmıştır. Görsellerin MATLAB paket programında görüntü işleme teknikleriyle görüntü doku parametreleri analiz edilmiştir. Kumaş gözenekliliği ile ilgili sekiz farklı görüntü doku parametresi ve hava geçirgenliği arasındaki ilişki korelasyon analizi ile istatistiki olarak incelenmiştir. Aynı hammaddeden üretilmiş kumaşlarda kumaş gözenekliliği parametreleri ile hava geçirgenliği arasında güçlü bir ilişki bulunmuştur. Ancak farklı hammaddeler kullanıldığında bu güçlü ilişkinin azaldığı gözlenmiştir. Örme kumaşların hava geçirgenliği üzerinde iplik ve kumaş gözenekliliğine ek olarak lif özellikleri ve karışım oranının da etkileri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rib örme kumaş, Hava geçirgenliği, Görüntü işleme, Görüntü doku parametresi

Investigation of the Relationship Between Porosity of Knitted Fabrics and Air Permeability

Abstract

In this study, twelve 1x1 rib knitted fabrics containing different structure and features were used. Air permeability of knitted fabrics was measured and their images were taken under a microscope. Textural properties of images were analyzed with image processing techniques in MATLAB package program. The relationship between air permeability and eight different textural parameters of images related to fabric porosity were analyzed statistically with correlation analysis. A strong relationship was found between fabric porosity parameters and air permeability in fabrics produced from the same raw material. However, it was observed that this strong relationship decreased when different raw materials were preferred. The effects of fiber properties and blending ratio were determined on the air permeability of knitted fabrics in addition to yarn and fabric porosity.

Keywords: Rib knitted fabric, Air permeability, Image processing, Textural parameters of images

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Abdurrahman TELLİ, atelli@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Hava geçirgenliği tekstil mamullerinin en önemli fiziksel özelliklerinden birisidir. Kullanım yerine göre farklı hava geçirgenliği değerleri istenebilmektedir. Hava geçirgenliği lif, iplik, kumaş ve bitim işlemleri gibi çok sayıda parametreden etkilenmektedir. Tüm bu parametreler birbirleriyle ilişkilidir. Temel olarak hava geçirgenliğinin kumaşın toplam gözenekliliği ile ilgili olduğu söylenebilir. Toplam gözenekliliği etkileyen tüm yapısal parametreler hava geçirgenliğini de dolaylı olarak etkilemektedir. Toplam gözeneklilik lif içi gözeneklilik, iplik içerisinde lifler arasında kalan boşluklar ve kumaş içerisinde iplikler arasında kalan boşluklardan oluşmaktadır. Ancak hava akımının farklı büyüklükteki gözeneklerden öncelikle büyük gözeneği tercih etmesinden dolayı kumaş içerisindeki iplikler arasında kalan makro boşluklar hava geçirgenliği üzerinde daha fazla etkili olmaktadır. Kumaş sıklığındaki artış ile bahsedilen diğer gözenek boyutlarının da etkisi ortaya çıkmaktadır. Önceki çalışmalarda hava geçirgenliği, kumaş gözenekliliği ile ilgili parametreler kullanılarak tahminlenmeye çalışılmıştır [1,2].

Önemli sayıda çalışmada ışık geçirgenliği, kumaş gözenekliliği ve hava geçirgenliği arasındaki ilişki incelenmiştir. Militky ve arkadaşları (1999) ışık geçirgenliği vasıtasıyla dokuma kumaş gözenekliliğini açıklamaya çalışmışlardır. Işık geçirgenliğini görüntü analizi yardımıyla incelemişlerdir. Işık geçen alanın toplam alan içerisindeki oranını hesaplamışlardır. Elde ettikleri sonuçları hava geçirgenliği test sonuçları ile karşılaştırmışlardır [3]. Çay ve arkadaşları (2007) sabit bir ışık kaynağı üzerine yerleştirilen pamuklu dokuma kumaşlardan aldıkları mikroskop görüntülerini analiz etmişlerdir. Hava geçirgenliği, su geçirgenliği, boyama vb. birçok özelliğin kumaşın gözenekliliği ile yakından ilgili olduğu belirtilen çalışmada, gözenekliliğin hesaplanmasında temel problemin tekstil yapılarının deformasyonu, pürüzlülüğü ve düzensiz gözenek boyutu dağılımı olduğunu vurgulamışlardır. Kumaşın şekil özelliklerine bağlı

olan teorik hesaplamaların hava geçirgenliğinin pratik olarak tahmininde verimli olmadığını söylemişlerdir. Hava geçirgenliği ile alınan görüntülerdeki parlaklık arasında doğrusal bir ilişki bulunduğunu belirlemişlerdir. Önerilen yöntemin sıkı yapıda olan kumaşlarda daha güvenilir olacağını da yorumlarına eklemişlerdir [4]. Işık geçirgenliği ile hava geçirgenliği arasındaki ilişkinin incelendiği Haleem ve arkadaşları (2014) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise görüntü analizine ek olarak bir ışık sensörü ile kumaştaki ışığın yoğunluğu ölçülmeye çalışılmıştır. Her iki yöntemde de ışık ve hava geçirgenliği arasında güçlü korelasyon tespit edilmiştir [5]. Nazir ve arkadaşları (2017) tarafından yapılan çalışmada ise, hava geçirgenliğini belirlemek için geleneksel yöntemlerdeki kumaş içerisinden geçirilen havadan farklı olarak kumaş yapısına zarar vermeden ışık geçirgenliğinin kullanılabilmesi belirtilmiştir. Farklı yapı ve bileşimdeki kumaşlar ile daha fazla çalışma yapılması gerektiği de çalışmada vurgulanmıştır [6].

Mavruz ve Oğulata (2009) pamuklu örme süprem, ribana ve interlok örme kumaşların hava geçirgenliklerinin; iplik numarası, kalınlık, ilmek sıklığı ve ilmek iplik uzunluğundan oluşan regresyon denklemleriyle tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir [7]. Zupin ve arkadaşları (2011) tek katlı pamuklu dokuma kumaşların hava geçirgenliği üzerinde en önemli etkiye sahip az sayıda parametreyi tanımlamaya çalışmışlardır. Gözeneklerin hidrolik çapı, makro gözeneklerin sayısı ve dokuma kumaşın toplam gözenekliliğini içeren modelde hava geçirgenliği sonuçları ile yüksek oranda ilişki bulmuşlardır [8].

Turan ve Okur (2012) hava geçirgenliğinin hesaplanmasını kumaş gözenekliliğinin hesaplanmasına dayandırdıkları çalışmalarında, pamuklu dokuma kumaşların iplikler arası gözenekliliği, gözenek boyutu ve gözenek boyutu dağılımlarını iki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) geometrik gözenek modelleri ve görüntü analiz yöntemi kullanarak hesaplamışlardır. Görüntü analiz yönteminde, görüntüler mikroskopta kumaş numunelerine alttan ışık vererek yakalanmıştır. Gözenekli bölgeler parlak, iplik olan bölgeler ışık

geçirmediği için karanlık görülmüştür. 2B ve 3B geometrik modeller ile karşılaştırıldığında, görüntü analizinin gözenek boyutu ve dağılımı konusunda daha objektif sonuçlar verdiği belirtilmiştir [9]. Mezarcıöz ve arkadaşları (2013) örme kumaşların hava geçirgenliğinin tahmini için görüntü analiz sisteminde hesaplanan gözeneklilik ile teorik model ile hesaplanan gözeneklilik değerlerini kullanmışlardır. Farklı yapı ve özellikteki %100 pamuk düz örgü kumaşların kullanıldığı çalışmada, teorik model ile hava geçirgenliği arasında görüntü işleme göre daha yüksek korelasyon sonuçları elde edilmiştir. Çalışmada görüntü işleme tekniğinin eksik yönleri vurgulanmıştır [10]. Gültekin ve arkadaşları (2020) dokusuz yüzey kumaşların gözeneklilik ve hava geçirgenliği özelliklerini doku özelliklerinden tahmin etmek için yapay zekâ algoritması geliştirmeye çalışmışlardır. Sonuçlar hava geçirgenliği ve gözeneklilik arasında çok yakın bir ilişki olduğunu göstermiştir. Yapay sinir ağı ile düşük ağırlıktaki nonwoven malzemelerin hava geçirgenliği ve gözenek özelliklerinin doku görüntülerinden yüksek doğrulukta tahmin edilebileceği belirlenmiştir [11].

Bu çalışmada daha önceki çalışmalardan farklı olarak, mikroskop altında alınan örme kumaş görüntülerinin MATLAB yazılımındaki sekiz farklı doku parametresindeki sonuçları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile deneysel olarak elde edilen hava geçirgenliği değerleri arasındaki ilişki korelasyon analizi yardımıyla incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada beş farklı iplik numarası (Ne13, Ne16, Ne20, Ne28, Ne30), üç farklı hammadde (pamuk, pamuk/viskon, polyester/viskon) ve iki farklı iplik besleme (2 ve 3 adet iplik) ile 12 fine incelikte Shima Seiki SFF152 marka örme makinesinde farklı gramajlarda üretilmiş 12 adet 1x1 rib örme kumaş kullanılmıştır. Kumaşlara ait özellikler Çizelge 1’de verilmektedir. Kumaşların hava geçirgenliği testleri “Prowhite EP08M Hava Geçirgenliği Test Cihazı” kullanılarak TS 391 EN ISO 9237 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, 100 Pa basınç ve 20 cm²’lik alanda mm/s cinsinden yapılmıştır. 10 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan örme kumaşların özellikleri

Tip	İplik Besleme (adet)	Çubuk Sıklığı (çubuk / cm)	Sıra Sıklığı (ilmek / cm)	İlmeğin İplik Uzunluğu (cm / ilmek)	Kumaş Gramajı (g/m ²)	İplik Karışım Oranı (%)	İplik Numarası (Ne)
01	2	4,4	11	1,43	511	%100 Pamuk	Ne 16
02	3	5,8	11	1,49	1052		
03	2	4,4	9,5	1,46	360	% 100 Pamuk	Ne 20
04	3	5,1	10	1,53	693		
05	2	4,4	12	1,94	404	%100 Pamuk	Ne 30
06	3	5,8	10,5	1,84	663		
07	2	4,7	10,5	1,41	631	%50 Pamuk / %50 Viskon	Ne 13
08	3	5,8	11	1,51	1314		
09	2	4,4	9,5	1,49	367	%50 Pamuk / %50 Viskon	Ne 20
10	3	4,7	11	1,43	656		
11	2	3,6	8	1,43	174	%50 Viskon / %50 Polyester	Ne 28
12	3	3,7	9	1,44	303		

Hava geçirgenliği testinden önce kumaşların 10x (10 kat) büyütme oranında Novel NSZ 808 marka stereomikroskop kullanılarak RGB formatında görüntüleri 1880x2590 piksel olarak alınmıştır. Her kumaştan 10 görüntü alınmıştır. Kullanılan mikroskop görüntülerinde, alt bölümden verilen sabit ışık kaynağı sayesinde kumaş yüzeyindeki gözeneklilikler ortaya çıkmaktadır. Farklı gözenek boyut ve dağılımına sahip örme kumaşların farklı yapı ve özellikleri nedeniyle farklı oranlarda ışığı geçirecekleri düşüncesinden hareket edilmiştir. Tüm testler, 24 saat süreyle TS EN ISO 139'a göre kondüsyonlanıp standart atmosfer koşullarında (20°C±2 sıcaklık, %65±4 bağıl nem) yapılmıştır.

Alınan örme kumaş görselleri üzerinde yapılan görüntü analiz çalışmaları MATLAB R2018a paket programında gerçekleştirilmiştir. İlk olarak MATLAB yazılımına üç boyutlu resim (RGB) yüklenmektedir. Sistemde "1880X2590X3 uint 8" formatında üç boyutlu matrise sahip olan resim, 0 ile 256 arasında grinin farklı tonlarını ifade eden "1880X2590 uint8" şeklinde iki boyutlu matrislere dönüştürülmüştür. Daha sonra matrisler üzerinde doku analizi yapabilmek için 0-1 arasında değer alacak şekilde "1880x2590 double" hale getirilmektedir [12]. Bir sonraki işlem olarak elde edilen görüntü matrislerindeki gürültüyü azaltmak için medfilt2 (2D median filtering) temel filtreleme tekniği uygulanmıştır [13-14]. Filtre uygulanmış görüntülerde histogram eşitleme tekniği kullanılarak görüntü bölütleme için en uygun eşik değeri hesaplanmıştır. Bölütlemeye, eşikli siyah ve beyaz piksellerin sınıf içi varyansını en aza indirmek için eşik değerini seçen Otsu'nun global eşikleme algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma, tek bir eşik değeri kullanarak görüntü histogramını göstererek görüntüyü bölütleyen eşikleme yöntemidir [14-18].

Elde edilen görüntü matrislerinde kumaş gözenekliliği hakkında bilgi sahibi olabilmek için görsellerin yedi farklı doku parametresi incelenmiştir. Bunlar karşıtlık (contrast), korelasyon (correlation), enerji (energy), homojenlik (homogeneity), matris elemanlarının ortalaması (mean2), matris elemanlarının standart sapması (std2) ve entropisi (entropy) şeklindedir.

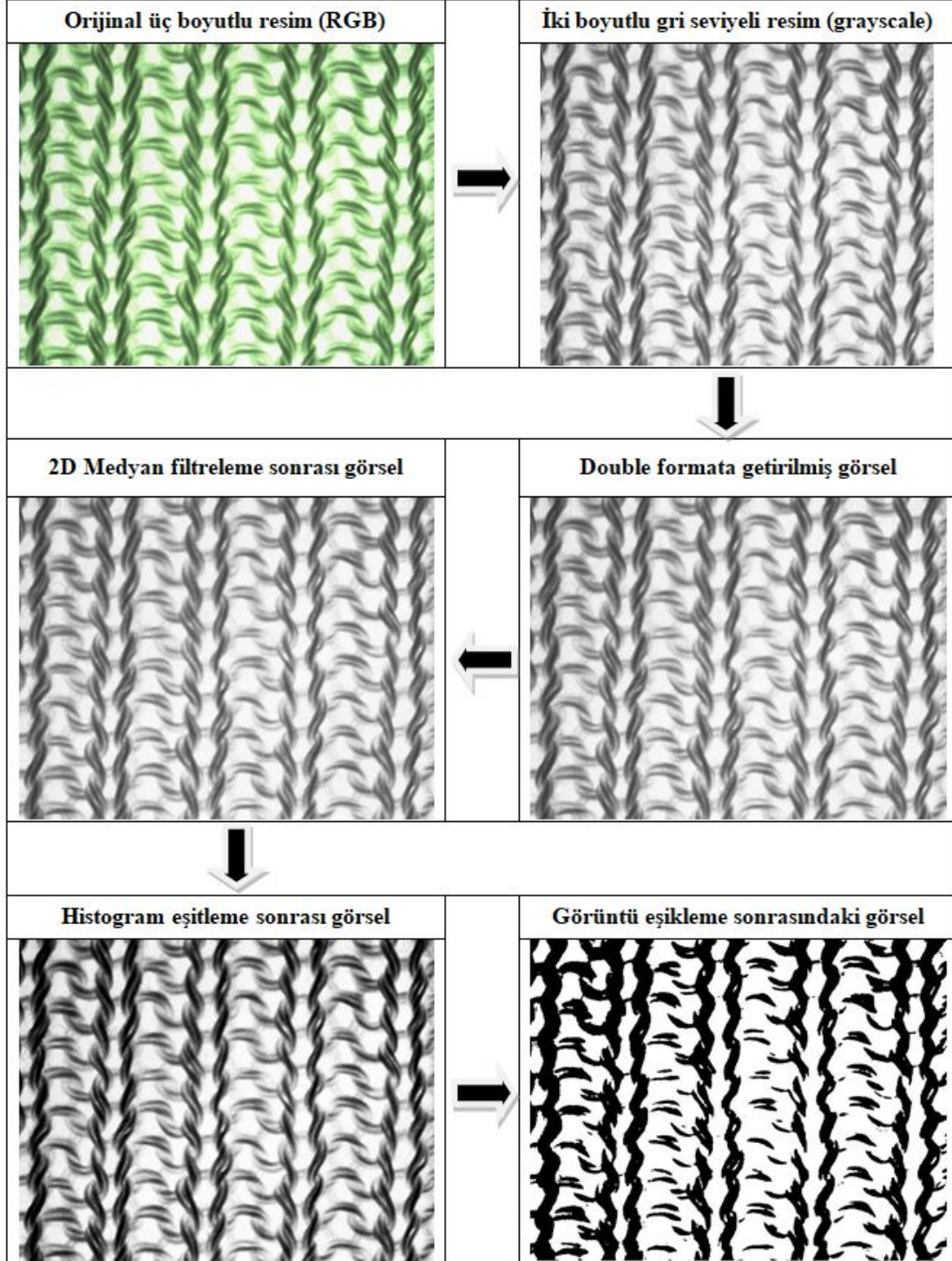
Karşıtlık, korelasyon, enerji ve homojenlik, gri düzey eş oluşum matrisinden (GLCM) türetilen görüntünün istatistiksel özellikleridir. Kontrast, GLCM'deki bölgesel varyasyonları ölçmektedir. Korelasyon, belirtilen piksel çiftlerinin birleşik olasılığını test etmektedir. Enerji, GLCM'deki kare ögelerin toplamını vermektedir. Homojenlik, GLCM'deki elemanların dağılımının GLCM diyagonaline yakınlığını ölçmektedir. Matris elemanlarının ortalaması, dizideki tüm değerlerin ortalamasıdır. Matris elemanlarının standart sapması, piksel yoğunluğu değerlerinin standart sapmasıdır. Entropi, normalleştirilmiş histogram sayılarıyla ilgilidir. Ayrıca "Image Region Analyzer" kullanılarak görüntüler bölgesel olarak analiz edilmiştir [13-15,19]. Görüntü matrislerindeki kumaş yüzeyin kapladığı alan dışındaki "toplam alan" hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan bu sekiz parametrenin hava geçirgenliği test sonuçları ile arasındaki ilişki Pearson bağıntı (korelasyon) analizi kullanılarak istatistiki olarak incelenmiştir. Bağıntı katsayısındaki önem seviyeleri Çizelge 2'de gösterilmektedir [20].

Çizelge 2. Bağıntı katsayısındaki önem seviyeleri

Bağıntı katsayısı (r)	Anlamı
0-0,25	Hiç ilişki yok ya da çok zayıf
0,25-0,50	Zayıf derecede ilişki
0,50-0,75	Orta derecede ilişki
0,75-1,00	Güçlü derecede ilişki

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 1'de örnek olması açısından "12" nolu kumaştan alınan ilk görselin görüntü işleme öncesi mikroskobik görüntüsü, görüntü işleme adımları ve sonrasındaki elde edilen görüntüleri sunulmaktadır. Görüntü işleme adımları sonrasında elde edilen görüntülerde, RGB formatındaki üç boyutlu matrise sahip resimlerin 0-1 arasında değer alacak şekilde gri düzey eş oluşum matrislerinin elde edilip filtreleme tekniğiyle görüntüdeki gürültülerin azaltılması ile yüzey gözenekliklerinin daha net bir şekilde ortaya çıktığı görülmektedir.



Şekil 1. Görüntü işleme öncesi, adımları ve sonrası kumaş görselleri

Çizelge 3’de kumaşların hava geçirgenliklerinin mm/s cinsinden ortalama test sonuçları ve görüntü analiz sonrasındaki kumaş görüntülerine ait yedi doku parametresi ve görüntü matrislerinde kumaş yüzeyin kapladığı alan dışındaki “toplam alan” hesabından oluşan sekiz parametrenin ortalama değerleri verilmektedir. Çizelge 3’deki hava geçirgenliği sonuçları, Çizelge 1’de verilen örme kumaş özellikleri ile birlikte düşünüldüğünde, aynı iplik kullanılan kumaşlarda (1-2, 3-4, 5-6, 7-8, 9-10, 11-12) bir iğneye beslenen iplik adedinin 2’den 3’e çıkarıldığında hava geçirgenliği değerlerinin azaldığı görülmektedir. Aynı iplik besleme adetlerinde, üç adet beslemelerde (2-4-6, 8-10-12) iplik numarası inceldikçe hava geçirgenliğinde artış gözlenmiştir. İki adet beslemelerde ise “7-9-11” nolu kumaşlar arasında artış görülmüştür. Ancak “01” nolu kumaşa göre “03” ve “05” nolu kumaşlarda daha yüksek hava geçirgenliği görülürken, “03” ve “05” nolu kumaşlar arasında önemli bir fark tespit edilememiştir. Sonuçlar kumaş içerisindeki iplikler arasında kalan makro boşlukların hava geçirgenliği üzerinde önemli seviyede etkili olduğunu göstermektedir. Sadece “05” nolu kumaşa görülen farklı durum, bu kumaşın Çizelge 1’deki en yüksek ilmek iplik

uzunluğuna sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Elde edilen bulgular daha önceki çalışmalarda belirtilen bilgiler ile uyum göstermektedir [1-2,8, 10]. Çizelge 3’deki en düşük hava geçirgenliğinin “08” nolu kumaşa ölçüldüğü görülmektedir. En yüksek hava geçirgenliği ise “11” nolu kumaşa bulunmuştur. Çizelge 1’de bu iki kumaşın en yüksek ve en düşük gramaj değerlerine sahip olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 3’de “toplam alan” 953709 piksel olarak en düşük “02” nolu kumaşa ölçülmüştür. Daha sonra en düşük değere 1051260 piksel ile “08” nolu kumaş sahiptir. Bu durum toplam alan hesabının doku özelliklerindeki karşılığı matris elemanlarının ortalaması (mean2) değerlerinde daha kolay takip edilebilmektedir. Kumaş yüzeyin kapladığı alan dışındaki “toplam alan”, bir başka ifade ile görüntüdeki beyaz piksellerin, görüntüdeki toplam piksel sayısına (1880*2590) bölümünü ifade eden “mean2” değerlerinde de en düşük değer “02” nolu kumaşa, daha sonra “08” nolu kumaşa ölçülmüştür. “02” nolu kumaşa beyaz piksellerin yüzdesi 19,59 ve “08” nolu kumaşa %21,59 olduğu görülmektedir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Hava geçirgenliği ve sekiz farklı doku parametresinin ortalama test sonuçları

Tip	Hava Geçirgenliği (R= mm/s)	Ortalama (mean2)	Standart Sapma (std2)	Entropi (entropy)	Karşıtlık (contrast)	Korelasyon (correlation)	Enerji (energy)	Homojenlik (homogeneity)	Toplam Alan (total area)
01	879,2	0,3942	0,4870	0,9628	0,0123	0,9741	0,5134	0,9939	1919341
02	156,9	0,1959	0,3968	0,7135	0,0106	0,9663	0,6745	0,9947	953709
03	1047,7	0,5538	0,4965	0,9900	0,0116	0,9765	0,4955	0,9942	2696382
04	310,6	0,2624	0,4388	0,8274	0,0093	0,9757	0,6052	0,9953	1277533
05	1025,1	0,5793	0,4921	0,9772	0,0123	0,9746	0,5036	0,9938	2826691
06	414,6	0,3278	0,4688	0,9111	0,0113	0,9744	0,5491	0,9944	1596169
07	488,3	0,3998	0,4892	0,9689	0,0102	0,9787	0,5113	0,9949	1946714
08	103,2	0,2159	0,4109	0,7513	0,0125	0,9630	0,6497	0,9938	1051260
09	1150,7	0,6171	0,4847	0,9561	0,0133	0,9716	0,5168	0,9933	3004753
10	509,8	0,3851	0,4864	0,9610	0,0117	0,9753	0,5152	0,9942	1874977
11	2444,8	0,6058	0,4866	0,9617	0,0132	0,9721	0,5132	0,9934	2949626
12	1961,9	0,6611	0,4709	0,9171	0,0125	0,9718	0,5437	0,9938	3218802

Diğer dokusal parametrelerde ise benzer şekilde “02” nolu kumaş en düşük standart sapma, entropi ve karşıtlık değerleri ile en yüksek enerji değerlerine sahip olmuştur. Bütünü görebilmek amacıyla, tüm kumaşlardaki hava geçirgenliği ile görüntü doku parametreleri ve gramaj test sonuçları arasındaki ilişki Çizelge 4’de bağıntı analizi ile incelenmektedir

Sonuçlar incelendiğinde hava geçirgenliği ile matris elemanlarının ortalaması ve toplam alan arasında pozitif yönlü güçlü bir korelasyon olduğu görülmektedir ($r=0,860$). Bu iki değer arttıkça hava geçirgenliği de artmaktadır. Hava

geçirgenliği ile gramaj değerleri arasında da negatif yönlü güçlü bir korelasyon bulunmuştur ($r=-0,824$). Diğer doku parametrelerinden karşıtlık ($r=0,628$), entropi ($r=0,535$) ve standart sapma ($r=0,535$) ile hava geçirgenliği arasında pozitif yönde orta düzeyde ilişki bulunurken, enerji ($r=-0,543$) ve homojenlik ($r=-0,638$) ile arasında negatif yönde orta düzeyde ilişki tespit edilmiştir. Korelasyon parametresi ile hava geçirgenliği arasında önemli düzeyde bir ilişki ise bulunamamıştır. Çizelge 5’de ise %100 pamuk içeren ilk altı kumaşın hava geçirgenliği ile görüntü doku parametreleri ve gramaj test sonuçları arasındaki ilişki sunulmaktadır.

Çizelge 4. Tüm kumaşlardaki hava geçirgenliği ile görüntü doku parametreleri ve gramaj test sonuçları arasındaki ilişki

Tip	Ortalama (mean ²)	Standart Sapma (std ²)	Entropi (entropy)	Karşıtlık (contrast)	Korelasyon (correlation)	Enerji (energy)	Homojenlik (homogeneity)	Toplam Alan (total area)	Gramaj
Hava Geçirgenliği	0,860	0,535	0,535	0,628	0,146	-0,543	-0,638	0,860	-0,824

Çizelge 5. %100 pamuk içeren ilk altı kumaşın hava geçirgenliği ile görüntü doku parametreleri ve gramaj test sonuçları arasındaki ilişki

Tip	Ortalama (mean ²)	Standart Sapma (std ²)	Entropi (entropy)	Karşıtlık (contrast)	Korelasyon (correlation)	Enerji (energy)	Homojenlik (homogeneity)	Toplam Alan (total area)	Gramaj
Hava Geçirgenliği	0,958	0,912	0,915	0,779	0,602	-0,923	-0,803	0,957	-0,926

Çizelge 5’deki sonuçlar incelendiğinde Çizelge 4’deki sonuçlara benzer şekilde hava geçirgenliği ile matris elemanlarının ortalaması ve toplam alan arasında pozitif yönlü güçlü bir korelasyon olduğu görülmektedir. Ancak %100 pamuk içeren ilk altı kumaşın verilerinde bağıntı katsayısı değeri daha güçlüdür ($r=0,958$). Hava geçirgenliği ile gramaj değerleri arasında da

Çizelge 4’deki sonuçlara benzer şekilde negatif yönlü güçlü bir korelasyon bulunmuştur. Ancak burada da %100 pamuk içeren ilk altı kumaşın verilerinde bağıntı katsayısı değeri daha güçlüdür ($r=-0,926$). Diğer görüntü doku parametrelerinde de tüm numune seti yerine %100 pamuk içeren ilk altı kumaş değerleri kullanıldığında bağıntı katsayısı değerleri yükselmiştir. Karşıtlık

($r=0,779$), entropi ($r=0,915$) ve standart sapma ($r=0,912$) ile hava geçirgenliği arasındaki orta düzeyde ilişki, pozitif yönde güçlü seviyeye ulaşmıştır. Benzer şekilde enerji ($r=-0,923$) ve homojenlik ($r=-0,803$) ile hava geçirgenliği arasındaki negatif yöndeki orta düzeyde ilişki de güçlü seviyeye ulaşmıştır. Çizelge 4’de korelasyon parametresi ile hava geçirgenliği arasında önemli düzeyde bir ilişki bulunamamışken, Çizelge 5’de pozitif yönde orta düzeyde bir ilişki tespit edilmiştir ($r=0,602$).

Çizelge 4 ve 5’deki sonuçlar beraber değerlendirildiğinde, aynı hammaddeden üretilmiş kumaşlarda, görüntü analiz yardımıyla incelenen kumaş gözenekliliğini ifade eden doku parametreleri ile hava geçirgenliği arasında güçlü bir ilişki bulunurken, farklı hammaddeler devreye girdiğinde bu güçlü ilişkinin azaldığı görülmektedir. Hava geçirgenliği ile arasında güçlü korelasyon bulunan yedi görüntü doku parametresi ikiye düşmektedir. Ayrıca kalan iki parametre ile hava geçirgenliği arasındaki bağıntı katsayısı değeri de düşmektedir. Çizelge 1’de kullanılan örme kumaşların özellikleri ve Çizelge 3’deki hava geçirgenliği değerleri birlikte incelendiğinde, lif cinsi ve oranlarındaki değişimin etkisi görülmektedir. Aynı iplik numarasının (Ne 20) ve iplik besleme adedinin (2) kullanıldığı, yakın gramaj değerlerine sahip “03” nolu (360 g/m^2) %100 Pamuk kumaş ve “09” nolu (367 g/m^2) %50 Pamuk / %50 Viskon kumaş arasında hava geçirgenliği değerleri önemli farklılık göstermiştir. Viskon içeren “09” nolu kumaşlarda daha yüksek hava geçirgenliği ölçülmüştür. Benzer şekilde, aynı iplik numarasının (Ne 20) ve iplik besleme adedinin (3) kullanıldığı “04” ve “10” nolu kumaşlarda; viskon içeren “10” nolu (656 g/m^2) %50 Pamuk/%50 Viskon kumaş, “04” nolu (693 g/m^2) %100 Pamuk kumaşa göre bir miktar daha az gramaj değerine sahip olmakla birlikte önemli seviyede fazla hava geçirgenliği göstermiştir. Literatürde de viskon lif içeren iplik ve kumaşların, aynı yapı ve özellikteki pamuk içerenlere göre daha yüksek hava geçirgenliğine sahip olduğu bildirilmektedir [21-22].

Ayrıca yakın gramaj değerlerine sahip “06” nolu (663 g/m^2), “07” nolu (631 g/m^2) ve “10” nolu (656 g/m^2) kumaşlarda, “06” nolu ($414,6 \text{ mm/s}$) %100 Pamuk kumaşa göre “07” nolu ($488,3 \text{ mm/s}$) ve “10” nolu ($509,3 \text{ mm/s}$) %50 Pamuk/%50 Viskon içeren kumaşların daha yüksek hava geçirgenliğine sahip olduğu görülmektedir. Benzer şekilde yakın gramaj değerlerine sahip “03” nolu (360 g/m^2), “09” nolu (367 g/m^2) ve “12” nolu (303 g/m^2) kumaşlarda, “03” nolu ($1047,7 \text{ mm/s}$) %100 Pamuk kumaşa göre “09” nolu ($1150,7 \text{ mm/s}$) %50 Pamuk/%50 Viskon içeren kumaşta daha yüksek hava geçirgenliği ölçülmüştür. Pamuk lifinin yer almadığı %50 Viskon/%50 Polyester içeren “12” nolu kumaşta, $1961,9 \text{ mm/s}$ ile tüm kumaşlar arasında ikinci en yüksek hava geçirgenliği değeri ölçülmüştür.

4. SONUÇ

Bu çalışmada farklı yapı ve özellikteki örme kumaşların mikroskop altındaki görüntülerinden, görüntü analiz teknikleriyle elde edilen kumaş gözenekliliğini ifade eden görüntü doku parametreleri ile hava geçirgenlikleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Hava geçirgenliği ve kumaş gözenekliliği ile ilgili iki parametre arasında güçlü ilişki bulunmuştur. Ancak daha önceki çalışmalardan farklı olarak, ışık geçirgenliği yardımıyla kumaş gözenekliliği ile ilgili görüntü doku parametreleri ile hava geçirgenliğinin örme kumaşlarda yüksek doğrulukta tahmin edilemeyeceği görülmüştür. Dokuma kumaşlara göre daha seyrek yapıda olan örme kumaşlarda, hava geçirgenliği üzerinde kumaş gözenekliliği başrol üstlenirken lif özellikleri ve karışım oranının da etkilerinin yadsınamayacağı tespit edilmiştir. Aynı hammaddeden kumaşlar için görüntü analiz çalışmaları hava geçirgenliğinin belirlenmesinde önemli bir seçenek olarak düşünülebilecekken, farklı hammaddelerde net sonuçlara ulaşamayacağı açıktır. Çalışma örme kumaşlarda gözenekliliğin hava geçirgenliği için en önemli parametre olmakla birlikte tek başına yeterli olmadığını göstermektedir. İlerleyen çalışmalarda farklı lifler için oluşturulacak hava geçirgenliği katsayıları ile bu durum çözümlenerek daha kesin sonuçlara ulaşılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Turan, R.B., Okur, A., 2008. Kumaşlarda Hava Geçirgenliği. *Tekstil ve Mühendis*, 15(72), 16-25.
2. Kırıcı, T., Kanat, Z.E., Gülümser, T., Tarakçıoğlu, I., Taşkın, C., Çay, A., 2007. Tekstil Materyallerinde Gözenekliliğin Önemi, *Tekstil & Teknik*, 23(271), 180-186.
3. Militky, J., Travnickova, M., Bajzik, V., 1999. Air Permeability and Light Transmission of Weaves. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 11(2-3), 116-125.
4. Çay, A., Vassiliadis, S., Rangoussi, M. & Tarakçıoğlu, I., 2007. On the Use of Image Processing Techniques for the Estimation of the Porosity of Textile Fabrics. *International Journal of Materials and Textile Engineering*, 1(2), 421-424.
5. Haleem, N., Ibrahim, S., Hussain, T., Jabbar, A., Malik, M.H., Malik, Z.A., 2014. Determining the Light Transmission of Woven Fabrics Through Different Measurement Methods and its Correlation with Air Permeability. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 9(4), 76-82.
6. Nazir, A., Hussain, T., Afzal, A., Faheem, S., Ibrahim, W., Bilal, M., 2017. Prediction and Correlation of Air Permeability and Light Transmission Properties of Woven Cotton Fabrics. *Autex Research Journal*, 17(1), 61-66.
7. Mavruz, S., Oğulata, R.T., 2009. Pamuklu Örme Kumaşlarda Hava Geçirgenliğinin İncelenmesi ve İstatistiksel Olarak Tahminlenmesi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 19(1), 29-38.
8. Zupin, Ž., Hladnik, A., Dimitrovski, K., 2012. Prediction of One-layer Woven Fabrics Air Permeability Using Porosity Parameters. *Textile Research Journal*, 82(2), 117-128.
9. Turan, R.B., Okur, A., 2012. Investigation of Pore Parameters of Woven Fabrics by Theoretical and Image Analysis Methods. *Journal of the Textile Institute*, 103(8), 875-884.
10. Mezarciöz, S., Bebekli, M., Oğulata, R.T., 2013. Prediction of the Air Permeability of Knitted Fabrics: Comparison of the Image Analysis System and Theoretical Model, 8th International Conference TEXSCI 2013, September 23-25, Liberec, Czech Republic.
11. Gültekin, E., Çelik, H. İ., Nohut, S., Elma, S.K., 2020. Predicting Air Permeability and Porosity of Nonwovens with Image Processing and Artificial Intelligence Methods. *The Journal of the Textile Institute*, DOI: 10.1080/00405000.2020.1727267
12. Telli, A., Özkan, İ., 2018. Görüntü İşleme Teknikleri ile Örme Kumaşlardaki Boncuklanma Direncinin Objektif Ölçümü. *Tekstil ve Mühendis*, 25(112), 313-318.
13. Telli A., 2019. Boncuklanma Görüntülerinin İşlenmesinde Farklı Filtrelerin Kullanımı, The International Conference of Materials and Engineering Technologies (TICMET'19), 10-12 October 2019, 695-701.
14. Telli, A., 2020. The Relationship Between Subjective Pilling Evaluation Results and Detecting Pills and Textural Features in Knitted Fabrics. *Fibers and Polymers*, 21(8), 1841-1848.
15. Telli, A., 2019. An Image Processing Research Consistent with Standard Photographs to Determine Pilling Grade of Woven Fabrics. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 29(3), 268-276.
16. Otsu, N., 1979. A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), 62-66.
17. Perihanoglu, G.M., 2015. Dijital Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Görüntülerden Detay Çıkarımı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 67.
18. MathWorks, Binarize 2-D Grayscale Image or 3-D Volume by Thresholding, <https://uk.mathworks.com/help/images/ref/imbinarize.html>, Son Erişim: 10.01.2021.
19. MathWorks, Binarize 2-D Grayscale Image or 3-D Volume by Thresholding, <https://uk.mathworks.com/help/images/ref/graycoprops.html>, Son Erişim: 10.01.2021.
20. Özdemir, O., 2005. Medikal İstatistik. İstanbul Medikal Yayıncılık. İstanbul, 314.
21. Öner, E., Okur, A., 2015. Thermophysiological Comfort Properties of Selected Knitted Fabrics

- and Design of T-shirts. The Journal of The Textile Institute, 106(12), 1403-1414.
- 22.** Oner, E., 2019. Mechanical and Thermal Properties of Knitted Fabrics Produced from Various Fiber Types. Fibers and Polymers, 20(11), 2416-2425.

Güneş Enerjisi Santrali için Uygun Alanların CBS Tabanlı AHP Yöntemi ile Belirlenmesi: Mersin İli Örneği

Esra Deniz GÜNER*¹, Senem TEKİN², Ahmet ÇİLEK³, Müge ÜNAL ÇİLEK³

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

²Adıyaman Üniversitesi, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Adıyaman

³Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 14.12.2020

Kabul tarihi: 31.03.2021

Öz

Güneş enerji santrallerinin nihai yer seçim kriterleri çevresel, topografik, ekonomik, ve yasal mevzuatlar gibi bir çok değişkene bağlıdır. Yer seçimini etkileyen bu kriterler düşünüldüğünde, güneş enerji santrallerinin yer seçim yaklaşımları büyük yatırımlar için kritik bir konudur. Bu kriterlerin sistematik bir hiyerarşide düzenlemek zorunludur. Güneş enerjisi santrallerin yer seçiminin modern yöntemlerle seçilmesi ile ülke ekonomisine önemli bir katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Bu doğrultuda mevcut çalışma, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı çok kriterli bir karar verme (ÇKKV) tekniğini kullanarak Mersin İli'ndeki (Türkiye) güneş enerjisi santralleri için uygun yerlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çevresel, ekonomik ve topografik kriterleri ağırlıklandırmak ve potansiyel alanların uygunluğunu değerlendirmek için analitik hiyerarşi yöntemi (AHP) uygulanmıştır. Sonuç olarak, çalışma alanının güneş enerjisi alanları için sahile yakın Tarsus, Yenişehir, Erdemli, Silifke, Anamur ilçelerinin ve çevresi alanların yüksek uygunluk düzeyine sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanının kuzeydoğusunda yer alan Çamlıyayla ilçesinin ise güneş enerji santralleri için az uygun alan olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yer seçimi, Güneş enerjisi, Çok kriterli karar verme, Analitik hiyerarşi süreci, CBS

Determination of Suitable Areas for Solar Power Plant with GIS Based AHP Method: Mersin Province Example

Abstract

The location selection criteria for solar power plants depends on many variables such as environmental, topographic, economic impacts and legal regulations. Considering these criteria that affect the location selection, location approach of solar power plants is a critical issue for large investments. It is imperative to organize these criteria in a systematic hierarchy. It is thought that a significant contribution will be made to the country's economy by choosing the location of solar power plants with modern methods. Existing work in this direction, GIS-based (Geographic Information Systems) multi-criteria decision making (MCDM) using the technique in Mersin (Turkey) aims to select suitable location for solar power plants. Analytical hierarchy process (AHP) was used to weight the criteria and evaluate potential sites. As a result, Tarsus, Yenişehir, Erdemli, Silifke, Anamur districts close to the seashore and their surrounding areas were determined to be suitable for the solar energy fields of the study area. While Çamlıyayla district, which is located in the northeast, is found to be less suitable for solar power plants.

Keywords: Location selection, Solar power, Multi-criteria decision making, Analytic hierarchy process, GIS

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Esra Deniz GÜNER, eguner@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Enerji, insanlığın temel gereksinimlerinden birisidir. Sanayi devrimi ile birlikte yaşam standartlarının yükselmesi, çoğalan nüfusun mal ve enerji ihtiyacını karşılama gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Fosil yakıtlar, yenilenebilir kaynaklar ve nükleer kaynaklar olmak üzere üç temel kategoride enerji kaynakları hızlı enerji tüketimini karşılamak için kullanılmıştır. Geçmişten beri en çok kullanılan enerji kaynağı fosil yakıtlar olmasına rağmen kaynakların kısıtlı olması ve olumsuz çevresel etkilerinin bulunmasından dolayı, insanları alternatif enerji kaynaklarını kullanmaya yönlendirmiştir. Teknolojideki gelişmeler ile birlikte yenilenebilir enerji, sınırsız kaynaklarının tekrar tekrar kullanılması (güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji, vb.) ile sürdürülebilir enerji üretimi açısından ön plana çıkmıştır [1-3]. Özellikle 21. yüzyılda fosil yakıtların hızla artan iklim değişikliği ve küresel ısınma sorunlarının temel sebeplerinden biri olarak gösterilmesi temiz enerji üretimine olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır [4-6].

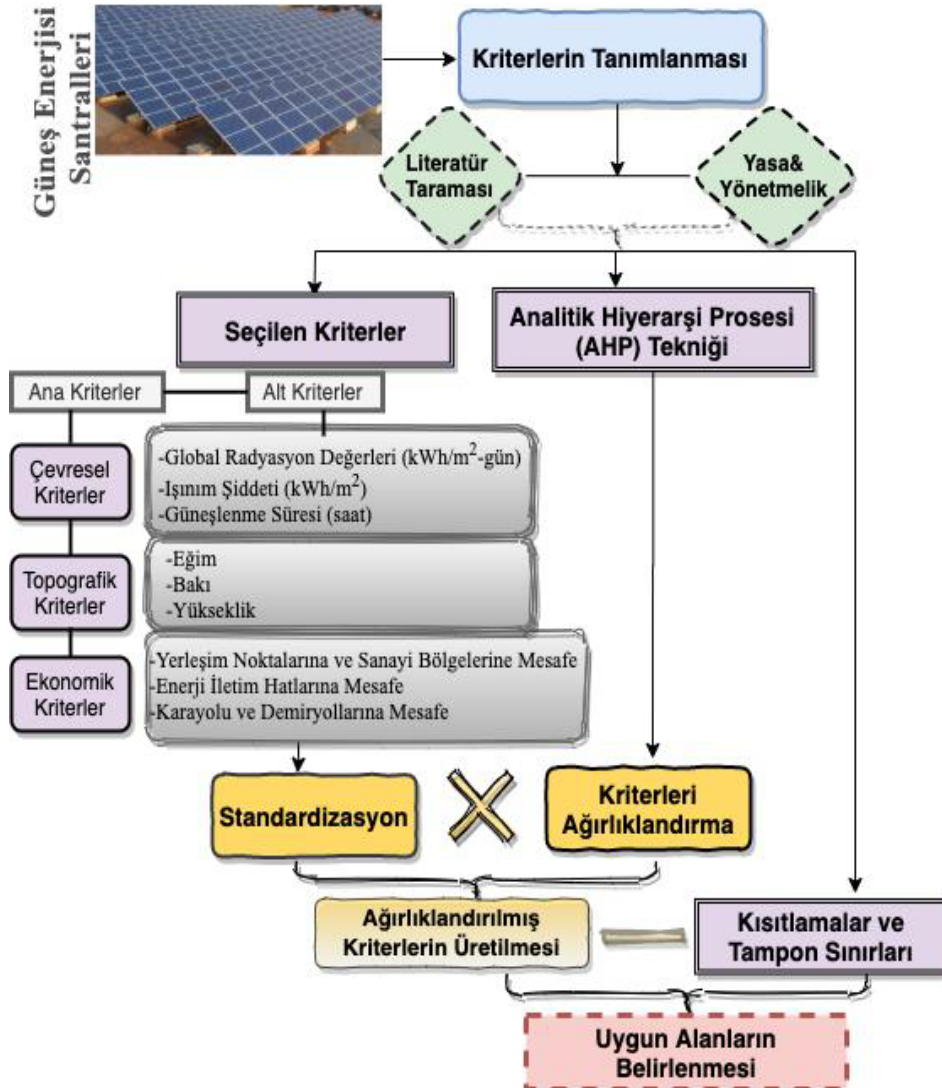
Güneş enerjisi bol, sürekli ve dışa bağımlı olmaması ile oldukça değerli yenilenebilir enerji kaynaklarından. Güneş enerjisi santralleri (GES), güneş ışınımını doğrudan fotovoltaik ile veya dolaylı olarak konsantre güneş enerjisi ile elektriğe dönüştürür. Güneş enerjisi üretimi sürdürülebilir olması, kolay erişilebilirliği, çevresel etkilerinin çok az olması ve güneş enerjisi üretim tesislerine devlet teşviklerinin olması bakımından diğer enerji kaynaklarından avantajlıdır [7]. Bu avantajları ile fotovoltaik güneş enerjisi, dünyanın gelecekteki enerji talebini sürdürülebilir bir şekilde karşılamak için en iyi seçeneklerden biri olarak görülmektedir [8-14]. Uluslararası Enerji Ajansı (UEA), güneş enerjisinin 2050 yılına kadar %20-25 artacağını böylece fotovoltaik ve dolaylı olarak konsantre güneş enerjisi sistemleri ile 9000 TWh elektrik üretmenin mümkün olacağını belirtmiştir. Bu temiz elektrik miktarı CO₂ emisyonlarının yılda yaklaşık 6 milyar ton azaltılmasına katkıda bulunabileceği tahmin edilmektedir [4-6].

Türkiye zengin kaynakları ile yüksek yenilenebilir enerji potansiyeline sahiptir [15,16]. Türkiye'nin 2023'te kurulu gücünün 110.000 ila 130.000 MW, ve elektrik tüketiminin 500 milyar kWh olması tahmin edilmektedir [17]. Türkiye hükümeti 2014 yılında Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planını açıklamıştır. Bu eylem planına göre, 2023 yılına kadar enerji verimliliğini artırmak ve yenilenebilir enerji üretiminin toplam payını %30'a çıkarmayı hedeflemektedir [18-20]. Türkiye'de baskın yenilenebilir enerji kaynağı, tahmini 48.000 MW'a varan bir kurulumla rüzgâr enerjisi olarak kabul edilebilir. Toplam ülke elektrik üretiminin %6,6'sına denk olan 7.005 MW enerji rüzgâr enerjisinden tedarik edilmektedir. Güneş enerjisinin ise toplam kurulu gücü 5.063 MW (toplam ülke elektrik üretiminin %2,6'sı) ile önemli bir yenilenebilir kaynağıdır [18-20]. Ancak, güneş enerjisi potansiyeli kullanılarak elektrik üretiminin sadece 643 kTOE olmuştur [18-20].

Güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi güneş enerjisi projelerinin inşaat, kurulum ve işletme basamaklarını kapsayan hayati bir stratejik karardır. Ayrıca nihai güç üretiminde, santral verimliliğinde ve elektrik üretim maliyetinde önemli bir rol oynamaktadır [3]. Güneş potansiyeli sergileyen yerlerin güneş enerjisi santralleri kurmak için en uygun alanlar olması gerekmez, çünkü saha seçimini etkileyen birçok kriterler vardır [9,21-23]. Güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi, ekonomik, sosyal, çevresel ve kültürel pek çok unsuru içermektedir. Bu nedenle, güneş enerjisi santrallerinin alan seçimi, genel performansı en üst düzeye çıkarmak için güneş enerjisi endüstrisi yöneticileri için en vazgeçilmez konulardan biri haline gelmiştir. Bu sorunun üstesinden gelmek için, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı çok kriterli karar verme teknikleri (ÇKKV) (multi-criteria decision analysis–MCDA) enerji planlama problemlerinde etkili bir şekilde kullanılmıştır. Ayrıca ÇKKV pek çok farklı unsuru bir arada değerlendirilerek güneş santralleri için uygun yer seçim kararının verilmesinde planlılar, tasarımcılar, mühendisler ve pek çok meslek grubunu bir arada bulundurulmuş karar vericilere planlama ve yönetim aşamasında yol gösterici olmaktadır [8,9,11,24,25].

Çalışmada CBS tabanlı çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP kullanılarak Mersin İli için güneş enerji santrali kurulabilecek uygun alanların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu önemli stratejik karar verme süreci için çalışmada izlenecek ve dikkat edilmesi gereken adımlar şunlardır: (1) güneş enerjisi santralleri için uygun yer seçim kararının verilmesine yardımcı olabilecek faktör ve kısıtlayıcılar ile bunların eşik değerleri belirlenmesi, (2) kriterlerin analitik hiyerarşi süreci (Analytic hierarchy process-AHP)

ile ağırlıklarının belirlenmesi, (3) Bulanık mantık (Fuzzy logic) ile kriterlerin standardize edilmesi, (4) kriterler aracılığı ile elde edilen katmanların çakıştırılarak uygun alanların belirlenmesidir (Şekil 1). Bu çalışma sonuçlarının enerji üretimi ile ilgili plan ve politikalara altlık veri oluşturması, çalışma yönteminin ise yerel yönetimlere, hükümete ve yatırımcılara uygun yer seçim kararının verilmesinde yardımcı olması beklenmektedir.



Şekil 1. Çalışmada izlenen yöntemin akış diyagramı

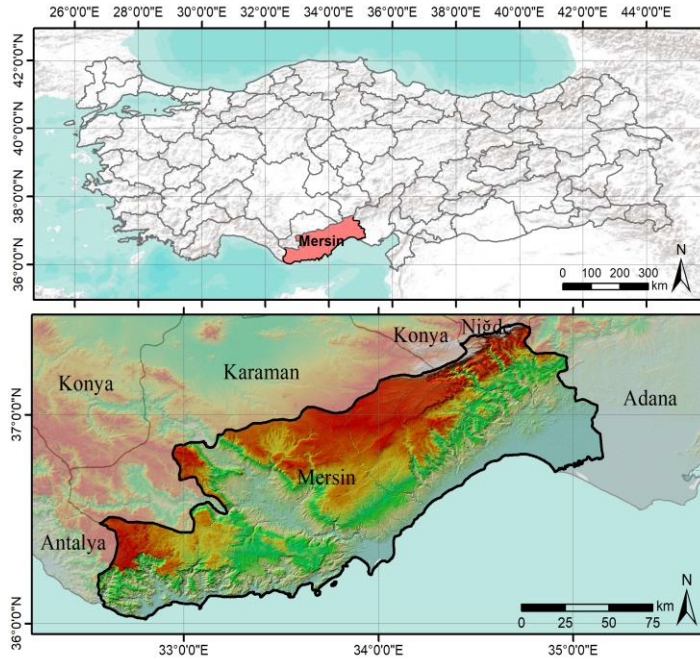
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Alanı

Türkiye'nin güneyinde Akdeniz Bölgesi sınırları içerisinde yer alan Mersin İli çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 2). Bir liman kenti olan Mersin, 36-37° kuzey enlemleri ve 33-35° doğu boylamları arasında yer almaktadır. Kentin toplam yüzey alanı 15.843 km² olup Türkiye'nin en kalabalık onuncu şehridir ve 2019 yılı itibarıyla, 1.814.000 nüfusa sahiptir. Çalışma alanı güneyde Akdeniz, kuzeyde Doğu Toros Dağları ile sınırlanmıştır. Bu yüzden kentin topoğrafyası güneyden kuzeye gidildikçe değişkenlik göstermektedir. Alanda en düşük kot deniz seviyesinde yer alırken, en yüksek kot 3500 m yükseklikte yer almaktadır. Çalışma alanında Akdeniz'e yakın ovalarda eğim %0-2 düze yakın eğime sahip iken, Doğu Toros dağlarına gidildikçe %20-30 dik eğime sahip yamaçlar bulunmaktadır. Kent iklimi kıyıda denizel etkide, kıyıdan uzaklaştıkça karasal iklimin etkisi altında kalmaktadır. Genel olarak kentte tipik sıcak ve ılıman astropikal iklim görülmektedir. Yaz ayları sıcak ve aşırı nemli kış

ayları ılık ve yağışlıdır (yıllık yağış ortalaması 1096 mm). Yaz aylarında ortalama sıcaklık 33°C, hakim rüzgar yönü Güney-Güneybatı, rüzgar hızı 3 km/s ve ortalama nem %57'dir. Kentin enerji üretimi 3.335.544 MWh/y, enerji tüketimi ise 5.157.530 MWh/y'dir [14,20]. Çalışma alanı olarak Mersin kentinin seçilme sebepleri ise:

- Yıl boyunca güneşlenme süresinin diğer bölgelere göre yüksek olması,
- Alanda güneş, rüzgar vb. yenilenebilir enerji santrallerinin bulunmasından dolayı bölgenin yenilenebilir enerji santral potansiyelinin olması,
- Yeni enerji tesisleri için çalışma alanının iklimsel ve topoğrafik özelliklerinin elverişli olması,
- Türkiye 11. kalkınma planında Çukurova bölgesinin enerji koridoru olarak görülmesi ve çalışma alanının bu koridorda yer alması olarak sıralanabilir.



Şekil 2. Çalışma alanı Mersin İli'nin konumu

2.2. Yöntem

Çalışmada yeni tesis edilmesi planlanan güneş enerjisi santralleri için en uygun bölgelerin belirlenmesi CBS tabanlı bulanık mantık ve analitik hiyerarşi süreci (AHP) tekniğinin uygulanması aracılığıyla olmuştur.

Aşama 1: Yöntemin uygulanmasında birinci aşama güneş enerjisi santrallerinin kurulumunu kısıtlayan veya teşvik eden kriterlerin belirlenmesidir. Kriterleri belirlemek için bu

konuda yapılmış ulusal ve uluslararası literatürlerden, yasa ve yönetmeliklerden ve uzman görüşlerinden faydalanılmıştır. Son on yılda yapılan çalışmalar incelendiğinde, güneş enerjisi santralleri yer seçimi ile ilgili ekonomik, teknik, çevresel, sosyal ve kültürel pek çok kriterin değerlendirildiği gözlemlenmiştir (Çizelge 1). Bu kriterler yapılan plan, proje ve yerel yönetimlerin belirlemiş oldukları politika önceliklerine göre çalışmadan çalışmaya farklılık göstermektedir.

Çizelge 1. Ulusal ve uluslararası literatürde yer alan kriterler

Kriterler	Önceki Çalışmalar																						
	2013 Uyan	2013 Aydın	2015 Tahri	2015 Sanchez-	2015 Watson	2015 Zoghi	2016 Merrouni	2016 Noorollahi	2017 Anwarzai	2017 Al Garmi	2017 Aly	2017 Doljak	2017 Asakereh	2017 Tavana	2018 Yushchenko	2018 Özdemir	2018 Merrouni	2019 Giamalaki	2019 Firozjaei	2019 Majumdar	2019 Doorga	2019 Ali	
Yerleşim ve sanayi bölgesine mesafe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Güneş radyasyon değeri		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Güneşlenme süresi						x	x				x				x						x		
Araziye erişim														x									
Karayolu, otoyol ve demiryollarına mesafe	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x			x	x	x	x	x	x	x
Mevcut iletim hattına olan mesafe	x	x		x	x					x			x		x		x	x	x	x	x	x	x
Arazinin eğimi ve yönü	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rekreasyon faaliyetleri için alanlara mesafe	x				x													x		x			
Kültürel ve tarihi yerlere mesafe	x				x														x		x		
Gelişmiş bölgelere olan mesafe																					x		
Sulak alanlara ve göllere mesafe	x	x								x		x					x	x		x		x	x
Yaban hayatına mesafe	x				x														x		x		x
Kuş göç noktalarına mesafe	x															x							
Tarım arazilerine mesafe	x	x	x	x	x				x			x	x			x		x	x				x
Altyapıyı ve ekipmanlarının güvenliği				x											x	x	x	x					
Ortalama sıcaklık			x	x																			
Havaalanlarına mesafe		x							x														x
Kıyı şeridi veya nehirlere mesafe		x					x	x				x						x					
Doğal rezervler açısından kabul edilebilirlik		x											x					x					x
Nüfus yoğunluğu															x								
Yükseklik						x	x											x				x	x
Hava sıcaklığı				x			x		x		x											x	x
Bağıl nem						x	x				x											x	
Madenlere yakınlık											x												
Şebeke ağına yakınlık				x			x			x												x	
Arazi maliyeti / inşaat maliyeti										x													x

Bu çalışmada ise değerlendirme kriterleri iklimsel, topografik ve ekonomik olmak üzere üç ana kriter altında toplanmış ve toplam 9 alt kriter güneş enerjisi santralleri için uygun alanların değerlendirilmesinde kullanılmıştır (Çizelge 2). İklimsel kriterler, güneş enerjisi santralının kurulmasında gerekli olan iklim parametrelerini

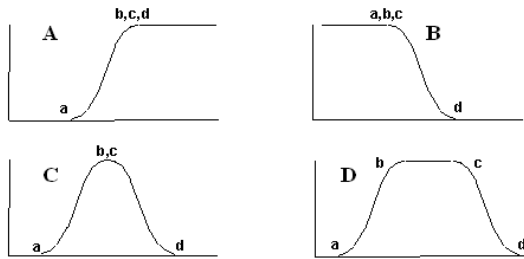
içermektedir. Teknik kriterler, güneş ışınımının miktarı ve hava sıcaklığı, bağıl nem, yağış kriterlerinin ortalamasını içerir. Ekonomik kriterleri, güneş enerjisi santrallerinin yerleştirilmesinin proje maliyeti üzerindeki etkisini ifade etmektedir.

Çizelge 2. Sınırlayıcı veya teşvik edici kriterlerin hiyerarşik yapısı

ANA KRİTERLER	ALT KRİTERLER	SINIRLAYICI VEYA TEŞVİK EDİCİ ÖZELLİKLER
ÇEVRESEL FAKTÖRLER	Global radyasyon değeri (kWh/m ² -gün)	Global radyasyon değeri (GHI), güneş enerjisi proje geliştirmelerinde temel karar kriteridir [8, 22, 24]. GHI, sistemden elektrik çıkışının büyüklüğünü belirler dolayısıyla da santrallerin verimliliğini etkiler. Bu değer 1800 kWh/m ² /yl'dan az olan arazileri uygun bulunmazken ve bu eşik değerinden daha yüksek olan alanlar çok kriterli analizler kullanılarak sınıflandırılmıştır [8, 26].
	Güneş ışınım şiddeti (kWh/m ²)	Güneş ışınımı, birim alan başına güçtür (metrekare başına watt, W/m ²) [12, 27, 28]. İran'da 500 Watt/m ² 'lik güneş radyasyonunun varlığını ideal kabul etmiştir [13]. Türkiye'nin batısında bulunan güneş enerjisi tesisatları için min 4,5 kWh/m ² /gün güneş radyasyonu değerinin varlığı uygun kabul edilmiştir [29].
	Güneşlenme süresi (saat)	Güneş enerjisi aralıklı bir kaynak olduğu için güneşlenme süresi, ortalama bağıl nem, toz fırtınası, gibi etkileri ifade eder [30-32]. Su buharına doymuş veya güneş almama gibi meteoroloji koşullarının güneş ışığını engellemesi ile enerji üretimi veya akış miktarı azalmaya sebep olabilir. Ayrıca, toz fırtınası güneş panellerinin kirlenmesine ve kir birikmesine neden olur. Güneş ışığı süresi (saat), hava sıcaklığı (°C) ve bağıl neme (%) göre sınıflandırılarak kullanılmıştır [12, 30].
TOPOGRAFİK FAKTÖRLER	Eğim	Güneş ışığını engelleyecek veya gölgeleme yaratacak bir yükseltinin olup olmadığını anlamak için önemlidir. Genellikle uygun eğim olarak %1-%3 aralığı tercih edilse de eğim yüzdesi konusunda literatürde fikir birliği bulunmamaktadır. %4'ten daha fazla bir eğime sahip olan arazinin panellerin bir sonraki sıraya gölge düşürmesi nedeniyle güneş çiftliğinin genel verimliliğini olumsuz etkilediği belirtilmektedir [33]. Bazı çalışmalarda eğimleri %5'in üzerinde olan arazileri hariç tutmuşlardır [34, 35]. Eğim %11'den fazla olan araziler uygun görülmemiş ve bu eşik değerinden daha düşük alanlar çok kriterli analizler kullanılarak sınıflandırılmıştır [36].
	Bakı yönü	Güneş panellerinin yönlendirmesi gelen güneş radyasyonuna maruz kalmamın belirlenmesinde önemlidir. Güney yarımkürede yer alan Mauritius'da yapılan bir çalışmada, güneş panellerinin güneşten gelen enerjiyi en üst düzeye çıkarmak için coğrafi kuzeye doğru yönlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir [12]. Kuzey yarı kürede yer alan Türkiye'de ise yapılan çalışmalarda Güney bakı yönü uygun yeri belirlemede tercih edilmektedir [9, 21-23].
	Yükseklik	Yüksek rakımda nadir flora ve fauna türlerine rastlanması, yol ve elektrik iletim ağının seyrek olması nedeniyle yükseklik kriteri önemlidir [37, 38]. Önceki çalışmalarda, güneş enerjisi için yüksek rakım önerilmez [8, 39]. Literatürde, deniz seviyesinden yüksekliğe, 2000 m'lik [22] veya 200 m mak. [8] uygun olarak görülmektedir.
EKONOMİK FAKTÖRLER	Yerleşim ve sanayi noktalarına mesafe	Kentsel veya kırsal alanların yakınında güneş enerjisi santrali inşa edilmesi kentsel ve nüfus gelişimi üzerinde olumsuz çevresel etkilere neden olabilir [40-42]. Ancak güvenlik, bakım-onarım, temizlik gibi süreklilik arz eden faaliyetlerin yürütülebilmesi için işgücü erişimine ve bunlara ilişkin harcamaları en aza indirmek için, avantaj sağlayabilir. Literatürde, güneş enerjisi santralleri için uygun bir yerleşim yeri yerleşim alanlarından en az 500 m uzaklıkta uygun olarak kabul görmektedir [43, 44].
	Enerji nakil hatlarına mesafe	Üretilen elektriği şebekeye kolayca enjekte etmek ve iletim kayıplarını en az seviyeye indirmek için saha yüksek voltaj kablolarına yakın olmalıdır [45, 46]. Bu nedenle, iletim güç hatlarının yakınında bulunan alanlara daha yüksek öncelik değerleri atanmalıdır. Büyük GES projelerinde yer seçiminde şebeke ağına en fazla 10 km uzaklık olması verimlilik için tercih edilmektedir [22, 47, 48].
	Ulaşım ağına mesafe	Ana yollara yakınlık, güneş enerjisi santralleri inşa ve kurulum aşamasındaki maliyetleri etkili bir şekilde azaltabilir. Bu nedenle, ana yollara daha yakın konumlara daha yüksek bir öncelik verilmelidir [25, 45, 46].

Aşama 2: Çalışmanın ikinci aşaması belirlenen kriterlerin standardizasyonunun bulanık mantık (Fuzzy Logic) aracılığı ile yapılmasıdır. Buradaki temel amaç farklı ölçü değerlerine sahip kriterlerin ortak bir birime getirilmesidir. Bu yaklaşımda her bir Fuzzy seti fonksiyonu değerlendirilerek bu setlere ait her bir piksel için değerlendirilme yapılır. Sigmoidal, J-shaped ve doğrusal fonksiyonlar değer ölçeğindeki en yüksek ve en düşük değerlerden elde edilen kontrol noktaları ile biçimlendirilirler. İlk nokta fonksiyonun sıfırdan yükselmeye başladığı alanı temsil etmektedir. İkinci nokta fonksiyonun 1'e ulaştığı yerdir. Üçüncü nokta fonksiyonun yeniden 1'den aşağı doğru düşmeye başladığı alan ve 4. nokta ise fonksiyonun 0 değerine geri döndüğü alandır. The Sigmoidal ("s-shaped") biçim Fuzzy seti teorilerinde en çok kullanılan fonksiyondur ve kosinüs fonksiyonu kullanılarak üretilmiştir. Aşağıda Fuzzy fonksiyonun ihtiyaç duyduğu 4 adet kontrol noktasına ait değerler verilmiştir. Bunlar sigmoidal eğri üzerinde a, b, c, d olarak Şekil 3'te gösterilmiştir:

- a = fonksiyonun '0' in üzerine çıktığı nokta
 b = fonksiyonun '1'e ulaştığı nokta
 c = fonksiyonun '1' den azalmaya başladığı nokta
 d = fonksiyonun '0' olduğu nokta



Şekil 3. Sigmoidal fonksiyonlar, (A) Monoton olarak artan, (B) Monoton olarak azalan, (C) ve (D) Simetrik [49]

Sigmoidal fonksiyonuna ait üyeler monoton olarak artan, monoton olarak azalan, simetrik (üst sol, üst sağ, alt sol ve alt sağ) şekilde olabilmektedir. Fonksiyonun monoton olarak arttığı durumlarda b, c, d kontrol noktaları için verilen değerler aynıdır. Aynı şekilde fonksiyonun monoton olarak azaldığı durumlarda ise a, b, c kontrol noktaları aynı değere

sahiptir. Fuzzy uygulaması ile aynı zamanda, Boolean yaklaşımı dışında (0-1, uygun değil-uygun), yumuşatılan sınırlar da (uygun olabilir) oluşturulmaktadır [49].

Aşama 3: Çalışmanın son basamağı ise analitik hiyerarşi sürecini içermektedir. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ilk olarak 1968 yılında Myers ve Alpet tarafından ortaya konulmuş ve 1977 yılında Saaty tarafından karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir bir yöntem olarak geliştirilmiştir. AHP, karar almada nicel ve nitel ölçütleri değerlendirebilen, grup veya bireyin tercihlerini, deneyimlerini, sezgilerini, bilgilerini, yargılarını ve düşüncelerini karar sürecine dahil edebilen, karmaşık problemlerin hiyerarşik bir yapı içinde ele alınarak çözülmesini sağlayan birçok kriterli karar verme yöntemidir.

AHP modelinin uygulanması hedef belirleme ve ardından ana kriterler ve alt kriterlerin belirlenmesi ile başlar. AHP yönteminde çalışmanın amacına göre uzmanlara ana kriter ve alt kriterlerin ikili karşılaştırmalarını yapılması istenir. Bu karşılaştırmalar Saaty tarafından tanımlanan 9-değer ölçeğine göre puanlanır [50]. Güneş enerji santrallerinin seçiminde kriterler arasında ikili karşılaştırma matrisi (Ax) oluşturulur. 9-değer ölçeğinde kriterler arasındaki önem 1-9 arasında belirtilerek, önce ana kriterler ve sonrasında alt kriterlere göre karar seçeneklerinin karşılaştırıldığı matrisler oluşturulur (Çizelge 3). Karşılaştırma matrisleri köşegen elemanları 1 olan bir kare matristir.

Çizelge 3. AHP yöntemi karşılaştırma ölçeği

Önem Derecesi	Tanımı	Açıklama
1	Eşit öneme sahip	Her iki kriter eşit değerde önemli
3	Biraz önemli	Bir kriter diğer kritere göre biraz önemli
5	Fazla önemli	Bir kriter diğer kritere göre çok daha önemli
7	Çok fazla önemli	Bir kriter diğer kritere göre kesinlikle çok daha önemli
9	Aşırı derecede önemli	Bir kriter diğer kritere göre son derecede önemli
2,4,6,8	Bu değerler ise ara değerleri gösterir.	

3. BULGULAR

Çalışmada CBS ve çok kriterli analizlerden birisi olan AHP yöntemi kullanılarak güneş enerji santralleri için uygun alanların belirlenmesi hedeflenmiştir. Çevresel, topografik ve ekonomik ana kriterler altında 9 alt kriter önceki çalışmalar ve çalışma alanının özelliklerine göre belirlenmiştir. Belirlenen kriterler bulanık mantık yöntemi ile ortak birim olan 0-1 arasında

standardize edilmiştir. Her bir kriter için sigmoidal, j-shaped ve monoton artan veya azalan fuzzy fonksiyonlarında kontrol noktaları belirlenmiştir. Ana ve alt kriterler AHP yöntemi ile güneş enerjisi santrali uygunluğu için kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu konuda uzman 20 kişi tarafından ikili karşılaştırma anketi uygulanmış ve sonuçta her bir kriterin güneş enerjisi santrali için uygun alan belirlenmesindeki ağırlık katsayısı hesaplanmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Ana kriterler	Çevresel	Topografik	Ekonomik	Ağırlık Katsayısı		
Çevresel	1,00	2,50	4,75	0,60		
Topografik	0,40	1,00	3,75	0,30		
Ekonomik	0,21	0,27	1,00	0,10		
Çevresel Alt Kriterler	Küresel yatay ışıma	Güneş ışıınımı	Güneşlenme süresi	Ağırlık Katsayısı	Fuzzy fonksiyonu	Kontrol noktaları
Küresel radyasyon değeri (W/m ²)	1,00	2,83	3,00	0,59	Monoton artan	a=3 b,c,d=5
Güneş ışıınım şiddeti (W/m ²)	0,35	1,00	1,83	0,25	Monoton artan	a=3,5 b,c,d=5
Yıllık toplam güneşlenme süresi (saat)	0,33	0,55	1,00	0,16	Monoton artan	a= 2150 b,c,d= 2650
Topografik Alt Kriterler	Eğim	Bakı	Yükseklik	Ağırlık Katsayısı	Fuzzy fonksiyonu	Kontrol noktaları
Eğim (%)	1,00	0,77	2,05	0,35	Monoton azalan	a,b,c= 3 d= 10
Bakı yönü (°)	1,30	1,00	3,33	0,49	Simetrik	a=0 b,c=180 d=360
Yükseklik (m)	0,49	0,30	1,00	0,16	Monoton azalan	a,b,c= 500 d= 2000
Ekonomik Alt Kriterler	Yerleşim ve endüstri yakınlık	Enerji nakil hatlarına yakınlık	Ulaşım ağına yakınlık	Ağırlık Katsayısı	Fuzzy fonksiyonu	Kontrol noktaları
Yerleşim ve endüstri mesafe (km)	1,00	1,01	1,46	0,37	Simetrik	a=2 b,c=7,5 d=13
Enerji nakil hatlarına mesafe (km)	0,99	1,00	2,00	0,40	Monoton artan	a=10 b,c,d=20
Ulaşım ağına mesafe (km)	0,69	0,50	1,00	0,23	Monoton artan	a=10 b,c,d=20

Ana kriterler incelendiğinde çevresel, topografik ve ekonomik faktörler sırasıyla %60, %30 ve %10 ağırlığa sahip olduğu hesaplanmıştır. Çevresel faktörler, belirli bir fotovoltaik alanın potansiyel elektrik üretimini tanımladığı için en önemli kriter olarak ortaya çıkmıştır. Belirli bir alandaki yamaçların dikliğini veya yumuşaklığını ortaya çıkaran topografik kriterler ikinci sırada gelmiştir. Son sırada ise enerjinin nakli ve kullanımı

açısından önemli olan ekonomik faktörler gelmektedir.

Çevresel faktörün alt kriterleri incelendiğinde global radyasyon değeri, diğer çevresel kriterlere kıyasla 0,59'luk bir ağırlığa sahip olmuştur (Çizelge 4). Böylece güneş enerjisi santralleri için yer tahmini etkileyen en önemli çevresel faktörün güneş radyasyonu olduğu tespit edilmiştir. Bunu

enerjisi kullanımının bir yararı olarak en kalabalık bölgeler olması ve mevcut altyapı ile en yüksek enerji tüketimine sahip olmaları göze çarpmaktadır. Ayrıca, Şekil 4 incelendiğinde özellikle mevcutta Gülnar ilçesinde yoğunlaşmış bulunan mevcut güneş enerjisi santralleri ile uygunluk haritasının paralel olduğu görülmektedir. Bu mevcut tesislerin yer seçimi ve çalışma sonuçlarının örtüşmesi çalışmada kurgulanan yöntemin uygulanabilirliğini arttırmaktadır. Çamlıyayla ilçesi ve çevresinin en az uygun hatta uygun olmayan alanlar olarak tespit edilmiştir. Bunun nedeni, eğimin, yükseltinin fazla olması, bakı yönünün bölgede kuzey olması, topografyanın değişken olması, ulaşım ağına uzak olması ve elektrik şebekesi hatlarının daha az sayıda olması olarak sıralanabilir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Enerji santrallerini için uygun yerlerin seçimi birbiriyle çelişen konumsal (iletim hatlarına uzaklık, yollardan uzaklık vb.), topografik (eğim vb.), ekonomik, sosyal ve arazi kullanımı (askeri, tarım vb.) gibi birden çok kritere bağlı olduğu için karmaşık bir süreçtir. Bu süreç, arazi kullanılabilirliği, altyapının varlığı vb. farklı kriterlerin en uygun kombinasyonunu gerektirmektedir. Bu sorunları çözmek için genellikle CBS tabanlı çok kriterli karar verme tekniklerinin AHP, Fuzzy, TOPSİS, ELECTRE gibi yöntemlerle birlikte kullanılarak bu süreç yönetilmektedir [8,25,27,32]. Bu yöntemlerden güneş enerji santralleri için uygun alanların değerlendirilmesinde kullanılan en yaygın yöntemler AHP ve bulanık mantıktır [29,30,51]. Güneş tesislerine ev sahipliği yapmak için en uygun yerleri bulmada, Sánchez-Lozano, García-Cascales [41] Murcia (İspanya)'da, Uyan [22] Karapınar bölgesinde, Carrión, Estrella [47] Granada (İspanya)'da, Asakereh, Soleymani [25] Khuzestan (İran)'da şebekeye bağlı bir enerji santrali kurmak için çevresel, yerel, topografik ve iklimsel faktörlerin dahil edildiği arazilerin uygunluğunun nihai haritasını çıkarmak için CBS tabanlı AHP yönteminden faydalanmıştır. Majumdar and Pasqualetti [32]'da çalışmalarında bulanık mantık ve bulanık üyelik fonksiyonları

yaklaşımını benimsemiştir. Ancak, diğer çalışmalarla benzer ana faktörleri değerlendirmekle kalmayıp kültürel ve doğa alanlarına mesafeyi halk görüşü olarak ana faktörlerden biri yapması çalışmayı diğer çalışmalardan ayırmıştır. Bu çalışmada, faktörlerin değerlendirilmesine kamuoyunu dahil ederek güneş enerjisi santrallerinin gelişimi için uygun arazinin mevcudiyeti üzerindeki etkisini anlamaya çalışmıştır. Ek olarak, bu çalışma, gelecekteki arazi örtüsü değişikliklerinin Arizona'da güneş enerji santrallerinin mevcut olan arazi üzerindeki etkisini göstermektedir. Ali, Taweekun [8], Tayland'ın güneyindeki bir eyalet olan Songkhla'da şebeke ölçeğinde rüzgar ve güneş çiftlikleri bulmak için ideal alanları belirlemek için yaptıkları çalışmalarında diğer çalışmalara benzer olarak yüzey özellikleri, çevre ve ekonomi olarak üç ana kriter altında toplamışlardır. Merrouni, Elalaoui [27], Fas'da büyük GES'ler için iklim, topografi, lokasyon ve su kaynağı faktörlerinin dikkate alındığı, CBS tabanlı analizlerin yapıldığı bulanık mantık ve ÇKKV modelinin kombinasyonunu kullanmışlardır.

Bu çalışmada da güneş santralleri uygun yer seçim kararının verilmesinde CBS çok kriterli analiz yöntemleri uygulanmıştır. Diğer çalışmalarla benzer olarak bu çalışmada da çevresel, ekonomik ve topografik faktörler GES için uygun alanların belirlenmesinde kullanılmıştır. Çevresel faktörler küresel radyasyon değeri, güneş ışınım şiddeti ve yıllık güneşlenme süresi olmak üzere doğrudan enerji üretiminin en üst düzeyde olmasını sağlayacak temel özellikleri değerlendirmiştir. Güneşlenme süresi, güneş radyasyonu ile ilişkilendirilmesine rağmen, yapılan çalışmalarda ayrı bir faktör olarak kabul edilmiştir [30,52]. Ana ve alt kriterler uzman görüşü doğrultusunda AHP yöntemi aracılığı ile ağırlıklandırılmıştır. Çevresel faktörlerin yüksek oranda ağırlığı ile önceki çalışmalarla benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Kriterler bulanık mantık aracılığı ile standardize edilmiştir. Çalışma yönteminde belirlenen kriterlerin karşılaştırılması sonucunda Mersin İli'nin %66 gibi büyük bir bölümünün yeni GES için uygun olduğu gözlemlenmiştir. Özellikler eğimin düşük, enerji nakil hatlarına ve

yerleşim birimlerine yakın ovalık alanlarda konumlanan Tarsus, Yenişehir, Erdemli, Silifke, Mut, Gülnar ilçelerinin ve çevresinin en yüksek uygunluğa sahip olduğu ve bu bölgelerin yenilenebilir enerji potansiyelinin yüksek olduğu görülmüştür. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2014 [53] ülkemizdeki toplam yıllık güneş ışınım şiddeti 1,311 kWh/m², güneşlenme süresi ise 2640 saat olarak belirtilmiştir. Güneş enerjisi santrallerinin verimliliği için en az 4,5 kWh/m² güneş ışınım değeri gerekmektedir [29]. Mersin bölgesinin ışınım değerlerinin dağlık bölgelerde çok yüksek (1800-2000 kWh/m² yıl) nüfusun yoğun olarak yaşadığı sahil bölgelerinde ise 1700-1750 kWh/m² yıl'dır. Çalışma alanında yer alan mevcut güneş enerjisi santrallerinin konumları çalışma sonucunda uygun olarak belirlenen alanlarla örtüşmektedir.

Yeni tesis edilmesi planlanan yenilenebilir enerji santrallerinin uygun yer seçim kararının verilmesi multidisipliner ve karmaşık bir süreçtir. Bu çalışmada izlenen yöntem güneş santrali konumların seçilmesinde yerel yönetimlere, plan ve politika uygulayıcılara ve karar vericilere bilimsel bir temel sağlamaktadır. Bu bilgi paydaşların yenilenebilir enerji yatırım yapma konusundaki güvenlerini arttıracak ve gelecek Türkiye'nin fosil yakıtı dayalı enerjiye bağımlılığı azaltarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik girişimlerine ulaşmanın ayrılmaz bir parçası olacaktır. Fakat uygun alan seçiminde faktörlerin belirlenmesi ülkeden ülkeye, yapılan plan ve projeye ve yönetim stratejilerine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bu yüzden yapılan çalışmalar bölgedeki değişkenler (alan kullanımları, koruma statüleri, kültürel özellikler, vb) dikkate alınarak detaylı bir şekilde incelenmeli ve elektrik şebekesi genişletme planlama verileriyle birlikte değerlendirilmelidir. Böylece çevresel, ekonomik ve sürdürülebilir yer seçim kararı alınmış olacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Çolak, M., Kaya, İ., 2017. Prioritization of Renewable Energy Alternatives By Using an Integrated Fuzzy MCDM Model: A Real Case Application for Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 840-853.
2. Ilbahar, E., Cebi, S., Kahraman, C., 2019. A State-of-the-art Review on Multi-attribute Renewable Energy Decision Making. *Energy Strategy Reviews*, 25, 18-33.
3. Krishna, K.S., Kumar, K.S., 2015. A Review on Hybrid Renewable Energy Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 907-916.
4. International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>. 2018.
5. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Special Reports on Renewable Energy Sources. Summary for Policy Makers*, in: 11th Session of Working Group III of the IPCC, Abu Dhabi, United Arab Emirates, May 2011. 5-8.
6. IPCC, 2011. *Summary for Policymakers*. In: *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation* [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
7. Rezaei, M., Mostafaeipour, A., Qolipour, M., Reza T.M., 2018. Investigation of the Optimal Location Design of a Hybrid Wind-solar Plant: A Case Study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(1), 100-114.
8. Ali, S., Taweekun, J., Techato, K., Waewsak, J., Gyawali, S., 2019. GIS Based Site Suitability Assessment for Wind and Solar Farms in Songkhla, Thailand. *Renewable Energy*, 132, 1360-1372.
9. Colak, H.E., Memisoglu, T., Gercek, Y., 2020. Optimal Site Selection for Solar Photovoltaic (PV) Power Plants Using GIS and AHP: A Case Study of Malatya Province, Turkey. *Renewable Energy*, 149, 565-576.
10. Dhar, A., Naeth, M., Jennings, P., Gamal, M., 2020. Perspectives on Environmental Impacts and a Land Reclamation Strategy for Solar and Wind Energy Systems. *Science of the Total Environment*, 728, 139177.

- Environment. 718. 134602. 10.1016/j.scitotenv.2019.134602.
11. Dhunny, A.Z., Doorga, J., Allam, Z., Lollchund, M., Boojhawon, R., 2019. Identification of Optimal Wind, Solar and Hybrid Wind-solar Farming Sites Using Fuzzy Logic Modelling. *Energy*. 188. 116056. 10.1016/j.energy.2019.116056.
 12. Doorga, J.R., Rughooputh, S.D., Boojhawon, R., 2019. Multi-criteria GIS-based Modelling Technique for Identifying Potential Solar Farm Sites: A Case Study in Mauritius. *Renewable Energy*, 133, 1201-1219.
 13. Firozjaei, M.K., Nematollahi, O., Mijani, N., Shorabeh, N.S., Firozjaei, H., Toomanian, A., 2018. An Integrated GIS-based Ordered Weighted Averaging Analysis for Solar Energy Evaluation in Iran: Current Conditions and Future Planning. *Renewable Energy*. 136, 1130-1146. 10.1016/j.renene.2018.09.090.
 14. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (MENR). Ministry of Energy and Natural Resources. Solar, <https://www.enerji.gov.tr/en-US/Pages/Solar>. 2019 [cited 2020 1 March].
 15. Gorgulu, S., 2019. Investigation of Renewable Energy Potential and Usage in TR 61 Region. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117698.
 16. Toklu, E., 2013. Overview of Potential and Utilization of Renewable Energy Sources in Turkey. *Renewable Energy*, 50, 456-463.
 17. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (MENR). 2019. Ministry of Energy and Natural Resources. General Directorate of Energy Affair, <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Enerji-Politikalari>. [cited 2020 14 May].
 18. Regulatory, R.O.T.E.M. Electricity Market Sector Report, 2018, <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu>. 2020 [cited 2020 15 May].
 19. Çukurova Kalkınma Ajansı, 2020. The Çukurova Regional Development Agency, 2014-2023 Çukurova Regional Plan, <https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/dokuman/2014-2023-cukurova-bolge-plani/1149>. [cited 2020 15 May].
 20. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEIAS) 2019. Turkish Electricity Transmission Corporation. Installed Capacity Report, <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>, [cited 2019 1 February].
 21. Koc, A., Turk, S., Şahin, G., 2019. Multi-criteria of Wind-solar Site Selection Problem Using a GIS-AHP-based Approach with an Application in Iğdir Province/Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(31), 32298-32310.
 22. Uyan, M., 2013. GIS-based Solar Farms Site Selection Using Analytic Hierarchy Process (AHP) in Karapınar Region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11-17.
 23. Yelmen, B., Çakir, M.T., 2016. Influence of Temperature Changes in Various Regions of Turkey on Powers of Photovoltaic Solar Panels. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(4), 542-550.
 24. Al Garni, H.Z., Awasthi, A., 2017. Solar PV Power Plant Site Selection Using a GIS-AHP Based Approach with Application in Saudi Arabia. *Applied Energy*, 206, 1225-1240.
 25. Asakereh, A., Soleymani, M., Sheikhdavoodi, M.J., 2017. A GIS-based Fuzzy-AHP Method for the Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in Khuzestan Province, Iran. *Solar Energy*, 155, 342-353.
 26. Yushchenko, A., de Bono, A., Chatenoux, B., Kumar, P.M., Ray, N., 2018. GIS-based Assessment of Photovoltaic (PV) and Concentrated Solar Power (CSP) Generation Potential in West Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2088-2103.
 27. Merrouni, A.A., Elalaoui, F.E., Mezrhab, A., Mezrhab, A., Ghennioui, A., 2018. Large Scale PV Sites Selection by Combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case Study: Eastern Morocco. *Renewable Energy*, 119, 863-873.
 28. Thapar, V., 2019. A Revisit to Solar Radiation Estimations Using Sunshine Duration: Analysis of Impact of These Estimations on Energy Yield of a PV Generating System. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-25.
 29. Aydın, N.Y., Kentel, E., Duzgun, H.S., 2013. GIS-Based Site Selection Methodology for

- Hybrid Renewable Energy Systems: A Case Study from Western Turkey. *Energy Conversion and Management*, 70, 90-106.
30. Doljak, D., Stanojević, G., 2017. Evaluation of Natural Conditions for Site Selection of Ground-mounted Photovoltaic Power Plants in Serbia. *Energy*, 127, 291-300.
31. Ozdemir, S., Sahin, G., 2018. Multi-criteria decision-making in the Location Selection for a Solar PV Power Plant Using AHP. *Measurement*, 129, 218-226.
32. Majumdar, D., Pasqualetti, M.J., 2019. Analysis of Land Availability for Utility-scale Power Plants and Assessment of Solar Photovoltaic Development in the State of Arizona, USA. *Renewable Energy*, 134, 1213-1231.
33. Commission, T.W.D., 2010. WDC, Site Options for Concentrated Solar Power Generation in the Wheatbelt Final Report.
34. Charabi, Y., Gastli, A., 2011. PV Site Suitability Analysis Using GIS-based Spatial Fuzzy Multi-criteria Evaluation. *Renewable Energy*, 36(9), 2554-2561.
35. Merrouni, A.A., Mezrhab, A., Mezrhab, A., 2016. PV Sites Suitability Analysis in the Eastern Region of Morocco. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 18, 6-15.
36. Noorollahi, Y., Yousefi, H., Mohammadi, M., 2016. Multi-criteria Decision Support System for Wind Farm Site Selection Using GIS. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 13, 38-50.
37. Giamalaki, M., Tsoutsos, T., 2019. Sustainable Siting of Solar Power Installations in Mediterranean Using a GIS/AHP Approach. *Renewable Energy*, 141, 64-75.
38. Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., Gekas, V., 2005. Environmental Impacts from the Solar Energy Technologies. *Energy Policy*, 33(3), 289-296.
39. Anwarzai, M.A., Nagasaka, K., 2017. Utility-scale Implementable Potential of Wind and Solar Energies for Afghanistan Using GIS Multi-criteria Decision Analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 150-160.
40. Aly, A., Jensen, S.S., Pedersen, A.B., 2017. Solar Power Potential of Tanzania: Identifying CSP and PV Hot Spots Through a GIS Multicriteria Decision Making Analysis. *Renewable Energy*, 113, 159-175.
41. Sánchez-Lozano, J.M., García-Cascales, M.S., Lamata, M.T., 2015. Evaluation of Suitable Locations for the Installation of Solar Thermoelectric Power Plants. *Computers & Industrial Engineering*, 87, 343-355.
42. Tahri, M., Hakdaoui, M., Maanan, M., 2015. The Evaluation of Solar Farm Locations Applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case Study in Southern Morocco. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1354-1362.
43. Baban, S.M., Parry, T., 2001. Developing and Applying a GIS-assisted Approach to Locating Wind Farms in the UK. *Renewable Energy*, 24(1), 59-71.
44. Watson, J.J., Hudson, M.D., 2015. Regional Scale Wind Farm and Solar Farm Suitability Assessment Using GIS-assisted Multi-criteria Evaluation. *Landscape and Urban Planning*, 138, 20-31.
45. Tavana, M., Santos, A., Francisco, J., Mohammadi, S., Alimohammadi, M., 2017. A Fuzzy Multi-Criteria Spatial Decision Support System for Solar Farm Location Planning. *Energy Strategy Reviews*. 18. 93-105. 10.1016/j.esr.2017.09.003.
46. Yun-na, W., Yisheng, Y., Tiantian, F., Li-na, K., Wei, L., Luo-jie, F., 2013. Macro-site Selection of Wind/solar Hybrid Power Station Based on Ideal Matter-Element Model. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 50(1), 76-84. 10.1016/j.ijepes.2013.02.024.
47. Carrión, J., Estrella, A., Dols, F., Zamorano, M., Rodríguez, M., Ridao, A., 2008. Environmental Decision-support Systems for Evaluating the Carrying Capacity of Land Areas: Optimal Site Selection for Grid-connected Photovoltaic Power Plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 12(9), 2358-2380. 10.1016/j.rser.2007.06.011.
48. Ziuku, S., Seyitini, L., Mapurisa, B., David, C., Kujik, K., 2014. Potential of Concentrated Solar Power (CSP) in Zimbabwe. *Energy for Sustainable Development*, 23, 220-227.

49. Unal, M., Cilek, A., Guner, E.D., 2019. Implementation of Fuzzy, Simos and Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats Analysis for Municipal Solid Waste Landfill Site Selection: Adana City Case Study. Waste Management & Research, 0734242 X19893111.
50. Kandel, A., 1980. The Analytic Hierarchy Process-Planning, Priority Setting, Resource Allocation, Thomas L. Saaty (Ed.), McGraw-Hill, Basel, 1983, North-Holland, 287.
51. García-Cascales, M.S., Sánchez-Lozano, J.M.. 2013. Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods for the Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in South-eastern Spain. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 24. 544. 10.1016/j.rser.2013.03.019.
52. Zoghi, M., Ehsani, A., Sadat, M., Amiri, M., Karimi, S., 2015. Optimization Solar Site Selection by Fuzzy Logic Model and Weighted Linear Combination Method in Arid and Semi-arid Region: A Case Study Isfahan-IRAN. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 68(1),. 986-996.
53. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. General Directorate of Energy Affairs. Solar Energy Potential Atlas, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>. 2020 [cited 2020 12 May].

Bir Doğaltaş İşleme Fabrikasında Çalışanların Metabolizma Hızları Göz Önüne Alınarak Termal Konfor Şartlarının İncelenmesi

Ali Ekrem ARITAN*¹, Zişan MEMİŞ¹

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü,
Afyonkarahisar

Geliş tarihi: 25.01.2021 Kabul tarihi: 31.03.2021

Öz

Doğaltaş işleme fabrikalarında çalışanların meslek hastalığına yakalanması durumunu ortam kalitesi etkilemektedir. Ortam kalitesini belirleyen en önemli faktörler; termal konfor şartları, aydınlatma, ortaya çıkan gürültü ve titreşimdir. Termal konforu tanımlayan 6 önemli parametre vardır. Termal konfor şartlarını etkileyen metabolizma hızı, çalışanların işlerinin ağırlığına göre farklılık göstermektedir. Çalışma ortamında sıcaklık, nem vb. etkenler aynı olsa bile çalışanların metabolizma hızındaki farklılık, termal konfor algısını değiştirecek bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Metabolik oran hem araştırma hem de uygulamada en kabaca değerlendirilen faktördür. Çalışma sahası olarak Afyonkarahisar İl'inde bulunan doğaltaş fabrikası belirlenmiştir. Fabrika içerisinde 6 farklı bölgeden ölçümler alınmıştır. Çalışanların metabolik oranlarının farklı olmasının termal rahatlığı etkilemesi göz önüne alınarak riskli ortamlar için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Termal konfor, Metabolik oran, İş sağlığı ve güvenliği

Investigation of Thermal Comfort Conditions by Considering Metabolic Rates of Natural Stone Processing Plant Employees

Abstract

The employees in the natural stone factory are exposed to occupational diseases by the quality of the environment. The most important factors determining the quality of the environment are thermal comfort conditions, lighting, the ambient noise and vibration. There are 6 important parameters defining thermal comfort. The metabolic rate, which affects the thermal comfort conditions, varies according to the intensity of the employees' work. Even if the factors such as temperature, humidity etc. are the same in the working environment, the difference in the metabolic rate of the employees appears as a factor that will change the perception of thermal comfort. The metabolic rate is considered the least important in both research and practice. A natural stone factory in Afyonkarahisar Province was chosen as the study area. Measurements were taken from 6 different regions within the factory. Considering that different metabolic rates of employees affect thermal comfort, suggestions have been made for risky environments.

Keywords: Thermal comfort, Metabolic rate, Occupational health and safety

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ali Ekrem ARITAN, aritan@aku.edu.tr

1. GİRİŞ

Madencilik sektörünün ekonomiye katkısı yüksektir. Ülkemizde doğaltaş ihracatı artarak maden sektöründeki önemini devam ettirmektedir. Son yıllarda insanların doğal güzellikleri görme, kullanma talebi artmaktadır ve geleneksel yapılarda, turizm mekânlarında, kendi özel alanlarında doğaltaş kullanmak istemektedirler. Taleplerin karşılanması için doğaltaş ocak ve işleme tesislerindeki çalışmalar da doğal olarak artmaktadır. Afyonkarahisar, doğaltaş ocaklarının ve tesislerinin en yaygın bulunduğu illerden birisidir. Afyonkarahisar'da 400 civarında mermer işleme tesisi bulunmaktadır. Bu tesisler büyük miktarda istihdam sağlamaktadır.

Ülkemizde bulunan geleneksel yapıların restore edilmesinde, turizm mekânlarında otantik dekorasyon görünümünün sağlanmasında ve yeni yapılan inşaatların yapım aşamalarında doğaltaş kullanımına talep giderek artmaktadır. Talebin karşılanması için üretim ve işleme çalışmaları da artmaktadır.

Üretim ve hammadde işleme çalışmaları yapılırken fiziksel risk etmenleri ortaya çıkmaktadır. Fiziksel risk etmenleri; gürültü, termal konfor, aydınlatma, titreşim, toz, basınç ve radyasyondur. Fabrikada bulunan makinelerde sulu çalışmalar yapıldığı için toz problemi görülmemektedir. Çalışma yapılan makineler de sadece forklift kullanılırken titreşim problemi ortaya çıkmaktadır [1,2]. Üretim ve işleme süreçlerinde makineleşme arttıkça fabrikada ortaya çıkan gürültü artış göstermektedir. Ortaya çıkan gürültü insanlar üzerinde psikolojik, fizyolojik ve işitme duyusunda olumsuz etkiler ortaya çıkarmaktadır [3]. Hayatımızın her anında olan temel gereksinimlerimizden biri ışıktır. Çalışma ortamlarında herhangi bir eylemi gerçekleştirebilmek için ışık yayan, yansıtan ya da geçiren bir nesnenin varlığına ihtiyaç duyulmaktadır [4].

Fabrika içerisindeki hava sıcaklığı, radyant ısı, hava akım hızı ve nem gibi çevresel faktörlerle birlikte kıyafet faktörü ve metabolizma hızı gibi kişisel faktörlerin etki ettiği termal konfor faktörleri çalışma ortamına göre değişiklik

göstermektedir. Bu değişiklikler çalışanlar üzerinde kalp krizine kadar olumsuz etkiler ortaya çıkarabilmektedir [5].

Literatür incelendiğinde, madencilik sektörüne yönelik termal konfor çalışmalarında, genel olarak ortaya çıkan olumsuz faktörler (sıcaklık, hava hızı, nem) incelenmiştir. Fakat doğaltaş işleme fabrikalarında termal konfor incelemeleri yapılmasına rağmen metabolik oranla ısı konforunun ilişkisi vurgulanmamıştır. Maohui Luo ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları çalışmada [6], sürekli metabolizma hızı ölçümünün alınmasının zor olduğu sonucuna varmışlardır.

Çalışma karasal iklime sahip olan Afyonkarahisar ilinde yapılmıştır. 1 Katrak ve 2 ST kullanılan, çalışma alanları yarım duvarla bölünmüş olan doğaltaş işleyen 3500 m² alana sahip bir kapalı fabrikada; çalışanların metabolik oranlarının farklılık gösterdiği ortamlardan termal konfor ölçümleri alınmıştır. Ölçümler sonucunda, metabolik oran farklılıklarına göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda öneriler ortaya konulmuştur.

2. FİZİKSEL RİSK ETMENLERİ

Çalışanlar için en büyük temel riskler iş kazası ve meslek hastalığıdır. İş kazaları ve meslek hastalıklarına sebep olan en büyük etkenler arasında çalışılan ortam koşullarının olumsuz olması yer almaktadır. Çalışılan ortamın fiziksel özellikleri çalışanların iş verimini etkilemektedir. Fiziksel etmenleri; termal konfor, aydınlatma, gürültü, titreşim, toz, basınç ve radyasyondur. Termal konfor riskini etkileyen en önemli faktörlerden biri metabolik orandır. Metabolizma hızı farklılık gösteren çalışanların termal rahatlıkları da değişiklik göstermektedir [7].

2.1. Termal Konfor

Çalışma ortamları, çalışanların psikolojilerini, bedensel, sosyal ve kültürel yapılarını etkilemeyecek şekilde rahat olması gerekmektedir. Ortamın ısı konforunu sağlayacak olan cihaz ve ekipmanlar çalışanları rahatsız etmeyecek şekilde

seçilmelidir. Çalışma ortamları termal konfor şartlarına uygun tasarımılandırılmalıdır. ASHRAE 55 Standardına uygun olarak çalışılan ortamın ısı konforundan memnun olma durumu, termal konfor olarak adlandırılmaktadır [8]. Termal rahatlık, çalışanın ortamdaki tatminini gösteren önemli bir terimdir. Çalışanın iş randımanını yükselten en önemli faktörlerden biri de termal memnuniyettir. [8-10].

Termal konfor; hava sıcaklığı (T), bağıl nem (RH), hava hızı (V), ortalama işıma sıcaklığı (Tg) gibi çevresel faktörlere bağılyken kişinin yaşı, cinsiyeti, beslenmesi, metabolizma düzeyi ve kıyafet ısı direnci gibi kişisel faktörlere de bağılıdır. Kıyafet ısı direnci, çalışanın ile çalışma ortamı arasındaki ısı iletimi için bir etkidir [8,11-13].

Termal konfor parametreleri ölçüldüğünde, termal algı tahmini ortalama olarak (PMV) hesaplanmış olur [13]. Hesaplama Fanger metodu kullanılır. Metoda göre 6 bileşenden 4'ü ölçümle ikisi standartlardan alınarak PMV hesaplaması yapılır [5].

Isıl konfor memnuniyetsizliği, çalışılma yerinde bölgesel soğutma veya çalışanın vücut sıcaklığının artması sebebiyle de oluşabilir. Ayrıca, termal konfor olumsuzluğu, tüm vücudun sıcak veya soğuktan rahatsızlığından kaynaklanabilir [13].

Doğaltaş işleme tesislerindeki çalışanın termal rahatlığını etkileyen faktörler;

- ST ve Katrak makinelerinin olduğu bölümde, makinelerin çalışma yöntemleri sebebiyle, ortamda su varlığının fazla olması nem sorunu oluşturmaktadır.

- Fabrika içinde yeterince havalandırma olmaması durumu hava hızının ayarlanmasında problemler ortaya çıkarmaktadır.

Metabolizma hızı ve kıyafet faktörü çalışanın termal rahatlığını etkilemektedir. Fabrika içerisinde bulunan çalışma ortamları aynı olmağı için metabolik oranda farklılık göstermektedir.

İnsan vücudunun ürettiğı ısı, metabolizma hızı olarak isimlendirilir. Vücut ısı, besinlerin yakılması ile meydana gelen enerji sonucu elde edilir. Çalışanlar faaliyetlerini gerçekleştirirken vücutlarının aldığı şekillerin metabolizma hızına ve üretilen sıcaklığa etkisi fazladır. Aynı işi yapan çalışanın ısı değerleri farklı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu farklılığı azaltmak için birim vücut yüzey alanına bağılı değişkenler kullanılmaktadır [8].

Metabolik oran, metabolik aktivite nedeniyle vücudun içinde üretilen enerjiyi karakterize eder.

*1 Met = 58,2 W / m² (18,4 BTU / H FT²).

Bazı çalışma durumlarındaki metabolik hızlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Metabolik oranların aktiviteye göre sınıflandırılması [14,15]

Sınıfı	Ortalama metabolik hız (W m ⁻²)	Örnek
Dinlenme	65	Dinlenme
Düşük	100	Rahat oturma/ayakta
Orta	165	Sürekli el/kol çalışması
Yüksek	230	Yoğun çalışma
Çok yüksek	290	Maksimum aktivite için çok yoğun

Çizelge 2. Fabrika çalışanın metabolik eşdeğer dakika (MET) hesaplanması

Bölge	Sınıfı	Ortalama Metabolik Hızı (W/m ²)	MET değeri
1. Bölge	Düşük	100	1,72
2. Bölge	Yüksek	230	3,95
3. Bölge	Yüksek	230	3,95
4. Bölge	Düşük	100	1,72
5. Bölge	Düşük	100	1,72
6. Bölge	Düşük	100	1,72

Metabolik oranların aktiviteye göre sınıflandırılması (ISO 8996, 2004) Çizelge 1'e bakılarak, ölçüm alınan ortamdaki çalışanın sınıfı belirlenmiştir. Ortalama metabolik hızından 1 Met = 58,2 W / m² (18.4 BTU / H FT²) formülü kullanılarak Met değerleri bulunmuştur (Çizelge 2).

İnsan vücudu ile dış ortamı ayıran giysinin, ısı ve nem transferi çok önemlidir. Isıl konforun tanımlanmasında, giysilerin ısı transferine karşı direnci, kıyafetin cinsine göre aldığı yalıtım birimi ile ifade edilmektedir [8].

Çizelge 3. Çeşitli giysi türleri ve yalıtım katsayıları [5,8]

Kıyafet Yalıtım Katsayısı	I_{ci} (clo) değeri
Pantolon, kısa kollu gömlek	0,57
Pantolon, uzun kollu gömlek	0,61
Pantolon, uzun kollu gömlek, ceket	0,96
Diz uzunluğunda etek, kısa kollu gömlek	0,54
Ayak bileği uzunluğunda etek, uzun kollu gömlek, ceket	1,10
Etek / Elbise	0,54-1,10
Şort	0,36
Önlük / Tulum	0,72-1,37
Spor Kıyafetleri	0,74

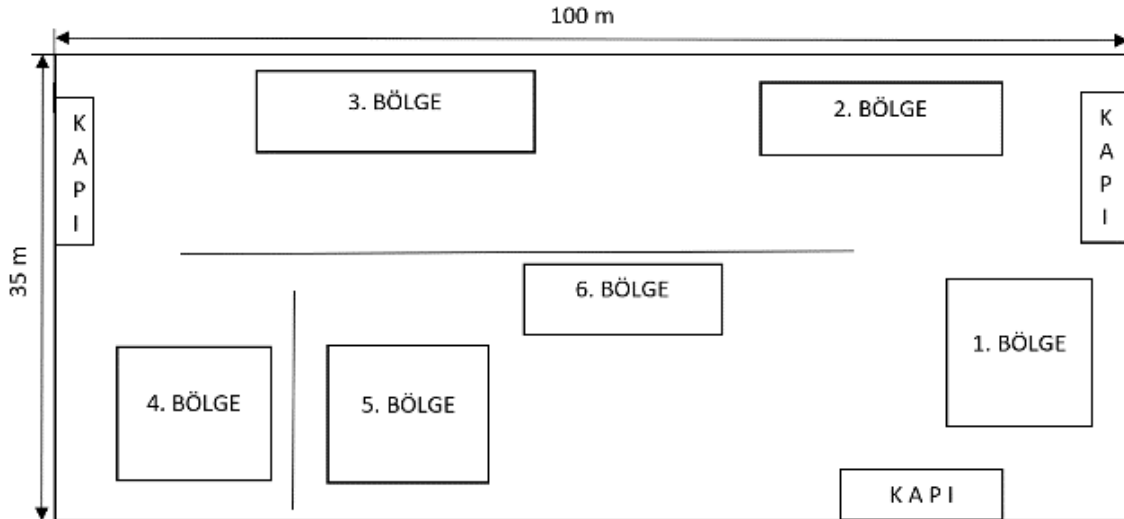
Çizelge 3’de belirtilen değerleri; fabrika içerisinde farklı bölgelerde çalışanların kıyafetlerine göre, I_{ci} (clo) değerleri belirlenip Çizelge 4’te verilmiştir. Termal konfor koşulları ve metabolik oranları farklı olduğu için ceketlerin farklı kullanılması önerilmiştir.

Çizelge 4. Fabrika çalışanlarının $I_{(c_1)}$ (clo) değerlerinin belirlenmesi

Bölge	Giyim Açıklaması	I_{ci} (clo) değeri
1. Bölge	Pantolon, uzun kollu gömlek, ceket	0,96
2. Bölge	Pantolon, uzun kollu gömlek, ceket	0,96
3. Bölge	Pantolon, uzun kollu gömlek, ceket	0,96
4. Bölge	Pantolon, uzun kollu gömlek, ceket	0,96
5. Bölge	Pantolon, uzun kollu gömlek, ceket	0,96
6. Bölge	Pantolon, uzun kollu gömlek, ceket	0,96

3. MATERYAL VE METOT

Çalışma 2020 yılında, Afyonkarahisar İli İscehisar İlçesi sınırları içinde bulunan bir doğaltaş fabrikasının 6 farklı bölgesinden termal konfor ölçümleri alınarak yapılmıştır (Şekil 1). Çalışma koşulları farklı olan bu bölgelerde çalışanların metabolizma hızı farklılık göstermektedir. Termal rahatlık; her koşul için değişen metabolik oranla hesaplamalar yapılarak değerlendirilmiştir. Ölçüm yapılan günde, dış ortam şartları; hava sıcaklığı 10,2°C iken hava hızı 0,9 km/s ve nem %56’dır.



Şekil 1. Ölçeklendirilmemiş fabrika planı



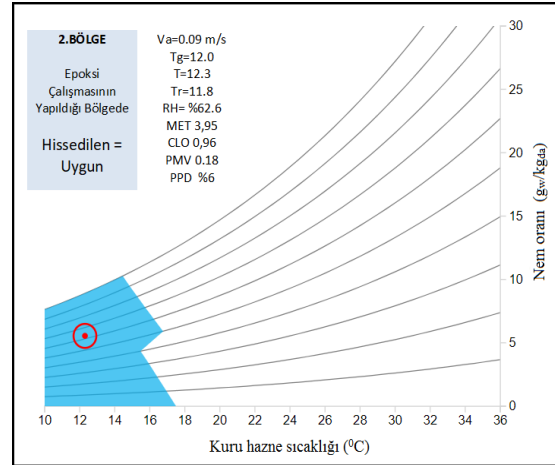
Şekil 2. Termal konfor ölçüm cihazı

Katrak, ST ve köprülü kesme makinesini kullanarak sulu kesim yapılan doğaltaş işleme fabrikasında TS EN 27243, TS EN ISO 7730 standartlarına göre DELTA OHM WBGT 32.3 cihazı ile (Şekil 2) termal konfor ölçümleri alınmıştır [8,13,16]. PMV hesaplamasında kullanılan değerler ASHRAE 55'den alınmıştır. Ölçüm sonuçları Fanger modeline göre değerlendirilmiştir [5].

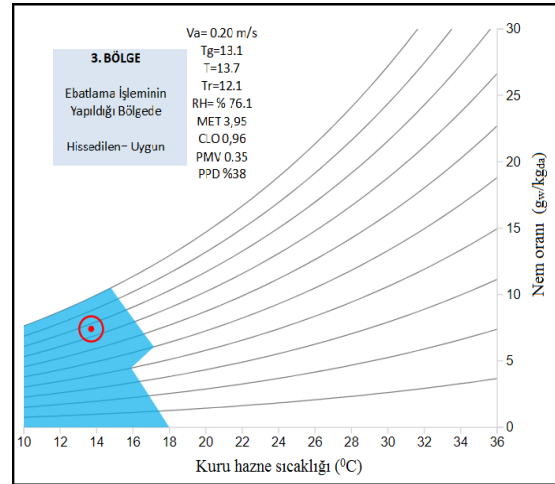
4. SONUÇLAR

Alınan termal konfor ölçümlerinde 6 bölgede çalışanların metabolik oranları tek tek ele incelenmiştir. Epoksi çalışmalarının olduğu bölgede fırçalama yaparak, el işi gerektiği ve ebatlama bölgesinde elle yükleme yapıldığı için hareketli çalışma yapılmaktadır. Hareket halinde olan işçinin orta metabolizma hızına sahip olmasından dolayı metabolik oran değeri 3,95 met değerindedir. Çalışma yapılan ortamların

sıcaklığının düşük olmasına rağmen metabolik oranlarının yüksek olması, çalışanların 1. ve 3. bölgede hissettiği termal rahatlığın uygun olduğunu göstermektedir (Şekil 3 ve 4).



Şekil 3. İkinci bölge termal konfor şartları

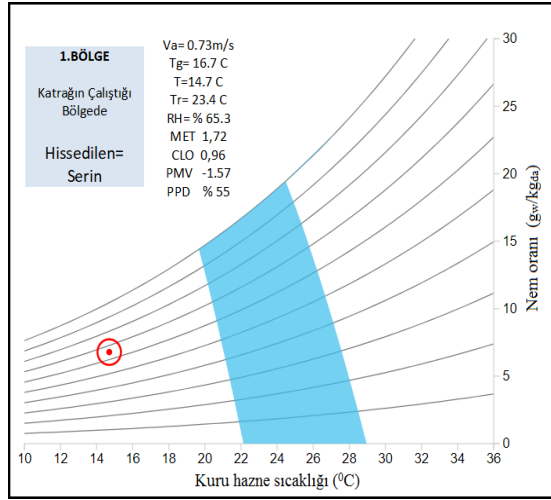


Şekil 4. Üçüncü bölge termal konfor şartları

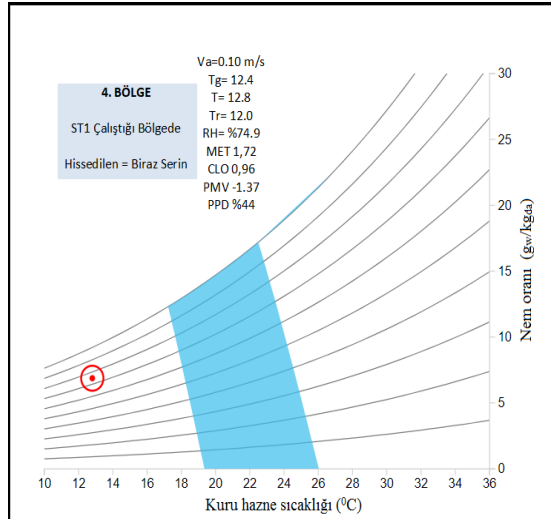
1., 4., 5. ve 6. bölgelerde ise hareketsiz çalışma şartlarından dolayı çalışanların metabolizma hızları düşüktür. Çalışma ortamlarında, hava sıcaklığının düşük ve çalışanların metabolik oranları da 1,72 met değerinde olması sebebiyle hissedilen termal rahatlığın (Çizelge 5'de görüldüğü üzere PMV değerleri -1,37 ile -1,59 arasında değişmektedir.) serin olduğunu göstermektedir (Şekil 5-8).

Çizelge 5. 6 farklı bölgenin PMV değerleri

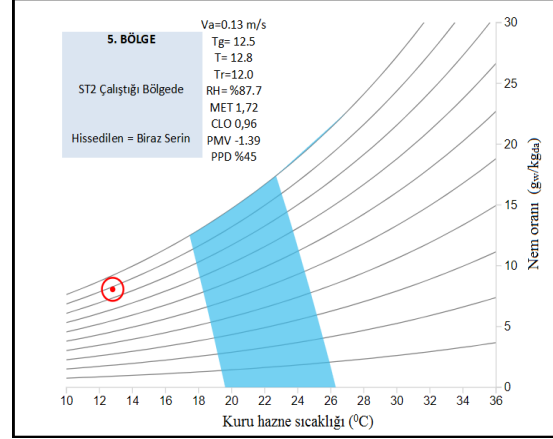
Bölge	Sınıfı	PMV değeri
1. Bölge	Düşük	- 1,57
2. Bölge	Yüksek	0,18
3. Bölge	Yüksek	0,35
4. Bölge	Orta	-1,37
5. Bölge	Orta	-1,39
6. Bölge	Orta	-1,39



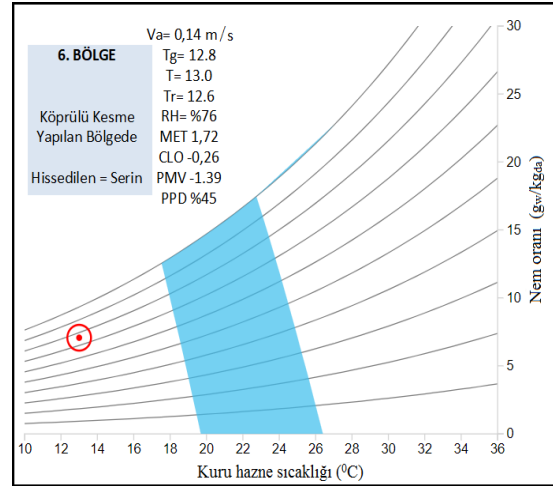
Şekil 5. Birinci bölge termal konfor şartları



Şekil 6. Dördüncü bölge termal konfor şartları



Şekil 7. Beşinci bölge termal konfor şartları



Şekil 8. Altıncı bölge termal konfor şartları

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

2017 yılında Arıtan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Afyonkarahisar'daki bazı doğaltaş işleme tesislerinde termal konfor incelemeleri yapmışlardır [15]. Bu çalışmada termal konforun 6 bileşeni dikkate alınmış fakat metabolizma hızı fabrika genelinde sabit alınmıştır. Ayrıca çalışma alanı ve çalışma yapılan bölge sayısı bu yayında 4 bölge ve 2000 m²'dir.

Metabolik oranın dikkate alındığı bu çalışmada mevsim şartlarının daha soğuk olduğu zamanda, daha büyük alana sahip (6 bölge, 3500 m² kapalı

alan), sulu çalışan makinelerin (ST, Katrak, Köprülü kesme) fazla olmasıyla farklı ortam şartlarına sahip olan bir fabrikadan termal konfor ölçümleri alınmıştır. Alınan ölçümler çalışanların metabolizma hızlarına göre değerlendirilmiştir. Ölçüm alınan ortamda sulu çalışan makine sayısının fazla ve 6 bölgenin ortak etkileşiminin olmasıyla ortaya çıkan nem fazladır. Bu durum çalışanın hissettiği sıcaklığı düşürmekte ve termal rahatlığı bozmaktadır.

Genel olarak bakıldığında; fabrikalarda çalışanların giysileri tek tip olduğu bilinmektedir. Buradan çıkan sonuca göre; aynı fabrika içinde çalışanların termal hissiyatlarında etkin olan faktör metabolik oranlarıdır. Ölçülen 4 bileşende (ortam sıcaklığı, radyant ısı, nem, hava hızı) ve giysi faktöründe değişiklik yaparken metabolizma hızını dikkate alan düzenlemeleri yapmak daha uygun olacaktır. Bu yönüyle bakıldığında metabolik oranın tespitinin doğru yapılmasının önemi daha fazla ortaya çıkmaktadır. Ortamın termal konfor farklılığı düşünüldüğünde, tüm bölgelerde (6 farklı bölgede) çalışanların aynı kıyafet giymeleri uygun olmadığı görülmektedir. 2. ve 3. bölgede çalışanlar şu anki kıyafetlerini giymeye devam ederken; 1. 4. 5. ve 6. bölge çalışanlarının vücudunun oluşturduğu ısıyı koruyan elastik termal yalıtım sağlayan kıyafetler tercih etmeleri gerekmektedir.

Termal konfor ölçüm sonuçlarına bakıldığında zaman bölgelerde hissedilen termal rahatlığın metabolik oranla değiştiği görülmüştür. 1, 4, 5 ve 6. bölgelerde metabolik oranın düşük olmasıyla termal hissiyatın serin, termal memnuniyetin düşük olduğu görülmüştür. Çalışılan ortamlardan memnun olunmaması iş randımanını düşürüp çalışanların sağlığında büyük risk göstereceği için kıyafet faktörünün değiştirilmesi önerisi uygun olacaktır ama bu yeterli olmamaktadır. Kıyafet değişikliğinin yanı sıra; termal rahatlığın uygun olmadığı bölgelerde çalışanların beslenmelerini, kalori düzenlemesi yaparak metabolik hızlarına göre ayarlanması gerekmektedir.

Termal konfor çalışmaları yapılırken, metabolizma hızını tahminlerini doğrulamak için metabolik oranı etkileyen kalp atışı gibi faktörlere bakılarak yöntemler geliştirilmesi gerektiğini söylemişlerdir.

Çalışma sonucunda düşük maliyetli metabolik oran ölçmek, doğru sonuç verip kullanması kolay olan cihazlara sahip olunmasının termal rahatlık için büyük bir değer olacağı belirtilmiştir [6].

Çalışma saatleri içerisinde, çalışanların metabolik hızının değişiklik gösterdiği zaman dilimlerinde, uygun metabolik oranlar kullanılarak termal konfor ölçümleri değerlendirilmelidir. Bu zaman dilimleri için ortalama metabolik hız belirlenerek ortamda termal konfor düzenlemeleri yapılmalıdır.

Fabrika içerisinde lokal havalandırmalar yapılmalıdır. Hava akış yönüne göre giriş kapılarının belirlenmesi ve nem ortaya çıkaran makinelerin giriş kapılarına yakın konulması gerekmektedir. Böylece ortaya çıkardıkları nemin çalışanlara etkisi azaltılmış olacaktır.

Nem ortaya çıkaran makineler izolasyon tenteleri konularak diğer bölümlerden ayrılmalıdır. Bölümler arasında oluşacak etkileşimin engellenmesi sağlanmalıdır.

Katrak, ST ve köprülü kesme işlemlerinin yapıldığı bölgelerde çalışanların beklemesi ve ortam şartlarından etkilenmemesi için kesme işleminin yapıldığı yere bekleme kabinleri konulup, işçilerin termal rahatlıkları uygun seviyeye getirilmelidir.

6. KAYNAKLAR

1. Akbulut, T., 1996. İşçi Sağlığı Prensipleri ve Uygulamaları, 5. Baskı, Sistem Yayıncılık, İstanbul, 334.
2. Arıtan, A.E., Tümer, M., Şensöğüt, C., 2016. Kırmataş Sektöründe Titreşim Problemine Genel Bakış, 8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu, Kütahya.
3. Ege, F., Sümer, S.K., Sabancı A., 2003. Tekstil Fabrikalarında Gürültü Düzeyi ve Etkileri, Türk Tabipleri Birliği Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi, 30-39.
4. MEB, 2011. Aydınlatma Projeleri (522EE0075), Ankara.
5. İmancı, C., 2014. Döküm Atölyelerinde Termal Konfor Şartlarının İncelenmesi, Uzmanlık

- Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, 96.
6. Luo, M., Wang, Z., Ke Z., Cao B., Zhai Y., Zhou X., 2018. Human Metabolic Rate and Thermal Comfort in Buildings: The Problem and Challenge, *Building and Environment*, 131, 44-52.
 7. Dülger, S., 2015. Bir Mermer İşletmesindeki Problemlerin TRIZ Yöntemi ile Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 112.
 8. ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55, 2010. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE Publications.
 9. 28710 Sayılı Resmî Gazete, 2013. İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik, Ankara.
 10. Parsons, K.C., 2005. Human Thermal Environments, Taylor & Francis, New York.
 11. Hensen, J.L.M., 1990. Literature Review on Thermal Comfort in Transient Conditions, *Building and Environment*, 25(4), 309-316.
 12. Atılgan, I., Ataer, E., 2009. Application of Thermal Comfort Analysis, IX. HVAC and Sanitary Engineering National Congress, İstanbul.
 13. TS EN ISO 7730 Nisan 2006. Orta Dereceli Termal Ortamlar-PMV ve PPD İndislerinin Tayini Termal Rahatlık için Şartların Belirlenmesi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
 14. ISO 8996 2004. Ergonomics of the Thermal Environment-Determination of Metabolic Rate. International Organization for Standardization, Cenevre.
 15. Arıtan, A.E., Tümer, M., Şensöğüt, C., 2017. Doğaltaş Fabrikalarında Maruz Kalınan Fiziksel Risk Etmenleri, Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, Adana.
 16. TS EN 27243 Nisan 2002. Sıcak Ortamlar WBGT (Yaş-Hazne Küre Sıcaklığı) İndeksine Göre Isının Çalışan Üzerindeki Baskısının Tahmini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Ülkelerin Afet Riski Performans Değerlendirmesi: Bulanık Mantık Uygulaması

Ali Erkan KARAMAN*¹, Barış ÖZKUL¹

¹Balikesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balikesir

Geliş tarihi: 20.12.2020

Kabul tarihi: 31.03.2021

Öz

Bu çalışmada; afet öncesi ve afet sonrası kapsayan afet yönetimi süreci incelenmiştir. Ülkelerin afet yönetimi performanslarını diğer ülkelerle karşılaştırmalarını sağlayacak bir model geliştirilerek örnek bir uygulama sunulması amaçlanmıştır. Çalışmanın örnekleme 4 farklı ülke için alanında uzman 5 akademisyenin görüşü alınarak belirlenmiştir. Ölçülen risk değerleri bulanık sayılara dönüştürülerek ana risk ve alt risk değerleri oluşturulmuştur. Ülkelerin afet risk yönetimi performansını karşılaştırmak için bulanık ağırlıklı ortalama (FWA) algoritması kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ülkelerin afet sonrası aşamada afet öncesi aşamaya göre daha başarılı olduğunu ve örnekleme simgesel olarak gösterilen A ülkesinin risk performans değeri en yüksek olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal afetler, Risk performans değerlendirme, Bulanık mantık

Disaster Risk Performance Assessment of Countries: Application of Fuzzy Logic

Abstract

In this study; The disaster management process, including pre-disaster and post-disaster, has been examined. It is aimed to present a model application by developing a model that will enable countries to compare their disaster management performances with other countries. The sample of the study was determined for 4 different countries by taking the opinions of 5 academicians who are experts in their fields. The main risk and sub-risk values were created by converting the measured risk values into fuzzy numbers. It uses fuzzy weighted average (FWA) algorithm to compare disaster risk management performance of countries. The results have shown that countries are more successful in the post-disaster phase than the pre-disaster phase, and the risk performance value of country A, which is symbolically shown in the sample, is the highest.

Keywords Natural disasters, Disaster assessment, Risk performance assessment, Fuzzy logic

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ali Erkan KARAMAN, ekaraman@balikesir.edu.tr

1. INTRODUCTION

According to Manilofia [1] and Xu & Lu [2], the concept of disaster management consists of two stages: “preparedness” before the disaster and “rehabilitation” after the disaster. According to the Souza Wisconsin University Disaster Management Center, disaster management is defined as “the interval of activities designed to ensure control over the disasters and emergencies and protect the people under risk or decrease the risk.” In order to assess the comprehensive application results, the phases before and after the disaster should be evaluated together to be able to take effective precautions against natural disasters. Although disaster management in its general meaning is assessed only for the after-disaster phase, the work to be conducted by the planner and the decision-making mechanisms regarding a decrease in the impact of disasters are very important in terms of relieving the destructive impact of disasters [3].

Crowe [4] observes that many countries have developed policies regarding the prevention of disasters by deriving lessons from repetition of the unforeseen disasters, and the developed policies are based on risk assessment tasks prepared for the prevention of disasters and decrease of their impacts. These tasks are separated into preventive precaution, mitigation, and preparedness activities. Preventive precaution and impact decrease activities contain the process of taking steps that will prevent the transformation of a possible natural phenomenon into a disaster. Preparedness activities include the planning of what the reaction will be in the event of a disaster and making these precautions a part of the country’s strategic plan [1]. When the literature is examined, it is seen that there are many studies conducted regarding disaster management [5-8].

In this study, the performance of risk management for natural disasters was examined in two steps, before the disaster and after the disaster, using the fuzzy logic method. This method was applied to four countries labeled A, B, C, and D that are acknowledged to have different development levels from one another.

2. NATURAL DISASTERS

According to Enarson [9], it is impossible to prevent natural phenomena, but it is possible to take various precautions before such phenomena turn into natural disasters. Natural phenomena have the risk of environmental distortion and the risk of damage to all living beings. The impact of natural phenomena on humans in different geographical regions may be different within different socioeconomical, political, social, and cultural contexts.

The social, political, and economic impact of natural phenomena such as tornados, volcanic eruptions, earthquakes, and floods are not inevitable. Decreasing the impact of the natural phenomena and thus the damage risk levels for the people is a function of the stages of preventive precaution, decrease of impact, and preparedness. The perception of security has physical and social dimensions, but the most important goal is to ensure people’s access to the survival and rescue resources.

Earthquakes, floods, droughts, and other natural dangers cause tens of thousands of deaths, hundreds of thousands of injuries, and billions of dollars of economic losses every year around the world. EM-DAT, a global disaster database kept by the Center of Research for the Epidemiology of Disasters, records 600 disasters worldwide every year [10]. Dilley [11] has noted that disasters form an important risk resource for the poor, and they terminate the development gains and accumulated riches of developing countries.

An earthquakes is a natural disaster that can kill thousands of people in a few minutes, the impact of which are felt for weeks and years, and may cause very serious financial damage to buildings and infrastructure. Thousands of people lose their lives due to earthquakes every year. Some of the examples from the last 20 years include the following: 70,000 people lost their lives in in the Sichuan earthquake in 2008 that measured 8.0 on the Richter scale, 2,700 people lost their lives in the Algerian earthquake in 2003 that measured 6.8

on the Richter scale, and 17,480 people lost their lives in the Marmara earthquake in Turkey in 1999 [12,13]. According to OECD [14], earthquakes are one of the most important natural disasters resulting with a loss of life of approximately 60,000 people per year worldwide, and approximately 90% of the earthquakes occur in developing countries. In most of the earthquakes, the loss of lives is related to the collapse of building or damage to structures. For example, hundreds of thousands of buildings collapsed in the 2008 Sichuan earthquake, including many public buildings such as schools and hospitals. In addition to the loss of people, the financial cost of this physical destruction is also important. It is estimated that the cost to the state economy of Turkey of the 1999 Marmara earthquake was approximately 20 billion dollars [15].

3. MANAGEMENT OF NATURAL DISASTERS

The pre-disaster phase is the “relatively normal” period of peace in any region in which the probability of disaster is high and where a damaging natural phenomenon will be seen sooner or later. This phase should be separated into prevention, mitigation, and preparedness activities. Prevention and mitigation activities are the precautions taken to decrease the probability of a disaster or the impact of an inevitable disaster. Normally; these precautions should be a part of the development program of the countries [2,16]. The prevention stage and mitigation activities are defined by Sena and Michael [17] as a continuous action to decrease or terminate the danger of possible disaster to humans and properties and the impact of such a disaster. The function of the prevention and mitigation activities is different from other emergency management disciplines because they include sudden interventions in response to the dangers within these activities or long-term preparedness solutions to decrease the risk instead of short-term development at the moment of a danger. Preparedness specifies the steps necessary at every level to prevent damage to property and to save lives when a disaster comes. Establishment of pre-disaster organizations, public

awareness programs, training of first aid staff, establishment of warning systems, the stocking of food and medical supplies, and making plans at every level for a rapid reaction in the event of a disaster are important at the readiness stage of readiness. According to Manilofia [1], the disaster preparedness stage is a process that must be planned in advance. This process is conducted for the purpose of ensuring active movement of resources by making preliminary plans and preparedness efforts in the zone in which there is a probability of the occurrence for a natural phenomenon with the potential to turn into a disaster. Conducting the work of planning is extremely important for the transmission of the useful data because the communication infrastructure is the one mostly damaged at the moment of disaster. Another important issue is that the transportation services that will provide movement of the necessary materials or personnel in the rescue work should be planned. The teams that will intervene at the moment of disaster should be coordinated and trained.

According to Abulnour [18], the post-disaster phase includes all the disaster management actions and activities that are implemented after a disaster event has occurred. The post-disaster phase could be subclassified into the phases of recovery, rehabilitation, reconstruction, and development. The post-disaster phase starts with a short-term intervention process in which intensive emergency operations are applied. This phase should not last longer than fourteen days and should be for saving lives, relieving the pain of survivors, terminating other threats regarding life and property, and learning the nature and scope of the disaster [1,19].

3.1. Disaster Risk Management Performance

In this study, a fuzzy logic model has been used to determine disaster risk management performance, and this model consists of the concepts [18] revealed by the disaster management cycle. A series of assessment criteria expressed with (C_i) were developed to determine the disaster risk management performance. As explained in the study, these assessment criteria are gathered under

two main headlines: (C_1) as pre-disaster phase and (C_2) as post-disaster phase.

A hierarchical structure has been formed to measure the performance of natural disaster risk management. A two-level hierarchical structure of the disaster management cycle [20] was used in the formation of the hierarchical structure (Figure 1). The Level 1 risk management performance C_i ($i = 1, 2$) was separated into two criteria, pre-disaster (C_1) and post-disaster (C_2). Level 2 consists of a sub-criterion series C_{ij} ($j = 1, 2, \dots, k$) specifying the number of the sub-criteria (C_i) to measure each main criterion. The pre-disaster phase could be separated into three sub-criteria: prevention ($C_{1.1}$), mitigation ($C_{1.2}$), and preparedness ($C_{1.3}$). The post-disaster phase contains four sub-criteria: recovery ($C_{2.1}$), rehabilitation ($C_{2.2}$), reconstruction ($C_{2.3}$), and development ($C_{2.4}$).

The importance weight of each criterion was

determined with verbal variables including low importance, medium importance, and very strong importance [21,22]. These verbal variables could be represented in a convenient way by using fuzzy triangular numbers. In other words, these verbal terms could be turned into fuzzy triangle numbers afterwards. Fuzzy triangle numbers represent the verbal importance of the ij criterion of the countries assigned by an m ($m = 1, 2, \dots, n$) assessor(s). The fuzzy average importance weight of the ij assessment criterion could be calculated with Equation 1 [22].

$$W_{ij} = \left(\frac{1}{n}\right) \otimes \sum_{m=1}^n w_{ij,m} \quad (1)$$

In this formula, indication “ \otimes ” is the fuzzy multiplication operator. It also shows the average fuzzy importance weight of “ W_{ij}, C_{ij} ” criteria, and “ n ” shows the number of countries.

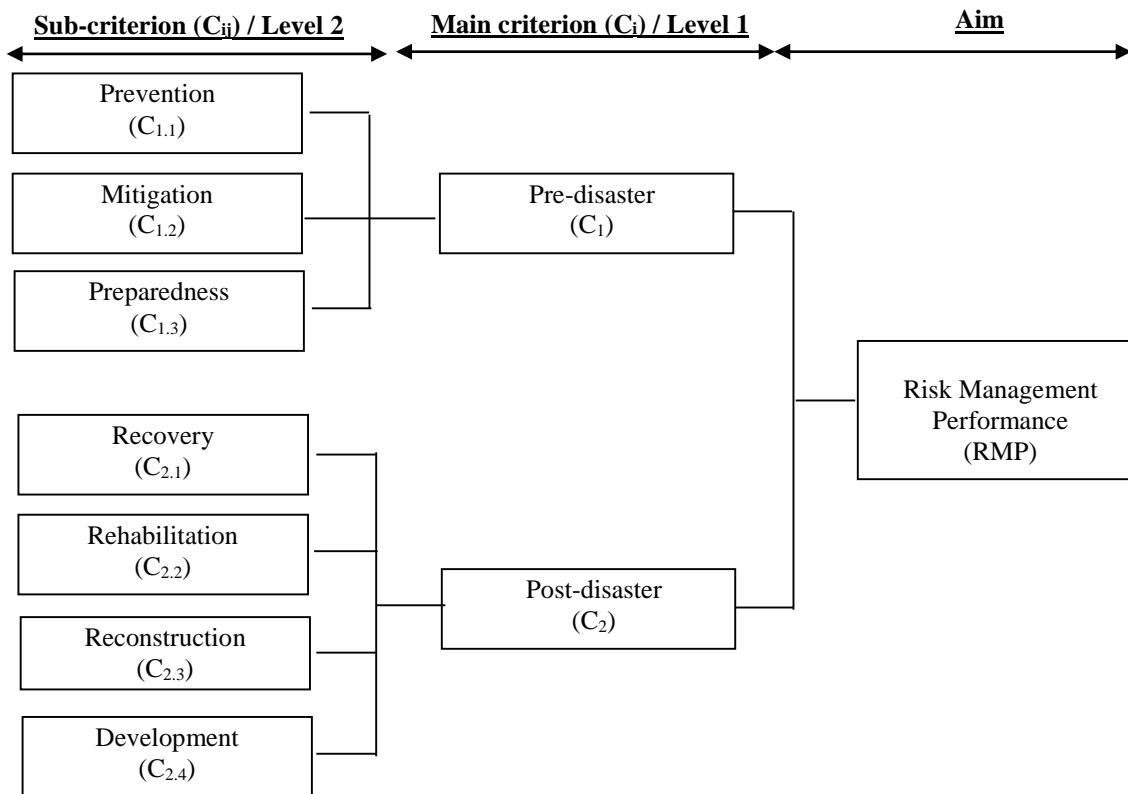


Figure 1. Hierarchical structure of the risk management performance

The next step is the rating of the pre-disaster and post-disaster phases of the countries. The pre-disaster and post-disaster phases could be assessed by using a two-stage process: (1) development of a multi-item scale set or the measurement of each sub-criterion (R_{ij}) and (2) rating of the success of the country on each item using the verbal variables. The use of multi-item scales for the measurement of each sub-criterion (R_{ij}) increases the reliability of the rating process. The verbal variables used for the success of the rated country in each element are turned into fuzzy triangle numbers afterwards. The “ $r_{ij,h}$ ” value becomes the triangle fuzzy number representing the ($h = 1, 2, \dots, s$) element measuring the performance rating of the sub-criterion ij . The “ S ” value is the element number used in the measurement of each sub-criterion (R_{ij}). The fuzzy average performance degree of the sub-criterion belonging to “ m ” country could be derived by using Equation 2 [22].

$$R_{ij,m} = \left(\frac{1}{s}\right) \otimes \sum_{h=1}^s r_{ij,h} \quad (2)$$

Risk management performances of the countries are the functions of the Level 1 criteria (main criteria) and Level 2 criteria (sub-criteria). Therefore, it is necessary to bond the fuzzy weights with the degrees of Level 1 and Level 2 criteria given in Figure 1 to determine this performance. This bonding process starts from the sub-criterion level (Level 2) and proceeds to the main criterion level (Level 1). The bonding of the average fuzzy importance weights (W_{ij}) with the average fuzzy performance degrees (R_{ij}) of Level 2 criteria (C_{ij}) provides the fuzzy weighed average performance ratings (R_i) of Level 1 criteria (C_i). Similarly, the bonding of the average fuzzy importance weights (W_i) and the fuzzy weighed average performance degrees (C_i) of Level 1 criteria reveal the Fuzzy Risk Management Performance Index (FRMPI) [23,24].

The fuzzy weighed average (FWA) method is used to collect the average fuzzy performance rating of Level 1 and Level 2 and the average fuzzy importance weights. The fuzzy weighed average (FWA) method used to measure the fuzzy risk

management performance index (FRMPI) of “ m ” country could be defined as using Equations 3 and 4.

$$R_{i,m} = \sum_{j=1}^k R_{ij,m} \otimes W_{ij} / \sum_{j=1}^k W_{ij} \quad (2)$$

$$FRMP_m = \sum_{i=1}^l R_{i,m} \otimes W_i / \sum_{i=1}^l W_i \quad (2)$$

Because there are fuzzy numbers and fuzzy arithmetical transactions in the formulas above, their solution is very difficult. Different algorithms [21,22,25] have been suggested to calculate the fuzzy weighed average given in the equations below and to facilitate the fuzzy arithmetical transactions. The risk management performance assessment model given in this study adopts the algorithm of Kao and Liu [21] as the most efficient algorithm. This algorithm contains the solution with linear programming techniques by turning the solution of the fuzzy weighed average into a linear rational program with the α -section method.

3.2. A Sample Application Regarding the Suggested Model

In this study, an application regarding the sampling of the usage of the model suggested to determine the risk management performance of the countries has been conducted. In this sample application, an earthquake has been chosen as the disaster type, and the risk management performances have been determined for four sample countries (A, B, C, D; $n=4$) with similarities in terms of “earthquake” disaster risk and carrying “high risk”, but whose development level is different from one another. Country names were not used in this study and were coded alphabetically. Fault lines pass through these countries and their seismic characteristics are determined to be similar. The two most distinctive features among selected countries are the development level and population.

A Risk Management Performance Model (RMPM) has been prepared with the examination [18,20] of the previous studies regarding the disaster

management. The RMPM consists of two parts. The first part of RMPM contains a series of questions defining the importance of each criterion. In this part, ratings (from “totally unimportant,” “quite unimportant,” “unimportant,” “barely important,” “moderately important,” “very important,” to “extremely important) of each main criterion (C_i) and each sub-criterion (C_{ij}) have been requested from different assessors (the larger the number of assessors, the more objective the study will be). In the second part of the RMPM, there are items assessing the studies conducted by the countries regarding the pre-disaster and post-disaster phases.

The verbal responses of the assessors regarding the importance levels for each criterion in the first part have been turned into triangle fuzzy numbers. The triangle fuzzy numbers related to the verbal terms used to measure the relative importance of each criterion have been determined as (0.0-0.0-0.1),

(0.0-0.2-0.4), (0.1-0.3-0.5), (0.2-0.4-0.6), (0.3-0.5-0.7), (0.4-0.6-0.8), (0.5-0.7-0.9), (0.6-0.8-1.0), (0.7-0.9-1.0), and (0.8-1.0-1.0). The fuzzy average importance degree of each criterion has been calculated with the use of Equation 1.

The triangle fuzzy numbers related to the verbal terms used to measure the relation with each criterion in the second part have been determined as (0.0-0.2-0.4), (0.1-0.3-0.5), (0.3-0.5-0.7), (0.5-0.7-0.9), (0.7-0.9-1.0), and (0.8-1.0-1.0). The fuzzy triangle numbers representing the decisions of each assessors for each criterion are bonded with the use of Equation 2. This transaction is conducted for the purpose of attaining the average fuzzy performance degrees corresponding to each sub-criterion. Fuzzy average weights (W_{ij}) of Level 2 criteria and the average fuzzy performance ratings of Level 2 criteria of the countries are given in Table 1.

Table 1. Fuzzy average points and the weights of sub-criteria

Sub-criteria	Countries				Fuzzy average weights (W_{ij})
	A Country	B Country	C Country	D Country	
$C_{1.1}$	(0.500,0.700,0.900)	(0.200,0.400,0.600)	(0.180,0.380,0.580)	(0.060,0.220,0.380)	(0.520,0.720,0.920)
$C_{1.2}$	(0.600,0.800,0.980)	(0.300,0.500,0.700)	(0.240,0.440,0.640)	(0.040,0.180,0.320)	(0.340,0.540,0.740)
$C_{1.3}$	(0.460,0.660,0.860)	(0.280,0.480,0.680)	(0.260,0.460,0.660)	(0.080,0.300,0.480)	(0.300,0.500,0.700)
$C_{2.1}$	(0.580,0.780,0.960)	(0.280,0.480,0.680)	(0.340,0.540,0.740)	(0.080,0.240,0.400)	(0.660,0.820,0.980)
$C_{2.2}$	(0.480,0.680,0.880)	(0.360,0.560,0.760)	(0.240,0.440,0.640)	(0.040,0.180,0.320)	(0.460,0.660,0.860)
$C_{2.3}$	(0.520,0.720,0.920)	(0.380,0.580,0.780)	(0.280,0.480,0.680)	(0.120,0.300,0.480)	(0.440,0.640,0.840)
$C_{2.4}$	(0.560,0.760,0.960)	(0.300,0.500,0.700)	(0.300,0.500,0.700)	(0.060,0.200,0.340)	(0.360,0.560,0.760)

The FRMP (Fuzzy Risk Management Performance) represents the general disaster risk management performance of a country. Therefore; it is necessary to bond the fuzzy weight and ratings of Level 1 and Level 2 criteria (Table 1 and 2) of each country in a two-stage process. In this study, the commercial optimization software LINGO was

used. At the first stage, the average fuzzy importance weights “ W_{ij} ” and the average fuzzy performance degrees “ R_{ij} ” of “Level 2” criteria were bonded with the use of Equation 3. This bonding process contains the turning of Equation 1 into a linear programming model and its solution ($\alpha=0.00$ and 1.00) with the use of the α section method.

Table 2. Fuzzy average points and the weights of main criteria

Main-Criteria	Countries				Fuzzy average weights (W_i)
	A Country	B Country	C Country	D Country	
C_1	(0.503,0.719,0.930)	(0.237,0.453,0.666)	(0.208,0.421,0.631)	(0.054,0.230,0.412)	(0.580,0.760,0.940)
C_2	(0.527,0.737,0.939)	(0.316,0.528,0.739)	(0.285,0.493,0.701)	(0.068,0.231,0.404)	(0.420,0.620,0.820)

The C_i fuzzy average performance ratings R_i of the Level 1 criteria of each country and the fuzzy importance weights of Level 1 criteria are given in Table 2. At the second stage, solutions were calculated for the Fuzzy Risk Management Performance (FRMP) values of each country and different α -section ($\alpha = 0.00$ and 1.00) values with the linear programming model given in Equation 4. These solutions emphasize the uncertainty degree of the country regarding the risk management performance for the sample countries.

The FRMP for four different countries is given in Table 3. For the probability level as $\alpha = 0$, the risk management performance of the country examined in the case study is given in Figure 2. For instance,

the FRMP value of A country is between 0.510 and 0.935. This range specifies that the risk management performance value of A country will not be higher than 0.935 and lower than 0.510. For the probability level as $\alpha = 1.00$, the risk management performance of A country handled as the sample was calculated as 0.727. This situation represents the highest possible value of the risk management performance for the related country. The FRMP values attained for four countries are given in Table 3. A five-point scale was formed in Figure 3 to interpret the attained FRMP values as very bad (0.0-0.1-0.3), bad (0.1-0.3-0.5), medium (0.3-0.5-0.7), good (0.5-0.7-0.9), and very good (0.7-0.9-1.0).

Table 3. Fuzzy risk management performance (FRMP) of the countries

	Countries			
	A Country	B Country	C Country	D Country
FRMP	(0.510,0.727,0.935)	(0.261,0.487,0.709)	(0.232,0.453,0.672)	(0.058,0.230,0.410)

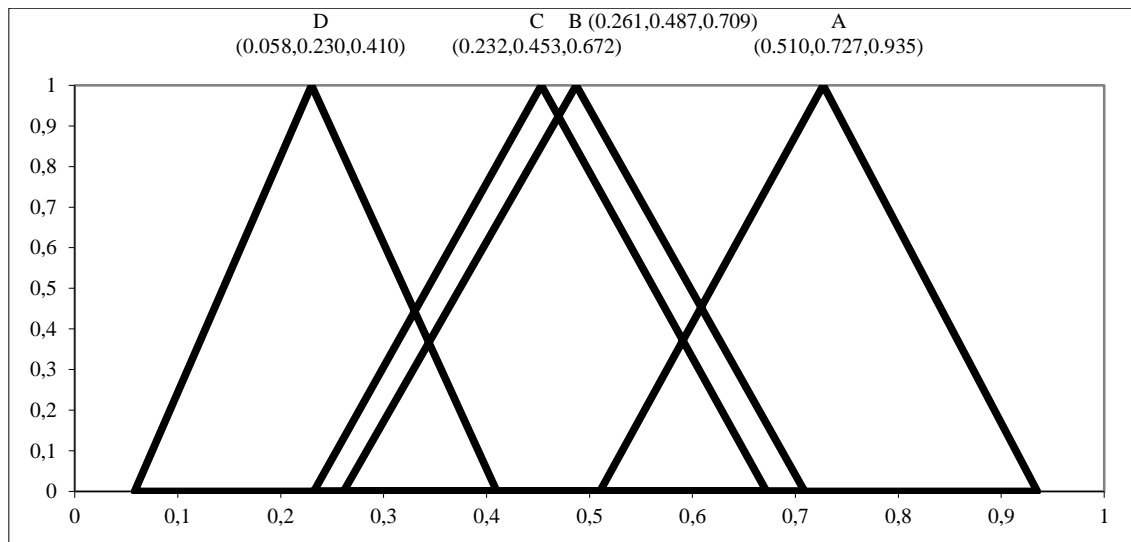


Figure 2. Fuzzy risk management performance (FRMP) of the countries

Figure 4 was obtained by combining the FRMP values shown in Figure 2 with the evaluation scale given in Figure 3. The attained results show that the most successful country in disaster risk

management was A country, B and C countries were successful at the medium level, and D country showed an unsuccessful performance.

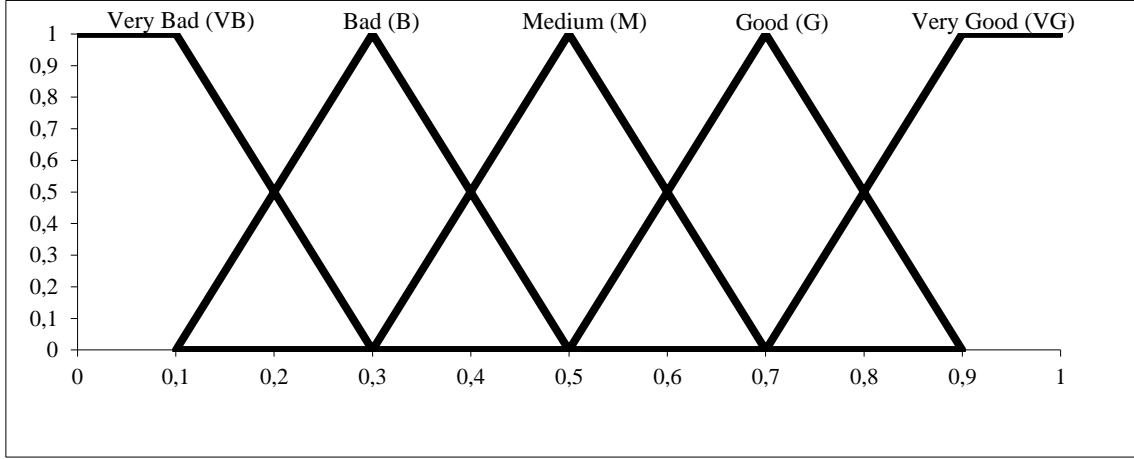


Figure 3. Fuzzy assessment scale

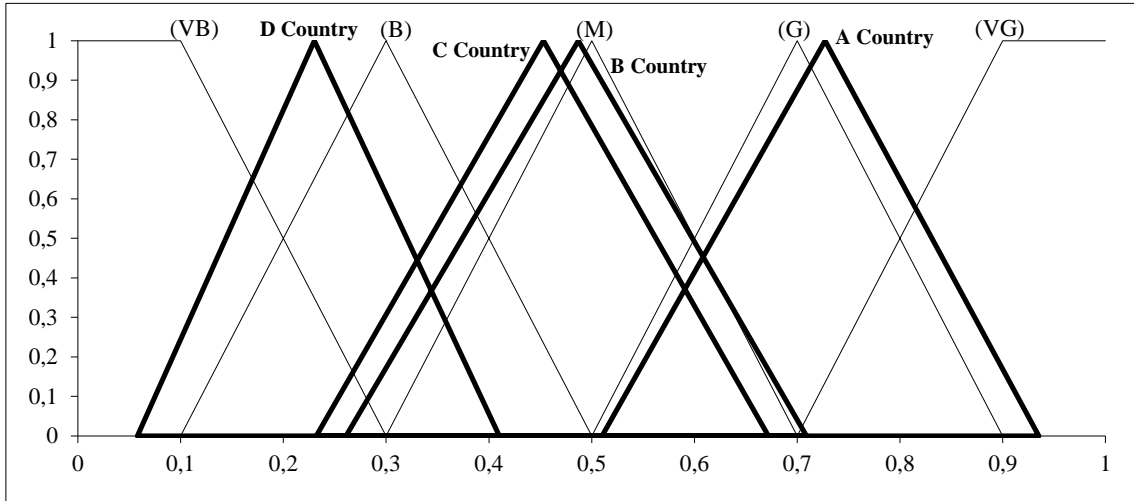


Figure 4. Fuzzy risk management assessment of the countries

4. CONCLUSIONS

The fact that disaster risk management is an important concept for countries is revealed with the conducted studies under today's environmental conditions. Today's countries should develop or adopt the models, tools, and techniques that provide opportunities for the assessment and development of disaster risk management skills in order to be ready for a possible disaster. Therefore, in this study, a fuzzy cluster theory-based disaster risk management performance model was explained with a suggested theoretical sample.

In the assessment of the countries selected as samples in the analysis, it was discovered that they give more importance to the post-disaster phase than the pre-disaster phase. It is seen in Table 2 prepared as a result of the conducted analyses that the countries are more successful in the post-disaster phase than the pre-disaster phase in disaster risk management. This situation also explains the why there is so much loss of life and property after disasters. As emphasized in the previous studies; in the event of giving sufficient importance to the pre-disaster phase, the disaster

performances of the countries will increase, and, in this way, loss of lives and property to occur can be reduced [2, 26].

The method suggested and used in this study makes a contribution to the efforts of a country with disaster risks to compare itself to other countries, to determine its risks, and to improve its risk management performance.

5. REFERENCES

1. Manilofia, R., 2006. Disaster Communications in the Solomon Islands. ITU/ESCAP Disaster Communications Workshop, 12–15 December 2006. Bangkok. Thailand, 1-12.
2. Xu, J., Lu, Y., 2018. Towards an Earthquake-Resilient World: from Post-disaster Reconstruction to Pre-disaster Prevention. *Environmental Hazards*, 17(4), 269-275.
3. Souza, F., Kushchu, I., 2005. Mobile Disaster Management System Applications-current Overview and Future Potential–proc. Of the First European Mobile Government Conference MGOV2005, Brighton, UK, 10-12 July, mGCI publications, UK, 455-466.
4. Crowe, M., 2015. Texas Flood Tests Use of Drones by Emergency Responders. *Emergency Management Magazine* Retrieved from <http://www.emergencymgmt.com/disaster/Texas-Flood-Tests-Drones-Emergency-Responders.html> Accessed 20.12.2020.
5. Limoncu, S., Almaca, A.B., 2018. Çocuk Merkezli Afet Yönetimi. *Megaron*. (131), 132-143.
6. Büyükkaracıoğlu, N., 2017. Türkiye’de Kriz and Afet Yönetimi Mevzuatının Değerlendirilmesi. *Selcuk University Journal of Social and Technical Researches*. 13, 144-193.
7. SH-SSP. 2018. Report, Disaster Management, Space Based Solutions for Developing Nations, University of South Australia and International Space University, 54.
8. Siriporananon, S., Visuthismajarn, P., 2018. Key Success Factors of Disaster Management Policy: A Case Study of the Asian Cities Climate Change Resilience Network in Hat Yai City, Thailand. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 39(2), 269-276. <https://doi.org/10.1016/j.kjss.2018.01.005>.
9. Enarson, E., 2000. Gender and Natural Disasters. Crisis Response and Reconstruction Working Paper No: 1, ILO Infocus Programme on Crisis Response and Reconstruction, 73.
10. CRED. 2015, The Human Cost of Natural Disasters. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (Cred), CRED 2015 Research, 57.
11. Dilley, M., Robert, S.C., Uwe, D., Arthur, L.L., Margaret, A., 2005. Natural Disaster Hotspots: a Global Risk Analysis. Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/7376> License: CC BY 3.0 IGO, 148.
12. Anbarci, N., Escaleras, M., Register, C., 2005. Earthquake Fatalities: The Interaction of Nature and Political Economy. *Journal of Public Economics*. 89, 9–10. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2004.08.002>
13. Escaleras, M., Anbarci, N., Register, C., 2007. Public Sector Corruption and Major Earthquakes: A Potentially Deadly Interaction. *Public Choice*, 132, 209-230, 2007. <https://doi.org/10.1007/s11127-007-9148-y>
14. OECD. 2008. Costs of Inaction of Environmental Policy Challenges Report. OECD 2008.
15. World Bank. 2005. Project Appraisal Document on a Proposed Loan to the Republic of Turkey for an Istanbul Seismic Risk Mitigation and Emergency Preparedness Project. Report 32173-TR.
16. Maly, E., Suppasri, A., 2020. The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction at Five: Lessons from the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami. *Int J Disaster Risk Sci*. <https://doi.org/10.1007/s13753-020-00268-9>.
17. Sena, L., Michael, K.W., 2006. Disaster Prevention and Preparedness. Ethiopia: Ethiopia Public Health Training Initiative, 189.
18. Abulnour, AH., 2014. Towards Efficient Disaster Management in Egypt. *HBRC Journal*, 10, 117-126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hbrcej.2013.07.004>.

19. Sim, T., Lau, J., Cui, K., Wei, H.H., 2019. Post-Disaster Psychosocial Capacity Building for Women in a Chinese Rural Village. *Int J Disaster Risk Sci* 10, 193–203. <https://doi.org/10.1007/s13753-019-0221-1>.
20. Jorge, V.A.M., Granada, R., Maidana, R.G., Jurak, D.A., Heck, G., Negreiros, A.P.F., dos Santos, D.H., Gonçalves, L.M.G., Amory, A.M., 2019. A Survey on Unmanned Surface Vehicles for Disaster Robotics: Main Challenges and Directions. *Sensors*. 19, 702. <https://doi.org/10.3390/s19030702>.
21. Kao, C., Liu, S.T., 2001. Fractional Programming Approach to Fuzzy-weighted Average. *Fuzzy Sets and Systems*. 1203, 435-444 Crossref, ISI.
22. Kale, S., Karaman, E., 2009. Fuzzy Logic Model for Benchmarking Knowledge Management Performance of AEC Firms. *Fifth International Conference on Construction in the 21st Century*.
23. Guh, Y.Y., Hon, C.C., Lee, E.S., 2011. Fuzzy-Weighted Average: The Linear Programming Approach Via Charnes and Cooper's Rule. *Fuzzy Sets and Systems*. 1171, 157-160.
24. Otay, İ., Jaller, M., 2020. Multi-expert Disaster Risk Management & Response Capabilities Assessment Using Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Sets. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. 38(1), 835-852.
25. Đurić, G., Todorović, G., Đorđević, A., Tišma, A.B., 2019. A New Fuzzy Risk Management Model for Production Supply Chain Economic and Social Sustainability. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 32(1), 1697-1715.
26. Özkul, B., Karaman, A.E., 2007. Doğal Afetler için Risk Yönetimi. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Afet Sempozyumu*.

Güç Tutuşurluk Apresinin Denim Kumaş Performans Özelliklerine Etkisinin Araştırılması

Pınar DURU BAYKAL^{*1}, Eda KARATAŞ¹

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

Geliş tarihi: 29.01.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Öz

Bu çalışmanın amacı, performans özelliklerini (hava geçirgenliği, yırtılma mukavemeti ve yumuşaklık) kaybetmeden güç tutuşur denim kumaş üretmektir. Bu amaçla 4 farklı ön terbiye işlemine tabi tutulmuş 8 farklı kumaş numunesi üretilmiştir. Güç tutuşurluk özelliği, kumaşın alev geciktirici kimyasal ile terbiyesine göre elde edilmiştir. Ayrıca apreli kumaşlara 5 tekrarlı rins yıkama uygulanmıştır. Sonuçlar, sınırlı alev yayılma testi, hava geçirgenlik testi, yırtılma mukavemeti testi ve yumuşaklık testleri yapılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre güç tutuşurluk apresi yapılan numunelerde alevlenme, parlama veya delik oluşumu gözlenmemiştir. Genel olarak apre ve tekrarlanan yıkama işlemlerinin hava geçirgenlik değerlerini bir miktar düşürdüğü ancak ön terbiye işlemleri farklı olan bazı numunelerde değişiklik olmadığı görülmüştür. Tüm numunelerde güç tutuşurluk apresi sonrası yumuşaklık bir miktar azalmış ve kumaşlar sertleşmiştir. Apreli kumaşların yıkanmasından sonra genel olarak yumuşaklık değerlerinde artış gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güç tutuşurluk, Denim kumaş, Sınırlı alev yayılımı testi, Güç tutuşurluk apre yöntemleri

Investigation on the Effect of Flame Retardant Finishing on Denim Fabric Properties

Abstract

The aim of this study is to produce flame retardant denim fabric without losing the performance features (air permeability, tear strength and softness). For this purpose, 8 different fabric samples with 4 different pretreatment processes were produced. The flame retardant property was obtained according to the method of treating the fabric with chemical that provides flame retardancy. In addition, 5 repetitive rins washing was applied to the finished fabrics. The results were evaluated by performing limited flame spread test, air permeability test, tear strength test and stiffness tests. According to the results obtained no flaming, glowing or hole formation was observed in the samples with flame retardant finishing. In general, it was observed that finishing and repeated washing processes slightly decreased the air permeability values, but there was no change in some samples according to the pretreatment processes. In all samples, softness decreased a little after flame retardant finishing, and fabrics became stiff. After washing the finished fabrics, an increase was observed in the softness values in general.

Keywords: Flame retardancy, Denim fabric, Air permeability, Limited flame spread, Flame retardancy methods

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Pınar DURU BAYKAL, pduru@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Son yıllarda nüfus artışı ile toplu yaşam alanlarının çoğalması ve gelişen teknoloji ile dünyada yangın tehlikesi yüksek oranlara ulaşmıştır. Yangınların başlaması ve hızlı ilerlemesi genelde ortamda bulunan tekstil ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca yangınlarda can kaybı sayısı da insanların giysilerinin hızlı tutuşması nedeniyle artmaktadır.

Güç tutuşur özellikli koruyucu teknik tekstil grubuna dâhil olan giysiler, termal yünden yalıtkan ve su buharı geçirmez özelliktedir ve bu yüzden kullanıcı rahatsızlık duyar ve ısı stresine maruz kalır. Vücut sıcaklığı arttıkça kullanıcı terleme olayına maruz kalır ve konforsuz bir ortam yaratılmış olur. Bu sebeple son dönemlerde kullanıcı konforunu sağlayacak olan termal koruyucu giysiler üretimi üzerine araştırmalar yapılmaktadır [1].

Yüksek ısı ve aleve karşı koruyucu teknik tekstiller; ısıya, aleve, eriyen metallerin sıçramalarına, radyasyona ve aşırı soğuğa karşı koruma sağlayan giysilerdir. Aleve ve ısıya maruz kalmaya karşı koyan ya da aşırı çevre koşullarında ısı transferine karşı yalıtım sağlayan bütün materyaller termal koruyucu giysi olarak adlandırılır. Petrokimya çalışanları, elektrik işçileri, dökümhaneler ve yüksek ısı karşısında çalışan bütün işçilerin giysileri yüksek ısı ve alevden koruyucu nitelikte olmalıdır [2]. Güç tutuşurlukla ilgili ev tekstilinde, iş yerlerinde, toplu taşıma araçlarında ve kamuya açık yerlerde kullanılan ürünler için bazı mevzuatlar ve düzenlemeler yapılmaktadır.

Bir tekstil ürününe güç tutuşur özellik kazandırmak için, yanma esnasında açığa çıkan ısı miktarını düşürmek veya harcanan enerjiyi artırmak gerekmektedir. Yani piroliz mekanizmasını değiştirerek ya da yanmayı frenleyici ürünler kullanarak tutuşması gereken enerjiyi arttırmak gerekmektedir.

Güç tutuşur kumaş elde etmek için literatürde bilinen farklı yöntemler vardır. Bunlar; yapısı itibariyle güç tutuşan teknik liflerin kullanılması, liflerin yapılarının değiştirilmesi, sentetik polimere

lif çekimi esnasında güç tutuşma sağlayıcı kimyasalların ilave edilmesi, kumaş halindeki tekstil ürününün güç tutuşma sağlayan kimyasallar ile muamele edilmesi şeklinde sayılabilir.

Bu yöntemlerin tümü de tekstil sektöründe geniş çaplı olarak kullanılmaktadır. Kumaşın kullanım alanına göre bu yöntemler tek tek ya da birlikte kullanılarak en iyi güç tutuşma sergileyecek değişik kumaş yapıları elde edilebilmektedir. Güç tutuşur kumaşlar genelde uzay, uçak, petro-kimya, çelik endüstrisi gibi yüksek koruyuculuk gerektiren sanayi dallarında kullanılmaktadır [3].

Son yıllarda daha az maliyetli ve çevre dostu güç tutuşur maddelerin üretimi ve kullanımı ile ilgili çalışmalar artmıştır. Halojen içermeyen güç tutuşur maddelerin kullanımı yaygınlaşmış ayrıca penta ve oktabromdifenil eterin kullanımı tamamen yasaklanmıştır. Yeni yöntemler olarak; plazma işlemi ile yüzey modifikasyonu, mikrokapsül uygulamaları ve nanoteknoloji son çalışmalarda öne çıkmaktadır [4-7].

Yanma 3 aşamadan oluşur bunlar; materyalin ısınması, makro moleküllerin termik olarak parçalanması (piroliz), tutuşma ve yanmanın başlamasıdır. Ürünün özgül ısı, ısı iletkenliği, erime ısı gibi özelliklerine bağlı olarak ürüne enerji verilmesi durumunda, ürünün ısınması (yüzey sıcaklığının artması) değişiklik gösterir. Ürünün özelliğine göre yüzey sıcaklığı belirli bir noktaya ulaştığında piroliz olayı başlar. Piroliz olayı sırasında, artan sıcaklığın etkisiyle önce yavaş olan pirolizin hızlanmasıyla ortamda yanıcı gaz karışımı oluşmakta ve ürün kendiliğinden tutuşabilmektedir [8].

Kumaşlarda güç tutuşurluk özelliğinin değerlendirilmesi açısından göz önünde bulundurulması gereken çok sayıda parametre bulunmaktadır. Materyalin yanma davranışı, alevin çıkış kaynağı, materyalin yüzey yapısı gibi değişkenlere bağlı olarak geliştirilmiş çok sayıda test metodu yapılabilmektedir. Bu standartlardan piyasada en çok kullanılanları aşağıdaki gibi sayabiliriz:

1. Malzemenin bulunuş konumuna göre; dikey yakma testi, havlı ve havsız yer dökemeleri

- için dikey yakma testi, yatay yakma testi, 45°'lik eğik yanma testi,
2. Yanmanın kaynağına bağlı olarak sigara test yöntemi, butangaz testi, yanma için ortamda gerekli olan oksijen miktarının tespiti için LOI (Limited Oxygen Index) testi,
 3. Yanma sırasında açığa çıkan toksikliğin belirlenmesinde kullanılan toksisite testi,
 4. Malzemenin yanma davranışına göre tutuşma kolaylığı testi ve alev yayılma testi.

Güç tutuşurluk testlerinde kullanılan yöntem ne olursa olsun tutuşturma kaynağı uzaklaştırıldıktan sonraki yanma süresi, alevli yanma bittikten sonraki içten yanma süresi, test sonunda oluşan kömürleşme boyu ve alanı, yanmanın ilerleme hızı, damlama olayı, zehirli / zehirsiz gaz veya duman çıkarma durumu genel değerlendirmede göz önünde bulundurulması gereken önemli konulardandır [9,10].

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Beyit, çalışmasında koruyucu giysilerin tanımı ve sınıflandırılması, tarihi gelişimi, üretiminde kullanılan lifler, kullanım alanları ve uygulanan test standartları ile ilgili bilgilere yer vermiştir. Çalışmada, koruyucu giysilerde kullanılan lifler olarak yüksek performanslı lifler, güç tutuşur polinozik, PES, poliamid ve PAN lifleri açıklanmıştır [2].

Kalın, çalışmasında yanmayı geciktirici bir kimyasal olan Alfa-x isimli kimyasala borlu bileşikler ilave edilerek kumaşların güç tutuşurluk özelliklerinin artırılmasını amaçlamıştır. Kumaşların güç tutuşurluk özelliğinin borlu bileşiklerle artırılabilceği belirtilmiştir [8].

Gemci ve arkadaşları, çalışmalarında; %100 poliesterden oluşan perdelik kumaşa güç tutuşur özellik kazandırılması amacıyla denemeler yapmışlardır. Çalışmada poliester kumaşa çektirme yöntemi ile dispers boyama işlemi yapılmıştır. Boyama çözeltisi içerisinde çeşitli oranlarda borik asit ve boraks dekahidrat çözeltileri ilave edilmiştir. Sonrasında numunelere; dikey yanma testi, spektrofotometre ile renk ölçümü testi, ışığa

ve yıkamaya karşı renk haslığı testleri uygulanmıştır [3].

Ömeroğulları ve arkadaşları, çalışmalarında emdirme yöntemi ile doğal yapıda güç tutuşur madde kullanarak poliester kumaşa güç tutuşur özellik kazandırmışlardır. FTIR (ATR) ve SEM kullanılarak, işlem görmüş olan polyester kumaşın fiziksel yüzey özelliği analiz edilmiş olup; LOI ölçümü ile de güç tutuşurluk özelliği değerlendirilmiştir [11].

Horrocks tarafından yapılan çalışmada, 1950-1980 yılları arası güç tutuşurluktaki altın çağ, 1980-1990 yılları arası yapılan geliştirmeler ve 2000 yılından sonraki gelişmeler anlatılmıştır. Ayrıca nano teknoloji uygulamaları, nano kompozit lifler, plazma teknolojisi konuları incelenmiştir [4].

Çakal ve arkadaşları, borun pamuklu kumaşlar üzerindeki güç tutuşurluk özelliğini araştırmışlardır. Güç tutuşurluk çözeltisi hazırlanırken üç farklı bor bileşiği ile fosfor bileşiği ve üre bazlı bir bağlayıcı kullanılmıştır [12].

Gültekin ve arkadaşları, SeaCell®active ve SeaCell®pure ipliklerden üretilen medikal ve ekolojik olarak bilinen kumaşların güç tutuşurluk özelliklerini araştırmışlardır [13].

Ertekin ve arkadaşları, çalışmalarında para-aramid, meta-aramid ve FR PES (güç tutuşur poliester) esaslı olmak üzere üç farklı lif tipinden ve üç farklı numarada (Ne 10, 20, 30) atkı iplikleri ile üretilen kumaşlar ve çözgü ipliği olarak ise Ne 30/2 para aramid ipliklerinden oluşan kumaşlarla çalışmışlardır. Farklı iplik numarası ve farklı lif tipinden oluşan kumaşların yanma davranışı ve mekanik özellikleri istatistiksel olarak incelenmiştir [14].

Bütüner, çalışmasında %50 poliester ve %50 pamuktan oluşan kumaşa halojen içermeyen, fosfor ve azot bazlı güç tutuşur madde ile yapılan güç tutuşurluk bitim işlemlerini incelemiştir. Çalışmada fosfor ve azot bazlı kimyasallar kullanılarak güç tutuşurluk elde edilmiş ancak yıkama dayanımlarının olmadığı gözlemlenmiştir.

Kimyasallarla kombinasyon yapılarak oluşturulan çözeltilerin ise güç tutuşurluğu olumsuz yönde etkilediği ve yıkama dayanımını arttırmadığı gözlemlenmiştir [15].

Aksöz, çalışmasında pamuklu kumaşların güç tutuşurluğunu arttırmak amacı ile çinko borat ve fosfor esaslı kimyasal içeren yeni malzemeler geliştirmeye çalışmıştır. Çalışma kapsamında tane boyutu düşürülerek kararlı apre solüsyonu haline getirilen fosfor esaslı malzeme ile çok iyi güç tutuşur özellik elde edilebilmiştir. Fosfor esaslı malzemeler ile sinerjik etki sağlayabileceği düşünülen çinko borat ile istenen özellik elde edilememiştir [16].

Çayla ve arkadaşları, çalışmalarında biobazlı polimerlerden biri olan polilaktik asit (PLA)'ya güç tutuşur özellik kazandırmak için ağırlıklı olarak asit ve karbon içeren bir formülasyon eklemiştir. Çalışmada çeşitli PLA multiflamentlerine bariyer oluşturma özelliği kazandırılmış ve amonyumpolifosfat formülasyonları ilave edilerek PLA'nın güç tutuşur özellik üzerinde denemeler yapılmıştır [17].

Avcı ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada polipropilene güç tutuşur özellik (alev geciktiricilik) kazandırmak amacıyla kullanılan katkı malzemeleri incelenmiş, bu alandaki güncel gelişmelere ve gelecekteki beklentilere değinilmiştir. Güç tutuşur özellik kazandıran malzemeler halojen içerenler, şişen sistemler, fosfor esaslılar, metal hidroksitler, nano malzemeler ve silikon içerenler olarak gruplandırılmıştır [18].

Şardağ, çalışmasında farklı karışım oranlarında pamuk, tencel ve yapısı itibarı ile ısı ve alev direnci yüksek olan meta-aramid içeren örme kumaşların konfor özelliklerini araştırmıştır. Bu amaçla meta-aramid iplikler ile pamuk, tencel ve tencel/ pamuk iplikler katlanarak 4 farklı karışım oranına sahip iplik ve örme kumaş elde edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda karışımda tencel ve pamuk oranının değişmesiyle kumaşların mukavemet ve konfor özelliklerinin değiştiği ve güç tutuşur kumaşlarda tencel lifinin konfor

özelliklerini arttırmak için iyi bir alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır [19].

Akşit ve arkadaşları, çalışmalarında çinko borat ve alüminyum hidroksit gibi toksik olmayan inorganik bileşikler ile konvansiyonel polimerik kaplamalar ve azot-fosfor bileşikler gibi çevre dostu bileşikler ile sol-jel nano kaplamalar elde etmişlerdir. Çalışmada ticari olmayan güç tutuşur maddeler kullanılarak endüstriyel ölçeğe uyarlanabilir şekilde elde edilen güç tutuşur tekstil materyalleri, kullanılan kimyasal madde miktarı, güç tutuşur ve termal bozunma sonucunda ortaya çıkan toksik gaz salınımı bakımından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir [20].

Önder, çalışmasında yuvarlak örme makinelerinde %100 Poliester (PET) yatak kumaşı üretip daha sonra üretilen bu kumaşlara, emdirme ve köpük kaplama yöntemlerine göre güç tutuşur kimyasalları uygulamıştır. Emdirme yönteminde güç tutuşur kimyasalın miktarı, fikse sıcaklığı ve sıkma basıncı parametreleri, köpük kaplama yönteminde ise köpük yoğunluğu ve fikse sıcaklığı parametreleri değiştirilerek örme kumaşı üzerindeki güç tutuşur etkileri analiz edilmiştir [21].

Eyi tarafından yapılan çalışmada, % 99 pamuk % 1 elastan içeren denim kumaşın termal direncini arttırmak ve yüksek güç tutuşur özellik kazandırmak için borik asit, boraks, nano SiO₂, fosfor ve azot bileşimlerinin (CTAP) her biri ayrı ayrı ticari apre çözeltilisine ilave edilerek apre çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan çok bileşenli apre çözeltileri kumaş numunelerine boyama sonrası bitim işlemi olarak uygulanmıştır. Denim kumaş yüzey özellikleri SEM-EDX ölçümleri ile yorumlanmıştır [22].

Kaynak ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada yün ve yün/poliamid karışımı örme kumaşlara zirkonyum bileşikler ile çektirme yöntemine göre güç tutuşur apresi uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. % 100 yün kumaş, yalnızca % 1 potasyum heksaflorozirkonat ve % 10 zirkonyum asetat çözeltisi ile işlendiğinde dikey yanıcılık testini geçebilmiştir [23].

Tekstilde güç tutuşurluk konusunda pek çok çalışma olmasına karşın, denim kumaşta güç tutuşurluk ile ilgili çok az çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmada dayanıklılığı ve rahatlığıyla işçilerin genellikle tercih ettiği ve her yaştan her kesimden talep gören denim kumaşa güç tutuşurluk özelliği kazandırılması amaçlanmıştır.

Güç tutuşurluk birçok alanda istenen bir özellik olmasına rağmen henüz yaygınlaşmamıştır. Bu yüzden güç tutuşurluğu dünya çapında çok yaygın kullanılan kumaş çeşidi olan denim kumaşa uygulamak, bu teknik özelliği hayatımıza sokmak için önemli bir gelişme olacaktır.

Genelde güç tutuşurluk gibi kumaşa teknik özellik kazandıran aprelerin kumaşın performans ve tutum özelliklerini olumsuz olarak etkilediği gözlemlenmiştir. Bu yüzden bu çalışmada denim kumaşlara oldukça önemli performans özellikleri olarak kabul edilen hava geçirgenliği, yırtılma mukavemeti ve yumuşaklık derecesi tayini yapılmıştır.

Denim kumaşlara genellikle yıkama işlemleri uygulandığından, güç tutuşurluk apresinden sonra tekrarlı rins yıkama da yapılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışmada iki ayrı konstrüksiyonda, 200 cm tarak eninde ve 3/1 Z dimi örgüsünde denim kumaş üretilmiştir. Dokumadaki çözgü iplikleri %100 pamuk ring karde iplikleridir. Ring karde atkı ipliklerinin hammaddesi ise ilk dört numune için %98 pamuk-%1 PBT-%1 elastan, son dört numune için ise %98 pamuk-%2 elastandır.

Numune kumaşların konstrüksiyon bilgileri Çizelge 1’de verilmiştir. Kumaşlara 4 ayrı ön terbiye işlemi uygulanarak 8 farklı numune elde edilmiştir [24].

Çizelge 1. Numunelerin konstrüksiyon bilgileri

Numune No	Çözgü	Atkı	Gramaj (g/m ²)	Tarak No	Sıklık (tel/cm)	
					Çözgü	Atkı
1	Ne 6	Ne 10 CO/PBT/EA	415	42/4	17	14
2	Ne 6	Ne10 CO/PBT/EA	415	42/4	17	14
3	Ne 6	Ne 10 CO/PBT/EA	415	42/4	17	14
4	Ne 6	Ne 10 CO/PBT/EA	415	42/4	17	14
5	Ne 10	Ne 10 CO/EA	364	68/4	27	17
6	Ne 10	Ne 10 CO/EA	364	68/4	27	17
7	Ne 10	Ne 10 CO/EA	364	68/4	27	17
8	Ne 10	Ne10 CO/EA	364	68/4	27	17

CO: Pamuk, PBT: PolibütilenTereftalat, EA: Elastan

3.1. Metod

Üretilen numune denim kumaşlara sıklıkla uygulanan ön terbiye işlemleri yapılmış ve isimleri aşağıda verilmiştir.

Numune 1 ve Numune 5: Yakma

Numune 2 ve Numune 6: Yakma, haşıl sökme, yıkama

Numune 3 ve Numune 7: Yakma, haşıl sökme, yıkama, merserize

Numune 4 ve Numune 8: Merserize

Deneysel çalışma sırasında 8 adet numuneye aynı güç tutuşur apre reçetesi uygulanmıştır. Bu reçetede kimyasallar emdirme yöntemiyle 20-25°C banyo sıcaklığında uygulanmıştır. Ardından 130°C’de 3 dakika kurutulup, 180°C’de 1 dakika fiske yapılmıştır. Güç tutuşur apre reçetesi Çizelge 2’de verilmiştir [24].

Çizelge 2. Numunelere uygulanan apre reçetesi

Apre Kimyasalı	Miktarı
RUCO-FLAM PCE (apre kimyasalı)	500 g/l
RUCON FAS-TR (bağlayıcı)	40 g/l
Fosforik asit (%85’lik)	18 g/l
RUCOWET FN (ıslatıcı)	2 g/l

Apri yapılan numunelerin yarısına 5 tekrarlı rins yıkama yapıldıktan sonra diğer yarısına ise yıkama yapılmadan güç tutuşurluk, hava geçirgenliği, yumuşaklık ve yırtılma mukavemeti testleri uygulanmıştır. Denim yıkamada sıklıkla uygulanan rins yıkama, 30C°'de 20 dakika boyunca 5 tekrarlı olarak su ile yapılmıştır.

Çalışmada güç tutuşurluk testi TS EN ISO 11612:2015 standardına [25] göre sınırlı alev yayılımı metodu ile yapılmıştır. Bu uluslararası standart dikey olarak yönlendirilmiş malzemenin alev yayılma özelliğini saptamak için kullanılır. Test için atkı ve çözgü yönünde 3'er numune alınmıştır. Deneyde kullanılan FlexiBurn test cihazı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Flexi Burn test cihazı [26]

Numunelerinin hava geçirgenlikleri TS 391 EN ISO 9237: 1999 standardına [27] göre belirlenmiştir. Buna göre hava geçirgenliği, kurulan deney düzeneğine uygun olarak yerleştirilen deney numunesinin iki yüzü arasında dik olarak geçen vakumlu havanın mm/sn cinsinden ölçülen hızı olarak ifade edilmektedir. Her numune kumaş için 10 adet ölçüm yapılmıştır.

TS EN ISO 13937-1:2002 standardına [28] göre gerçekleştirilen yırtılma mukavemeti tayini, ani bir kuvvet uygulanırken önceden açılmış bir yırtığın ilerleyerek numune kumaşının tamamen ikiye ayrılması için gerekli olan yırtma kuvvetinin ölçülmesi şeklinde uygulanmıştır. Balistik sarkaç

metodu denim kumaşlarda sıklıkla uygulandığı için bu yöntem seçilmiştir. Her numune kumaş için 5 atkı ve 5 çözgü yönünde ölçüm yapılmıştır.

Yumuşaklık derecesi tayininde, Dijital Pnömatik Stiffness cihazı kullanılarak, ASTM D 4032-94 [29] dairesel eğme test metodu esas alınmıştır. Her kumaştan 5 adet ölçüm yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında üretilmiş olan 8 adet numuneye güç tutuşurluk apri işlemi uygulanmadan önce sınırlı alev yayılımı testi yapılmıştır. Sonuçlara göre numunelerde yanan döküntü yani kül oluşumu gözlemlenmemiştir. Ancak kumaşlarda parlama veya delikler gözlemlenmiştir ve 8 numune de testten kalmıştır. Bu standarda göre numunelerin testten geçmeleri için gerekli olan şartlar 10 saniye alev uygulama süresinde yanan döküntü ve kenarlara ulaşan alev, delik veya parlama olmamasıdır.

Çalışma kapsamında apri ve ayrıca apri yıkamış numunelerin güç tutuşurluk test sonuçları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3. Güç tutuşurluk test sonuçları (Numune 5 hariç diğerleri)

Kriterler	Apreli		Apreli ve Yıkamış		Gereklilik
	Çözgü	Atkı	Çözgü	Atkı	
Test yönü	Çözgü	Atkı	Çözgü	Atkı	
Alev uygulama süresi	10 s	10 s	10 s	10 s	10 s
Yanan döküntü	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
Alev çekildikten sonra yanma süresi	0 s	0 s	0 s	0 s	≤ 2 s
Alev çekildikten sonra korlaşma süresi	0 s	0 s	0 s	0 s	≤ 2 s
Kenarlara ulaşan alev veya parlama	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
Delik oluşumu	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	≤ 5 mm
Sonuç	Geçti	Geçti	Geçti	Geçti	Geçti

Çizelge 4. Güç tutuşurluk test sonuçları (Numune 5)

Kriterler	Apreli		Apreli ve Yıkanmış		Gereklilik
	Çözgü	Atkı	Çözgü	Atkı	
Test yönü					
Alev uygulama süresi	10 s	10 s	10 s	10 s	10 s
Yanan döküntü	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
Alev çekildikten sonra yanma süresi	0 s	0 s	6 s	0 s	≤ 2 s
Alev çekildikten sonra korlaşma süresi	0 s	0 s	0 s	0 s	≤ 2 s
Kenarlara ulaşan alev veya parlama	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
Delik oluşumu	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	≤ 5 mm
Sonuç	Geçti	Geçti	Kaldı	Geçti	Geçti

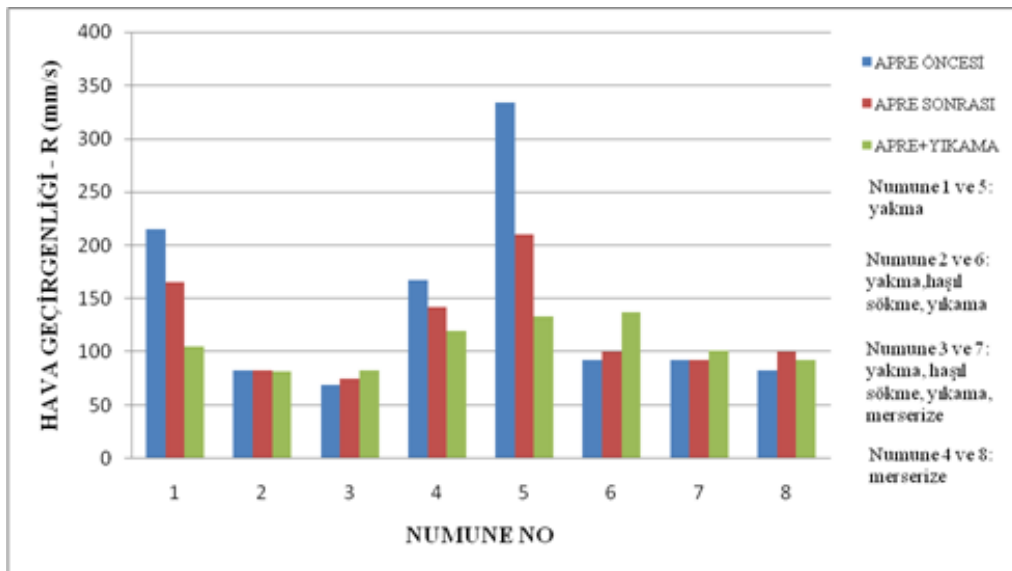
Test sonuçlarına göre apreli tüm numuneler testi geçmiş ve güç tutuşurluk özelliği kazanmıştır. Apreli ve yıkanmış numunelerden sadece Numune 5, testin bir aşamasından kalmıştır ancak

testi genel olarak geçmiştir. Bu sonuçlara göre uygulanan güç tutuşurluk apresi tekrarlı rins yıkamaya karşı dayanıklıdır.

Güç tutuşurluk apresi uygulanmadan önce kumaşların hava geçirgenliği ölçülerek apre işleminden sonraki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Testler her kumaş türüne 10 adet olmak üzere tekrar edilmiştir. Her numuneden elde edilen saniye birimindeki verilerin ortalamaları alınıp mm/s cinsinden hava geçirgenliği hesaplanmıştır. Çizelge 5’de ortalama hava geçirgenliği test sonuçları toplu olarak verilmiştir. Numunelerin hava geçirgenlik değişimleri ise Şekil 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. Hava Geçirgenliği Test Sonuçları

Numune No	Hava Geçirgenliği R (mm/s)		
	Apresiz	Apreli	Apreli ve yıkanmış
1	215	165	105
2	83	83	82
3	69	75	83
4	167	142	120
5	334	210	133
6	92	100	137
7	92	92	101
8	83	100	92

**Şekil 2.** Hava geçirgenliği değişimi

İlk 4 numunenin atkı ve çözgü iplikleri ile konstrüksiyonları aynı olup, sadece ön terbiye işlemleri farklıdır. Benzer şekilde son 4 numune de gerek atkı ve çözgü iplikleri ve gerekse de konstrüksiyonları bakımından birbiri ile aynı olup ön terbiye işlemleri farklıdır.

Bu gruplar kendi içlerinde karşılaştırıldığında, sadece yakma işlemi yapılan kumaşların (Numune 1 ve Numune 5) hava geçirgenliği daha fazla çıkmıştır. Diğer ön terbiye işlemleri (haşıl sökme, yıkama ve merserize) yaş işlemler olduğundan kumaşların bir miktar çekmesi ve dokunun sıklaşması söz konusu olduğundan hava geçirgenliği değerleri de azalmıştır.

Ayrıca Numune 1'e göre Numune 3 ve 4; Numune 5'e göre Numune 7 ve 8'in hava geçirgenlik değerlerinin düşük çıkması görmüş oldukları merserize işlemi ile açıklanabilir. Merserize işlemi ile pamuk liflerinin enine kesiti şişerek dairesel hal almakta ve böylece kumaş örtücülüğü artmaktadır. Dolayısıyla gözeneklilik azalacağından hava geçirgenliği de azalacaktır. Literatürde merserizasyon sonrası hava geçirgenliğinin azaldığı ifade edilmiştir [30].

Genel olarak apre işlemi sonrası kumaşın hava geçirgenliğinin düşmesi beklenir. Numune 1, 4 ve 5'de beklenen bu durum gerçekleşmiştir. Özellikle Numune 1 ve 5'de bu düşüş çok daha fazla olmuştur. Ön terbiyede sadece yakma işleminin yapıldığı bu numunelerde, güç tutuşurluk apresinden sonra yani yaş işlem sonrası dokunun çekmesi beklenir ve bu durum ise hava geçirgenlik değerlerinde düşüşe yol açar.

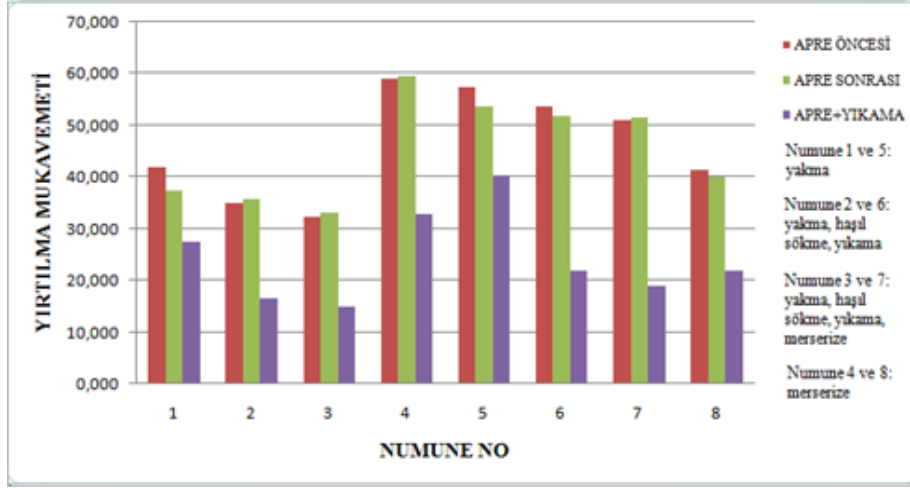
Çözgü numuneleri 64 N 'luk yük altında uygulanan yırtılma mukavemeti testinde standarda uygun şekilde yırtılmamıştır. Çözgü iplikleri kalın olduğu için bu kuvvet yeterli olamamıştır. Atkı yönünde ölçülen yırtılma mukavemeti değerlerinin ortalamaları Çizelge 6'da topluca verilmiş ve ayrıca Şekil 3'de grafik olarak gösterilmiştir. Atkı

yırtılma mukavemet değerleri Numune 1 ve 5 dışında genel olarak güç tutuşurluk apresinden çok etkilenmemiştir. Ancak Numune 1 ve Numune 5'de apre sonrası mukavemette ciddi düşüş gözlenmiştir. Bu numunelere ön terbiyede sadece yakma işlemi uygulanmış ve yaş işlem yapılmamıştır, yani kimyasal bir işlem uygulanmadığından mukavemet kaybı da çarpıcı olmuştur. Yıkama sonrasında ise tüm numunelerde mukavemet düşüşü gözlenmiştir. Yıkama sonrası azalan mukavemet değerleri standartta belirtilen limit değerinin altına düşmemiştir.

Çizelge 6. Yırtılma mukavemeti test sonuçları

Numune No	Atkı Yırtılma Mukavemeti (N)		
	Apresiz	Apreli	Apreli ve Yıkanmış
1	41,836	37,506	27,506
2	35,004	35,870	16,548
3	32,208	33,070	15,000
4	59,146	59,680	32,962
5	57,460	53,714	40,472
6	53,726	51,936	21,928
7	51,036	51,478	19,046
8	41,508	40,012	21,928

Elde edilen veriler, pamuklu blucin (denim) kumaşların tarifine, sınıflandırılmasına, özelliklerine dair bilgileri içeren TS 2791'e göre [31] belirlenen orta gramajdaki denim kumaşların sahip olması gereken en az atkı yırtılma mukavemeti değerinin (15 N) ve en az çözgü yırtılma mukavemeti değerinin (35 N) üzerindedir. Buna göre denim kumaşlara uygulanan güç tutuşurluk apresi ve sonrasında yapılan 5 tekrarlı rins yıkama işlemleri yırtılma mukavemeti açısından performans kaybına yol açmamıştır.



Şekil 3. Atkı yırtılma mukavemeti değişimi

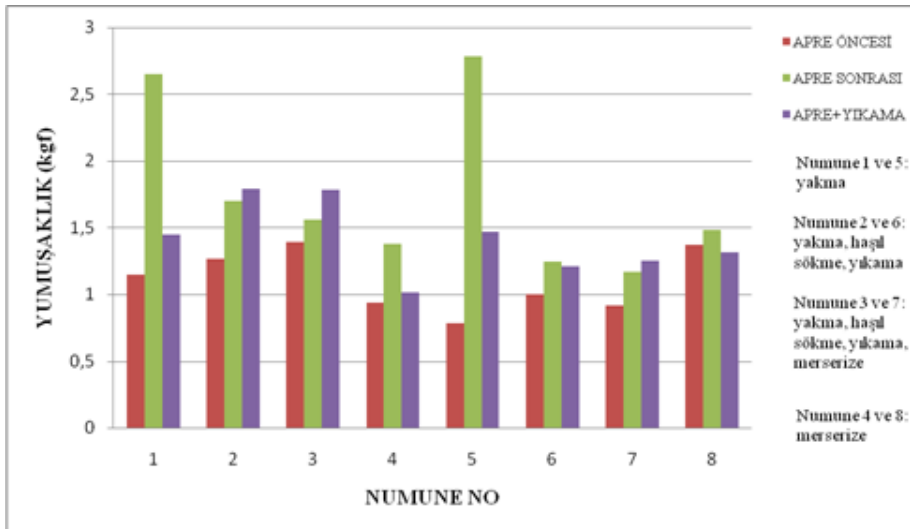
Yumuşaklık derecesi test sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 7’de, değişim ise Şekil 4’te verilmiştir.

Tüm numunelerde güç tutuşurluk apresinden sonra yumuşaklık bir miktar azalmış, kumaşlar sertleşmiştir. Ancak ön terbiyede sadece yakma uygulanan Numune 1 ve 5’de bu azalma diğerlerine göre daha fazla olmuştur.

Apreli kumaşlara yapılan yıkama sonrası ise genel olarak yumuşaklık değerlerinde artış gözlenmiştir.

Çizelge 7. Yumuşaklık Testi Sonuçları

Numune No	Yumuşaklık Değerleri (kgf)		
	Aprersiz	Apreli	Apreli ve yıkanmış
1	1,1474	2,6492	1,446
2	1,2688	1,6994	1,7886
3	1,3928	1,5570	1,7798
4	0,9388	1,3792	1,0138
5	0,7854	2,7850	1,4702
6	0,9992	1,2474	1,2100
7	0,9146	1,1698	1,2524
8	1,3682	1,4852	1,3156



Şekil 4. Yumuşaklık değişimi

5. SONUÇLAR

Çalışmada güç tutuşurluk apresi yapılmadan önce kumaşlara uygulanan güç tutuşurluk testinde bütün kumaşlarda alevlenme, delik veya parlama gözlemlenmiştir. Yani apre yapılmadan önce kumaşlar güç tutuşurluk testinden kalmıştır.

Apre uygulanan kumaşlarda ve apreden sonra yıkama yapılan kumaşlarda güç tutuşurluk testleri sonrasında ise alevlenme, delik veya parlama gözlemlenmemiştir. Dolayısıyla numune kumaşlar güç tutuşurluk özelliğini kazanmıştır.

Çalışma kapsamında kumaşlara güç tutuşurluk özelliği kazandırmanın kumaş özelliklerini etkileyip etkilemediğini tespit etmek için hava geçirgenliği, yırtılma mukavemeti ve yumuşaklık testleri yapılmıştır. Genel olarak apre ve yıkama işlemi sonrası numunelerin hava geçirgenliğinde düşüş gözlenmiş, ön terbiyede sadece yakma işleminin yapıldığı numunelerde ise bu düşüş çok daha belirgin olmuştur. Ön terbiyede yaş işlem görmeyen numunelerde, yaş bir işlem olan güç tutuşurluk apresinden sonra dokunun çekmesi ve sıklıkların değişmesi hava geçirgenlik değerlerinde belirgin düşüşe yol açmıştır.

Ayrıca yırtılma mukavemeti test sonuçlarına göre, güç tutuşurluk apresi ve sonrasında yapılan 5 tekrarlı rins yıkama işlemleri yırtılma mukavemeti açısından performans kaybına yol açmamıştır. Yumuşaklık derecesi test sonuçlarına göre ilk dört numunenin genel olarak daha sert olduğu söylenebilmektedir. Bunun nedeninin numunelerin atkılarında PBT kullanılması ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. Numune 1 ve Numune 5'in apre sonrası yumuşaklığının diğerlerine göre daha fazla düşmesi, apre öncesi yaş işlem görmeyip sadece yakma işleminden geçmeleri ile açıklanabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Horrocks, A.R., Anand, S.C., 2000. Handbook of Technical Textiles., Woodhead Publishing, Chapter 2, p:24-40, Cambridge England, ISBN 0-8493-1047-4.
2. Beyit, A., 2006. Nükleer, Biyolojik ve Kimyasal Korunma Amaçlı Koruyucu Tekstillerin Türkiye’de Üretilebilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, 214.
3. Gemci, R., Gülşen, G., 2010. Güç Tutuşur Kumaş Üretiminde Bor Bileşiklerinin Kullanılması. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(1), 1-10.
4. Horrocks, A., 2011. Flame Retardant Challenges for Textiles and Fibres: New Chemistry Versus Innovative Solutions. Polymer Degradation and Stability, 96, 377-392.
5. Covaci, A., Harrad, S., Abdallah, M.A., Nadeem, A., Law, R., Herzke, D., de Wit, C., 2011. Novel Brominated Flame Retardants: A Review of Their Analysis, Environmental Fate and Behaviour. Environment International. 37, 532-56. 10.1016/j.envint.2010.11.007.
6. Wang, B., Sheng, H., Shi, Y., Hu, W., Hong, N., Ge, H., Yu, X., Song, L., Hu, Y., 2015. Recent Advances for Microencapsulation of Flame Retardant. Polymer Degradation and Stability. 113, 96-109.
7. Yu Lu, S., Hamerton, I., 2002. Recent Developments in the Chemistry of Halogen-Free Flame Retardant Polymers, Progress in Polymer Science, 27, 1661–1712.
8. Kalın, M.B., 2008. Tekstil Yüzeylerinin Yanmaya Karşı Dirençlerinin Arttırılması. Sütçü İmam Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Maraş, 86.
9. Ömeroğulları, Z., Kut, D., 2012. Tekstilde Güç Tutuşurluk. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(1), 27-42.
10. Samatya, S., 2012. Kişisel ve Mülkiyet Koruyucu Teknik Tekstiller. Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 418.
11. Ömeroğulları, Z., Kut, D., 2011. Doğal Yapıda Güç Tutuşur Madde Kullanımı ile Polyester Kumaşın Yanma Davranışının İncelenmesi. Tekstil ve Konfeksiyon, 21(4), 364-368.
12. Çakal, G.Ö., Göğabakan Z., Coşkun S., 2011. Borun Pamuklu Kumaşların Güç Tutuşurluğu Üzerindeki Sinerjik Etkisinin Araştırılması. Tekstil ve Konfeksiyon, 3, 265-271.

13. Gültekin, B.C., Akalın, M., Yükseloğlu, S.M., 2013. SeaCell® Kumaşların Termal Özellikleri ve Güç Tutuşurluk Özelliklerinin İncelenmesi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 23(2), 12-15.
14. Ertekin, M., Kırtay, E., 2014. Aramid ve Güç Tutuşur Poliester Ring İplikleriyle Dokunmuş Kumaşların Yanma Davranışları ve Mekanik Özellikleri. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 24(3), 259-265.
15. Bütüner, İ.F., 2014. Güç Tutuşurluk Bitim İşlemlerinde Kullanılan Ürünlerin Performans ve Sinerjetik Etkilerinin Karşılaştırılması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 85.
16. Aksöz, Y., 2014. Selülozik Esaslı Kumaşlara Güç Tutuşur Özellik Kazandıran Yenilikçi Malzemeler Geliştirilmesi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 74.
17. Cayla, A., Rault, F., Giraud, S., 2016. PLA with Intumescent System Containing Lignin and Ammonium Polyphosphate for Flame Retardant Textile. *Polymers*, 8/2016, 331.
18. Avcı, H., Üreyen, M.E., Kılıç, A., Sağlam, A.E., Demir, A., 2019. Güç Tutuşur Polipropilen Polimeri ve Lif Uygulamalarında Son Gelişmeler ve Gelecek Beklentileri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 609-632.
19. Şardağ, S., 2019. Farklı Oranlarda Pamuk, Tencel ve Meta-Aramid İçeren Güç Tutuşur Örme Kumaşların Mukavemet ve Konfor Özelliklerinin İncelenmesi. *Ulusal Çukurova Tekstil Kongresi-UÇTEK'2019*, 26-27 Eylül, 1-8.
20. Akşit, A., Ünvar, Y., Özkayalar, S., Dindaroğlu, Y., 2019. Güç Tutuşur Tekstil Materyalleri için Alternatif Yaklaşımlar. *Ulusal Çukurova Tekstil Kongresi-UÇTEK'2019*, 26-27 Eylül, 381-388.
21. Önder, Z., 2019. Örme Yatak Kumaşlarında Güç Tutuşurluk. *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri*, 88.
22. Eyi, G., 2019. Pamuk ve Elastan Karışımli Denim Kumaşların Borik Asit, Boraks Dekahidrat, Nano-SiO₂, Triazin ve Fosfor Bileşimleri Varlığında Güç Tutuşurluk Özelliklerinin İncelenmesi. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Edirne*, 103.
23. Kaynak, E., Üreyen, M. E., Koparal, A.S., Mutlu, A., 2020. Flame-Retardant Treatment of Wool and Wool-Rich Blends: A Study of Bath Composition, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 15, 1–10.
24. Karataş, E., 2021. Güç Tutuşurluk Apresinin Denim Kumaş Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana*, 83.
25. TS EN ISO 11612: 2015. Protective Clothing- Clothing to Protect against Heat and Flame.
26. FlexiBurn Multipurpose Flammability Tester, James Heal, Ürün kataloğu, 2020.
27. TS 391 EN ISO 9237: 1999. Textiles- Determination of Permeability of Fabrics to Air.
28. TS EN ISO 13937-1, 2002. Textiles- Tear Properties of Fabrics- Part 1: Determination of Tear Force Using Ballistic Pendulum Method (Elmendorf).
29. ASTM D 4032-94, 1994. Standard Test Method for Stiffness of Fabric by the Circular Bend Procedure, ASTM International, West Conshohocken, PA.
30. Bakıcı, G.G., Kadem, F.D., 2017. Farklı Konstrüksiyondaki Pamuklu Denim Kumaşlarda Performans Özelliklerinin Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi, UÇTEK'2017*, 28-29 Eylül 2017, Adana, 113-119.
31. TS 2791: 2003. Tekstil-Pamuklu Blucin (Denim) Kumaş.

The Factors Causing Height-Fall Accidents Occurring During Roofing and Facing Works

Olcay GENÇ*¹, Gülgün MISTIKOĞLU², Onur YILDIZ³, Ercan ERDİŞ⁴

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Müh. ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

²Mustafa Kemal Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Hatay

³Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, Hatay

⁴İskenderun Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İskenderun

Geliş tarihi: 04.01.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Abstract

In order to take the necessary safety measures and to minimize the risk of accidents that may occur during the production, dismantling, and repair of roof and facade cladding systems, during the design process, it is necessary to analyze the prominent accident types and their causes with numerical data. In this study, concerning construction sector, the principal factors affecting fall accidents occurring during roofing and facing works are investigated by a questionnaire survey. Exploratory Factor Analysis (EFA) is utilized to analyze the survey results. The results of the EFA identify three key factors; (1) business culture and inappropriate workplace, (2) dynamic and unstable external effects, and (3) job analysis. As a result of this study, the main factors affecting the accidents of falling from height during roofing and facing works are identified and contribution is made to the selection of appropriate protection methods for the practitioners.

Keywords: Construction sector, Height-fall accidents, Roofing and facing works, Work accidents

Çatı ve Cephe Kaplama İşlerinde Meydana Gelen Yüksekten Düşme Kazalarına Sebep Olan Faktörler

Öz

Çatı ve cephe kaplama sistemlerinin imalatı, sökümü ve onarımı sırasında oluşabilecek kaza risklerinin minimize edilmesi ve gerekli emniyet tedbirlerinin alınması için, daha tasarım sürecinde, ön plana çıkan kaza tiplerinin ve nedenlerinin neler olduğunun sayısal verilerle analiz edilmesi ve alınabilecek önlemlerin neleri kapsamı gerektiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, inşaat sektöründe çatı ve cephe kaplama işleri sırasında meydana gelen düşme kazalarının sebeplerini tespit etmek için bir anket çalışması uygulanmıştır. Anket verilerine Açıklayıcı Faktör Analizi (AFA) uygulanmıştır. AFA'nın sonuçlarından üç temel faktör tespit edilmiştir. Çatı ve cephe kaplama işlerinde meydana gelen yüksekten düşme kaynaklı kazaların ana sebepleri; (1) iş kültürü, (2) dinamik ve istikrarsız dış çevre ve (3) iş analizi olarak belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda, çatı ve cephe kaplama işleri sırasında meydana gelen yüksekten düşme kazalarını etkileyen ana faktörler belirlenmiş ve uygulamacılara uygun korunma yöntemlerinin seçilmesinde katkı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çatı ve cephe kaplama işleri, Yüksekten düşme kazaları, İnşaat sektörü, İş kazaları

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Olcay GENÇ, olcay.genc@iste.edu.tr

1. INTRODUCTION

The rate of fatal accidents in construction sites, which are more likely to encounter potential risks, is twice as high as the average of all sectors [1]. In our country, an average of 20 occupational accidents occurs in the construction sector every working day, and an average of 1 person is permanently disabled or dies [2]. Most of these accidents resulting in death or permanent incapacity occur as a result of falling from a height, especially during the production, dismantling, and repair of roofs and facade coverings [3]. When the fall height and the death rate of accidents are evaluated, it is seen that falls from a height of 10 meters and above result in death at a rate of 19.6%, and below 1.8 meters this rate decreases to 8.2% [1]. On the other hand, the fatality rate of falling from the roof is 30%, while it is 24% in falling from stairs, 15% in falling from scaffolding, 7% in falling from stationary lifting vehicles, and 5% in falls on the ground level [1]. Labors that work in the production dismantling and repair of the roof and facing work, usually as a result of their carelessness/inability to focus on their work or their colleagues, their imprudence and external environmental conditions; are faced with accidents resulting in injury or death by falling from edges of the roof, places with gaps or openings, water collecting surfaces, walls and eaves, fragile parts such as roof lights or from the pier [4]. Also, the inability of workers to safely reach the workplace, failure to take precautions to prevent unqualified personnel from entering the dangerous areas under and around the part where the work is carried out, failure to take necessary measures to prevent injuries caused by falling materials, not using suitable equipment such as garbage chimney, freight elevator or crane during the unloading of materials, and allowing the materials to accumulate in places where they can fall during the manufacture of roof and facade coatings - not properly stored can cause these accidents [5,6].

There are different studies in the literature, such as surveys, interviews, case studies, observations, and controlled laboratory experiments in various disciplines, to understand the causes of falls from

height in the construction industry. Liy et al. (2016), with a survey they applied to construction companies in the Kuching region of Malaysia, emphasized the difficulties in communication related to the main cause of accidents that occur as a result of falling from heights, especially on roofs and piers [7]. The results of their study suggest that roof falls and scaffolding falls are responsible for most fall hazards where the communication barrier is the key issue that causes the fall hazards. Baran and Esen (2016) stated the importance of risk analysis before the construction of high-rise buildings and the application of correct working and protection methods during construction [8]. Akarsu (2016) examined 100 work accident reports of the Labor Inspection Board, and conducted a risk assessment study on the reasons in terms of frequency, importance, and risk, and examined what should be the priorities and preventive actions in response to these accidents [9]. In the study; it was stated that the most accidents occurred in April and September, which are indicated as the months when the building sector was revived, employees between the ages of 25-34 were exposed to accidents, and carelessness and imprudence were observed more in employees under 35, and accidents mostly occurred at the start and end hours of work. Kanan et al. (2018) emphasized that in order to minimize occupational accidents that cause deaths and injuries, real-time autonomous systems that will ensure safety in construction sites should be designed and developed, and these systems should include different technological elements such as sensors, robotics, laser scanning [10].

This paper aims at examining the principal factors affecting fall accidents in construction sector occurring during roofing and facing works by utilizing Exploratory Factor Analysis (EFA) method.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 presents the research data used in the study. Section 3 describes the methodology used in this study. Section 4 provides the results of EFA. Section 5 discusses the findings, and finally, Section 6 provides conclusions.

2. RESEARCH DATA

The data analyzed in this study is derived from a master thesis [1]. In the thesis, a web-based questionnaire is prepared and delivered to the civil engineers who work for the public or private sectors in Turkey via the chamber of civil engineers. The questionnaire, which is designed for a 5-point Likert scale (1- extremely low to 5- extremely high), consists of two parts: (1) the variables and related reasons for fall accidents, and (2) demographic questions. The variables are presented in Table.

Table 1. The variables related to the reasons for fall accidents

No	Code	Name
1	VAR1	Employees' failure to adopt a safe business culture for various reasons
2	VAR2	Roofing and cladding jobs require different postures
3	VAR3	Insufficient use of personal protective equipment
4	VAR4	Lack of inspection
5	VAR5	Noncompliance with the related legislation
6	VAR6	The unwillingness of the employer on occupational health and safety issues
7	VAR7	Using inappropriate work platform
8	VAR8	Failure to comply with occupational ethics
9	VAR9	Adverse weather conditions
10	VAR10	Inadequacies in legal legislation.
11	VAR11	Not paying attention to the sorting and arranging of materials and equipment that are not needed during the production of roofing and facade

3. METHODOLOGY

This study investigates the principal factors affecting construction fall accidents occurring during roofing and facing works by means of Exploratory Factor Analysis (EFA) of the data adopted from an MSc thesis using IBM SPSS.

The evaluation method for analyzing the factors affecting construction fall accidents is addressed in

the following subsection 3.1. in which an explanation of EFA used in this study is captured.

3.1. Exploratory Factor Analysis (EFA)

Factor analysis is a statistical method in which a large number of highly correlated observed variables are explained with a small number of factors that are not correlated, considering the correlations between variables [11]. In order to increase interpretability and to define hidden data systems, the main purpose of this technique is to reduce the number of variables calculated to smaller parameters [12]. In order to interpret the factor analysis; the number of observed individuals must be greater than the number of variables. Bartlett's sphericity test was used to calculate the multivariate normality of the variables, while the Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) test was used to measure whether the distribution of values is sufficient for performing EFA. KMO value is interpreted as follows: 0.90 is perfect, 0.89-0.80 is very good, 0.79-0.70 is good, 0.69-0.60 is moderate, 0.59-0.50 is poor, <0.50 is rejected and it is decided whether to continue the analysis or not accordingly. In factor analysis (FA), it is assumed that all variables and all linear components of these variables are normally distributed. This is checked by the Bartlett Test of Sphericity. If the significance is zero, the correlation matrix is not an identity matrix and the analysis continues. If there is no correlation exceeding 0.30 in the correlation matrix in factor analysis, its use will not be appropriate. Bartlett sphericity test result of the data shows statistical significance ($p < 0,05$) and KMO value (0,784) indicates the eligibility ($>0,5$) of the data for EFA [13].

The principal component analysis is used as the extraction method in order to carry out the EFA. The principal variables for each factor are described and used as explanatory measures to explain the importance of a factor. These main variables are selected on the basis of two parameters; (1) eigenvalue ≥ 1 , and (2) loading values of variables should be a minimum 0.3.

4. RESULTS

The sample size of the study is 151 civil engineers. %75 of the participants have more than 5-year work experience. 1. As a result of EFA, three factors that explain 57,960% variance are extracted. Table 2 presents these factors and their representative variances. Table 3 demonstrates the configuration of the factors and loadings of the extraction of the principal factors. It is clear that, with the exception of one variable, the loadings of the key variables described for each extracted factor are greater than 0,5, reflecting the important contribution of each variable to the extracted factor. The variable VAR3 is out of the analysis.

Table 2. Factors and total variance explained

Component	Initial Eigenvalues		
	Total	% of Variance	Cum. %
1	3,321	33,210	33,210
2	1,381	13,813	47,023
3	1,094	10,937	57,960
Component	Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cum. %
1	3,321	33,210	33,210
2	1,381	13,813	47,023
3	1,094	10,937	57,960
Component	Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total		
1		2,720	
2		1,639	
3		1,437	

Table 3. Factor structure and loadings of the principal factor extraction

	Component		
	1	2	3
VAR1	0,841		
VAR5	0,790		
VAR8	0,657		
VAR6	0,625		
VAR7	0,567		
VAR4	0,464		
VAR10		0,766	
VAR9		0,696	
VAR2			0,817
VAR11			0,656

An effective aggregate name is given to any extracted factor to reflect the interaction of all variables within it. Table 4 displays the extracted risk factors and their associated variables. This is the order of the related variables, based on the proportion of variance; (1) business culture and inappropriate workplace, (2) Dynamic and unstable external effects, and (3) job analysis.

Table 4. Extracted risk factors and their related variables

Factor	Variables
Business culture and inappropriate workplace	Employees' failure to adopt a safe business culture for various reasons Noncompliance with the related legislation Failure to comply with occupational ethics The unwillingness of the employer on occupational health and safety issues Using inappropriate work platform Lack of inspection
Dynamic and unstable external effects	Inadequacies in legal legislation Adverse weather conditions
Job analysis	Roofing and cladding jobs require different postures Not paying attention to the sorting and arranging of materials and equipment that are not needed during the production of roofing and facade

The first factor “business culture and inappropriate workplace” reflects the largest total variance (%33,210). It consists of six variables; employees' failure to adopt a safe business culture for various reasons, noncompliance with the related legislation, failure to comply with occupational ethics, the unwillingness of the employer on occupational health and safety issues, using inappropriate work platform, and lack of inspection. The second factor “dynamic and unstable external effects” represents %13,813 of the total variance and consists of two variables; inadequacies in legal legislation, and adverse weather conditions. The third factor “job analysis” explains the %10,937 variances. This factor also

includes two variables; roofing and cladding jobs require different postures, and not paying attention to the sorting and arranging of materials/equipment that are not needed during the production of roofing and facade.

5. DISCUSSION

This section discusses the findings of the study. Firstly, Factor 1 is addressed. This is followed by Factor 2 and Factor 3.

Factor 1: Business culture and inappropriate workplace

The “business culture and inappropriate workplace” factor covers the most variables and is considered by civil engineers to be the most significant factor. The fact that human and human behavior constitutes an important element in work accidents reveals the importance of the concept of occupational safety culture. Due to the characteristics of the construction industry, it is a very difficult task to create and maintain a culture of occupational safety in this sector. The variable of the business culture and inappropriate workplace factor, employees' failure to adopt a safe business culture for various reasons, has the highest loading score (0.841). In the construction sector, one of the main reasons for failure to adopt a safe business culture is s work pressure on contractors and their employees who aim to comply with time and cost commitments or deliver work ahead of time in construction work. [14]. Reducing the pressure in construction works may play an essential role in creating a culture of safety. The second and third variables of the factor are noncompliance with the related legislation and failure to comply with occupational ethics with the loading values of 0.790 and 0.657, respectively. Although ethical behavior includes compliance with the rules of legislation, it also requires interpreting the provisions of the legislation that may not comply with the understanding of law in a way that will provide legal practices within the scope of their initiative and make an effort to make these provisions legal [15]. Thus, there is a strong

relationship between complying with the rules of legislation and ethics. The solutions to be produced by investigating the underlying causes of these variables can create remedies for both problems. The fourth variable out of six is the unwillingness of the employer on occupational health and safety issues with a loading value of 0.625. Qualifying an incident as a work accident does not require the employer to be held responsible for this accident in all cases. In order for the employer to be responsible for an accident within the scope of the Social Insurance Law, the accident must have occurred as a result of the employer's behavior or possibility contrary to the obligation to take occupational safety measures and show care, in other words, the employer's fault must be proven to be responsible for the accident [16]. Not using personal protective equipment is seen as one of the main causes of work accidents. The results of this study show that the opposite is also true. In other words, not only the employees but also employers have unwillingness on occupational health and safety issues. The main purpose of occupational health and safety supervision is to prevent occupational diseases and occupational accidents and to ensure a healthier implementation of legal regulations regarding occupational health and safety [17]. Consequently, increasing the inspections, or updating audit strategies if the inspections are sufficient, can remedy this problem. The fifth variable of the business culture and inappropriate workplace factor is “using the inappropriate working platform” with a loading value of 0,567. This is in line with the study of [18] which indicates that one of the main reasons that cause falling from heights and fatal accidents in construction works is the failure to take necessary precautions against falling in the scaffoldings, e.g., lack of necessary railings, and not fixed to the ground appropriately. The use of collective protective equipment, safety nets, and most importantly, the proper construction of the scaffolding are among the first steps to prevent this problem [19]. The sixth and last variable is “lack of inspection” with a loading value of 0.464. Official inspection is essential in order to prevent occupational accidents that may occur in the

workplace. In many countries, there are institutions that oversee the implementation of laws related to occupational safety. The authority to conduct and regulate official inspections in our country is exercised by the inspectors affiliated with the Labor Inspection Board. It is clear that the inspections on occupational health and safety in our country are not at the desired level [20]. In this direction, inspections and penalties should be increased, companies that have not adopted the understanding of occupational safety should be announced to the public effectively [21].

Factor 2: Dynamic and unstable external effects

In order to prevent or minimize work accidents, with the Occupational Health and Safety Law No. 6331 (2012); duties, powers, and responsibilities of employers and employees are regulated in order to ensure occupational health and safety at workplaces and to improve existing health and safety conditions. Then, with the relevant regulations, the requirements for occupational health and safety for employers and employees are explained. It is the first and only independent law enacted in terms of addressing the concept of “protection of health and safety” of all employees, with some exceptions [22]. However, the first variable of the factor is “inadequacies in legal legislation” with a loading value of 0.766. In many cases, the main problem is that the laws are not implemented rather than inadequate. Employer obligations, which are dealt with in the Occupational Health and Safety Law and its relevant regulations, can be considered sufficient to establish health and safety in the workplace if applied effectively [22]. Risky behaviors, individual features, site environments, operational characteristics, agents (scaffolds/ladders), and weather conditions are the most prevalent variables associated with falling from height [23]. Adverse weather conditions are the second variable of the dynamic and unstable external effects factor. In order to prevent occupational accidents caused by bad weather conditions, it is necessary to pay more attention and inspect occupational health and safety practices in winter and summer when the weather conditions are adverse [24].

Factor 3: Job analysis

Depending on the design of the work, different stance configurations can be needed for construction work. The first variable of the job analysis factor is “Roofing and cladding jobs require different postures” with a loading value of 0.817. Working at height and indifferent posture positions is a situation that requires a separate skill and experience. Analysis of such jobs should be well performed and the most appropriate employees should be used for such jobs. The second variable is “not paying attention to the sorting and arranging of materials and equipment that are not needed during the production of roofing and facade” with a loading value of 0.656. Sorting helps remove faulty instruments, scrap, and outdated jigs and fixtures and makes the movement of products faster and simpler for workers to operate and travel [25].

6. CONCLUSION

In this paper, a systematic analysis of the main factors affecting fall accidents in construction sector occurring during roofing and facing works is presented. From the questionnaire survey conducted with 151 civil engineers in Turkey, the main factors are identified by exploratory factor analysis (EFA). The interpretation of the EFA results offers such an insight that allows the key factors of the construction sector to be examined in relation to fall accidents that occur during roofing and facing work. The exploratory results of this study show that the results of the EFA identify three key factors namely; (1) business culture and inappropriate workplace, (2) dynamic and unstable external effects, and (3) job analysis. The theoretical contribution of this paper is in the form of a questionnaire study to the construction management knowledge base in which the study illustrates how the main factors affecting fall accidents in construction sector occurring during roofing and facing works and related variables of the construction sector are identified, hence supporting selecting appropriate prevention method. This contribution provides practitioners with a tool for decision making in construction site management with respect to the identification and

selection of prevention to minimize the fall-related work accidents of the construction projects.

7. REFERENCES

1. Yıldız, O., 2019. Çatı ve Cephe Kaplamalarında Yüksekten Düşmeyi Etkileyen Faktörlerin Analizi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Hatay, 98.
2. Müngen, U., 2011. İnşaat Sektörümüzdeki Başlıca İş Kazası Tipleri, TMH, 469, 32–39.
3. Kines, P., 2001. Occupational Injury Risk Assessment Using Injury Severity Odds Ratios: Male Falls From Heights In The Danish Construction Industry, 1993-1999. Human And Ecological Risk Assessment: An International Journal, 7(7), 1929–1943.
4. ÇSGB, 2015. Yüksekten Düşmeye Karşı Güvenli Çalışma, İnşaatlarda İSG Serisi-3.
5. Mıstıkoğlu, G., Erdis, E., Genc, O., Yıldız, O., 2016, Çatı ve Cephe Kaplamalarında Yüksekten Düşmeyi Etkileyen Faktörlerin Analizi, Türkiye Mühendislik Haberleri, 489.
6. Mıstıkoğlu, G., Erdis, E., Genc, O., Yıldız, O., 2015. Çatı ve Cephe Kaplamalarında Yüksekten Düşmeyi Etkileyen Faktörlerin Analizi, In: İzmir Insa. Muh. Odası 5. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, TR.
7. Liy, C.H., Ibrahim, S.H., Affandi, R., Rosli, N.A., Nawi, M.N.M., 2017. Causes of Fall Hazards in Construction Site Management, International Review of Management and Marketing, 6(8S), 257–263.
8. Baran, Y., Esen, Y., 2016. Çatı ve Cephe Sistemlerinin Yapım ve Onarım Süreçlerinde İş Güvenliği, In: 8. Ulus. Çatı ve Cephe Sempozyumu, İstanbul, Turkey, 195–202.
9. Akarsu, D., 2016. Yüksekten Düşme Kazaları Üzerine Risk Değerlendirmesi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Ankara, 89.
10. Kanan, R., Elhassan, O., Bensalem, R., 2018. An Iot-Based Autonomous System for Workers' Safety In Construction Sites with Real-Time Alarming, Monitoring, and Positioning Strategies, Automation In Construction, 88, 73–86.
11. Özgür, E., 2003. Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz Yöntemleri ve Bir Uygulama, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 173.
12. Jadidoleslami, S., Saghatforoush, E., Zare Ravasan, A., 2018. Constructability Obstacles: An Exploratory Factor Analysis Approach, International Journal of Construction Management, 1–14.
13. George, D., Mallery, P., 2007. SPSS for Windows Step By Step : A Simple Guide and Reference, (Fourth Edition 11.0 update), Pearson A and B, 63.
14. Akdoğan, Z.D., 2019. Küçük ve Orta Ölçekli İnşaat Firmalarında İş Güvenliği Kültürü, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93.
15. Özgür, B., 2010. Kamu Yönetimi Denetçilerinde Etik Kültürün Geliştirilmesi, Denetçiler Dergisi, 5, 1–18.
16. Güzel, A., Deniz, U., 2012. İşverenin İş Kazasından Doğan Sorumluluğunun Niteliği ve Sınırları (Karar İncelemesi), Çalışma ve Toplum, 34(3), 157–188.
17. Parlak, T.M., Olçay, Z.F., 2016. İş Sağlığı ve Güvenliği Denetimi Türkiye ve İngiltere Örneklerinin Karşılaştırmalı İncelenmesi, Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi, (41), 81–97.
18. Görücü, M.N., Müngen, U., 2011. Yapı İş Kolunda Devletin İş Sağlığı ve Güvenliği Denetimi ve “İnşaatlarda Yüksekten Düşmelerin Önlenmesi Projesinin” Değerlendirilmesi”, In: 3. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu.
19. Öztürk, E., Şimşek, H., 2020. Çatı İşlerinde İşçi Sağlığı ve Güvenliği 5x5 Matris Yöntemiyle Risk Değerlendirmesi, İSG Akademik, 2(1), 59–71.
20. Atasever, F., Coşkun, H., Genç, O., Erdiş, E., 2015. Adana İli Özelinde İnşaat Şantiyelerinde İş Güvenliği Resmi Denetiminin İşlevselliği Algısı, In: 8. Ulus. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Kongresi, Adana, 43–50.
21. Usman, M., Baradan, S., 2011. İnşaat Sektöründe İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Alanındaki İyileştirmeleri Etkileyen Faktörler: ABD Örneği, TMH, 469(5), 40–48.

22. Boz Eravcı, D., 2019. 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve İlgili Yönetmelikleri Çerçevesinde İşverenin Yükümlülükleri, *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 8(22), 330–355.
23. Nadhim, E.A., Hon, C., Xia, B., Stewart, I., Fang, D., 2016. Falls from Height in the Construction Industry: A Critical Review of the Scientific Literature, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(7), 368.
24. Ateş, E., Aytaç, N., 2019. Adana’da Bir İnşaat Firmasında İş Kazalarının ve Çalışma Koşulları ile İlişkisinin Değerlendirilmesi, *Sakarya Tıp Dergisi*, 9(4), 661–668.
25. Gupta, S., Jain, S.K., 2015. An Application of 5S Concept to Organize the Workplace at a Scientific Instruments Manufacturing Company, *International Journal of Lean Six Sigma*, 6(1), 73-88.

Renksiz Kaynağın Pasif Optik Ağ Sisteminde Veri Silme Analizi

Nisa NACAR ÇIKAN*¹, Murat AKSOY¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Adana

Geliş tarihi: 14.12.2020 Kabul tarihi: 31.03.2021

Öz

Dalga boyu bölmeli çoğullamalı pasif optik ağlarda (DBBÇ POA) yeniden modülasyon tekniğinin uygulanması geniş bant kapasitesi, hızlı veri iletimi yanında sunucu ve kullanıcılar için oldukça uygun maliyet sağlamaktadır. Bu çalışmada yansıtıcı yarı iletken optik yükselteçlerin DBBÇ POA'larda 5 Gb/s hızında veri silme analizi birçok parametre incelenerek yapılmıştır. Kurulan sistemin optimum çalışma aralığını belirleyebilmek için enjekte gücü -20 dBm -0 dBm arasında, ön gerilim akımı 20 mA-100 mA değerleri arasında incelenmiştir. Kalan sonlanma oranının 0,5 değeri ve altına düşmesini sağlayan sistem parametre değerleri belirlenerek renksiz kaynağın indirme yönünden kalan veriyi ne kadar silebildiği gösterilmiştir. Uygulanan renksiz kaynağın sistemi basitleştirerek birçok avantajı gösterilmiş ve daha önce uygulanmış olan Fabry Perot Laser Diyota alternatif olabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Reksiz kaynak, Veri silme, Pasif optik ağlar, Yeniden modülasyon

Data Deletion Analysis of Colorless Source in Passive Optical Network System

Abstract

The application of the remodulation technique in wavelength division multiplexed passive optical networks (WDM PON) provides a very affordable cost for the server and users as well as broadband capacity and fast data transmission. In this study, data deletion analysis of reflective semiconductor optical amplifiers in WDM PON at a speed of 5 Gb/s is performed by examining many parameters. In order to determine the optimum operating range of the system, the injected power is applied between -20 dBm -0 dBm, and the bias current between 20 mA-100 mA. By determining the system parameter values that allow the remained extinction ratio under 0.5, it has been shown how much the colorless source can delete the remaining data at user end. It is demonstrated that how the applied colorless source simplifies the system and it can be an alternative to the previously applied Fabry Perot Laser Diode.

Keywords: Colorless source, Data erasing, Passive optical network, Remodulation

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Nisa NACAR ÇIKAN, ncikan@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Son yıllarda geniş bant kullanımı ve yüksek veri oranı gerektiren uygulamalar için katlanarak artan bir talep vardır. Yüksek çözünürlük gerektiren televizyonlar, çevrimiçi oyunlar vb. gibi yüksek bant genişliği ve yüksek bilgi iletimi gerektiren sistemlerin artışı geleneksel geniş bant erişim teknolojilerinden (xDSL gibi), yeni nesil optik erişim ağlarına geçmeyi zorunlu kılmıştır. Yeni nesil haberleşme sistemlerinde fiber optik kablo kullanılarak, yüksek bant genişliğine ve yüksek veri hızlarına ulaşmak mümkün olmuştur.

Pasif optik ağlar (POA), erişim ağlarında yüksek bant genişliği ihtiyacını karşılamak amacıyla geliştirilmiştir. POA'lar arasında dalga boyu bölmeli çoğullamalı pasif optik ağ (DBBÇ POA) ise giderek artan bant genişliği ve veri hızı ihtiyacını karşılamak için nihai sonuç olarak önerilmektedir [1]. DBBÇ POA uygulamalarındaki en kritik problem kullanıcı tarafında düşük maliyette vericiler uygulamaktır [2,3]. Bu problemi çözmek ve operasyon harcamalarını azaltmak için renksiz kaynaklar kullanılmaktadır [4-8]. Renksiz kaynak uygulamasında birçok metot vardır ancak bunları temel olarak ikiye ayırabiliriz. Bunlar spektrum dilimleme ve optik geri dönüşüm çözümleridir [9-12]. Dalga boyu filtrelenmiş geniş optik spektrum ışık kaynağı, spektrum dilimleme yöntemindeki her bir optik ağ birimi (OAB) için kullanılır. OAB'ler optik hat terminali (OHT)'lerde üretilen optik taşıyıcılarla veya ağın bir noktasında optik geri döngü yöntemi ile uzaktan beslenir. Genellikle, optik geri döngü yönteminde; OAB'lerin yansıtıcı yüzleri vardır [12,13]. Fabry Perot Lazer Diyot (FPLD), ve yansıtıcı yarı iletken optik yükselteç (YYOY)'ler, OAB'lerdeki yüksek veri hızlarını karşılamak için optik kaynaklar olarak kullanılabilir [4,11,12]. OAB'yi uzaktan besleyebilmek için indirme yönünde ayrı bir dalga boyu gönderilir. Böylece, OAB'ler yükleme yönünde belirli bir dalga boyu ile iletimi gerçekleştirir. Yükleme ve indirme yönleri için farklı dalga boylarının kullanılması, yüksek oranda alıcı-verici gerektirir ve ayrıca maliyetin artmasına neden olur. Başka bir metotta

yükleme yönündeki bilgi, indirme yönünde bilgi taşıyan dalga boyu ile iletilebilir. Bu metot yeniden modülasyon tekniğidir [14-17]. Yeniden modülasyon metodunda indirme ve yükleme yönleri için aynı dalga boyunun kullanılması fiziksel bozulmalara neden olur [9]. Bu problemi giderebilmek için iki çözüm sunulmuştur. İlk çözüm olarak, ortogonal modülasyon biçimlerinin çift yönlü fiberde kullanılmasıdır [18-20]. Fakat merkez ofis ve kullanıcı tarafında farklı modülasyon tekniklerinin kullanımı maliyeti oldukça arttırmaktadır [14]. İkinci çözüm olarak ise, indirme yönündeki verinin silinerek, yükleme yönündeki verinin merkez ofisten gelen aynı taşıyıcı dalga ile taşınmasıdır [21]. Bu nedenle; veri silme mekanizması gelecekteki optik erişim ağları için umut vaat eden uygun maliyetli bir seçenektir [22,23].

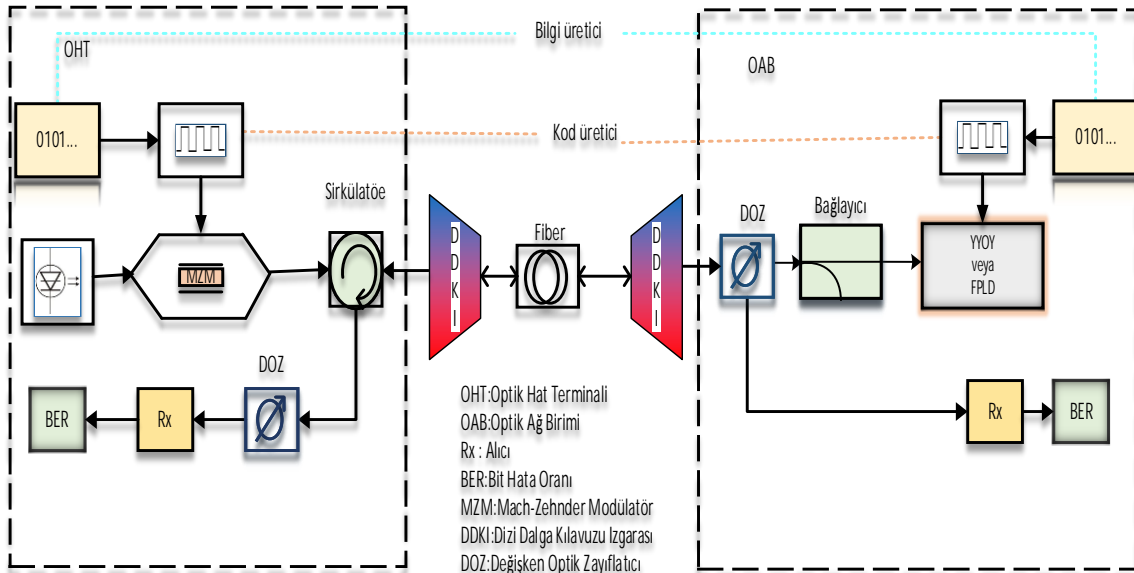
Bu çalışmada geniş bant kapasitesine sahip ve yüksek hızlarda iletim yapılmasını sağlayan DBBÇ POA'lar ile kurulan sistemin uygun maliyette sunulmasını sağlayabilmek için kullanıcı tarafında renksiz kaynak olarak YYOY kullanılmıştır. Aynı zamanda DBBÇ POA'larda uygulanan yeniden modülasyon tekniği düşük maliyeti ile yüksek hızlarda, geniş bant genişliğinde, uzun mesafelerde düşük kayıpla, son kullanıcı ve operatörler açısından çok önemli olan fiyat problemini düşürerek veri iletimini sağlamaktadır. DBBÇ POA'larda son kullanıcı tarafında FPLD uygulanarak veri silme analizi daha önceki çalışmalarda incelenmiştir [14-16]. [16]'de sistemde veri silme analizi incelenirken sadece ön gerilim akımı ve enjekte edilen güç olmak üzere sadece iki parametre göz önüne alınmıştır. Fakat sistemi etkileyen diğer birçok parametre incelenmemiştir. [14]'te sisteme etkisi olan ve fiber iletimde mutlaka değerlendirilmesi gereken hapsedme faktörü, sonlanma oranı akım seviyeleri, enjekte edilen güç ve yüksek yansıtma yüzeyine sahip olan FPLD üzerinde çalışılmıştır. [15]'de ise literatürde daha önce tartışılmamış olan zayıf rezonant kaviteli bir FPLD'nin yeniden modülasyon sisteminde renksiz kaynak olarak uygulandığında ön yüz yansıtıcılığının etkileri üzerinde çalışılmış ve %7 yüz yansıtma değerinin

en iyi sonucu verdiği gösterilmiştir. [24]'de modülasyon ortalama tekniği kullanılmış fakat bu teknikte ortalama genliği bulabilmek için birçok fiber döngüsü kullanılmış ve buda sistem maliyetini artırmaktadır. Ayrıca sistem hızı olarak 1,25 Gb/s belirlenmiştir ve sistemi etkileyen birçok parametre göz önüne alınmamıştır. Önerilen hız seviyesi hızla artan bant genişliğini talebini ileride karşılamayabilmektedir. [25]'de sistemin bir tarafında kendinden beslemeli teknik uygulandığından, aynı zamanda sistemin her iki ucunda da YYOY uygulanmasından dolayı sistem bant genişliği sınırlandırılmıştır. [26]'da sistemin iki tarafında maliyeti oldukça arttıran farklı modülasyon teknikleri uygulanmış, ayrıca çift yönlü iletimde avantaj sağlayan veri silme analizi uygulanmamıştır. Bu çalışmada, çift yönlü bir fiber iletişimde, yeniden modülasyon tekniği uygulanarak renksiz kaynak olarak FPLD kadar etkili ve bir alternatif oluşturacak YYOY'nin veri silme analizi birçok faktör göz önüne alınarak ve Optisystem 15 yazılım programı kullanarak çalışılmıştır. Sistem hızı, giderek artan bant genişliği ihtiyacını karşılayabilecek olan 5 Gb/s olarak belirlenmiştir. Hapsetme oranı kabul edilir oranda artırıldığında sistemde oluşturduğu pozitif

etkiler gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen sistemde YYOY'nin uygulanması ile yüksek veri hızlarında, uygun maliyetli, iyi sonuçlar elde edilebileceğini göstermiştir ve gelecek çalışmalar açısından umut vericidir.

2. MATERYAL VE METOT

Şekil 1 kullanıcı tarafında renksiz kaynak olarak YYOY kullanan bir yeniden modülasyon modelini göstermektedir. Sistem OHT, iletim birimi ve kullanıcı tarafı olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Sistemde ilk olarak, indirme yönündeki sıfıra dönüşü olmayan (NRZ) veri Mach-Zehnder modülatör (MZM) kullanılarak modüle edilmiştir. Sistemde uygulanan dizi dalga kılavuzu ızgarası (DDKI), verilerin çoğullama ve çözümüne yardımcı olur. OAB tarafındaki optik bağlayıcı indirme yönünden gelen sinyali ikiye böler. Düşük yoğunluktaki güç sinyali alıcıya gönderilirken, yüksek yoğunluktaki sinyal OAB'deki vericiye gönderir. Böylece sistemde indirme ve yükleme olmak üzere her iki yönde iletim için aynı taşıyıcı kullanılmaktadır.



Şekil 1. Yeniden modülasyon POA sistemi

Sistemde indirme yönündeki taşıyıcı üzerindeki kalan verinin silinerek, aynı taşıyıcının yükleme yönündeki veriyi iletebilmesi için tekrar kullanması amaçlanmıştır. Bu sebeple, indirme yönünden gelecek hala taşıyıcı üzerinde kalan sinyal renksiz optik kaynak tarafından silinmelidir. Yükleme ve indirme yönündeki verileri ayırmak için sirkülatör kullanılmıştır. Sistemde kullanılan değişken optik zayıflatıcı (DOZ) yardımıyla ise güç seviyesi ayarlanmaktadır. OAB ve OHT bölümlerinde yer alan bit hata oranı (BER) cihazları ile hem veri iletim kalitesi hem de YYOY tarafından silinen verinin analizi yapılmıştır.

Sistemde indirme yönünde sonlanma oranı (SO_i) 5 dB ve 10 dB olarak uygulanmıştır. Modüle edilmiş sinyal OAB'ye gönderilir ve tekrar yansıtılarak OHT'ye gelir. Yansıtılan sinyalin veri silme analizi, belirli parametrelerdeki değişiklikler göz önüne alınarak incelenmiştir. Güç değeri -20 dB'den başlayarak, 0 dB'ye ulaşıncaya kadar kabul edilen belirli aralıklarda incelenmiştir. Tasarımın veri hızı 193,1 THz penceresinde 5 Gb/s'dir. YYOY'ya ait önemli spesifik parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

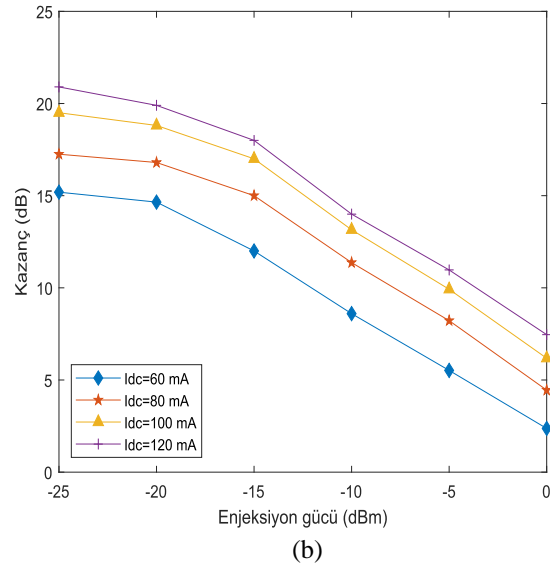
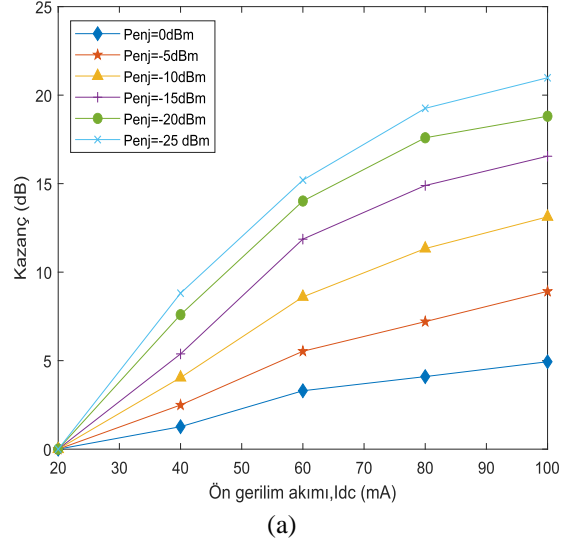
Tablo 1. YYOY parametreleri

Parametre	Değeri	Birimi
Giriş eşleşme kaybı	3	dB
Çıkış eşleşme kaybı	3	dB
Giriş yüzey yansıtıcılığı	50e-06	
Çıkış yüzey yansıtıcılığı	0.99	
Aktif uzunluk	600e-06	m
Genişlik	0.4e-06	m
Optik hapsolme faktörü	0.4	

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

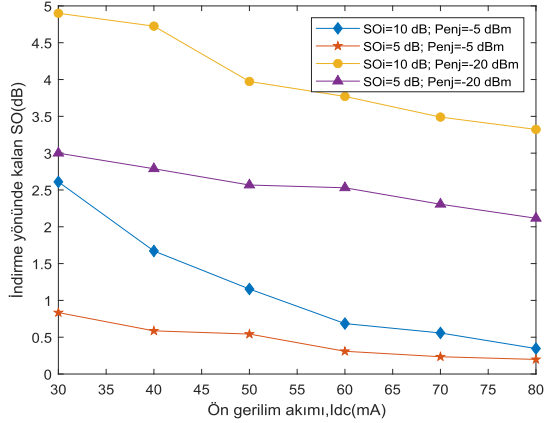
Ön gerilim akımına karşı kazanç grafiği ve enjeksiyon gücüne karşı kazanç grafiği sırasıyla Şekil 2a ve Şekil 2b'de gösterilmektedir. 25 dB enjekte edilen güç ve 100 mA ön gerilim akımı için elde edilen kazanç değeri, -22 dB'dir. Kazanç, 60 mA'nın üzerinde doymaya başlamıştır. Ayrıca,

Şekil 2b'de görüleceği gibi kazanç -20 dBm enjekte güç üzerinde doyum noktasına ulaşmıştır.



Şekil 2. YYOY kazanç grafiği a. Ön gerilim akımına göre, b. Enjeksiyon gücüne göre

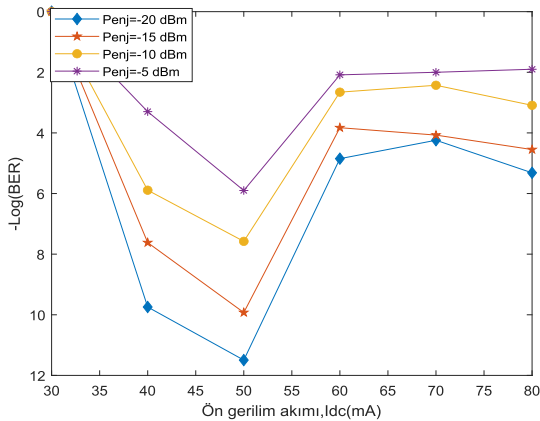
Ön gerilim akımına göre indirme yönünde sonlanma oranı grafiği Şekil 3'te gösterildiği gibidir. Bu grafikte, aralarında karşılaştırma yapmak için iki farklı sonlanma oranı ve enjekte edilen güç değerleri simüle edilmiştir.



Şekil 3. Farklı değerlerde sonlanma oranına karşı ön gerilim akım grafiği

SO_i'nin azaltılmasının ve Penj değerlerinin artırılmasının artık verilerin tamamen silinmesine yardımcı olduğu gözlemlenmektedir. 0,5 değerinin altındaki SO_i değeri verilerin silindiğini gösterir. SO_i değerinin 5 dB ve Penj değerinin -5 dBm olduğu durumda kalan artık verinin tamamen silindiği görülmektedir. Penj değeri -20 dBm'de, çalışma bölgesinin doğrusal alanında olduğundan verileri silemez.

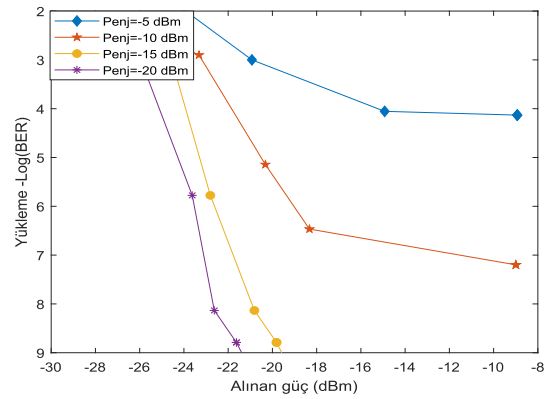
Ön gerilim akımının artırılması, artık verilerin silinebileceğini gösteren başka bir önemli faktördür. Ancak akımın artırılması, cihaz içinde oluşan mod rekabetini de artırır. Bu nedenle, artan akıma göre yükleme yönündeki BER grafiği Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. BER & ön gerilim akım grafiği

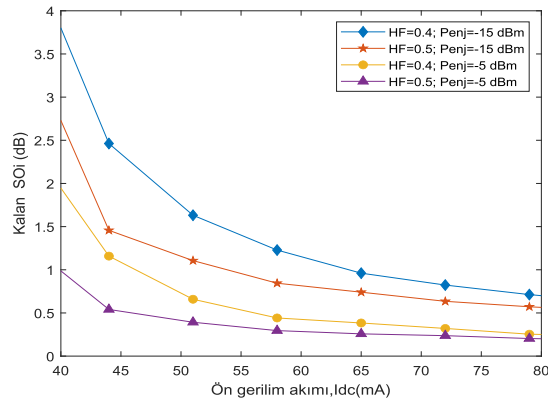
Şekil 4, YYOY'ya uygulanan ön gerilim akımının indirme yönünden kalan verileri silmek için 50 mA'dan büyük olması gerektiği şeklinde açıklanabilir.

Şekil 5, artan verinin -5 dBm enjeksiyon gücünde tamamen silinebildiğini göstermektedir. Güç -15 dBm'nin altında uygulandığında, merkez ofiste artan veri algılanır ve bu da verilerin OHT'de tam olarak silinmediğini gösterir.



Şekil 5. BER & alınan güç grafiği

Verilerin silinmesini etkileyen önemli bir diğer faktör ise hapsolma faktörüdür (HF). Hapsolma faktörünün artırılması, verilerin Şekil 6'da gösterildiği gibi kolayca silinmesine yardımcı olur. Enjeksiyon gücünün sabit bir hapsolma faktöründe artırılması da kalan verilerin silinmesini etkileyen diğer bir nedendir.



Şekil 6. Farklı HF ve Penj değerlerinde SO_i & ön gerilim akım grafiği

HF değerinin 0,4'ten 0,5'e yükseltilmesi kalan verinin silinme oranını artırır. Aynı şekilde Penj değerini -15 dBm'den -5 dBm'e yükseltilmesi de kalan verinin tam olarak silinmesinde önemli bir rol oynar.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, yeniden modülasyon tekniğinin uygulandığı bir DBBÇ POA sistemine OAB tarafında renksiz kaynak olarak kullanılan YYOY'nin veri silme verimliliği analiz edilmiştir. Sistem incelenirken sonlanma oranı, hapsolme faktörü, farklı enjeksiyon güç seviyeleri, farklı ön gerilim akım seviyeleri, bit hata oranı gibi sistem çalışmasını etkileyen önemli parametreler dikkate alınmıştır. Sistem hızı 5 Gb/s'dir. YYOY'nin kalan veriyi silme analizinin yapılabilmesi için ön gerilim akımı 20 mA-100 mA aralığında, enjeksiyon gücü ise -25 dBm-0 dBm aralığında incelenmiştir. Ön gerilim akımının artışıyla birlikte renksiz kaynağın veri silme verimliliğinin arttığı gösterilmiştir.

Parametre değerlerinden ön gerilim akımının 50 mA, hapsolme faktörünün 0,4 ve enjeksiyon gücünün -15 dBm ve üzerinde olması OHT'lerde indirme ve yükleme yönündeki verilerin karışmasını önlemekte ve aynı zamanda renksiz kalan verinin renksiz kaynak tarafından tam olarak silinmesini sağlamaktadır. Silme işlemi sayesinde çift fiber yerine, tek fiber kullanılarak sistemin maliyetinin düşürülmesi sağlanmıştır. Sisteme YYOY uygulandığında, uygulanması gereken optimum değerler daha önce çalışılmamış birçok parametre incelenerek belirlenmiştir ve böylece elde edilen sonuçlar, gelecek çalışmalar için yol göstericidir.

5. KAYNAKLAR

1. Antoniadis, N.N., Ellinas, G., Roudas, I., 2011. WDM Systems and Networks: Modeling, Simulation, Design and Engineering: Springer New York, 532, doi: 10.1007/978-1-4614-1093-5.
2. Berrettini, G., Meloni, G., Giorgi, L., Ponzini, F., Cavaliere, F., Ghigino, P., Bogoni, A. 2009. Colorless WDM-PON Performance Improvement Exploiting a Service-ONU for Multiwavelength Distribution. Paper Presented at the 2009 Conference on Optical Fiber Communication-includes Post Deadline Papers.
3. Celino, D.R., Duarte, U.R., Romero, M.A., 2020. Improved Self-seeding and Carrier Remodulation Performance for WDM-PON by Means of Double RSOA Erasure. Optics Communications, 459, 125018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2019.125018>.
4. Chi, Y., Lin, C., Lin, S., Lin, G., 2012. The Reuse of Downstream Carrier Data Erased by Self-Feedback SOA for Bidirectional DWDM-PON Transmission. Journal of Lightwave Technology, 30(19), 3096-3102. doi:10.1109/JLT.2012.2210698.
5. Cikan, N.N., Aksoy, M., 2019. A Review of Self-Seeded RSOA Based on WDM PON. Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, 42(1), 2-9. doi:10.1109/CJECE.2018.2872433.
6. Cikan, N.N., Aksoy, M., 2020a. Data Erasure Analysis of FPLD Based on Remodulation Bidirectional PON System. Journal of Modern Optics, 67(2), 139-145. doi:10.1080/09500340.2019.1699182.
7. Cikan, N.N., Aksoy, M., 2020b. Data Erasure in Fabry-Perot Diode Lasers: Effects of Facet Reflectivity. Journal of Modern Optics, 67(6), 515-522. doi:10.1080/09500340.2020.1759716
8. Hu, Z., Qiu, Y., Li, W., Chan, C.K., 2020. Experimental Demonstration of Direct Remodulation for an IM/DD OFDM-WDM-PON with Symmetrical Bi-directional Transmission. Optics Communications, 460, 125123. doi:<https://doi.org/10.1016/j.optcom.2019.125123>.
9. Kazovsky, L.G., Shaw, W., Gutierrez, D., Cheng, N., Wong, S., 2007. Next-generation Optical Access Networks. Journal of Lightwave Technology, 25(11), 3428-3442. doi:10.1109/JLT.2007.907748.
10. Ki-Man, C., Jin-Serk, B., Chang-Hee, L., 2006. Color-free Operation of Dense WDM-PON Based on the Wavelength-locked Fabry-Pe/spl Acute/rot Laser Diodes Injecting a Low-noise BLS. IEEE Photonics Technology Letters,

- 18(10), 1167-1169. doi:10.1109/LPT.2006.874719.
11. Li, Y., Chi, Y., Tsai, C., Cheng, M., Lin, G., 2015. Reusing Downstream Carrier in Colorless Laser Diode for Full-Duplex 64-QAM OFDM. *Journal of Lightwave Technology*, 33(9), 1780-1787. doi:10.1109/JLT.2014.2384524.
 12. Lin, G., Liao, Y., Chi, Y., Kuo, H., Lin, G., Wang, H., Chen, Y., 2010. Long-Cavity Fabry-Perot Laser Amplifier Transmitter with Enhanced Injection-Locking Bandwidth for WDM-PON Application. *Journal of Lightwave Technology*, 28(20), 2925-2932. doi:10.1109/JLT.2010.2060470.
 13. Lin, G., Wang, H., Lin, G., Huang, Y., Lin, Y., Cheng, T., 2009. Comparison on Injection-Locked Fabry-Perot Laser Diode with Front-Facet Reflectivity of 1% and 30% for Optical Data Transmission in WDM-PON System. *Journal of Lightwave Technology*, 27(14), 2779-2785. doi:10.1109/JLT.2009.2016676.
 14. Liu, C., Ding, Q.A., Song, J., Zhang, L., Wang, X., Nie, B., Cheng, X., 2021. Performance Investigation of PM-based Wavelength Remodulation Scheme in Bidirectional TWDM-PON. *Journal of Optical Communications*. doi:doi:10.1515/joc-2020-0198.
 15. Lopera, J.A., Cárdenas, A.M., Quintero, G.A., Zapata, J.D., Granada Torres, J.J., 2020. Low-reflective Fabry-Perot Laser Diode Cavity as a Colorless Source on a WDM-PON System. Paper Presented at the OSA Advanced Photonics Congress (AP) 2020 (IPR, NP, NOMA, Networks, PVLED, PSC, SPPCom, SOF), Washington, DC, NeTu2B.3.
 16. Martinez, J.J., Gregorio, J.I. G., Lucia, A.L., Velasco, A.V., Aguado, J.C., Binue, M.Á.L., 2008. Novel WDM-PON Architecture Based on a Spectrally Efficient IM-FSK Scheme Using DMLs and RSOAs. *Journal of Lightwave Technology*, 26(3), 350-356. doi:10.1109/JLT.2007.909864.
 17. Park, S., Choi, Y., Oh, J., Koo, S., Lee, D., 2007. An Evolution Scenario of a Broadband Access Network Using R-SOA-Based WDM-PON Technologies. *Journal of Lightwave Technology*, 25(11), 3479-3487. doi:10.1109/JLT.2007.907789.
 18. Payoux, F., Chanclou, P., Moignard, M., Brenot, R., 2005. Gigabit Optical Access Using WDM PON Based on Spectrum Slicing and Reflective SOA. Paper Presented at the 2005 31st European Conference on Optical Communication, ECOC 2005.
 19. Prat, J., Polo, V., Bock, C., Arellano, C., Olmos, J.J.V., 2005. Full-duplex Single Fiber Transmission Using FSK Downstream and IM Remote Upstream Modulations for Fiber-to-the-home. *IEEE Photonics Technology Letters*, 17(3), 702-704. doi:10.1109/LPT.2004.840930.
 20. Schrenk, B., Chatzi, S., Bonada, F., Lazaro, J. A., Klondis, D., Tomkos, I., Prat, J., 2009. C+L Band Remote Node for Amplification in Extended Reach Full-duplex 10Gb/s WDM/TDM Passive Optical Networks. Paper Presented at the 2009 35th European Conference on Optical Communication, 1-2.
 21. Šprem, M., Babić, D., 2019. Wavelength Reuse WDM-PON Using RSOA and Modulation Averaging. *Optics Communications*, 451, 1-5. doi:https://doi.org/10.1016/j.optcom.2019.06.024.
 22. Su, Y., Chi, Y., Chen, H., Lin, G., 2015. Data Erasing and Rewriting Capabilities of a Colorless FPLD Based Carrier-reusing Transmitter. *IEEE Photonics Journal*, 7(3), 1-12. doi:10.1109/JPHOT.2015.2412457.
 23. Takesue, H., Sugie, T., 2003. Wavelength Channel Data Rewrite Using Saturated SOA Modulator for WDM Networks with Centralized Light Sources. *Journal of Lightwave Technology*, 21(11), 2546-2556. doi:10.1109/JLT.2003.819532.
 24. Wai, H., Chun-Kit, C., Lian-Kuan, C., Tong, F., 2003. An Optical Network Unit for WDM Access Networks with Downstream DPSK and Upstream Remodulated OOK Data Using Injection-locked FP Laser. *IEEE Photonics Technology Letters*, 15(10), 1476-1478. doi:10.1109/LPT.2003.818055
 25. Yeh, C., Chien, H., Chi, S., 2008. Cost-Effective Colorless RSOA-Based WDM-PON with 2.5 Gbit/s Uplink Signal. Paper Presented at the OFC/NFOEC 2008-2008 Conference on

- Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference.
- 26.** Zuo, C., Li, X., 2020. Polarization-Discriminated RSOA-EAM for Colorless Transmitter in WDM-PON. Applied Sciences, 10(24), 9049. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/24/9049>.

Numerical Investigation of Effects of Different Injection Pressure on Diesel Engine Performance and NO_x Emission

Adem AVCU*¹, Gökhan TÜCCAR², Naghdali CHOUPANI³

^{1,2,3}Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering,
Mechanical Engineering Department, Adana

Geliş tarihi: 02.01.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Abstract

Favourable efficiency of diesel engines makes them the most abundant type of internal combustion engines. However, diesel engines are also primary sources of particulate matter (PM) and nitrogen oxides (NO_x) emissions formed as a result of the combustion process. There are many variables to affect the performance of diesel engine. One of them is injection pressure. Combustion process has a crucial effect on emission formation of diesel engines and this process is highly affected by fuel atomization. Injectors are one of the most important components of diesel engines that control the atomization of fuel. Today's modern injectors provide high injection pressures to improve fuel atomization. To reduce exhaust emissions and fuel consumption, the effect of high-pressure fuel injection was investigated in four-cylinder engines numerically. Increased injection pressure improves smoke and fuel consumption, especially at low and medium speeds. However, some variables can be adversely affected by pressure increases. In this study, variables affecting engine performance were observed at different injection pressures for 500-800 bar and 800-1000 bar, and the results were shared.

Keywords: Diesel engine, Injection pressure, High pressure, Fuel consumption

Farklı Enjeksiyon Basıncının Dizel Motor Performansı ve NO_x Emisyonu Üzerindeki Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Öz

Dizel motorların avantajlı verimleri onları en yaygın içten yanmalı motor türü yapmaktadır. Bununla birlikte, dizel motorlar aynı zamanda yanma işlemi sonucunda oluşan partikül madde (PM) ve nitrojen oksit (NO_x) emisyonlarının birincil kaynaklarıdır. Dizel motorun performansını etkileyen birçok değişken vardır. Bunlardan biri enjeksiyon basıncıdır. Yanma sürecinin dizel motorların emisyon oluşumunda çok önemli etkisi vardır ve bu süreç yakıt atomizasyonundan büyük ölçüde etkilenmektedir. Enjektörler, yakıtın atomizasyonunu kontrol eden dizel motorların en önemli bileşenlerinden biridir. Günümüzün modern enjektörleri, yakıt atomizasyonunu iyileştirmek için yüksek enjeksiyon basınçları sağlar. Egzoz emisyonlarını ve yakıt tüketimini azaltmak için dört silindirli motorlarda yüksek basınçlı yakıt enjeksiyonunun etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Artan enjeksiyon basıncı, özellikle düşük ve orta hızlarda duman ve yakıt tüketimini iyileştirir. Ancak bazı değişkenler basınç artışlarından olumsuz etkilenebilir. Bu çalışmada, 500-800 bar ve 800-1000 bar için farklı enjeksiyon basınçlarında motor performansını etkileyen değişkenler gözlemlenmiş ve sonuçlar paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dizel motor, Enjeksiyon basıncı, Yüksek basınç, Yakıt tüketimi

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Adem AVCU, ademavcu01@gmail.com

1. INTRODUCTION

Diesel engines are widely used in various applications such as power generation, agriculture, transportation, and personal vehicles. Diesel fuel has been used for a long time and different studies are carried out to use this fuel effectively. Many studies in the literature are carried out on bio-fuels, blends of diesel and biodiesel-like fuels or different fuel types [1-8]. Besides, testing different operating conditions and different fuel mixtures is a different way to improve diesel engine performance [9-12]. Researchers also consume effort to reduce the negative effects of diesel engines on nature and to use the existing fuels efficiently [13-14]. Also, exhaust emissions from petrol-powered diesel engines fuel have caused environmental pollution and global warming, so rigorous emission regulations have been made necessary for reductions in particulate matter (PM) and nitrogen oxide (NO_x) emissions in recent years. Therefore, diesel engine manufacturers and researchers focused to create commercial diesel engines with high performance and low emissions [15-19]. High efficiency with low pollution is becoming an important request for diesel engines, and the requirement will be significant. In particular, reducing the NO_x emission emerges as a problem to be overcome. To reduce smoke and exhaust emissions and fuel consumption, the other parameters should be investigated. Furthermore, some improvements can make better the motor performance such as the relationship between fuel injection characteristics and exhaust emissions or fuel consumption performance. Turbo-charging, exhaust gas recirculation (EGR), diesel particulate filter (DPF) are some well-known methods that provide improved combustion accompanied by low emissions. Some of the studies were also carried out to explore the effects of advanced injection parameters on combustion process [20-25]. Therefore, this study focuses on the effects of different injection profiles on diesel engine characteristics. The effect of injection pressure has been studied from a wide perspective and the effects of varying pressures on different outputs of the engine have been discussed in detail. Therefore, the performance values of diesel

engines at different injection pressures of diesel fuels were studied numerically in this study.

Nomenclature

BMEP	Break mean effective pressure
BOSCH/SM	Smoke number
ICE	Internal combustion engine
IP	Injection pressure
KW	Brake power
NM	Torque
NO_x	Nitrogen oxide
PM	Particulate matter
RPM	Rotation per minute
SFC	Specific fuel consumption

2. MATERIALS AND METHOD

Diesel-RK software was developed for simulation and modeling of internal combustion engines. It is mainly used to simulate and optimize the working processes of any internal combustion engine. Also, the software can provide useful knowledge by estimating the performance of diesel engine properties such as torque curves, motor performance, fuel consumption, emission analysis, optimization of the fuel injection profile, sprayer design, and bowl shape optimization. Furthermore, the modern models of combustion and emission simulations by arrangement optimization allow optimal emission control corresponding with the actual emission regulations [26-27]. Diesel-RK simulation software interface is given in Figure 1.

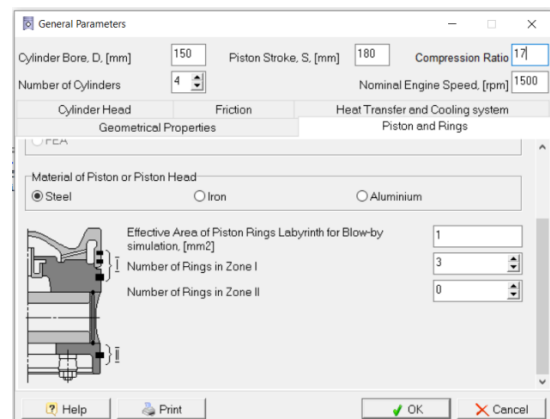


Figure 1. Diesel-RK simulation software interface

Diesel fuel has specific properties such as density, dynamic viscosity, lower heating value, saturated vapour pressure and specific vaporization. Diesel fuel properties are given in Table 1.

Table 1. Properties of diesel fuel

Density (kg/m ³)	830
Dynamic viscosity at 323 K (Pa.s)	100
Lower heating value (MJ/kg)	42.5
Saturated vapour pressure at 480 K (bar)	0.048
Specific vaporization (kJ/kg)	250

In this study, DIESEL-RK software was used that helps to simulate and optimizes combustion operating processes for internal combustion engines [26-31]. The diesel engine is four-cylinder, water-cooled, four-stroke, and 3298 cc. Engine properties are explained in more detail in Table 2. The numerical results were carried out for constant compression ratio (17:1) and at different injection pressures (pressure ranges of 500-800 bar and 800-1000 bar).

Table 2. Properties of diesel engine

Cylinder configuration	In-line 4 cylinders and two valves
Engine Volume (cc)	3298
Bore (mm)	100
Stroke (mm)	105
Engine power (kW)	95.6 @ 3500 rpm
Max. torque (Nm)	294.2 @ 2000 rpm
Cooling system	Water cooling
Brand	Mitsubishi canter 4D31

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, a diesel engine was investigated numerically at various injection pressures 500-800 bar and 800-1000 bar ranges. Power, torque, specific fuel consumption (SFC), NO_x, particular matter (PM) graphs and brake mean effective pressure (BMEP) were compared according to the different injection pressures. The performance and NO_x emission of the diesel engine was investigated at 500-800 bar and 800-1000 bar injection pressures. The diesel engine power output curves are given in Figure 2. It can be seen

that as the injection pressure increases, the power output values also increase. Improved atomisation accompanied by increased injection pressure may be the reason for brake power increment.

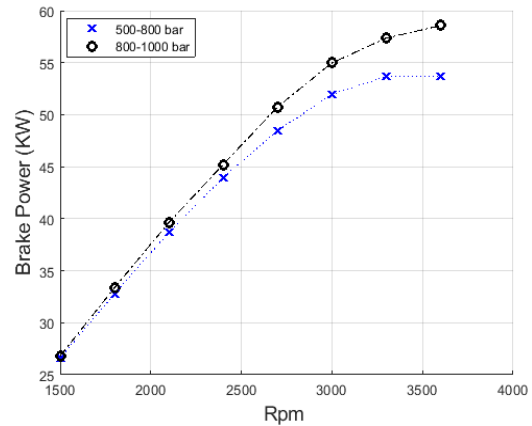


Figure 2. Power-engine speed with different injection pressure values

According to Figure 3, the torque values of the diesel engine have been improved by higher injection pressures. This improvement in torque values may have resulted from enhanced combustion performance at higher injection pressures. Also, the peak point of torque values is at 2100 rpm for both injection pressure values.

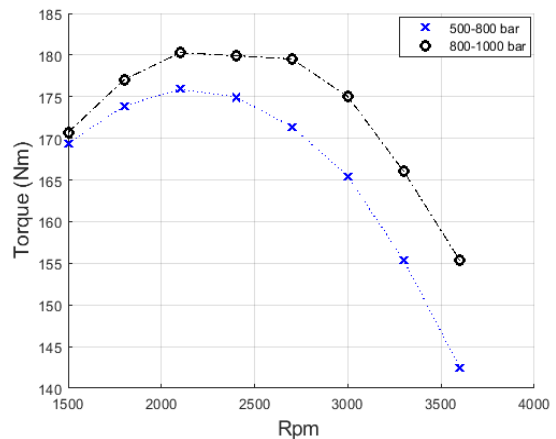


Figure 3. Torque-engine speed with different injection pressure values

Figure 4 shows that the lower injection pressure values have higher specific fuel consumption rates

and the ratio of SFC gets higher after 2100 rpm. Also, the most efficient engine speed range for SFC values is 2100 rpm for the tested diesel engine. Enhanced fuel economy is one of the most important evidence that shows improved combustion process.

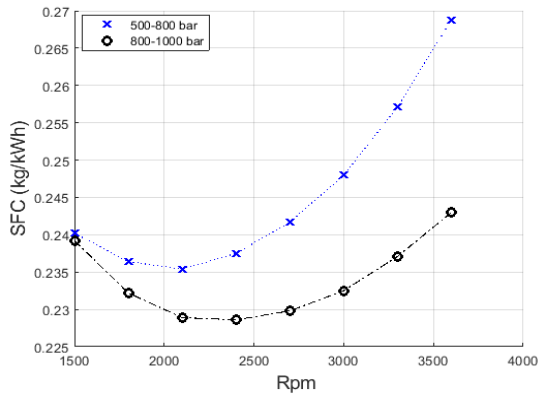


Figure 4. SFC-engine speed with different injection pressure values

The NO_x value starts nearly at the same levels for both different injection pressures. While engine speed gets higher, the values of injection pressures separate for different injection pressures. The lower injection pressure value has lower NO_x emission. This condition can be seen in Figure 5. Elevated temperatures are obtained as a result of improved combustion obtained at high injection pressures. NO_x emissions formed at high temperatures (above 1500°C) are the main reasons for increasing trend.

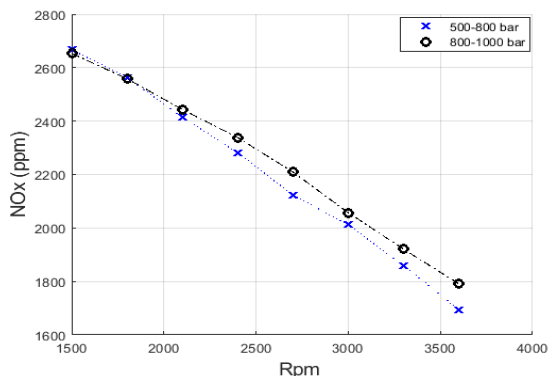


Figure 5. NO_x-engine speed with different injection pressure values

Figure 6 show particular matter emissions of two different injection pressure values. PM graph shows that the PM emissions slightly decrease with increased engine speed values. Injectors volumetrically adjust necessary amount of injected fuel per one cycle. Increased amount of injected fuel at high injection pressures resulted in higher amount of PM emissions. Therefore, at high injection pressures PM values are increased.

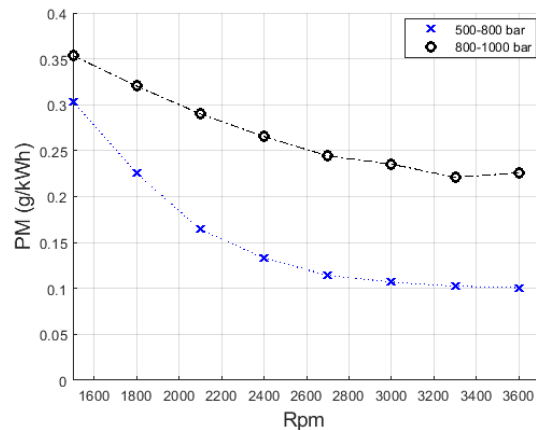


Figure 6. PM-engine speed with different injection pressure values

It can be seen in Figure 7 that the BMEP value reaches its peak at 2100 rpm at both injection pressures. BMEP values have increased up to 2100 rpm. But after 2100 rpm, BMEP started to decrease.

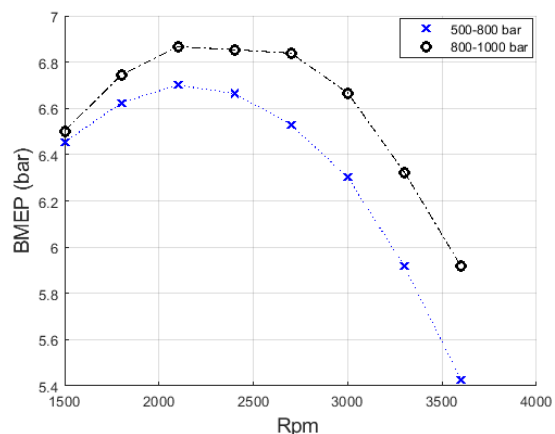


Figure 7. BMEP-engine speed with different injection pressure values

4. CONCLUSION

This study presents an investigation of the performance and emission characteristics of the diesel engine. The effects of injection pressure on engine performance and exhaust emissions are discussed in detail. Two different injection pressure ranges 500-800 bar, 800-1000 bar, were utilized respectively and their effects on certain engine performance parameters were investigated numerically. When comparing the injection pressures increased for 500-800 bar and 800-1000 bar, the values of power, torque, NO_x emission, particular matter (PM), and break mean effective pressure (BMEP) were affected by changing injection pressure. At 800-1000 bar injection pressure, the variables were higher than variables of 500-800 bar. But, as the injection pressures increased specific fuel consumption (SFC) decreased. High NO_x emission value is not desired to contribute to global warming negatively. For this reason, reduction of NO_x emission studies should be done.

5. REFERENCES

1. Tüccar, G., Özgür, T., Aydın, K., 2014. Effect of Diesel-microalgae Biodiesel-butanol Blends on Performance and Emissions of Diesel Engine. *Fuel*. 132, 47–52. doi: 10.1016/j.fuel.2014.04.074.
2. Atadashi, I.M., Aroua, M.K., Aziz, A.A., 2010. High Quality Biodiesel and its Diesel Engine Application: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14(7), 1999–2008. doi: 10.1016/j.rser.2010.03.020.
3. Abed, K.A., Gad, M.S., El Morsi, A.K., Sayed, M.M., Elyazeed, S.A., 2019. Effect of Biodiesel Fuels on Diesel Engine Emissions. *Egyptian Journal of Petroleum*. 28(2), 183–8. doi: 10.1016/j.ejpe.2019.03.001.
4. Chauhan, B.S., Kumar, N., Cho, H.M., Lim, H.C., 2013. A Study on the Performance and Emission of a Diesel Engine Fueled with Karanja Biodiesel and its Blends. *Energy*. 56, 1–7. doi: 10.1016/j.energy.2013.03.083.
5. Likhanov, V.A., Lopatin, O.P., Yurlov, A.S., 2020. Biofuel Based on Methanol and Methyl Ester of Rapeseed Oil for Diesel Engine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 734, 1-5. doi: 10.1088/1757-899X/734/1/012208.
6. Yildiz, I., Açikkalp, E., Caliskan, H., Mori, K., 2019. Environmental Pollution Cost Analyses of Biodiesel and Diesel Fuels for a Diesel Engine. *Journal of Environmental Management*. 243(May), 218–26. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.05.002.
7. Shrivastava, P., Verma, T.N., 2020. Effect of Fuel Injection Pressure on the Characteristics of CI Engine Fuelled with Biodiesel from Roselle Oil. *Fuel*. 265(December 2019): 117005. doi: 10.1016/j.fuel.2019.117005.
8. Agarwal, A.K., Dhar, A., Gupta, J.G., Kim, W. Il., Choi, K., Lee, C.S., Park, S., 2015. Effect of Fuel Injection Pressure and Injection Timing of Karanja Biodiesel Blends on Fuel Spray, Engine Performance, Emissions and Combustion Characteristics. *Energy Conversion and Management*, 91, 302–14. doi: 10.1016/j.enconman.2014.12.004.
9. Taymaz, I., Çakir, K., Mimaroglu, A., 2005. Experimental Study of Effective Efficiency in a Ceramic Coated Diesel Engine. *Surface and Coatings Technology*. 200 (1-4 SPEC. ISS.): 1182–5. doi: 10.1016/j.surfcoat.2005.02.049.
10. Saravanan, N., Nagarajan, G., 2008. An Experimental Investigation of Hydrogen-enriched air Induction in a Diesel Engine System. *International Journal of Hydrogen Energy*. 33(6): 1769–75. doi: 10.1016/j.ijhydene.2007.12.065.
11. Park, S., Kim, Y., Woo, S., Lee, K., 2017. Optimization and Calibration Strategy Using Design of Experiment for a Diesel Engine. *Applied Thermal Engineering*. 123, 917–28. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.05.171.
12. Geng, P., Cao, E., Tan, Q., Wei, L., 2017. Effects of Alternative Fuels on the Combustion Characteristics and Emission Products from Diesel Engines: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 71(October 2015): 523–34. doi: 10.1016/j.rser.2016.12.080.
13. Fayad, M.A., 2020. Effect of Renewable Fuel and Injection Strategies on Combustion Characteristics and Gaseous Emissions in

- Diesel Engines. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. 42(4): 460–70. doi: 10.1080/15567036.2019.1587091.
14. Kannan, K., Udayakumar, M., 2010. Experimental Study of the Effect of Fuel Injection Pressure on Diesel Engine Performance and Emission. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 5(5), 42–5.
 15. Shimada, T., Shoji, T., Takeda, Y., 1989. The Effect of Fuel Injection Pressure on Diesel Engine Performance. *SAE Technical Papers*. 98(1989): 1906–15. doi: 10.4271/891919.
 16. Gumus, M., Sayin, C., Canakci, M., 2012. The Impact of Fuel Injection Pressure on the Exhaust Emissions of a Direct Injection Diesel Engine Fueled with Biodiesel-diesel Fuel Blends. *Fuel*. 95(x), 486–94. doi: 10.1016/j.fuel.2011.11.020.
 17. Park, S.H., Kim, H.J., Lee, C.S., 2010. Comparison of Experimental and Predicted Atomization Characteristics of High-pressure Diesel Spray Under Various Fuel and Ambient Temperature. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 24(7), 1491–9. doi: 10.1007/s12206-010-0417-1.
 18. Lion, S., Vlaskos, I., Taccani, R., 2020. A Review of Emissions Reduction Technologies for Low and Medium Speed Marine Diesel Engines and Their Potential for Waste Heat Recovery. *Energy Conversion and Management*. 207(September 2019): 112553. doi: 10.1016/j.enconman.2020.112553.
 19. Johnson, T., Joshi, A., 2018. Review of Vehicle Engine Efficiency and Emissions. *SAE International Journal of Engines*. 11(6), 1307–30. doi: 10.4271/2018-01-0329.
 20. Agarwal, A.K., Dhar, A., Srivastava, D.K., Maurya, R.K., Singh, A.P., 2013. Effect of Fuel Injection Pressure on Diesel Particulate Size and Number Distribution in a CRDI Single Cylinder Research Engine. *Fuel*. 107, 84–9. doi: 10.1016/j.fuel.2013.01.077.
 21. Rajak, U., Nashine, P., Verma, T.N., 2019. Effect of Fuel Injection Pressure in a Diesel Engine Using Microalgae-diesel Emulsion. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 8(3), 263–71.
 22. Obländer, K., Kollmann, K., Krämer, M., Kutschera, I., 1989. The Influence of High Pressure Fuel Injection on Performance and Exhaust Emissions of a High Speed Direct Injection Diesel Engine. *SAE Technical Papers*. 98, 722–41. doi: 10.4271/890438.
 23. Wakode, V.R., Kanase-Patil, A.B., 2017. Regression Analysis and Optimization of Diesel Engine Performance for Change in Fuel Injection Pressure and Compression Ratio. *Applied Thermal Engineering*. 113, 322–33. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.10.178.
 24. Karthic, S. V., Senthil Kumar, M., Nataraj, G., Pradeep, P., 2020. An Assessment on Injection Pressure and Timing to Reduce Emissions on Diesel Engine Powered by Renewable Fuel. *Journal of Cleaner Production*. 255, 120186. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120186.
 25. Yasin, M.H.M., Mamat, R., Yusop, A.F., Idris, D.M.N.D., Yusaf, T., Rasul, M., Najafi, G., 2017. Study of a Diesel Engine Performance with Exhaust Gas Recirculation (EGR) System Fuelled with Palm Biodiesel. *Energy Procedia*. 110, 26–31. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.100.
 26. Adesina, O.K., Olanrewaju, A.I., Peter, O.A., 2020. Performance Characteristics of a Single-Cylinder Two-Stroke Diesel Engine Using Diesel-RK Software 1 11(6), 463–72.
 27. Siddique, S.K.A., Vijaya, K., Reddy, K., 2015. Theoretical Investigation on Combustion Chamber Geometry of DI Diesel Engine to Improve the Performance by Using Diesel-RK. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*. (10), 2278–3075.
 28. Paul, G., Datta, A., Mandal, B.K., 2014. An Experimental and Numerical Investigation of the Performance, Combustion and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fueled with Jatropha Biodiesel. *Energy Procedia*. 54, 455–67. doi: 10.1016/j.egypro.2014.07.288.
 29. Datta, A., Mandal, B.K., 2016. Impact of Alcohol Addition to Diesel on the Performance Combustion and Emissions of a Compression Ignition Engine. *Applied Thermal Engineering*. 98, 670–82. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.12.047.
 30. Krishania, N., Rajak, U., Nath Verma, T., Kumar Birru, A., Pugazhendhi, A., 2020. Effect of Microalgae, Tyre Pyrolysis Oil and

Jatropha Biodiesel Enriched with Diesel Fuel on Performance and Emission Characteristics of CI Engine. *Fuel*. 278(June), 118252. doi: 10.1016/j.fuel.2020.118252.

- 31.** Plotnikov, L., Osipov, L., 2020. Improving the Operating Cycle of a Diesel Engine on Biofuel Based on Numerical Modeling. *Proceedings of the 2020 Ural Smart Energy Conference, USEC 2020*. 122–5. doi: 10.1109/USEC50097.2020.9281254.

Çelik Lif Katkılı Alüminyum Tüp İçine Beton Doldurulmuş Kirişlerin Eğilme Dayanımlarının İncelenmesi

Namık YALTAY^{*1}, Demet YAVUZ², Soner GÜLER³

^{1,2,3}Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van

Geliş tarihi: 22.12.2020

Kabul tarihi: 31.03.2021

Öz

Çelik tüp içine beton doldurulmuş (ÇTBD) kirişlerin özellikle yüksek yapılarda ve köprü kirişlerinde kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Ancak, son yıllarda normal ve paslanmaz çelik yerine daha hafif ve ucuz olan alüminyum tüp içine beton doldurulmuş (ATBD) kirişler inşaat uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı çelik lif katkılı dikdörtgen en kesitli ATBD kirişlerin moment ve süneklik kapasitelerinin incelenmesidir. Çelik liflerin hacimsel lif oranları %0,5 ve %1,5 olarak, alüminyum tüp et kalınlıkları ise 2 ve 4 mm olarak seçilmiştir. Çalışma sonucunda, içi boş alüminyum tüplerin içine beton doldurulmasının ATBD kirişlerin dayanım ve süneklik kapasitelerini önemli oranda artırdığı belirlenmiştir. Çelik liflerin ATBD kirişlerin moment kapasitelerini arttırmada etkileri oldukça sınırlıyken, ATBD kirişlerin süneklik kapasitelerini arttırmada çok daha fazla etkili oldukları görülmüştür. Ayrıca, çelik lif hacimsel oranı %0,5'den %1,5'a çıkarıldığı zaman ATBD kirişlerin daha fazla elastik ötesi deformasyon yaptıkları ve bundan dolayı süneklik kapasitesindeki artışların daha belirgin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonla doldurulmuş alüminyum tüp, Çelik lif, Eğilme dayanımı, Süneklik

Flexural Behaviour of Steel Fiber Reinforced Concrete-Filled Aluminum Tube Beams

Abstract

Nowadays, the use of concrete filled steel tube (CFST) beams is increasing especially in high structures and bridge beams. However, concrete filled aluminum tube (CFAT) beams that are lighter and cheaper than normal and stainless steel, are widely used in construction applications in recent years. The aim of this study is to examine the moment and ductility capacities of steel fiber reinforced rectangular CFAT beams. The volumetric ratios of steel fibers were selected as 0.5% and 1.5% and aluminum tube wall thicknesses were chosen as 2 and 4 mm. The results show that filling concrete into hollow aluminum tubes significantly increase the strength and ductility capacities of CFAT beams. While the effects of steel fibers in increasing the moment capacity of CFAT beams are quite limited, it has been observed that they are much more effective in enhancing the ductility capacity of CFAT beams. In addition, when the steel

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Namık YALTAY, namikyaltay@yyu.edu.tr

fiber ratio was increased from 0.5% to 1.5%, it was obtained that CFAT beams exhibit more inelastic deformation and therefore the increase in ductility capacity was more pronounced.

Keywords: Concrete filled aluminum tube, Steel fiber, Flexural strength, Ductility

1. GİRİŞ

Çelik tüp içine beton doldurulmuş (ÇTBD) kolon ve kiriş yapı elemanları günümüzde yüksek binalarda kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. ÇTBD kiriş elemanlarının inşaat uygulamalarında yaygın olarak kullanılan çelik ve betonarme kiriş elemanlara göre bazı avantajlı özellikleri bulunmaktadır [1]. ÇTBD kiriş elemanlarda çelik ve betonun yerleşim düzeni kesitin dayanım ve rijitlik özellikleri açısından daha optimum bir çözüm sunmaktadır. Çeliğin ÇTBD kesitin en dışına yerleştirilmesi çekme gerilmelerini karşılamada daha etkin bir davranış sergilemesini sağlamaktadır. Bunun yanında, betondan daha büyük elastisite modülüne sahip olan çeliğin kesitin en dışına yerleştirilmesi nedeniyle ÇTBD kesitin eğilme rijitliği önemli oranda artmaktadır [2]. Çelik tüp içine yerleştirilen beton çelik tüpte oluşabilecek yerel ve tümden burkulmaları geciktirmektedir. Buna ilave olarak, çelik tüpün çekirdek betona uyguladığı yanıl sargılama sayesinde çekirdek betonun dayanım ve süneklik kapasitesi artmaktadır. ÇTBD yapı elemanlarında etriye gibi enine donatı kullanılmadığı için birleşim bölgelerinde karşılaşılan sık donatı düzeni gibi sorunlarla karşılaşmaz [3]. Bugüne kadar, ÇTBD kirişlerin eğilme davranışlarını inceleyen birçok çalışma yapılmıştır [4-5]. Araştırmacılar tarafından elde edilen test sonuçlarına göre, CFST kirişler, geleneksel betonarme (BA) kirişlere kıyasla, nihai yüklere kadar daha yüksek seviyede kompozit etki ve sünek davranış göstermişlerdir [6-8]. Dahası, çelik tüpün beton ile doldurulmasının çeliğin burkulma direncini ve dolayısıyla içi boş ÇTBD kirişlerin eğilme dayanımlarını, tokluk ve süneklik kapasitelerini önemli oranda arttırdığı belirtilmiştir [9-12]. ÇTBD kiriş elemanların daha sünek davranış sergilemelerini sağlamak amacıyla uygulamada farklı özelliklere sahip çelik ve sentetik liflerin betona katılması oldukça bilinen bir yöntemdir [13]. İki ucu kancalı çelik lifler iki ucunun kancalı

olması sayesinde deprem enerjilerini sönmlemede sentetik liflere nazaran daha etkin bir davranış sergilerler. Özellikle eğilme etkisi altındaki kirişlerin ilk tepe yükü aşıldıktan sonra kırılma anına kadar çelik lifler köprüleme etkisi göstererek çatlakların kontrolsüz ve hızlı ilerleyişini önemli oranda sınırlarlar [12-14]. Bundan dolayı, çelik lif katkılı ÇTBD kirişler lif katkısız kontrol numuneye kıyasla kırılma anına kadar daha fazla yerdeğiştirme yaparak daha sünek bir davranış sergilerler. Buna bağlı olarak, çelik lif katkılı ÇTBD kirişlerin lif katkısız kontrol kirişlere kıyasla kırılma anına kadar enerji yutma (tokluk) kapasiteleri daha yüksek olur. ÇTBD kirişlerde şimdiye kadar en yaygın kullanılan çelik tipleri normal karbon çeliği ve paslanmaz çeliklerdir [14-15]. Son yıllarda, normal ve paslanmaz çelik yerine daha hafif ve ucuz olan Alüminyum tüp içine beton doldurulmuş (ATBD) kirişlerin kompozit yapılarda kullanımı oldukça popüler hale gelmiştir [16]. Alüminyum, doğada bileşik halde bulunan ve yerkabuğunun yaklaşık %8'ini oluşturan bir malzemedir. Alüminyum üretiminin en önemli hammaddesi Boksit mineralidir ve yaklaşık olarak %30-60 alüminyum oksit içerir [17]. Ülkemizde alüminyum işleme kapasitesi yaklaşık olarak 280.000- 300.000 ton/yıl civarındadır [18-20]. Ülkemizde alüminyum hammaddesi oldukça bol olmasına rağmen, alüminyum malzemesinin inşaat uygulamalarında taşıyıcı olarak kullanımı oldukça sınırlıdır. Bu çalışmanın ATBD kirişlerin eğilme etkileri altında davranışının daha iyi anlaşılması için literatüre önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir. Bu çalışmada içi boş dikdörtgen en kesitli alüminyum tüpün yanı sıra içine sade beton ve çelik lif katkılı beton doldurulmuş ATBD kirişlerin dört noktalı yükleme altında eğilme dayanımları ve süneklik kapasiteleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada 2 ve 4 mm et kalınlığına sahip ATBD kirişler kullanılmıştır. Her bir et kalınlığı için bir adet içi boş, bir adet sade betonla doldurulmuş ve iki adet çelik lif katkılı olmak üzere toplam 8 adet kiriş numunesi test edilmiştir. Çalışma sonucunda içi

boş tüplerin sade betonla ve %0,5 ve %1,5 hacimsel lif oranına sahip çelik lif katkı betonla doldurulmasının ATBD kirişlerin dayanım ve süneklik kapasitelerine hangi oranda katkı sağladıkları belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışma kapsamında içi boş ve beton doldurulmuş ATBD kirişlerin eğilme dayanımlarını belirlemek için kullanılan malzeme ve yöntemler aşağıda belirtilmiştir.

2.1.1. Çimento

Çalışmada, Van Aşkale çimento fabrikasında üretilen TS EN 197-1 [21] uygun CEM I 42.5 R tipi Portland Çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel özellikler		Kimyasal özellikler	(%)
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	3,09	SiO ₂	18,97
Özgül yüzey (cm ² /gr)	3728	Al ₂ O ₃	5,0
Priz başlangıcı (dk)	185	Fe ₂ O ₃	3,22
Priz sonu (dk)	235	CaO	59,98
0,045 mm elekte kalıntı (%)	3,2	MgO	2,84
0,090 mm elekte kalıntı (%)	0,1	SO ₃	2,61
Yoğunluk (gr/cm ³)	990	Na ₂ O	-
Hacim Genleşmesi (mm)	1	Cl	0,016
		Kızdırma kaybı	3,6

2.1.2. Agreg

Bu çalışmada ATBD kirişlerin içine dökülen beton üretiminde Van yöresine ait kireçtaşı agregası

kullanılmış olup, agreganın maksimum tane çapı 12 mm’dir. Agreganın granülometrisi TS 706 EN 12620 [23]’ye göre belirlenmiştir. Deneylerde, 0-5 mm kırma kum ve 5-12 mm kırma taş olmak üzere iki farklı boyutta agreganın kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Agregaların fiziksel özellikleri

Özellikler	Agrega Grubu	
	0-5 mm	5-12 mm
Özgül Ağırlık	2,69	2,59
Su Emme Oranı (%)	0,45	0,23

2.1.3. Lifler

Çalışma kapsamında 30 mm uzunluğunda 0,75 mm çapında narinlik oranı (L/d) oranı 40 olan Dramix iki ucu kancalı çelik lifler kullanılmış olup, liflerin teknik özellikleri Çizelge 3’te verilmiştir. Lifler beton karışımlarına hacimsel olarak %0,5 ve %1,5 oranında katılmışlardır.

Çizelge 3. Çelik liflerin teknik özellikleri

Teknik özellikler	Çelik lif
Telin uzunluğu (mm)	30
Telin çapı (mm)	0,75
Narinlik oranı (%)	40
Çekme dayanımı (MPa)	1100
Elastisite modülü (MPa)	200000

2.1.4. Kimyasal Katkı

Lif katkı beton üretimi sırasında, betonun işlenebilirliğini artırmak amacıyla yeni nesil süper akışkanlaştırıcı (SA) katkı kullanılmıştır. SA katkı hacimsel olarak %0,5 ve %1,5 çelik lif içeren tüm karışımlarda çimento ağırlığının %0,5 ve %1’i olacak şekilde kullanılmıştır. SA katkı malzemesine ait özellikler Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. Süper akışkanlaştırıcının teknik özellikleri

Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Renk	Kahverengi
Yoğunluk	1,09 kg/litre
Klor içeriği %	< 0,1
Alkali içeriği %	< 3

2.1.2. Beton Karışımlarının Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılacak olan betonun hedef basınç dayanımı 30 MPa olarak belirlenmiştir. Beton karışımlarının hazırlanması işlemi 40 dm³ kapasiteli pan tipi mikserde gerçekleştirilmiştir. Beton mikserde, ilk olarak agrega ve çimento eklenerek 3 dakika kuru olarak karıştırılmıştır. Daha sonra su ve SA katkı eklenerek 2 dakika daha karıştırılmıştır. Son olarak karışıma lifler eklenerek 2 dakika daha karıştırılmıştır. Hazırlanan

karışımlarda, C30/37 betonu için çimento miktarı 380 kg/m³ ve su/bağlayıcı (S/B) oranı ise 0,47 olarak sabit tutulmuştur. Çelik liflerin karışım esnasında topaklanmasını önlemek amacıyla %0,5 ve %1,5 çelik lif katkılı beton karışımlarında SA katkı oranı sırasıyla %0,5 ve %1 olarak belirlenmiştir. Tüm karışımlarda, çimento miktarı ve su/çimento oranı sabit tutulmuştur. ATBD kiriş beton karışımlarının hazırlanmasında kullanılan malzeme ve miktarları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Beton karışım oranları

Numune kodu	Numune Adı	S/B	Çimento (kg)	Lif (%)	Su (kg)	Agrega 0-5 mm (kg)	Agrega 5-12 mm (kg)	SA (%)
KO	C30_Kontrol	0,47	380	-	180	760	1090	-
K0,5%	C30_Çelik_0,5%	0,47	380	0,5	180	760	1090	0,5
K1,5%	C30_Çelik_1,5%	0,47	380	1,5	180	760	1090	1,0

2.1. Metot

Çalışmada, içi boş, sade beton ve çelik lif katkılı dikdörtgen en kesitli ATBD kompozit kirişlerin dört noktalı yükleme altında eğilme davranışları incelenmiştir. Bu amaçla, bir adet kontrol ve iki farklı hacimsel lif oranı (%0,5 ve %1,5) olmak üzere toplamda 3 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Karıştırma işlemi sonunda taze betonlar basınç dayanımı deneyi için 150 mm x 150 mm x 150 mm boyutlarında küp kalıplara konulmuş ve kalıpta 24 saat bekletilmiştir. Kalıptan çıkarılan numuneler, 23±2°C sıcaklıktaki kür havuzuna konularak deney gününe kadar bekletilmiştir. Kür süresi tamamlanan küp numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. İçi boş ATBD kirişlerin alt tarafları 10 mm et kalınlıklı sac plaka ile vidalandıktan sonra hazırlanan beton karışımları kirişlerin içerisine doldurulmuştur. Doldurma işlemi yapılırken her 30 cm'de bir çubuk şişlerle betonlar sıkıştırılmıştır. Beton doldurma işlemi tamamlandıktan sonra kirişlerin üst yüzeyi mala ile düzeltilerek deneye hazır hale getirilmişlerdir. Çalışmada aynı zamanda, dört noktalı yükleme altında eğilme deneyleri yapılmıştır. ATBD kirişler üzerinde eğilme dayanımını belirlemek için 4 noktalı yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımı deneyleri TS EN 12390-5 [22]

standardına göre yapılmış olup, deneylerde 100 mm yüksekliğinde, 60 mm eninde, 1000 mm uzunluğa sahip (100 x 60 x 1000) boyutlarında dikdörtgen en kesitli alüminyum tüp kiriş numuneler kullanılmıştır. Kirişlerin oturduğu iki mesnet arası net açıklığı 900 mm alınmıştır. Numunelerin düşey deplasmanları kiriş orta noktasına yerleştirilen 1 adet düşey yer değiştirme ölçer (LVDT) yardımıyla ölçülmüştür. ATBD kirişlerin 4 noktalı yükleme altında deney düzeneği Şekil 1 de verilmiştir.



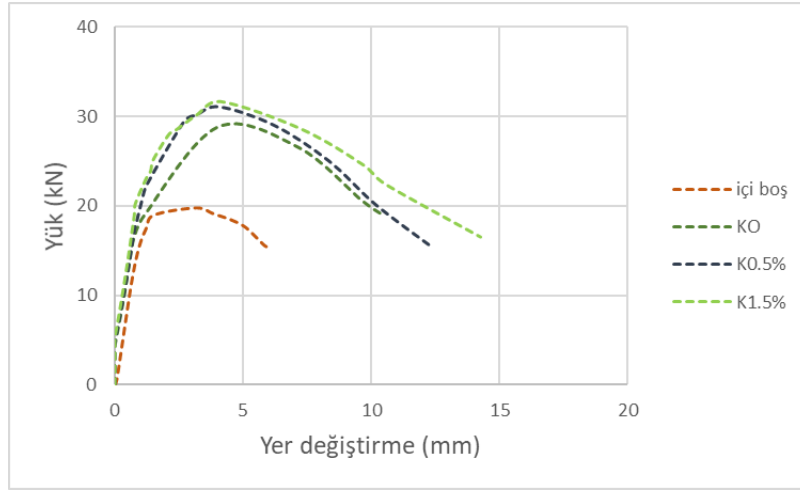
Şekil 1. ATBD kirişlerin dört noktalı yükleme altında deney düzeneği

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

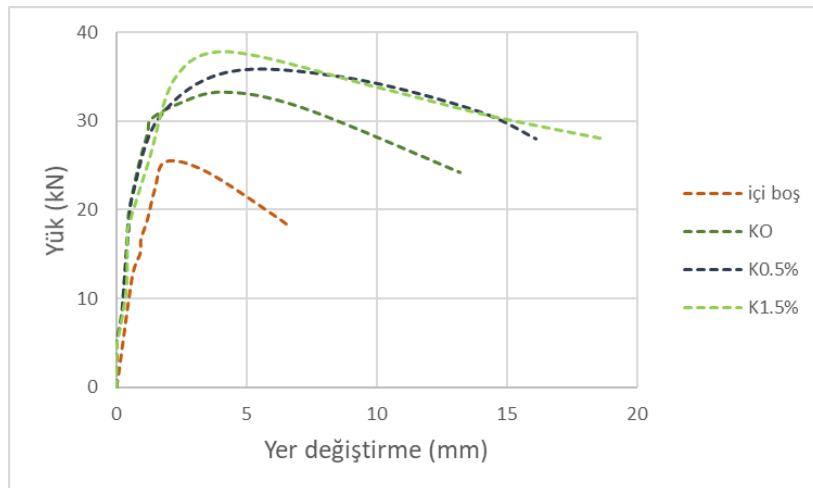
3.1. ATBD Kirişlerin Yük-Yer Değiştirme Grafikleri

İçi boş, sade ve lif katkılı beton doldurulmuş ATBD kirişlerin yük-yer değiştirme ilişkileri Şekil 2 ve Şekil 3’de gösterilmiştir. İçi boş, sade ve lif katkılı beton doldurulmuş ATBD kirişlerin yük deplasman grafikleri kirişlerin kırılma yüküne karşı gelen deplasman değerine kadar çizilmiştir. Ancak, yük-yerdeğiştirme grafiklerinde yükün aniden sıfıra düştüğü kısım LVDT’den sağlıklı

okumalar yapılamadığı için göz önüne alınmamıştır. İçi boş alüminyum kirişler oldukça fazla sayıda yerel burkulmalarla veya tüp duvarlarının özellikle basınç bölgesinde yırtılmalar sonucu gevrek bir davranış göstererek nihai taşıma kapasitelerine ulaşmışlardır. İçi beton doldurulmuş ATBD kirişler ise daha az sayıda yerel burkulma yaparak içi boş kirişlere kıyasla çok daha sünek bir davranış göstererek nihai taşıma kapasitelerine ulaşmışlardır. Kirişlerin et kalınlıkları arttıkça kırılma anına kadar daha stabil bir davranış sergiledikleri gözlenmiştir.



Şekil 2. 2 mm et kalınlıklı ATBD kirişlerin yük-yer değiştirme ilişkisi



Şekil 3. 4 mm et kalınlıklı ATBD kirişlerin yük-yer değiştirme ilişkisi

3.2. ATBD Kirişlerin Eğilme Dayanımı ve Süneklik Kapasiteleri

Bu çalışmada ATBD kirişlerin eğilme dayanımı, maksimum eğilme dayanımı ve süneklik faktörü değerleri Eşitlik 1-3'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

$$M = \frac{7 \times P \times L_s}{40} \quad (1)$$

$$M_u = \frac{7 \times P_{max} \times L_s}{40} \quad (2)$$

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (3)$$

Burada, M eğilme dayanımı (moment) değerini, P uygulanan yükü, L_s iki mesnet arasındaki etkili net açıklığı, P_{max} maksimum eğilme yükünü, M_u ilk tepe yüküne karşı gelen maksimum moment kapasitesini, μ süneklik faktörünü, δ_u nihai yerdeğiştirme değerini, δ_y ilk tepe yüküne karşı gelen akma yerdeğiştirmesini göstermektedir. ATBD kirişlerin içi boş alüminyum kirişlere kıyasla eğilme dayanımı ve süneklik kapasitesindeki artışı göstermesi açısından dayanım artış indeksi (SIF) süneklik artış indeksi (DIF) sırasıyla Eşitlik 4 ve 5'te verilmiştir. Bazı çalışmalarda süneklik faktörü ilk tepe yükü aşıldıktan sonra ilk tepe yükünün %85'ine karşı gelen yerdeğiştirme oranının ilk tepe yüküne karşı gelen oranı olarak verilmektedir [24]. Ancak, bu çalışmada liflerin elastik ötesi davranışa etkilerini daha uzun bir bölgede değerlendirebilmek için yükün aniden sıfıra doğru gitmeye başladığı noktaya karşı gelen yerdeğiştirme değeri nihai yerdeğiştirme değeri olarak kabul edilmiştir.

$$SIF = \frac{M_{dolu}}{M_{bos}} \quad (4)$$

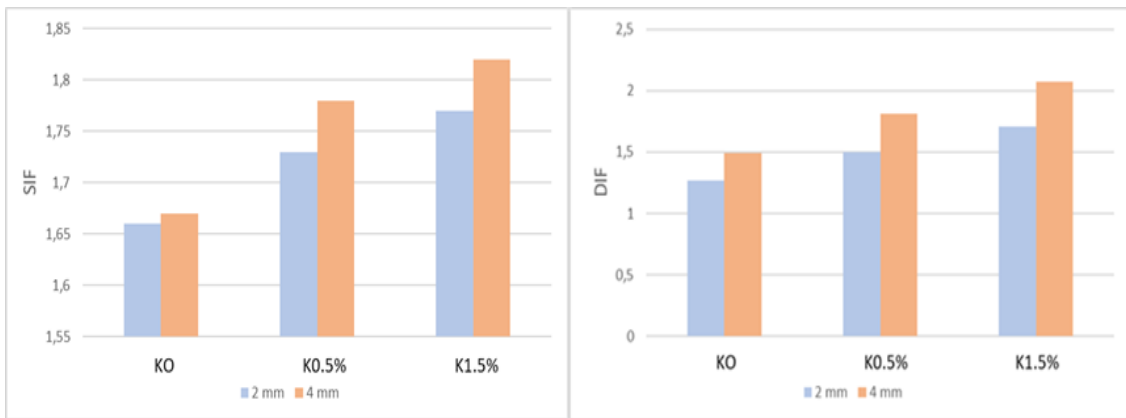
$$DIF = \frac{\mu_{dolu}}{\mu_{bos}} \quad (5)$$

İçi boş, sade ve lif katkılı beton doldurulmuş 2 mm ve 4 mm et kalınlığına sahip ATBD kirişlerin eğilme dayanımları, süneklik, SIF ve DIF değerleri sırasıyla Çizelge 6 ile Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 6 ve Çizelge 7'ye bakıldığında zaman içi boş kirişlere kıyasla, ATBD kirişlerin moment değerlerinde önemli artışların olduğu görülmüştür. İçi boş kirişlere kıyasla, sade beton doldurulmuş ATBD kirişin moment kapasitesindeki artış 2 mm kalınlığındaki ATBD kirişler için %66,7 iken 4 mm kalınlığındaki ATBD kiriş için ise aynı değer %67,38 olarak elde edilmiştir. ATBD kirişlerin et kalınlığı 2 mm'den 4 mm'e çıktığı zaman ATBD kirişlerin ilk tepe yüküne kadar yerel burkulmaların daha az olması ve betona uygulanan yanal sargılama etkisinin daha büyük olmasından dolayı ATBD kirişlerin daha büyük eğilme dayanımlarına sahip oldukları görülmektedir. Ancak, sade beton doldurulmuş ATBD kirişlere %0,5 ve %1,5 hacimsel oranında çelik lif eklenmesi sonucu moment kapasitesindeki artışlar sınırlı kalmıştır. Sade beton doldurulmuş 2 mm kalınlıklı ATBD kirişlere kıyasla ise %0,5 ve %1,5 çelik lif katkılı 2 mm kalınlıklı ATBD kirişlerin moment kapasitelerindeki en büyük artışlar sırasıyla %4,59 ve %7,07 olmuştur. Sade beton doldurulmuş 4 mm kalınlıklı ATBD kirişlere kıyasla ise %0,5 ve %1,5 çelik lif katkılı 4 mm kalınlıklı ATBD kirişlerin moment kapasitelerindeki en büyük artışlar ise sırasıyla %6,36 ve %8,37 olmuştur. Buradan görüldüğü gibi, çelik lifler 2 mm ve 4 mm et kalınlığına sahip ATBD kirişlerin eğilme dayanımı kapasitelerini en fazla sırasıyla %7,07 ve %8,37 oranında arttırmıştır. Çelik lif katkısı sade beton doldurulmuş ATBD kirişlere kıyasla ATBD kirişlerin moment kapasitelerini kısmen yükseltmiş olsa da gözlenen artışın oldukça sınırlı kaldığı görülmektedir. Sonuç olarak içi sade betonla doldurulmuş tüplere kıyasla, içi çelik lif katkılı beton doldurulmuş ATBD kirişlerin moment kapasitelerindeki artışlar oldukça sınırlıdır. Bunun en önemli nedeni çelik liflerin ilk tepe yüküne kadar olan elastik bölgede çatlakları sınırlamada yeterince etkili olamamalarından kaynaklanmaktadır. Süneklik faktörünün

hesaplanmasında süneklik değerleri (μ) kırılma anındaki düşey deplasmanın (δ_u) akma anındaki deplasmana (δ_y) oranı olarak verilmiştir. İçi boş kirişe kıyasla sade ve çelik lif katkılı ATBD kirişlerin süneklik değerlerindeki artışlar ATBD kirişlerin et kalınlığı ve hacimsel lif oranı arttıkça daha fazla olmuştur. İçi boş tüplere kıyasla sade, %0,5 ve %1,5 çelik lif katkılı 2 mm et kalınlığına sahip ATBD kirişlerin süneklik faktörlerindeki artışlar sırasıyla %69,56, %99,46 ve %127,17 olmuştur. İçi boş tüplere kıyasla sade, %0,5 ve %1,5 çelik lif katkılı 4 mm et kalınlığına sahip ATBD kirişlerin süneklik faktörlerindeki artışlar ise sırasıyla %93,47, %134,67 ve %167,84 olmuştur. Sade beton doldurulmuş 2 mm kalınlıklı ATBD kirişlere kıyasla ise %0,5 ve %1,5 çelik lif katkılı 2 mm kalınlıklı ATBD kirişlerin süneklik kapasitelerindeki artışlar sırasıyla %18,73 ve %37,08 olmuştur. Sade beton doldurulmuş 4 mm kalınlıklı ATBD kirişlere kıyasla ise %0,5 ve %1,5 çelik lif katkılı 2 mm kalınlıklı ATBD kirişlerin süneklik kapasitelerindeki artışlar sırasıyla %22,03 ve %41,63 olmuştur. Moment kapasitesindeki artışı temsil eden SIF değerlerinin kalınlık ve hacimsel lif oranına bağlı değişimini gösteren grafikler Şekil 4'te verilmiştir. Süneklik kapasitesindeki artışı temsil eden DIF değerlerinin kalınlık ve hacimsel lif oranına bağlı değişimini gösteren grafikler ise Şekil 4b'da verilmiştir. Şekil 4a ve Şekil 4b'den görüldüğü gibi içi boş kirişlere

kıyasla sade beton, %0,5 ve %1,5 hacimsel lif oranına sahip kirişlerin SIF ve DIF değerlerindeki artışlar arasında doğrusal olarak artan bir ilişki vardır. Ancak, sade betonla doldurulmuş ATBD kirişlere kıyasla %0,5 ve %1,5 hacimsel lif oranına sahip ATBD kirişlerin SIF değerlerindeki artışlar yatay seyredirken, DIF değerlerindeki artışlar doğrusal olarak artmaya devam etmiştir. Bunun en önemli nedeni çelik liflerin ilk tepe yüküne kadar olan kısımda dayanım ve süneklik kapasitesine etkileri oldukça sınırlı kalmaktayken, ilk tepe yükü aşıldıktan sonra kırılma anına kadar çatlakları sınırlamada daha etkin bir rol oynamalarından kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı, sade betona çelik lif eklenmesinin sade beton doldurulmuş ATBD kirişlerin moment kapasitelerini arttırmada oldukça sınırlı düzeyde katkı sağlarken, süneklik kapasitelerini önemli oranda arttırmaktadır. Ayrıca, bu durum çelik lif hacimsel oranı %0,5'den %1,5'a çıktığı zaman daha belirgin bir hal almaktadır. 2 mm et kalınlığına sahip ATBD kirişlere kıyasla 4 mm kalınlığa sahip numuneler kırılma anına kadar daha fazla düşey deplasman yaptıkları için daha fazla süneklik kapasitesine sahiptirler. Bundan dolayı, çelik liflerin hacimsel oranının %0,5'den %1,5'a çıkarılması durumunda çelik lifler ATBD kirişlerin kırılma anına kadar olan bölgede süneklik kapasitelerine daha fazla katkı sunabilmektedirler.



(a) (b)
Şekil 4. SIF ve DIF değerlerinin et kalınlığı ve lif oranı ile değişimi

Çizelge 6. 2 mm et kalınlıklı ATBD kirişlerin deney sonuçları

Numune Kodu	HxB (mmxmm)	t (mm)	l (mm)	Çelik lif (%)	Moment (kN,m)	Moment kapasitesi artış (%)	Akma deplasmanı (δ_y)	Kırılma anındaki düşey deplasman (δ_u)	Süneklik faktörü (μ)	Süneklik kapasitesi artış (%)	DIF	SIF
İçi boş	100x60	2	1000	-	3,16	-	3,28	6,04	1,84	-	-	-
KO	100x60	2	1000	-	5,23	66,7	3,34	10,41	3,12	69,56	1,72	1,66
K0,5%	100x60	2	1000	0,5	5,47	74,2	3,37	12,36	3,67	99,46	2,05	1,73
K1,5%	100x60	2	1000	1,5	5,60	78,3	3,41	14,27	4,18	127,17	2,36	1,77

Çizelge 7. 4 mm et kalınlıklı ATBD kirişlerin deney sonuçları

Numune Kodu	HxB (mmxmm)	t (mm)	l (mm)	Çelik lif (%)	Moment (kN,m)	Moment kapasitesi artış (%)	Akma deplasmanı (δ_y)	Kırılma anındaki düşey deplasman (δ_u)	Süneklik faktörü (μ)	Süneklik kapasitesi artış (%)	DIF	SIF
İçi boş	100x60	4	1000	-	4,23	-	3,37	6,71	1,99	-	-	-
KO	100x60	4	1000	-	7,08	67,3	3,43	13,21	3,85	93,47	1,96	1,67
K0,5%	100x60	4	1000	0,5	7,53	70,3	3,45	16,12	4,67	134,67	2,40	1,78
K1,5%	100x60	4	1000	1,5	7,71	71,4	3,51	18,71	5,33	167,84	2,79	1,82

4. SONUÇLAR

Bu çalışma ile çelik liflerin içi boş ve sade beton ile doldurulmuş ATBD kirişlerin moment ve süneklik kapasitelerinde ne gibi değişimler yaptığı belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar özetle aşağıdaki gibidir:

- İçi boş kirişlere kıyasla ATBD kirişlerin moment ve süneklik kapasitelerindeki artışlar oldukça yüksektir.
- Çelik liflerin sade betonla doldurulmuş ATBD kirişlerin moment kapasitelerine katkısı süneklik kapasitesine sağladığı katkıdan daha sınırlıdır.
- Çelik liflerin hacimsel lif oranı arttıkça ATBD kirişlerin süneklik kapasitesindeki artışlar moment kapasitesindeki artışa kıyasla daha belirgin olmaktadır.
- ATBD kirişlerin et kalınlıkları arttıkça daha iyi uygulanan yanıl sargılama etkisi nedeniyle eğilme dayanımları ve süneklik kapasitelerindeki artışlar artmaktadır.
- Çelik lifler ilk tepe yükü aşıldıktan sonra kırılma anına kadar olan kısımda çatlakların kontrolsüz ve hızlı ilerleyişini sınırlamada elastik bölgeye nazaran daha etkilidirler.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 2018-FBA-6669 no'lu proje olarak, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi Tarafından desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Cai, S.H., 1988. Ultimate Strength of Concrete-Filled Tube Columns. Composite Construction in Steel and Concrete. Proceedings of the Engineering Foundation Conference, 702-727.
2. Gao, J., Sun, W., Morino, K., 1997. Mechanical Properties of Steel Fiberreinforced, High-strength, Lightweight Concrete, Cement Concrete Compos, 19(4), 307-13.
3. Gardner, N.J., Jacobson, E.R., 1967. Structural Behavior of Concrete Filled Steel Tubes, Journal of the American Concrete Institute. 64(11), 404-413.
4. Lu, Y., Kennedy, D., 1994. Flexural Behavior of Concrete-Filled Hollow Structural Sections. Canadian Journal of Civil Engineering, 21(1), 111-130.
5. O'Shea, M.D., Bridge, R.Q., 1997. Local Buckling of Thin-Walled Circular Steel Sections With or Without Lateral Restraint, Research Report No. R740, School of Civil

- Engineering, University of Sydney, Sydney, Australia.
6. Moon, J., Roeder, C.W., Lehman, D.E., Lee, H.E., 2012. Analytical Modeling of Bending of Circular Concrete-filled Steel Tubes. *Engineering Structures*, 42, 349–361.
 7. Nieuwoudt, P.D., Babafemi, A.J., Boshoff, W.P., 2017. The Response of Cracked Steel Fibre Reinforced Concrete Under Various Sustained Stress Levels on Both the Macro and Single Fibre Level, *Constr. Build. Mater*, 156, 828–843.
 8. Lu, Y., Liu, Z., Li, S., Hu., J., 2018. Axial Compression Behavior of Hybrid Fiber Reinforced Concrete Filled Steel Tube Stub Column, *Constr. Build. Mater*. 174, 96–107.
 9. Dong, M., Elchalakani, M., Karrech, A., Fawzia, S., Ali, M.S.M., Yang, B., Xu, S.Q., 2019. Circular Steel Tubes Filled with Rubberised Concrete Under Combined Loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 162, 105613.
 10. Liu, Z., Lu, Y., Li, S., Liao, J., 2019. Axial Behavior of Slender Steel Tube Filled with Steel-fiber-reinforced Recycled Aggregate Concrete. *Journal of Constructional Steel Research*, 162, 105748.
 11. Xu, L., Lu, Q., Chi, Y., Yang, Y., Yu, M., Yan, Y., 2019. Axial Compressive Performance of UHPC Filled Steel Tube Stub Columns Containing Steel-polypropylene Hybrid Fiber. *Construction and Building Materials*, 204, 754-767.
 12. Schneider, S.P., 1998. Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 124(10), 1125-1138.
 13. Shakir-Khalil, H., Mouli, M., 1990. Further Tests on Concrete-Filled Rectangular Hollow-Section Columns, *The Structural Engineering*, 68(20), 405-413.
 14. Saatcioglu., M., Razvi., S.R., 1992. Strength and Ductility of Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 118(6), 1590-1607.
 15. Tomii, M., Sakino, K., 1979. Experimental Studies on the Ultimate Moment of Concrete Filled Square Steel Tubular Beam-Columns, *Transactions of the Architectural Institute of Japan*, no. 275, 55-63.
 16. Yu, Q., Tao, Z., Wu, Y.X., 2008. Experimental Behaviour of High Performance Concrete-Filled Steel Tubular Columns, *Thin-Walled Structures*, 46(4), 362–370.
 17. Zhang, S., Zhou, M., 2000. Stress-Strain Behavior of Concrete-Filled Square Steel Tubes, *Composite and Hybrid Structures*. *Proceedings of the Sixth ASCCS International Conference on Steel-Concrete Composite Structures*, March 22-24, Los Angeles, California, 403-409.
 18. Zhao, H.L., Zhao, Y.G., 2010. Suggested Empirical Models for The Axial Capacity of Circular CFT Stub Columns, *Journal of Constructional Steel Research*, 66(6), 850-62.
 19. Kim, Y.H., You, S.K., Jung, J.H., Yoon, S.J., 2006. Strengthening Effect of the Shear Key on the Flexural Behavior of Concrete Filled Circular Tube, *Steel Struct*, 6, 183–190.
 20. Alberti, M.G., Enfedaque, A., Galvez., J.C., 2018. A Review on the Assessment and Prediction of the Orientation and Distribution of Fibres for Concrete, *Compos. B Eng*. 151, 274–290.
 21. TS EN 197-1, Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara, 2002.
 22. TS EN 12390-5, Beton – Sertleşmiş Beton Deneylemi Bölüm 5: Deneç Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara, 2010.
 23. TS 706 EN 12620+A1, Beton Agregaları, TSE, Ankara, 2009.
 24. Meda, A., Minelli, F., Plizzari, G.A., 2012. Flexural Behaviour of RC Beams in Fibre Reinforced Concrete. *Composites Part B: Engineering*, 43(8), 2930–2937.

Akıllı Tekstil Ürünü Olarak Spor Ceket: Yeni Bir Ürüne Yönelik Tüketici Tepkilerinin Örneklem Özelliklerine Göre Değişimi

Güliden TURHAN*¹, Füsun DOBA KADEM²

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul

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

Geliş tarihi: 12.01.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Özet

Farklı kişilerin yeni bir ürüne yönelik davranışsal, duygusal ve bilişsel olarak vereceği tepkiler aynı olmayabilir. Bu çalışmada yeni bir ürün örneği olarak akıllı tekstil ürünlerinden şekil hafızalı spor ceket ürünü incelenmiştir. Akıllı ceket ürünü için satın alma niyeti, ürüne karşı hisleri ve düşüncelerinin kişilerin sahip olduğu demografik ve/veya ekonomik özelliklere göre farklılaşıp farklılaşmadığını anlamak için 609 kişiden toplanan veriler analiz edilmiştir. Tüketicileri karakterize eden bir dizi demografik özellikler içerisinde cinsiyet, doğum yeri, yaş, medeni hal ve eğitim düzeyi gibi birtakım belirleyici değişkenler seçilmiştir. Ailenin aylık gelir seviyesi, aynı evi paylaştığı kişiler, araba ve ev sahipliği, çalışma durumu gibi ekonomik durumu açıklayan farklı göstergelere de yer verilmiştir. Araştırma sonuçları sadece eğitim düzeyi demografik değişkeni açısından tüketicilerin akıllı cekete karşı olan tepkilerinde anlamlı bir farklılık olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Akıllı ceket, Satın alma niyeti, Duygusal tepkiler, Bilişsel tepkiler, Eğitim düzeyi

Sports Jacket as a Smart Textile Product: Change of Consumer Reactions to a New Product According to Sample Characteristics

Abstract

Behavioral, emotional and cognitive responses of different people to a new product may not be the same. In this study, as a new product example, a shape memory sports jacket product, which is one of smart textile products, is examined. Data collected from 609 people were analyzed in order to understand whether the purchase intention, feelings and thoughts of the smart jacket product differ according to the demographic and/or economic characteristics of the people. A number of determinant variables such as gender, place of birth, age, marital status, and education level were selected from a range of demographic characteristics that characterize consumers. Different indicators explaining the economic situation such as monthly income level of the family, people sharing the same house, car and house ownership, and working status are also included. The results of the research revealed that there is a significant difference only in terms of the education level demographic variable in the reactions of the consumers to the smart jacket.

Keywords: Smart jacket, Purchase intention, Emotional reactions, Cognitive responses, Education level

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Güliden TURHAN, gturhan@marmara.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde yenilik (inovasyon) kavramının hayatımıza girmesiyle, birçok sanayi kuruluşu ürün gamına yenilikçi ürünler ekleyebilmek için adeta birbiri ile yarışır hale gelmişlerdir. Ürün, süreç, pazarlama veya diğer alanlarda yenilik, katma değeri yüksek ürünlerin tasarlanmasını, ulusal ve uluslararası rekabetin ivmelenmesini sağlamıştır. Tekstil sektörünün Endüstri 4 ile dijital dönüşümü ile yenilik kavramı daha hızlı uygulanabilir bir hal almış, daha hızlı üretim ve kısa sürede teslimat ile işletmelerin verimlilik artışı hızla yükseliş göstermiştir. Özellikle hazır giyim tasarım uygulamalarında fonksiyonel özellikli elyaf, iplik veya kumaşlar ile katma değeri yüksek giyilebilir konfeksiyon ürünleri sektörün hızlı ilerlemesine çok önemli katkı sağlamıştır.

TÜSİAD tarafından Türkiye üzerine yapılan bir araştırmada, dijital dönüşümde Tekstil sektörü pilot sektörlerden birisi olarak seçilmiştir. Endüstri 4.0 sürecine uyum sağlanması durumunda; verimlilikteki artışın %4-7 arasında olacağı, sanayide büyümenin %3 olacağı ve istihdamda ilk on yıl içinde %5 artış olacağı tespit edilmiştir. Dünya Ekonomik Forumu'nda 2025'te dünya nüfusunun %10'unun internete bağlanabilen giyilebilir teknolojileri kullanacağı belirtilmiştir [1]. Bu tür tekstil ürünleri 'akıllı tekstil' olarak tanımlanmakta, dokuma, örme, dokusuz yüzey ile birlikte farklı yöntemler uygulanarak akıllı olmayı tetikleyen bir takım parametrelerle (sıcaklık, nem, ışık, elektrik, radyasyon, pH, kimyasallar, ısı, ses, manyetik alan gibi) çevre/kullanıcı etkileşimi neticesi fonksiyonellik sağlanarak, tüketici beklentileri üst seviyede karşılanabilmektedir. Tasarlanan ürün gerçekten akıllı tekstil ise harici uyarılara tepki vererek davranışını ona göre ayarlayacaktır [2].

Teknolojinin hızlı ilerlemesi, akıllı tekstil ürünlerine tüketicilerin ilgisinin artmasını sağlamış ve beraberinde bu ürünlerin üretiminde çeşitliliği hızlandırmıştır, böylece firmalar bu alanda birbiri ile yarışır hale gelmişlerdir. Akıllı lif ve kumaşlar giyim dışında birçok alanda kullanılmaktadır.

Uyumak üzere olan sürücülere uyandıran araba koltukları, kalp atışlarını dinleyen yatak çarşafı, oda sıcaklığına göre renk değiştiren dokumalar, ne kadar hızlı koştuğumuzu söyleyen ayakkabılar, koltukların koluna iliştirilen televizyon ve müzik seti kumandaları, kumaş piyanolar gibi ürünler giyim dışında kullanılan akıllı tekstillere örnek gösterilebilir [3].

Tekstil ürünlerinde fonksiyonellik ile birlikte estetik görünüm kazandırılarak elde edilen akıllı tekstil ürünleri şekil hafızalı materyaller kullanılarak da elde edilebilmektedir. Şekil hafızalı malzemeler, şeklini, geçici olarak deforme olmuş halinden, önceden programlanmış orijinal şekline, bir dış uyarının etkisiyle kontrollü bir biçimde değiştirilebilen malzemelerdir. Şekil geri dönüşü, çevre sıcaklığı, elektrik akımı, ısı, ışık, manyetik alan, pH, UV ışık, belirli bir kimyasal veya herhangi başka bir uyarın tarafından tetiklenebilir [4]. Şekil hafızalı malzemeler, bileşenlerine göre inorganik veya organik olabilmektedir. İnorganik şekil hafızalı malzemeler, metal alaşımlar, seramikler ve camlar, organik şekil hafızalı malzemeler ise polimerler ve jelleri kapsamaktadır.

Şekil hafızalı materyaller (shape memory materials), o an buldukları şekilden daha önce belirlenmiş bir şekle, (genellikle ısı sebebiyle) form değiştirerek geçerler. Bu tür malzemeler, aşırı sıcak veya soğuk ortam şartları karşısında yalıtım ve koruma özelliğinin artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu özelliğe sahip konfeksiyon ürünleri aktive edildiğinde giysi katmanları içerisinde birbirine yakın olan tabakaların aralarındaki boşluklar artar. Böylece dış ortam ile vücut arasında sıcaklık kaybını önleme amacıyla bir bariyer tabaka oluşturulması amaçlanır. Hem faz değiştiren materyaller hem de şekil hafızalı materyaller kişinin fiziksel aktivitesi ve içinde bulunduğu ortam şartlarına (sıcaklık, nem, vb.) bağlı olarak tepki vermektedir [5]. Biçimsel hafızalı materyallerden elde edilen akıllı tekstil ürünü Şekil 1'de verilmiştir.

Hava şartlarına göre uyum sağlayabilen akıllı tekstiller, sıklıklarını, hava geçirgenliklerini, giysi formlarında kol, bacak vs. uzunluklarını değiştirebilmekte, giysiyi giyen bireyi mevsim

şartlarına göre en uygun durumda hazırlayabilmektedirler. Örneğin bir gömlekte kullanılan şekil hafızalı alaşım sayesinde, vücut sıcaklığı arttığında, gömleğin kolları kendi üzerine sarılarak kısalmakta ve daha sonra saç kurutma makinasıyla ısıtılınca orijinal şekline geri dönmektedir (Şekil 1) [4].



Şekil 1. Şekil hafızalı gömlek [4]



Şekil 2. Şekil hafızalı ceket [6]

Şekil 2’de şekil hafızalı bir ceket örneği görülmektedir. Tasarımcı Marielle Leenders, ya malzemeye dokuma ile ya da daha sonra bir veya daha fazla dikiş hattı olarak eklenen şekil hafızalı tel içeren kumaşları deneyerek çalışmasını gerçekleştirmiştir. Leenders’in hareketli tekstilleri, sıcaklık farklılıklarına büzüşerek, katlanarak, yapıyı değiştirerek veya yuvarlanarak tepki vermiştir. Şekil hafızalı alaşımli tel içeren kumaşlar, sıcaklıktaki değişikliklere göre şekil olarak değişmektedir. Bu çalışma ince tel, nikel ve titanyum bazlı bir alaşımdan yapılmıştır. Uygun termal işleme tabi tutulduklarında önceden tanımlanmış bir şekle veya boyuta dönme yeteneği ile planlanan ürün elde edilmiştir [6].

Tasarımı kıyafet mimarlığı olarak tanımlayan Arzu Kaprol 2015 yılında, akıllı giyim ilk prototiplerinden biri olan; klima değişikliklerine göre fonksiyon değiştiren “Akıllı Ceket” ile yine sektörün öncü hareketleri arasında yerini almıştır. Modacı Arzu Kaprol tasarımı olan kapşonlu akıllı ceket, yaklaşık 1200 gram ağırlığında olup hava durumuna göre şekil değiştirme özelliği bulunmaktadır. Ceketin üzerindeki mikro güneş panelleri sayesinde gün içinde enerji toplayarak vücudu ısıtmakta veya soğutmaktadır [7].

Tüketici davranışı, bireylerin ya da grupların istek ve ihtiyaçlarını tatmin etmek için ürünleri, hizmetleri, düşünceleri ya da deneyimleri seçmesi, satın alması, kullanması ya da elden çıkarması ile ilgili süreçleri ve bu süreçleri etkileyen faktörleri inceleyen çalışma alanı olarak tanımlanabilir [8]. Tüketicilerin bir ürünü satın almaya karar vermesine etki edebilecek birçok etken bulunmaktadır. Demografik faktörler (cinsiyet, yaş, meslek, medeni durum, gelir, eğitim düzeyi gibi bireysel nitelikler), marka bağımlılığı, fiyat odaklılığı, satın almanın bir eğlence olduğunu düşünme yapısı, alışveriş yapma bağımlılığı (düşünmeden ihtiyacı olup olmadığını bilmeden alışveriş yapma), ürün seçimi için çok fazla alternatif olması ve bu sebeple müşterinin kafa karışıklığı, modayı takip etme veya yeni markaları keşfetme merakı gibi etkenler örnek olarak verilebilir. Günümüz teknolojisinin tüketicileri daha bilinçli ve seçici hale getirmesiyle beraber tüketici davranışlarını tüm yönleriyle tanımlayan çok iyi bir model ile karşılaşamadığımızı görebilmekteyiz. Her şeyden önce tüketici davranışı bir insan davranışı olduğundan, insanı etkileyecek her durum tüketicinin satın alma davranışını da etkilemekte ve dinamik bir süreç olarak doğal ve toplumsal çevreye uyum sağlamak ve ihtiyaçları karşılamak için insanlar sürekli mal veya hizmet satın almaktadırlar. Bireyler, talep ve ihtiyaçlarını karşılayamadığı zaman sorunlar ortaya çıkmakta, bu sorunlar psikolojik ve toplumsal alanlarda yeni uyumlara yol açmakta ve söz konusu uyumların tüketicilerin davranışlarına etki ettiği görülmektedir [9].

Tüketicileri objektif olarak değerlendirebilmek için, kişilerin bazı demografik özelliklere göre nasıl

tüketim yaptıklarını incelemek gerekir. Demografik özellikler, bireyi belirleyen ve sosyal çevredeki yerini açıklayan, doğuştan gelen fiziksel, sosyal, ekonomik ve coğrafi tutumlarıdır. İnsanları ve toplulukları birbirinden ayıran, aynı zamanda da birbirine bağlayan bu özellikler cinsiyet, yaş, ırk, din, sosyal sınıf, coğrafya ve ailedir. Belirli bir kitlenin dinamik özelliklerini tanımlayan söz konusu demografik özellikler incelenirken, eğitim düzeyi, gelir düzeyleri farklılığı gibi özellikler de tüketici davranış analizi açısından o toplulukta önemli sonuçlar ortaya çıkarabilecek özelliklerdir [10].

Tüketicilerin davranışlarına, sahip oldukları bir takım karakterize edici yahut tanımlayıcı özellikleri şekil verebildiğine göre, bu özelliklerin yeni bir ürüne verecekleri tepkilerle olan ilişkisini çözümlenmek gerekir. Bu çalışmada, şekil hafızalı teknolojilerin kullanıldığı bir ürün örneği olarak akıllı ceket ürünü için farklı demografik ve ekonomik özelliklerdeki tüketicilerin tepkilerinde meydana gelebilecek olası farklılıklar araştırılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2.MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışmada iklim değişikliğine göre şeklini ve işlevini değiştirebilen akıllı ceket çalışmada örnek ürün olarak seçilmiştir. Çalışmada, akıllı ceketin varsayılan teknik özellikleri yerine, örneklem grubunun daha kolay anlayabileceği tanımlayıcı görsel özellikleri üzerinde açıklama yapılarak ankete başlanmıştır.

Akıllı ceket soğukta; yaka yükselerek enseyi kapatmakta, kapüşon kapanarak kafayı örtmekte, ceket boyu uzayarak vücudu sıcak tutmakta ve sırt kısmından ısıtma sağlamaktadır. Sıcakta; yaka kısalmakta, kapüşon açılmakta, ceket boyu kısalmakta, sırt ve bilek kısımları serin tutulmaktadır Şekil hafızalı akıllı giysi varsayımı ile çalışmada ankete konu olan model Şekil 3'te verilmiştir. Görselde, daha önce dijital ceket olarak üretilmiş olan farklı teknik özelliklere sahip bir tasarımın sadece resminden faydalanılmıştır [11].

Araştırmanın amacını gerçekleştirmek üzere İstanbul'da üniversite öğrencilerine uygulanan anket aracılığı ile katılımcıların cinsiyet, yaş, eğitim, medeni hali, doğum yeri, çalışma durumu, ailenin aylık gelir seviyesi (TL), kimle beraber yaşadığı, araba ve ev sahipliği bilgilerine erişilmiştir. Verileri değerlendirmede IBM SPSS 20 programı kullanılmıştır.



Şekil 3. Akıllı ceket modeli (şekil hafızalı)

Bu çalışmada, 302 kadın ve 304 erkekten oluşan örneklem mevcuttur (3 kişi cinsiyetini belirtmemiştir). Yaş aralığı gruptaki kişi sayısı eşitlenmeye çalışılarak beş ayrı grup (1. grup 18-19 yaş; 2. grup 20 yaş; 3. grup: 21 yaş; 4. grup: 22 yaş; 5. grup: 23-25 yaş ve 6. Grup: 26-30 yaş) altında toplanmıştır. Yaş ortalaması 21,54 ve standart sapması=2.19'dur. Eğitim seviyesi altı farklı kategoride tanımlanmıştır (hazırlık, üniversite 1. sınıf, üniversite 2. sınıf, üniversite 4. Sınıf, yüksek lisans ve doktora öğrencileri ve diğer). Doğum yeri İstanbul içi ve İstanbul dışı olarak ayrı iki şekilde sınıflandırılmıştır. Medeni durumu incelendiğinde neredeyse tamamının evli olmadığı görülmüştür (572 kişi bekar, 28 kişi evli ya da dul). Arabalarının var olup olmadığı, ikamet ettikleri evin sahibi olup olmadıkları ve çalışıp çalışmadıkları evet ve hayır olarak her biri iki şekilde değerlendirilmiştir. Ailenin aylık gelir seviyesi en düşük 1600 TL ve altı ile en yüksek 7200 TL ve üzeri gelir düzeyi olmak üzere 9 ayrı gruba ayrılmıştır. Son olarak, kim ile beraber yaşadıkları sorusu (1) ailem, (2) arkadaşlarım (3) partnerim/eşim (4) tek başına (5) yurttan ve (6)

akrabalarımla şeklinde ölçülmüştür. Örneklemi ve/veya ekonomik değişkenlere ilişkin daha detaylı oluşturulan bu kişileri tanımlayan demografik bilgileri Çizelge 1’de yer almaktadır.

Çizelge 1. Örneklemeye ait demografik ve ekonomik özellikler

		Sıklık	Yüzde			Sıklık	Yüzde		
Cinsiyet	Cevap verenler	Kadın	302	49,6	Ailenin aylık gelir seviyesi (TL)	1600TL altında	70	11,5	
		Erkek	304	49,9		1600-2400 TL	79	13,0	
	Cevap vermeyenler	3	,5	2401-3200 TL		77	12,6		
Yaş Ort.=21,54 S,S=2,19	Cevap verenler	18-19	82	13,5		3201-4000 TL	78	12,8	
		20	113	18,6		4001-4800 TL	48	7,9	
		21	113	18,6		4801-5600 TL	42	6,9	
		22	117	19,2		5601-6400 TL	42	6,9	
		23-25	112	18,4		6401-7200 TL	24	3,9	
		26-30	30	4,9		7200TL üzeri	58	9,5	
		Toplam	567	93,1		Cevap vermeyenler	91	14,9	
		Cevap vermeyenler	42	6,9					
Eğitim	Cevap verenler	Üniversite 1,sınıf	45	7,4	Kimle yaşıyor	Ailem	356	58,5	
		Üniversite 2, Sınıf	96	15,8		Arkadaşlarım	94	15,4	
		Üniversite 3, Sınıf	180	29,6		Partnerim/Eşim	16	2,6	
		Üniversite 4, Sınıf	102	16,7		Tek başına	38	6,2	
		Yüksek lisans veya doktora	128	21,0		Yurtta	82	13,5	
		Diğer	47	7,7		Akrabalarımla	12	2,0	
	Cevap vermeyenler	11	1,8	Cevap vermeyenler		11	1,8		
Doğum yeri	Cevap verenler	İstanbul	276	45,3	Ev sahipliği	Cevap verenler	Evi olanlar	260	42,7
		Diğer	261	42,9		Evi olmayanlar	266	43,7	
	Cevap vermeyenler	72	11,8	Cevap vermeyenler		83	13,6		
Çalışma durumu	Cevap verenler	Çalışanlar	140	23,0	Araba sahipliği	Cevap verenler	Arabası olanlar	99	16,3
		Çalışmayanlar	438	71,9		Arabası olmayanlar	340	55,8	
	Cevap vermeyenler	31	5,1	Cevap vermeyenler		170	27,9		
Toplam katılımcı sayısı						609	100,0		

Ort: Ortalama, Std. Sapma: Standart sapma, Std. hata ort.: Standart hata ortalaması, Sd: Serbestlik derecesi

2.2. Ölçümler

Araştırma değişkenlerinden cinsiyet, eğitim, medeni hal, çalışma durumu, gelir seviyesi, kim ile beraber yaşadığı, ev sahipliği ve araba sahipliği kategorik olarak ölçülmüştür. Yaş değişkeni ve doğum yeri açık uçlu soru formu kullanılarak cevap istenmiştir. Daha sonra yaş değişkeni için açık uçlu soru cevapları kategorik forma dönüştürülüp 6 grup olarak analizlerde kullanılırken, doğum yeri değişkeni de İstanbul ve diğer şehirler şeklinde iki ayrı kategori altında toplanarak analizlere dahil edilmiştir.

Örneklem karakteristiklerine göre profili çıkarılan kişilerin akıllı ceket ürünü için davranışsal, duygusal ve bilişsel tepkilerinin nasıl farklılık gösterdiğini anlamak amaçlanmıştır. Davranışsal tepkilerini ölçmek için 3 soruluk satın alma niyeti

ölçeği (satın almayı düşünürüm, muhtemelen satın alırım, satın almam mümkün değil) kullanılmıştır. Bu sorulardan sonuncusu beklenildiği gibi algılanmadığı için elimine edilmiştir. Bu soruların cevaplandırılmasında uç noktaları 1= kesinlikle katılıyorum ve 5=kesinlikle katılmıyorum olan 5’li Likert tipi ölçek kullanılmıştır. Bu ölçek Zhang ve Buda tarafından geliştirilen satın alma niyeti ölçeğinden uyarlanmıştır [12].

Duygusal tepkileri 3 kıstas (eğlenceli, sevimli, mutluluk verici) ve bilişsel tepkileri dört kıstastan (kullanışlı, kaliteli, memnun edici, güvenilir) oluşan bir genel soru ile ölçülmüştür. Duygusal ve bilişsel tepkiler için kullanılan ölçeklerdeki değişkenler Bruner ve ark.’larının ölçüm sorularından uyarlanmıştır [13]. Soruda akıllı ceket ürününün sizde uyandırdığı duygu ve düşünceleri aşağıda verilen ifadelerin her biri için 1=En düşük,

2=düşük, 3=orta, 4=yüksek ve 5=çok yüksek ile ifade edilen seçeneklerden birini seçerek belirtiniz denilmiştir. Davranışsal, duygusal ve bilişsel tepkileri ölçmek için kullanılan ölçekler ayrı olarak geçerlilik testi için faktör analizine tabi tutulmuştur ve her birinin güvenilirliğini test etmek için Cronbach's Alpha değerleri hesap edilmiştir. .70 üzerinde bulunan alfa değerleri sorular arası tutarlılığın ölçüsü olarak ölçeklerin güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır [14]. Sonuçları Çizelge 2'de bir arada sunulmuştur. Geçerli ve güvenilir olarak kabul edilen ölçekler bir sonraki analizlerde kullanılmıştır.

Çizelge 2. Tüketici tepkileri geçerlilik ve güvenilirlik testi sonuçları

Satın Alma Niyeti	Faktör yükü I	Duygusal Tepkiler	Faktör yükü I	Bilişsel tepkiler	Faktör yükü I
Satın almayı düşünürüm	.962	Eğlenceli	.900	Kullanışlı	.840
Muhtemelen satın alırım	.962	Sevimli	.927	Kaliteli	.888
		Mutluluk verici	.883	Memnun edici	.910
				Güvenilir	.821
Varyans yüzdesi	92,59	81,61		74,86	
Cronbach's Alpha	.92	.89		.89	

3. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER

Anketi uygulama sürecinde 301 kişiye ürün videosu ve 308 kişiye ürün posteri kullanılarak akıllı ceket ürünü hakkında bilgi verilmiştir. Video ve poster olmak üzere iki farklı yöntemle kişilerle bağlantı kurulduğu için ürüne karşı verecekleri tepkilerdeki farklılık bundan kaynaklanabilir. Bu sebeple öncelikle ürün ile ilgili olarak elde edilen davranışsal, duygusal ve bilişsel tepkilerin

kullanılan yöntemlere göre farklılık gösterip göstermediği kontrol edilmiştir.

Çizelge 3'te farklı iki yöntem olan ürün videosu ve ürün posteri grup istatistikleri verilmiştir. Ürün posteri kullanılarak katılımcılara ürün hakkında bilgi verildiğinde ürün videosu kullanıldığı duruma kıyasla katılımcıların satın alma niyeti ve bilişsel tepkiler ortalaması nispeten daha yüksek iken, duygusal tepkiler ortalaması nispeten daha düşüktür. Ortalamalardaki bu fark anlamlı mı değil mi anlamak için yapılan t testi analizi sonuçları Çizelge 4'te yer almaktadır.

Çizelge 3. Uygulanan yöntemlere göre grup istatistikleri

	Yöntem	Cevaplayan sayısı	Ortalama	Std. Sapma	Std. hata ortalaması
Satın alma niyeti	Ürün posteri	307	3,383	1,131	0,065
	Ürün videosu	301	3,276	1,051	0,061
Duygusal tepkiler	Ürün posteri	308	2,612	1	0,057
	Ürün videosu	296	2,656	0,888	0,052
Bilişsel tepkiler	Ürün posteri	308	2,965	0,964	0,055
	Ürün videosu	296	2,939	0,871	0,051

Ort: Ortalama, Std. Sapma: Standart sapma, Std. hata ort.: Standart hata ortalaması, Sd: Serbestlik derecesi

Çizelge 4'te verilen t testi analizi sonuçları gösteriyor ki; ürün videosu ve ürün posteri olmak üzere iki farklı yöntem bakımından katılımcıların akıllı ceket ürününe karşı olan tepkilerinin hiçbirinde anlamlı bir fark oluşmamıştır. Tüketicilerin bu ürüne olan tepkilerindeki farklılığın nedeni olarak görülemeyeceği için ürün videosu izletilen kişiler ve ürün posterinin gösterildiği kişilerden elde edilen veriler birleştirilmiştir. Bundan sonraki analizlerde toplam 609 (308+301) kişiden elde edilen verilerden hareketle araştırma sorusuna cevap aranmıştır.

Çizelge 4. Uygulanan yöntemlere göre gruplar için t testi analizi

		Varyans eşitliği için levene testi		t testi						
		F	Anlamlılık	t	sd	Anlamlılık, (çift taraflı)	Ortalama farkı	Std. hata farkı	% 95 fark için güven aralığı	
									En düşük	En yüksek
Satın alma niyeti	Varyans eşit	4,175	0,041	1,208	606	0,228	0,107	0,089	-0,067	0,281
	Varyans eşit değil			1,209	604,214	0,227	0,107	0,088	-0,067	0,281
Duygusal tepkiler	Varyans eşit	5,736	0,017	-0,578	602	0,564	-0,044	0,077	-0,196	0,107
	Varyans eşit değil			-0,579	598,228	0,563	-0,044	0,077	-0,195	0,106
Bilişsel tepkiler	Varyans eşit	2,877	0,09	0,339	602	0,735	0,025	0,075	-0,122	0,172
	Varyans eşit değil			0,339	599,666	0,734	0,025	0,075	-0,121	0,172

Bu araştırmada cevap aranan soru ya demografik ya da ekonomik özellikleri değişik olan tüketicilerin akıllı ceket ürüne karşı olan tepkileri nasıl farklılaşır sorusudur. Bu yeni teknolojik ürüne olan tepkiler davranışsal (satın alma niyeti), duygusal ve bilişsel olmak üzere üç boyutta değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, örneklem birimlerini tanımlamada kullanılan özellikler: cinsiyet, eğitim, doğum yeri, çalışma durumu, ailenin aylık gelir seviyesi, aynı evi kimle paylaştığı, ev ve araba sahipliği araştırmaya dahil edildi. Kişilerin farklılık gösteren demografik ve/veya ekonomik özelliklerine göre akıllı ceket ürünü ile ilgili tepkilerinde farklılık oluşturmadığı her biri için tespit edilmiştir. Fakat sadece eğitim seviyesi farklı olduğunda bu ürüne vereceği tepkilerin farklı olduğu ve bu farklılığın anlamlı olduğu anlaşılmıştır.

2'li kategorize edilen değişkenler: cinsiyet (kadın, erkek), doğum yeri (İstanbul dışı, İstanbul), çalışma durumu (çalışıyor, çalışmıyor), araba (kendi arabası var, kendi arabası yok) ve ev sahipliği (evi var, evi yok). Bu ikili grupların her çifti arasında satın alma niyeti, duygusal ve bilişsel tepkileri bakımından anlamlı bir farklılık olup olmadığı bağımsız t testi ile test edildi. Analizlerde çalışma durumu, araba ve ev sahipliği değişkenlerinin her biri için ayrı olarak gözlemlerden tesadüfi seçim yolu ile grup birim sayısı az olana göre eşitlenip ya da yakın yapıp sonrasında testler uygulandı. İki kategorili diğer değişkenlerde ise grup gözlem sayıları çok yakın sayıdaydı bu yüzden değişiklik yapılmadan test edildiler. 2'den fazla seviyede kategorize edilen yaş, ailenin aylık gelir seviyesi ve aynı evde kimle yaşadığı değişkenleri için tek yönlü varyans analizi ile her biri değişken için farklı grupların satın alma niyeti, duygusal ve bilişsel tepkileri karşılaştırıldı. Ekler bölümünde ilgili analiz sonuçları çizelge gösterimleriyle sunulmuştur. Medeni hal açısından

örneklem birimlerinin neredeyse tamamı bekar olunca farklılık testi uygulanamamıştır.

Katılımcıların eğitim durumu altı ayrı seçenekle belirlenmiştir. Katılımcılar arasında üniversite 1. sınıfta 45 kişi, 2. sınıfta 96, 3. sınıfta 180, 4. sınıfta 102 kişi var iken, yüksek lisans veya doktora yaptığını belirten 128 kişi ve "diğer" seçeneğini işaretleyen 47 kişi vardır. Eğitim düzeyleri farklı bu altı grup satın alma niyeti, duygusal ve bilişsel tepkileri açısından anlamlı bir şekilde farklılaşır mı anlayabilmek için Anova analizi uygulanmıştır. Öncelikle her bir gruptaki kişi sayısı eşit veya yakın olacak şekilde, cevap verenler arasından yapılan tesadüfi seçimle kişiler ait oldukları eğitim düzeyindeki gruplara atanmıştır. 44-45'er kişiden oluşan farklı eğitim düzeyinde tanımlanmış bu gruplara ait ortalama, standart sapma vd. istatistiksel bilgiler Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5'te görüleceği gibi, 1. grupta birinci sınıf, 2. grupta ikinci sınıf, 3. grupta üçüncü sınıf ve 4. grupta dördüncü sınıftaki üniversite öğrencileri yer alırken 5. grupta yüksek lisans ve doktora öğrencileri ve son olarak 6. grupta diğer kişiler olmak üzere altı ayrı grupta farklı eğitim seviyelerinde kişiler tanımlanmıştır. Kişilerin akıllı ceket ürünü için satın alma eğilimi ortalamalarına bakıldığında en düşük puanı 1. sınıf öğrencileri, en yüksek puanı ise 4. sınıf öğrencileri almıştır. Akıllı ceket ürününe karşı olan duygusal tepkileri ortalama puanlarına gelince; satın alma eğilimlerinin aksine 1. sınıf öğrencilerinde puan daha yüksektir, buna karşın en düşük seviyede olan 2. sınıf öğrencileridir ve 4. sınıf öğrencileri aldığı puanla onları takip etmektedir. Bu ürün için kişilerin bilişsel tepkilerinin hesaplanan ortalama puanları karşılaştırıldığında ise; duygusal tepkilerde olduğu gibi en yüksek 1. sınıf, en düşük 2. sınıf ve bunu takiben ikinci en düşük ortalama puan 4. sınıf öğrencilerine aittir.

Çizelge 5. Eğitim durumuna göre gruplar için tanımlayıcı istatistikleri

	Gözlem sayısı	Ortalama	Std, sapma	Std, hata	Ortalamalar için 95% güven aralığı		Minimum	Maksimum	
					Alt sınır	Üst sınır			
Satın alma niyeti	1	45	2,922	0,941	0,14	2,639	3,205	1	5
	2	45	3,389	0,947	0,141	3,104	3,673	1	5
	3	45	3,267	1,037	0,155	2,955	3,578	1	5

Çizelge 5 (devam)

Satın alma niyeti	4	45	3,678	1,018	0,152	3,372	3,984	1,5	5
	5	45	3,489	1,084	0,162	3,163	3,815	1	5
	6	45	3,044	1,06	0,158	2,726	3,363	1	5
	Total	270	3,298	1,039	0,063	3,174	3,423	1	5
Duygusal tepkiler	1	44	3,008	0,735	0,111	2,784	3,231	1	5
	2	44	2,401	0,905	0,137	2,126	2,677	1	4,33
	3	45	2,615	0,935	0,139	2,334	2,896	1	5
	4	44	2,424	0,955	0,144	2,134	2,714	1	4
	5	45	2,592	0,915	0,136	2,318	2,868	1	4,33
	6	45	2,637	0,861	0,128	2,378	2,896	1	4,33
	Total	267	2,613	0,901	0,055	2,504	2,722	1	5
Bilişsel tepkiler	1	44	3,114	0,822	0,124	2,864	3,364	1	5
	2	44	2,716	0,922	0,139	2,435	2,996	1	4,75
	3	45	2,911	0,952	0,142	2,625	3,197	1	5
	4	44	2,784	0,889	0,134	2,514	3,054	1	4,5
	5	45	3,02	0,909	0,136	2,747	3,293	1,25	4,75
	6	45	2,961	0,943	0,141	2,678	3,244	1	5
	Total	267	2,918	0,909	0,056	2,809	3,028	1	5

Satın alma niyeti, duygusal ve bilişsel tepkiler olmak üzere üç değişken bakımından farklı eğitim gruplarında olan kişiler ortalama puanları açısından karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda ortaya çıkan ortalama puanları arasındaki farkların anlamlı bir farklılık olup olmadığı tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile test edilmiştir. Çizelge 6’da gösterilen sonuçlara göre; altı grupta toplanmış farklı eğitim seviyesinde olan kişilerin akıllı ceket ürünü için satın alma niyetleri ve duygusal tepkileri anlamlı bir şekilde farklılık gösterirken ($p=0,005$ ve $p=0,023$) bilişsel tepkileri anlamlı bir farklılık göstermemektedir ($p=0,323$).

Çizelge 6. Eğitim seviyesine göre gruplar için ANOVA analizi

		Kareler toplamı	sd	Ort. kare	F	Anlamlılık,
Satın alma niyeti	Gruplar arası	17,794	5	3,559	3,448	0,005
	Gruplar içi	272,456	264	1,032		
	Toplam	290,249	269			
Duygusal tepkiler	Gruplar arası	10,431	5	2,086	2,649	0,023
	Gruplar içi	205,577	261	0,788		
	Toplam	216,008	266			
Bilişsel tepkiler	Gruplar arası	4,827	5	0,965	1,173	0,323
	Gruplar içi	214,915	261	0,823		
	Toplam	219,742	266			

Varyans analizinin dayandığı bir varsayım olan varyansların homojenliğini test etmek üzere Levene istatistik testi uygulanmıştır ve sonuçları Çizelge 7’de açıklanmıştır. Buna göre altı farklı

eğitim grubu için satın alma niyeti bakımından varyans homojenliği sağlanmıştır ($p=0,312$), ancak duygusal tepkiler bakımından varyans homojenliği ($p=0,012$) elde edilememiştir. Buradan hareketle farklı eğitim seviyelerinde tanımlı altı gruptan hangi iki grup arasında gerek satın alma eğilimleri gerekse duygusal tepkileri açısından anlamlı bir sonuç olduğu araştırılırken post-hoc analizlere başvurulmuştur.

Çizelge 7. Eğitim seviyesine göre gruplar için varyans homojenliği testi

	Levene İstatistiği	sd1	sd2	Anlamlılık
Satın alma niyeti	1,195	5	264	,312
Duygusal tepkiler	2,976	5	261	,012
Bilişsel tepkiler	,568	5	261	,725

Çizelge 8’de farklı eğitim grupları için satın alma eğilimi ortalamaları farkı hangi iki grup arasında anlamlıdır anlayabilmek için yapılan çoklu karşılaştırmada varyans homojenliği testi anlamlı çıktığı için [15] Scheffe testi uygulanmıştır. Uygulanan post-hoc analizi sonucuna göre akıllı ceket ürünü için 4. gruptaki üniversite dördüncü sınıf öğrencilerinin 1. gruptaki birinci sınıf öğrencilerine kıyasla yüksek bir fark gösteren ortalama satın alma niyeti anlamlıdır ($I-J= 0,756$, $p=0,032$). Diğer ikili gruplar arasında satın alma

niyetleri bakımından grup ortalama farkları anlamlı bulunmamıştır.

Çizelge 8. Davranışsal tepkiler için Post-hoc analizi ile grupları çoklu karşılaştırmada Scheffe testi

(I) Eğitim	(J) Eğitim	Ortalama farkı (I-J)	Std. hata	Anlamlılık	% 95 Güven aralığı	
					Alt sınır	Üst sınır
1: üniversite 1.sınıf	2	-0,467	0,214	0,449	-1,185	0,251
	3	-0,344	0,214	0,763	-1,062	0,374
	4	-,756*	0,214	0,032	-1,474	-0,037
	5	-0,567	0,214	0,224	-1,285	0,151
	6	-0,122	0,214	0,997	-0,84	0,596
	1	0,467	0,214	0,449	-0,251	1,185
2: üniversite 2. sınıf	3	0,122	0,214	0,997	-0,596	0,84
	4	-0,289	0,214	0,873	-1,007	0,429
	5	-0,1	0,214	0,999	-0,818	0,618
	6	0,344	0,214	0,763	-0,374	1,062
	1	0,344	0,214	0,763	-0,374	1,062
	2	-0,122	0,214	0,997	-0,84	0,596
3: üniversite 3. sınıf	4	-0,411	0,214	0,596	-1,129	0,307
	5	-0,222	0,214	0,956	-0,94	0,496
	6	0,222	0,214	0,956	-0,496	0,94
	1	-,756*	0,214	0,032	0,037	1,474
	2	0,289	0,214	0,873	-0,429	1,007
	3	0,411	0,214	0,596	-0,307	1,129
4: üniversite 4. sınıf	5	0,189	0,214	0,978	-0,529	0,907
	6	0,633	0,214	0,124	-0,085	1,351
	1	0,567	0,214	0,224	-0,151	1,285
	2	0,1	0,214	0,999	-0,618	0,818
	3	0,222	0,214	0,956	-0,496	0,94
	4	-0,189	0,214	0,978	-0,907	0,529
5: YLS, Dok	6	0,444	0,214	0,508	-0,274	1,162
	1	0,122	0,214	0,997	-0,596	0,84
	2	-0,344	0,214	0,763	-1,062	0,374
	3	-0,222	0,214	0,956	-0,94	0,496
	4	-0,633	0,214	0,124	-1,351	0,085
	5	-0,444	0,214	0,508	-1,162	0,274

*, Ortalama farkı 0,05 düzeyinde anlamlı

Çizelge 9'da farklı eğitim grupları için duygusal tepkilerin ortalamaları farkı hangi iki grup arasında anlamlıdır anlayabilmek için yapılan çoklu karşılaştırmada varyans homojenliği testi anlamlı çıkmadığı için [15] Games-Howell testi uygulanmıştır. Post-hoc analizi sonucuna göre; akıllı ceket ürünü için 1. gruptaki birinci sınıf öğrencilerinin, hem 2. gruptaki ikinci sınıf hem de 4. gruptaki dördüncü sınıftakilere kıyasla yüksek bir fark gösteren ortalama duygusal tepkileri anlamlıdır (I-J=0,606, p=0,011 ve I-J=0,583, p=0,023). Diğer ikili gruplar arasında duygusal tepkileri bakımından grup ortalama farkları anlamlı bulunmamıştır.

Çizelge 9. Duygusal tepkiler için Post-hoc analizi ile grupları çoklu karşılaştırmada Games-Howell testi

(I) Eğitim	(J) Eğitim	Ortalama farkı (I-J)	Std. hata	Anlamlılık	% 95 Güven aralığı	
					Alt sınır	Üst sınır
1: üniversite 1. sınıf	2	-,606*	0,176	0,011	0,093	1,119
	3	0,393	0,178	0,246	-0,126	0,912
	4	-,583*	0,182	0,023	0,053	1,113
	5	0,415	0,176	0,182	-0,098	0,928
	6	0,37	0,17	0,255	-0,124	0,865
	1	-,606*	0,176	0,011	-1,119	-0,093
2: üniversite 2. sınıf	3	-0,213	0,195	0,883	-0,782	0,355
	4	-0,023	0,198	1	-0,601	0,555
	5	-0,191	0,193	0,92	-0,753	0,371
	6	-0,235	0,187	0,807	-0,782	0,311
	1	-0,393	0,178	0,246	-0,912	0,126
	2	0,213	0,195	0,883	-0,355	0,782
3: üniversite 3. sınıf	4	0,191	0,2	0,932	-0,393	0,774
	5	0,022	0,195	1	-0,546	0,59
	6	-0,022	0,189	1	-0,574	0,53
	1	-,583*	0,182	0,023	-1,113	-0,053
	2	0,023	0,198	1	-0,555	0,601
	3	-0,191	0,2	0,932	-0,774	0,393
4: üniversite 4. sınıf	5	-0,168	0,198	0,957	-0,746	0,41
	6	-0,212	0,193	0,879	-0,775	0,349
	1	-0,415	0,176	0,182	-0,928	0,098
	2	0,191	0,193	0,92	-0,371	0,753
	3	-0,022	0,195	1	-0,59	0,546
	4	0,168	0,198	0,957	-0,41	0,746
5: YLS, Dok	6	-0,044	0,187	1	-0,59	0,501
	1	-0,37	0,17	0,255	-0,865	0,124
	2	0,235	0,187	0,807	-0,311	0,782
	3	0,022	0,189	1	-0,53	0,574
	4	0,213	0,193	0,879	-0,349	0,775
	5	0,044	0,187	1	-0,501	0,59

*, Ortalama farkı 0,05 düzeyinde anlamlı

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yeni ve yüksek teknoloji içeren ürünlerin başarısında tüketici satın alma davranışlarını belirleyen pek çok etken faktör kendini gösterebilir. Öncesinde ürünün potansiyel alıcısı olabilecek kişileri özelliklerine göre sınıflandırıp ayırtmak sonrasında hangi faktörlerden nasıl etkilenirler araştırmak daha anlamlıdır. Yenilikçi bir ürüne ilişkin tüketici tepkilerinin farklı oluşunda hangi demografik ve ekonomik göstergeler belirleyicidir? İşte bu sorunun cevabına göre ayırtılan gruplardaki bireylere özelliklerine

göre daha uygun pazarlama stratejileri yöneltilebilir.

İleri teknolojinin büyük bir ivme kazandığı günümüz yaşamında gelişmiş, fark yaratan, yenilikçi tekstil ürünleri “akıllı” özellikleri ile değer yaratmaktadır. Değişen hava koşulları ve vücut ısısına göre kullanıcı için konfor yaratabilecek fonksiyonellikte olan akıllı spor ceketler hali hazırda pazara sunulmuştur. Talebin artması ve kullanımın yaygınlaşması için akıllı ceketleri tercih eden kişileri özellikleri bakımından ayırıştırıp, tanımlamak önemlidir.

Kişileri karakterize eden veyahut tanımlayan bir dizi özellik arasından cinsiyet, doğum yeri, yaş, medeni hal ve eğitim düzeyi demografik değişkenleri ile birlikte ailenin aylık gelir seviyesi, aynı evi paylaştığı kişiler, araba ve ev sahipliği, çalışma durumu gibi bazı ekonomik göstergeler bu araştırmada incelenmiştir. Belirtilen bu kriterler düzeyinde farklı gruplarda yer eden katılımcı kişiler akıllı ceket ürününe karşı gösterdikleri duygusal, bilişsel ve davranışsal eğilimleri bakımından karşılaştırılmıştır. Sadece bireylerin bu yeni ürüne karşı geliştirdikleri tepkilerde anlamlı bir fark yaratan kriter eğitim düzeyleri olmuştur. Eğitim düzeyleri üniversite 1., 2., 3. veya 4. sınıf öğrencisi (veya mezun), yüksek lisans veya doktora öğrencisi olmak üzere tanımlanmıştır. Buna göre, 1. sınıf üniversite öğrencileri ile 4. sınıf üniversite öğrencileri (veya mezun) akıllı spor ceketle karşı hem duygusal hem de davranışsal tepkileri anlamlı düzeyde farklı olmuştur. 1. sınıf öğrencileri aynı zamanda 2. sınıftakilerden ürün için gösterdikleri duygusal tepkileri bakımından anlamlı şekilde farklılaşmaktadır. Fakat eğitim düzeyleri farklı olan kişilerin hiçbiri ürüne karşı anlamlı bir fark yaratacak düzeyde değişik bir bilişsel tepki vermemektedir.

Yüksek teknoloji içeren yenilikçi ve akıllı bu ceket ürünü 1. sınıf öğrencileri üzerinde ortalama seviyenin bir miktar üzerinde pozitif duygu ve düşünce uyandırmıştır. Satın alma eğilimleri ise gerek duygusal gerekse bilişsel tepkilerine nazaran daha alt düzeyde seyretmektedir. İlginç olan şu ki

duygusal ve bilişsel düzeyde en yüksek pozitif seviyede tepkiyi diğer eğitim grubundaki kişilerle karşılaştırıldığında ise 1. sınıf öğrencileri göstermiştir. Fakat diğerlerine kıyasla satın alma isteği daha düşük seviyededir. Keza bu farklılık duygusal tepkileri için 2. sınıf ve 4. sınıf (veya mezun) öğrencileri ile davranışsal tepkileri için ise sadece 4. sınıftakilerle karşılaştırmasında anlamlı sonuç vermiştir.

İlk üniversiteye başlamanın mutluluğu, rahatlığı ve heyecanı öğrencilerin “ruh haline” kuşkusuz olumlu katkılarda bulunabilir ve bu pozitif ruh hali yenilikleri bir örneği olarak sıradan olmayan bir ceketin onlarda daha belirgin seviyede güzel duygular uyandırması mümkün olabilir. Bu anlamda 4. sınıfa gelindiğinde mezun olma, iş beklentileri gibi daha ciddi sorumlulukların fark edildiği dönemdekilerle farklı seviyede bir duygusal tepki göstermesi şaşırtıcı olmamıştır.

Öğrenciler 4. sınıfa geldiklerinde daha çok bir iş deneyimi veya ek gelir edinme amacı ile kısa dönemli (part time vb) işlerde çalışabilmektedir. Belki sınıf düzeyleri arasında ürüne yönelik tepkileri bakımından gelirin anlamlı etkisi görülmemiştir ancak ölçümde katılımcıların kendisi değil ailenin aylık gelir seviyesi ölçülmüştü. Kendi kişisel gelirleri ve gelirlerinin ne kadarını hangi tür harcamalara ayıracağı da önemlidir. Buradan hareketle 1. sınıf öğrencileri daha çok yerleşim yeri ve yeme-içme gibi zaruri ihtiyaçlarına öncelik verebilirken her ne kadar spor ceket ve de akıllı olanını olumlu duygu ve düşüncelerle karşılasa da pahalı olduğu için nispeten satın almayı daha geri plana itebilirler. Ancak önceliklerini sıraya koyan, düzenini nispeten daha iyi oturtmuş ve gelirini muhtemelen artırmış olan dördüncü sınıf öğrencileri bu ürünü almaya daha sıcak bakabilmektedir.

Akıllı bir teknolojik ürün olan standartlarından farklılaşan bir ceket örneği için ilgi ve alakaları yüksek olacağı beklentisiyle örneklem profili 18-30 yaş aralığında sınırlandırılmıştı. Fakat ürün fonksiyonelliği açısından hem sağlık hem de ergonomik kullanıma uygunluğu sebebiyle daha

ileri yaşlardaki kişilerin tercihi de olabilir. Daha ilerleyen yaşlarda kişilerin yenilikleri deneme konusunda nispeten daha çekimsiz kaldıkları ifade edilmekle beraber günlük yaşamlarını kolaylaştırıcı ürünleri tercih etmeleri de yüksek ihtimal dahilindedir. İlerleyen çalışmalarda farklı yaş grupları da gerek demografik gerekse ekonomik göstergeler ile karakterize edilip bu tarz yenilikçi ve akıllı bir ürüne karşı tepkileri analiz edilmelidir.

5. KAYNAKLAR

1. Tekstil Sektöründe Dijital Dönüşüm ve Yeni Nesil Ürünler, <http://www.sanayinindijitaldonusumu.com/tektstil-sektorunde-dijital-donusum-ve-yeni-nesil-urunler/>, Erişim tarihi: Kasım 2020.
2. Erol, A.D., Çetiner, S., 2017. Giyilebilir Elektronik/Akıllı Tekstiller ve Uygulamalar, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(1), 1-20.
3. Erdem, İ.Ö., Yüksel, E., 2016. Tekstil ve Moda Tasarımına Teknolojik Bir Yaklaşım: Akıllı ve Renk Değiştiren Tekstiller, Yedi: Sanat, Tasarım ve Bilim Dergisi, 16, 87-98, ISSN 13 07-9840.
4. Bedeloğlu, A.Ç., 2011. Şekil Hafızalı Alaşımlar ve Tekstil Malzemelerindeki Uygulamaları, Tekstil ve Mühendis, Yıl: 18, 83, 27-37.
5. Coşkun, E., Oğulata, R.T., 2008. Akıllı Tekstiller ve Genel Özellikleri, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18-3, 100-109.
6. Bengisu, M., Ferrara, M., 2015. Kinetic Materials Experience, Design and Semantics of Form and Movement, DeSForM 2015, Aesthetics of Interaction: Dynamic, Multisensory, Wise, Topic 2: Multisensory, Conference Paper October 2015, 138-146.
7. <https://www.cnnturk.com/video/yasam/diger/m-esaj-atan-akilli-cekset>, Erişim tarihi: 23.05.2015 (Arzu Kaprol Tasarımı videosu)
8. Odabaşı, Y., Anadolu Üniversitesi Yayını, Yayın No: 2604, <https://docplayer.biz.tr/2770655-Tuketici-davranislari.html>, Erişim tarihi: Aralık 2020.
9. Yeniçeri, T., Özal, H., 2016. Tüketici Karar Verme Tarzlarının Cinsiyet Kimliğine Göre İncelenmesi, Pazarlama ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi, Sayı: 18, 135-168.
10. Tekvar, S.O., 2016. Tüketici Davranışlarının Demografik Özelliklere Göre Tanımlanması, İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 5(6), 1601-1616, <http://www.itobiad.com/tr/download/article-file/222603>.
11. Arzu Kaprol Digital Jacket for Vodafone, <https://youtu.be/c4xnkpglRx8>, Erişim tarihi: Şubat 2021.
12. Zhang, Y., Buda, R., 1999. Moderating Effects of Need for Cognition on Responses to Positively Versus Negatively Framed Advertising Messages, Journal of Advertising, 28(2), -15.
13. Bruner, G.C., Hensel, P.J., James, K.E., 2005. Marketing Scale Handbook, a Compilation of Multi-item Measures for Consumer Behavior and Advertising. Chicago, Illinois USA: American Marketing Association. 4,33,41,62, 66,73,83,84,99.
14. Nunnally, J.C., 1978. Psychometric Theory. NY: McGraw-Hill, 701.
15. Kayri, M., 2009. Araştırmalarda Gruplar Arası Farkın Belirlenmesine Yönelik Çoklu Karşılaştırma (Post-Hoc) Teknikleri, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 19(1), 51-64.

EKLER

Çizelge 9.1. Cinsiyete göre gruplar için tanımlayıcı istatistikler

	CİNSİYET	N	Ort,	Std, sapma	Std, hata ort,
Satın alma niyeti	Kadın	302	3,344	1,156	,066
	Erkek	303	3,321	1,038	,059
Duygusal tepkiler	Kadın	299	2,614	,972	,056
	Erkek	302	2,654	,926	,053
Bilişsel tepkiler	Kadın	299	2,925	,944	,055
	Erkek	302	2,973	,896	,052

Çizelge 9.2. Cinsiyete göre gruplar için bağımsız t testi

		Levene's Test		t-test istatistikleri						
		F	Anlamlılık	t	sd	Anlamlılık (2 taraflı)	Ortalama farkı	Std. hata farkı	% 95 Güven aralığı	
									En düşük	En yüksek
Satın alma niyeti	Varyanslar eşit	3,543	,060	,254	603	,800	,023	,089	-,152	,197
	Varyanslar eşit değil			,254	594,8	,800	,023	,089	-,152	,198
Duygusal tepkiler	Varyanslar eşit	,644	,423	-,513	599	,608	-,040	,077	-,192	,112
	Varyanslar eşit değil			-,513	596,9	,608	-,040	,077	-,192	,112
Bilişsel tepkiler	Varyanslar eşit	1,410	,235	-,642	599	,521	-,048	,075	-,196	,099
	Varyanslar eşit değil			-,642	596,7	,521	-,048	,075	-,196	,099

Çizelge 10.1. Yaş değişkenine göre gruplar için tanımlayıcı istatistikler

YAŞ		N	Ort	Std. sapma	Std. hata	% 95 Güven aralığı		Min	Max
						En düşük	En yüksek		
Satın alma niyeti	18-19	30	3,250	,998	,182	2,877	3,623	1,00	5,00
	20	30	3,450	1,020	,186	3,069	3,831	1,00	5,00
	21	30	3,167	1,053	,192	2,773	3,556	1,00	5,00
	22	30	3,433	1,158	,211	3,001	3,866	1,00	5,00
	23-25	30	3,433	1,097	,200	3,024	3,843	1,00	5,00
	26-30	30	3,417	1,115	,203	3,000	3,833	1,00	5,00
	Toplam	180	3,358	1,065	,079	3,202	3,515	1,00	5,00
Duygusal tepkiler	18-19	29	2,782	1,085	,201	2,370	3,194	1,00	5,00
	20	30	2,656	,973	,178	2,292	3,019	1,00	5,00
	21	30	2,678	,903	,165	2,340	3,015	1,00	5,00
	22	29	2,793	,902	,167	2,450	3,136	1,00	4,33
	23-25	30	2,750	,919	,168	2,407	3,093	1,00	4,67
	26-30	29	2,529	,936	,174	2,172	2,885	1,00	4,33
	Toplam	177	2,698	,945	,071	2,557	2,838	1,00	5,00
Bilişsel tepkiler	18-19	29	3,259	,912	,169	2,912	3,606	1,25	5,00
	20	30	2,925	,859	,157	2,604	3,246	1,00	5,00
	21	30	2,917	1,053	,192	2,523	3,310	1,00	5,00
	22	29	3,060	,977	,181	2,689	3,432	1,00	4,75
	23-25	30	3,106	,901	,164	2,769	3,442	1,00	5,00
	26-30	29	2,784	1,103	,205	2,365	3,204	1,00	4,75
	Toplam	177	3,008	,970	,073	2,864	3,152	1,00	5,00

Çizelge 10.2. Yaş değişkenine göre gruplar için tek yönlü varyans analizi

		ANOVA				Anlamlılık
		Kareler toplamı	sd	Ort. karesi	F	
Satın alma niyeti	Gruplar arası	2,146	5	,429	,372	,868
	Grup içi	200,99	174	1,155		
	Toplam	203,14	179			
Duygusal tepkiler	Gruplar arası	1,44	5	,289	,317	,902
	Gruplar içi	155,86	171	,911		
	Toplam	157,30	176			
Bilişsel tepkiler	Gruplar arası	4,09	5	,818	,868	,504
	Gruplar için	161,19	171	,943		
	Toplam	165,29	176			

Çizelge 11.1. Doğum yerine göre gruplar için tanımlayıcı istatistikler

	Doğum Yeri	N	Ort.	Std. sapma	Std. hata ort.
Satın alma niyeti	İstanbul dışı	260	3,342	1,079	,067
	İstanbul	276	3,328	1,116	,067
Duygusal tepkiler	İstanbul dışı	259	2,623	,909	,056
	İstanbul	273	2,691	,969	,059
Bilişsel tepkiler	İstanbul dışı	259	2,942	,846	,052
	İstanbul	273	2,965	,968	,059

Çizelge 11.2. Doğum yerine göre gruplar için bağımsız t testi

		Levene's Test		t-test istatistikleri						
		F	Anlamlılık	t	Sd	Anlamlılık (2 taraflı)	Ortalama farkı	Std. hata farkı	% 95 Güven aralığı	
									En düşük	En yüksek
Satın alma niyeti	Varyanslar eşit	,653	,419	,152	534	,879	,014	,095	-,172	,201
	Varyanslar eşit değil			,152	533,6	,879	,014	,095	-,172	,201
Duygusal tepkiler	Varyanslar eşit	2,407	,121	-,828	530	,408	-,067	,082	-,228	,093
	Varyanslar eşit değil			-,829	529,9	,407	-,067	,081	-,228	,092
Bilişsel tepkiler	Varyanslar eşit	4,137	,042	-,293	530	,770	-,023	,079	-,178	,132
	Varyanslar eşit değil			-,294	526,5	,769	-,023	,079	-,178	,131

Çizelge 12.1. Çalışma durumuna göre gruplar için tanımlayıcı istatistikler

	Çalışma Durumu	N	Ort,	Std, sapma	Std, hata ort,
Satın alma niyeti	Çalışıyor	140	3,17	1,155	,098
	Çalışmıyor	139	3,36	1,054	,089
Duygusal tepkiler	Çalışıyor	139	2,75	,987	,084
	Çalışmıyor	136	2,65	,989	,085
Bilişsel tepkiler	Çalışıyor	139	3,04	1,007	,085
	Çalışmıyor	136	2,91	,915	,078

Çizelge 12.2. Çalışma durumuna göre gruplar için bağımsız t testi

		Levene's Test		t-test istatistikleri						
		F	Anlamlılık	t	sd	Anlamlılık (2-taraflı)	Ortalama farkı	Std. hata farkı	%95 Güven aralığı	
									En düşük	En yüksek
Satın alma niyeti	Varyanslar eşit	,568	,452	-1,422	277	,156	-,188	,132	-,449	,072
	Varyanslar eşit değil			-1,422	275,1	,156	-,188	,133	-,449	,072
Duygusal tepkiler	Varyanslar eşit	,016	,900	,818	273	,414	,097	,119	-,137	,332
	Varyanslar eşit değil			,818	272,8	,414	,097	,119	-,137	,332
Bilişsel tepkiler	Varyanslar eşit	1,103	,295	1,132	273	,259	,131	,116	-,097	,360
	Varyanslar eşit değil			1,133	271,5	,258	,131	,116	-,097	,360

Çizelge 13.1. Gelire göre gruplar için tanımlayıcı istatistikler

	Gelir (TL)	N	Ort.	Std. sapma	Std. hata	%95 güven aralığı		Min.	Max.
						En düşük	En yüksek		
Satın alma niyeti	1600-altında	24	3,625	0,875	0,179	3,255	3,995	2,00	5,00
	1601-2400	24	3,271	1,198	0,244	2,765	3,777	1,00	5,00
	2401-3200	24	3,458	1,112	0,227	2,989	3,928	1,00	5,00
	3201-4000	24	3,417	1,435	0,293	2,811	4,022	1,00	5,00
	4001-4800	24	3,646	0,840	0,172	3,291	4,001	2,00	5,00
	4801-5600	24	3,500	1,043	0,213	3,060	3,940	1,00	5,00
	5601-6400	24	3,750	1,198	0,245	3,244	4,256	1,00	5,00
	6401-7200	24	3,292	1,103	0,225	2,826	3,757	1,50	5,00
	Toplam	192	3,495	1,106	0,080	3,337	3,652	1,00	5,00
Duygusal tepkiler	1600-altında	24	2,500	0,993	0,203	2,081	2,919	1,00	4,33
	1601-2400	24	2,542	0,861	0,176	2,178	2,905	1,00	4,33
	2401-3200	24	2,625	0,903	0,184	2,244	3,006	1,00	5,00
	3201-4000	24	2,542	0,900	0,184	2,162	2,922	1,00	4,33
	4001-4800	24	2,556	0,838	0,171	2,202	2,909	1,00	3,67
	4801-5600	24	2,208	0,911	0,186	1,824	2,593	1,00	4,00
	5601-6400	23	2,594	1,141	0,238	2,101	3,088	1,00	5,00
	6401-7200	24	2,708	1,189	0,243	2,206	3,210	1,00	5,00
	Toplam	191	2,534	0,965	0,070	2,396	2,672	1,00	5,00
Bilişsel tepkiler	1600-altında	24	2,736	0,815	0,166	2,392	3,080	1,00	3,75
	1601-2400	24	3,042	0,836	0,171	2,689	3,395	1,00	4,75
	2401-3200	24	2,865	0,791	0,161	2,531	3,198	1,50	5,00
	3201-4000	24	2,764	0,892	0,182	2,387	3,141	1,00	4,50
	4001-4800	24	2,771	0,831	0,170	2,420	3,122	1,00	4,25
	4801-5600	24	2,604	1,040	0,212	2,165	3,043	1,00	5,00
	5601-6400	23	2,935	1,042	0,217	2,484	3,386	1,25	5,00
	6401-7200	24	3,021	1,063	0,217	2,572	3,470	1,00	5,00
	Toplam	191	2,842	0,913	0,066	2,711	2,972	1,00	5,00

Çizelge 13.2. Gelire göre gruplar için tek yönlü varyans analizi

ANOVA						
		Kareler toplamı	sd	Ort. karesi	F	Anlamlılık
Satın alma niyeti	Gruplar arası	4,891	7	0,699	0,562	0,786
	Gruplar içi	228,604	184	1,242		
	Toplam	233,495	191			
Duygusal tepkiler	Gruplar arası	3,599	7	0,514	0,542	0,802
	Gruplar içi	173,486	183	0,948		
	Toplam	177,084	190			
Bilişsel tepkiler	Gruplar arası	3,829	7	0,547	0,647	0,716
	Gruplar içi	154,637	183	0,845		
	Toplam	158,466	190			

Çizelge 14.1. Kimle yaşadığına göre gruplar için tanımlayıcı istatistikleri

		N	Ort.	Std. sapma	Std. hata	%95 Güven aralığı		Min.	Max.
						En düşük	En yüksek		
Satın alma niyeti	Ailemle	12	2,708	1,033	0,298	2,052	3,364	1,00	4,00
	Arkadaşlarımla	12	2,708	0,940	0,271	2,111	3,306	1,00	5,00
	Partnerimle/Eşimle	12	3,500	1,279	0,369	2,687	4,313	1,00	5,00
	Tek başına	12	3,375	1,416	0,409	2,475	4,275	1,00	5,00
	Yurtta	12	3,750	0,941	0,272	3,152	4,348	2,00	5,00
	Akrabalarımla	12	3,458	0,988	0,285	2,831	4,086	2,00	5,00
	Toplam	72	3,250	1,148	0,135	2,980	3,520	1,00	5,00
Duygusal tepkiler	Ailemle	12	2,833	1,124	0,324	2,119	3,547	1,00	4,67
	Arkadaşlarımla	12	2,917	1,006	0,290	2,277	3,556	1,33	4,67
	Partnerimle/Eşimle	12	2,833	0,905	0,261	2,259	3,408	1,00	4,33
	Tek başına	12	2,806	1,087	0,314	2,115	3,496	1,00	4,00
	Yurtta	12	2,528	1,259	0,363	1,728	3,328	1,00	5,00
	Akrabalarımla	12	2,444	0,729	0,211	1,981	2,908	1,00	3,67
	Toplam	72	2,727	1,011	0,119	2,489	2,964	1,00	5,00
Bilişsel tepkiler	Ailemle	12	2,875	1,110	0,321	2,170	3,581	1,00	4,75
	Arkadaşlarımla	12	3,021	0,968	0,279	2,406	3,636	1,00	4,75
	Partnerimle/Eşimle	12	2,903	0,691	0,199	2,464	3,342	2,00	4,00
	Tek başına	12	3,104	1,145	0,331	2,376	3,832	1,00	4,75
	Yurtta	12	2,979	0,985	0,284	2,353	3,605	1,75	4,50
	Akrabalarımla	12	2,868	0,781	0,226	2,372	3,365	1,50	4,25
	Toplam	72	2,958	0,930	0,110	2,740	3,177	1,00	4,75

Çizelge 14.2. Kimle yaşadığına göre gruplar için tek yönlü varyans analizi

ANOVA						
		Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F	Anlamlılık
Satın alma niyeti	Gruplar arası	11,500	5	2,300	1,851	0,115
	Gruplar içi	82,000	66	1,242		
	Toplam	93,500	71			
Duygusal tepkiler	Gruplar arası	2,211	5	0,442	0,415	0,837
	Gruplar içi	70,306	66	1,065		
	Toplam	72,517	71			
Bilişsel tepkiler	Gruplar arası	0,525	5	0,105	0,114	0,989
	Gruplar içi	60,947	66	0,923		
	Toplam	61,472	71			

Çizelge 15.1. Ev sahipliğine göre gruplar için tanımlayıcı istatistikleri

	Ev Sahipliği	N	Ort.	Std. Sapma	Std. Hata Ort.
Satın alma niyeti	Varyans eşit	260	3,346	1,095	0,068
	Varyans Eşit Değil	265	3,292	1,085	0,067
Duygusal Tepkiler	Varyans eşit	256	2,643	0,938	0,059
	Varyans Eşit Değil	265	2,598	0,964	0,059
Bilişsel Tepkiler	Varyans eşit	256	2,919	0,950	0,059
	Varyans Eşit Değil	265	2,963	0,887	0,055

Çizelge 15.2. Ev sahipliğine göre gruplar için bağımsız t testi

		Levene's test		t-test istatistikleri						
		F	Anlamlılık	t	sd	Anlamlılık (2-tarafli)	Ort. Farkı	Std. hata ort.	%95 güvenilirlik	
									En düşük	En yüksek
Satın alma niyeti	Varyans eşit	0,145	0,704	0,565	523	0,573	0,054	0,095	-0,133	0,240
	Varyans eşit değil			0,565	522,583	0,573	0,054	0,095	-0,133	0,241
Duygusal tepkiler	Varyans eşit	0,079	0,778	0,541	519	0,589	0,045	0,084	-0,119	0,209
	Varyans eşit değil			0,541	518,975	0,588	0,045	0,083	-0,119	0,209
Bilişsel tepkiler	Varyans eşit	0,755	0,385	-0,542	519	0,588	-0,044	0,080	-0,202	0,115
	Varyans eşit değil			-0,541	513,475	0,589	-0,044	0,081	-0,202	0,115

Çizelge 16.1. Araba sahipliğine göre gruplar için tanımlayıcı istatistikleri

	Araba Sahipliği	N	Ort.	Std. sapma	Std. hata ort.
Satın alma niyeti	Kendi arabası var	99	3,444	1,129	0,114
	Kendi arabası yok	99	3,242	0,996	0,100
Duygusal tepkiler	Kendi arabası var	99	2,596	0,901	0,091
	Kendi arabası yok	98	2,580	0,941	0,095
Bilişsel tepkiler	Kendi arabası var	99	2,835	0,960	0,096
	Kendi arabası yok	98	2,983	0,907	0,092

Çizelge 16.1. Araba sahipliğine göre gruplar için bağımsız t testi

		Levene's Test		t-test						
		F	Anlamlılık	t	sd	Anlamlılık (2 tarafli)	Ort. farkı	Std. hata farkı	%95 Güven aralığı	
									En düşük	En yüksek
Satın alma niyeti	Varyanslar eşit	2,973	0,086	1,335	196	0,183	0,202	0,151	-0,096	0,500
	Varyanslar eşit değil			1,335	192,985	0,183	0,202	0,151	-0,096	0,500
Duygusal tepkiler	Varyanslar eşit	0,332	0,565	0,122	195	0,903	0,016	0,132	-0,243	0,275
	Varyanslar eşit değil			0,122	194,454	0,903	0,016	0,132	-0,243	0,275
Bilişsel tepkiler	Varyanslar eşit	0,529	0,468	-1,112	195	0,268	-0,148	0,133	-0,410	0,114
	Varyanslar eşit değil			-1,112	194,565	0,267	-0,148	0,133	-0,410	0,114

Bakır Anot Çamurundan Bakırın Liçinde Düşük Ötektik Noktalı Çözücü Kullanımının Araştırılması

Mehmet Ali TOPÇU*¹, Volkan KALEM², Aydın RÜŞEN¹

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Karaman

²Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Konya

Geliş tarihi: 30.12.2020

Kabul tarihi: 31.03.2021

Öz

Bu çalışmada, pirometalurjik yöntemle metalik bakır üretiminin elektrokazanım aşamasında ortaya çıkan anot çamurundan bakır geri kazanımı üzerine çevre ve insan sağlığına duyarlı düşük ötektik noktalı çözücü (DES) kullanımı araştırılmıştır. Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılarak liç sıcaklığı, liç süresi ve katı/sıvı oranı deneysel parametrelerin bakır geri kazanımı üzerine etkisi incelenmiştir. Kolin klorür (ChCl) ve ürenin 1:2 molar oranda karıştırılmasıyla hazırlanan DES çözücüsü ile yapılan liç işlemleri sonunda optimum şartlar; 95 °C'liç sıcaklığı, 2 saat liç süresi ve 1/20 katı/sıvı oranı olarak belirlenmiş ve bu şartlarda %98 bakır geri kazanımı elde edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile ChCl-üre karışımıyla hazırlanan DES çözücüsünün anot çamurundan bakır geri kazanımı için çevreci bir çözücü adayı olabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bakır anot çamuru, Düşük ötektik noktalı çözücü, Metal geri kazanımı, Solvometalurji

Investigation of Use of Deep Eutectic Solvent on Copper Leaching from Copper Anode Slime

Abstract

In this study, use of environmentally and human health sensitive solvent, called deep eutectic solvent (DES), was investigated for copper recovery from anode slime which was produced during electro-refining stage of the metallic copper production by pyrometallurgical method. The effect of experimental parameters was investigated using the Taguchi optimization method. At the end of the leaching process with DES solvent prepared by mixing ChCl and urea in 1:2 molar ratio, optimum conditions were determined as; 95 °C leaching temperature, 2 hours leaching time and 1/20 solid/liquid ratio and 98% copper recovery was obtained under this condition. With this study, it has been revealed that DES prepared by ChCl-urea mixture can be an environmentally friendly solvent candidate for copper recovery from anode slime.

Keywords: Copper anode slime, Deep eutectic solvent, Metal recovery, Solvometallurgy

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet Ali TOPÇU, topcumali@kmu.edu.tr

1. GİRİŞ

Sülfürlü bakır cevherleri dünya bakır rezervlerinin yaklaşık %80'ini içermektedir. Kalkopirit ise sülfürlü cevherler içerisinde yeryüzünde bol bulunan bir bakır mineralidir ve pirometalurjik yöntemle bakır üretiminin ana kaynağıdır [1]. Günümüzde, kalkopirit mineralinden metalik bakır üretimi için kullanılan endüstriyel yöntem ufalama, flotasyon, eritme, dönüştürme, ateşle rafinasyon ve elektro rafinasyon aşamalarını içeren piro-elektrometalurji yöntemidir [2]. Elektro rafinasyon aşamasının ana amacı, bakırın saf olmayan döküm anotlardan elektrokimyasal olarak çözündürülmesi ve ardından bakır iyonlarının katot yüzeyine taşınarak yüksek saflıkta bakır katotları elde edilmesidir. Bakır çözündürülmesi için uygulanan potansiyel altında, bakırın potansiyelinden daha düşük indirgeme potansiyeline sahip doğal safsızlıklar (Se, Te, As, Sb, Pb, Sn, Ag, Au, Pt ve Pd) da elektrolitik çözeltiye serbest olarak bırakılır [3]. Bu safsızlıkların çoğu daha büyük yoğunluğa sahiptir ve anot çamuru adı verilen yan ürün meydana getirerek elektrorafinasyon havuzunun tabanına yerleşme eğilimindedir. Meydana gelen anot çamurunun kimyasal kompozisyonu ve mineralojik yapısı safsızlıkların miktarına bağlıdır. Her bir ton bakır katot üretimi için yaklaşık olarak 20 kg anot çamuru meydana gelmektedir [4].

Bakır anot çamurları kayda değer miktarda Cu, Pb, Se, Te, Au, Ag ve platin grubu (Pt ve Pd) metallerini içerdiğinden değerli metallerin geri kazanımında önemli bir ikincil kaynak olarak görülmektedir. Bununla birlikte, arsenik ve kadmiyum gibi elementlerin varlığı nedeniyle tehlikeli atık olarak listelenen suda çözünmeyen bir yan üründür. Bakır anot çamurlarındaki bakır, doğrudan pirometalurjik yöntemin herhangi bir aşamasında kullanılabilir veya bu atıktan doğrudan metal geri kazanımı yapılabilir. Antimon, arsenik ve kurşun gibi bakır anot çamurunun ihtiva ettiği temel metaller bakıra nazaran daha az konsantrasyona sahiptir. Ancak bu metallerin çevre üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulduğunda geri kazanımları gerekli hale gelmiştir. Ayrıca, bakır anot çamurları enerji sektöründe stratejik öneme sahip Se ve Te gibi metaller için ana kaynak olarak görülmektedir [5].

Günümüze kadar bakır anot çamurlarından değerli metallerin geri kazanımında pirometalurjik, hidrometalurjik veya piro/hidro-metalurjik yöntemlerden oluşan birçok süreç geliştirilmiştir. Bakır anot çamurundan değerli metallerin geri kazanım süreçlerinin seçimi numunenin bakır içeriğine bağlı olmaktadır. Değerli metallerin bakır anot çamurlarından metalurjik yöntemlerle geri kazanımında genellikle asit liçi [6,7] oksidatif liç [8,9] mikrodalga ve ultrason destekli asit liçi [10,11], alkali füzyon yöntemi [12,13] ve yenilikçi bir yaklaşım olan iyonik sıvıların sulu çözeltileri [14,15] kullanılmıştır. Bu yöntemlerde fazla miktarda asit kullanılması, liç işlemlerinde geleneksel yöntemle ilave ekipman kullanılması ve bazı çözeltilerin maliyeti nedeniyle bakır anot çamurlarından metal geri kazanımı için ucuz, güvenli ve çevre ile uyumlu çözücü arayışı devam etmektedir.

Solvo-metalurji sulu çözeltiler yerine moleküler organik çözücüler, iyonik sıvılar ve düşük ötektik noktalı (Deep eutetic solvent, DES) gibi sulu olmayan çözücüler kullanan yeni bir ekstraktif metalurji dalıdır [16]. Solvometalurji yöntemi, pirometalurji yöntemine nazaran daha az enerji tüketen bir yöntemdir ve hidrometalurji yöntemine göre daha fazla seçicilik sağladığı vurgulanmıştır [17]. Düşük ötektik noktalı ötektik karışım oluşturmak için hidrojen bağı etkileşimi ile birbirleriyle ilişkilendirilebilen genellikle iki veya üç ucuz ve güvenli bileşenlerden oluşur. DES'ler organik çözücülerle kıyaslandığında düşük buhar basıncı, tutuşmama, kolay geri dönüşüm gibi özellikleri ile birlikte biyolojik olarak parçalanabildikleri için çevre duyarlı çözücü olarak birçok alanda kullanımı gerçekleştirilmiştir [18]. Ayrıca literatürde yer alan bir çalışmada [19] farklı bileşenlerle hazırlanan DES'lerin farklı metal oksitleri çözebildiği vurgulanmıştır. Örneğin ChCl ve fenilpropionik ile hazırlanan DES içerisinde CuO bileşiğinin çözünürlük oranı (0,473 mol/L) oldukça yüksek iken, ChCl ve oksalik asitle hazırlanan DES içerisinde CuO bileşiğinin çözünürlük oranı oldukça düşüktür (0,071 mol/L). Abbott ve arkadaşları (2006b) yaptığı başka bir çalışmada, ChCl ve üre ile hazırlanan DES'in içerisinde Cu_2O , PbO_2 ve ZnO

bileşiklerinin çözünürlük değerleri sırasıyla 8725 ppm, 9157 ppm ve 8466 ppm iken, Al_2O_3 bileşiğinin çözünürlük değerinin <1 ppm ve CaO bileşiğinin çözünürlük değerinin 6 ppm sınırında olduğu belirtilmiştir. Bu yüzden uygun bileşenlerle hazırlanacak olan DES'lerin metal çözündürme işlemlerinde seçicilik sağlayacağı vurgulanmıştır [20].

Bu özelliklerinde dolayı, son yıllarda metal kaynaklarından değerli metallerin geri kazanımında çevre duyarlı çözücü olarak kullanılan DES'ler, elektrik ark fırını tozu [21,22], çinko liç atığı [23,24] ve ömrü tamamlanmış lityum iyon bataryalarından [24,25] metal geri kazanımındaki verimlilikleri araştırılmıştır.

Bu çalışmada bakır anot çamurundan bakır geri kazanımı için yeni bir yöntem olan solvo-metalurji yöntemi önerilmektedir. Ayrıca, bakır geri kazanımı için metal kaynağı olarak kullanılan anot çamurunun kimyasal ve mineralojik karakterizasyonu ve liç sürecinin optimizasyonunu amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

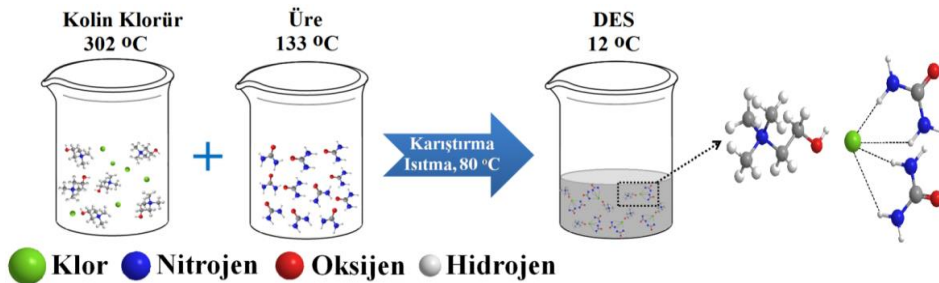
Bu çalışmada kullanılan bakır anot çamuru Denizli'de faaliyet gösteren Er-Bakır firmasında temin edilmiştir. Kolin klorür ($C_5H_{14}ClNO$, >98) Merck firmasından, üre ($CO(NH_2)_2$, $>99\%$) ise Petkim firmasından ticari olarak satın alınmıştır. Liç solüsyonları seyreltmek için kullanılan HCl asit ($\%36,5-38$) Sigma Aldrich'den tedarik edilmiştir.

2.2. Anot Çamurunun Karakterizasyonu

Toz halinde Er-Bakır A.Ş.'den temin edilen bakır anot çamurunun kimyasal analizi endüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) ve kupelasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Kimyasal analizi yapılan bakır anot çamurunun mineralojik yapısının belirlenmesi için Bruker D8 Advance model X-Işını Kırınımı (XRD) cihazı ve alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) cihazı kullanılmıştır. Bakır anot çamurunun SEM analizlerinde, her hangi bir kaplama yapılmaksızın enerji dağılımlı X-Ray (EDS) spektroskopili Hitachi SU5000 model SEM cihazı kullanılmıştır. Ayrıca, liç işlemleri sonrası elde edilen liç atığının kimyasal ve mineralojik yapısı SEM/EDS yöntemi ile incelenmiştir.

2.3. Düşük Ötektik Noktalı Çözücünün Hazırlanması

Liç deneylerinde kullanılan düşük ötektik noktalı çözücü ticari olarak satın alınan $ChCl$ ve ürenin ilave bir saflaştırma ve kurutma işlemi yapılmaksızın önceki çalışmalarda belirtildiği üzere [22,27] 1:2 molar oranda karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Erime sıcaklıkları sırasıyla 302 °C ve 133 °C olan $ChCl$ ve üre ile hazırlanan DES için bileşenlerin bir araya getirilmesi yeterli iken, çözücünün oluşumunu hızlandırmak, homojen ve renksiz bir sıvı elde etmek için 80 °C'de bir beher içinde manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Elde edilen çözelti daha sonra liç deneylerinde kullanılmak üzere ağzı kapalı şişede muhafaza edilmiştir. Düşük ötektik noktalı çözücünün hazırlanması şematik olarak Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Düşük ötektik noktalı çözücünün hazırlanması

2.4. Liç İşlemleri

Anot çamurundan bakır liçi için gerçekleştirilen liç deneyleri, ceketli ısıtıcı içerisinde yerleştirilmiş üç boyunlu cam içerisinde gerçekleştirilmiştir. Isıtıcı $\pm 0,5$ °C duyarlılığa sahip bir sıcaklık sensörü ile kontrol edilmiştir. Liç deneyleri sırasında manyetik karıştırıcının hızı 600 devir/dk ve liç çözeltisinin hacmi 50 mL sabit değerlerde tutulmuştur. Solvometalurji çalışmalarında, metal geri kazanımını etkileyen en önemli parametre liç reaktifinin konsantrasyonudur. Düşük ötektik noktalı çözücülerin doğaları gereği iki bileşimin

belirli stokiometrik oranlarda karıştırılmasıyla elde edildiğinden, bu çalışma kapsamındaki deneylerde liç kimyasalının konsantrasyonu ChCl -üre 1:2 molar oranı sabit tutularak diğer parametrelerin bakır anot çamurundan bakır geri kazanımı üzerine etkisi incelenmiştir. ChCl -üre karışımı oda sıcaklığında sıvı formda olsa da oldukça viskoz bir yapıya sahiptir. Liç deneylerinde sıcaklık yüksek tutularak (75-95 °C) viskozitenin olumsuz etkisi bertaraf edilmiştir. Ortogonal deney düzeneği takip edilerek anot çamurundan bakır geri kazanımı üzerine etkisi incelenen parametreler ve seviyeleri Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Anot çamurundan bakır liçinde incelenen deneysel parametreler ve seviyeleri

Parametreler	Seviyeler		
	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
Liç Sıcaklığı (°C)	75	85	95
Liç Süresi (saat)	1	2	4
Katı/Sıvı Oranı (g/L)	1/10	1/15	1/20

Liç deneylerinden sonra katı/sıvı ayrımı vakum pompası yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Düşük ötektik noktalı çözücünün viskoz bir yapıya sahip olması nedeniyle, süzme işlemleri sırasında ayrımı kolaylaştırmak için sıcak hava kullanılmıştır. Erime sıcaklıkları sırasıyla 302 °C ve 133 °C olan ChCl ve üre ile hazırlanan DES için bileşenlerin oda sıcaklığında bir araya getirilmesi yeterli iken, çözücünün oluşumunu hızlandırmak ve homojen bir sıvı elde etmek için 80 °C'de bir beher içinde manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır.

Daha sonra, yeteri kadar seyreltilmiş liç çözeltisi Agilent Technologies marka indüktif eşleşmiş plazma atomik emisyon spektroskopisi (ICP-OES, 720 Axial) cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Liç çözeltisi içindeki bakır miktarı ve anot çamurunun ihtiva ettiği diğer elementlerin oranları (Pb, Sn, Ba, Ni, Zn, Se ve Te) ICP-OES cihazı ile tespit edilirken her bir analizde 3 değer alınmış ve geri kazanım oranı hesaplanırken bu değerlerin ortalaması kullanılmıştır. Metal geri kazanımı değerleri Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{Liç verimi} = \frac{(C * V * SF)}{(m * x * w)} \quad (1)$$

Burada C: ICP-OES analizinden elde edilen değerlerin ortalaması (mg/L), V: liç sonrası elde edilen çözeltinin hacmi (L), SF: ICP-OES analizi öncesi yapılan seyreltme miktarı, m: liç deneylerinde kullanılan anot çamurunun ağırlığı (g), w: Anot çamurunun ihtiva ettiği elementlerin ağırlıkça oranlarıdır (mg/g).

2.5. Optimizasyon Yöntemi

Bu çalışmada bakır anot çamurundan bakır liçi için optimum parametrelerin belirlenmesi amacıyla Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Taguchi yöntemi, yüksek kalitede düşük maliyetli ürün üretmek için kullanılan önemli bir deney tasarım metodudur [28,29]. Liç çalışmalarında cevher veya atıklardan metal geri kazanımını etkileyen çözücü konsantrasyonu ve bileşimi, liç sıcaklığı, çözücü ve cevher temas süresi, cevher/çözücü oranı, liç çözeltisinin pH değeri, cevher veya atıkların tane boyutu gibi birçok parametre vardır [30]. Deney süreçlerinin etkileyen birçok parametre olduğu durumlarda her bir parametrenin her bir seviyesini içeren tüm kombinasyonlar için oldukça fazla deneysel çalışma yapılması gereken durumlarda, Taguchi yöntemi kullanarak çok daha az sayıda deneysel çalışma ile sonuca ulaşmak mümkündür.

Taguchi yöntemi, çok fazla deney yapılmasını gereken durumlar için kendine özgü ortogonal diziler kullanarak geleneksel yöntemden farklı olarak parametre kademelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirme yapmayı önermektedir [31]. Bu çalışmada bakır anot çamurundan bakır liçi için yapılacak olan deneyler için Çizelge 1’de verilen 3 parametre ve 3 seviye için L9 ortogonal deney düzeneği seçilmiştir.

Taguchi yönteminde ortogonal deney düzeneği takip edilerek yapılan deneyler sonucu elde edilen sonuçlar bir dizi eşitlik yardımıyla Sinyal/Gürültü (Signal/Noise, S/N) oranına çevrilerek analiz değişkeni ya da performans istatistiği olarak değerlendirilmektedir. Taguchi, değişkenliği en aza indirmek için deney tasarımı performans kriteri olarak Sinyal/Gürültü oranı değerlerini tanımlamıştır [32]. İncelenen probleme bağlı olarak kullanılabilir çok sayıda performans istatistiği geliştirildiği bildirilmektedir. Sıklıkla kullanılan performans istatistiği formülleri Eşitlik 2-4’de verilmektedir;

En büyük en iyi için,

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

En küçük en iyi için,

$$\left(\frac{S}{N}\right)_S = -10 * \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (3)$$

Nominal en iyi için,

$$\left(\frac{S}{N}\right)_N = 10 * \log\left(\frac{y^2}{s^2}\right) \quad (4)$$

Burada SN_L ve SN_S ; performans istatistikleri, n: tekrar edilen deney sayısı, y: geri kazanılan yüzde metal miktarıdır. Eğer metal geri kazanımı en büyük değer için optimize edilecekse SN_L performans istatistik değeri kullanılır. Bu

çalışmada bakır metali için en yüksek geri kazanım oranı amaçlandığından, her deneyin sonunda metal geri kazanım değerlerini hesaplamak için “en büyük en iyi” performans istatistiği kullanılmıştır.

Taguchi optimizasyon yönteminin en önemli adımlarından biri belirlenen optimum şartlarda elde edilecek sonucu tahmin etmek ve bu sonucu doğrulamaktır. Bu durumda optimum koşuldaki sonucu hesaplamak için Eşitlik 5 kullanılır [33]:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{Tahmini} = \left[\frac{S}{N}\right]_m + \sum_{i=1}^n \left(\left[\frac{S}{N}\right]_i + \left[\frac{S}{N}\right]_m\right) \quad (5)$$

Burada $[S/N]_m$ tüm deneylerin $[S/N]_L$ değerlerinin aritmetik ortalaması, $[S/N]_i$ incelenen her bir parametrenin optimum seviyesindeki $[S/N]_L$ değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Bakır Anot Çamurunun Karakterizasyonu

Liç deneylerinde kullanılan anot çamurunun kimyasal analizi ICP-MS ve kupelasyon yöntemi ile mineralojik yapısı ise önceki çalışmalarımızda belirtildiği üzere [14,15] XRD ve FE-SEM cihazları yardımıyla belirlenmiştir. Anot çamurun kimyasal kompozisyonu ve ihtiva ettiği mineralojik yapılar Çizelge 2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2’den anlaşıldığı üzere bakır anot çamuru önemli ölçüde bakır, kalay ve kurşun elementlerinden oluşmaktadır. Bu elementlerin yanı sıra liç deneylerinde kullanılan bakır anot çamurunun az miktarda baryum, kükürt, nikel, antimon, stronsiyum, çinko ve bizmut elementlerini de ihtiva ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmalarda kullanılan bakır anot çamurunun kayda değer oranda kıymetli metal (21,9 ppm Au ve 2204,2 ppm Ag) içerdiği belirlenmiştir. Bakır anot çamurları genellikle selenyum ve tellür elementleri için birincil kaynak olarak gösterilmektedir. Liç çalışmalarında kullanılan bakır anot çamurunun 413 ppm selenyum ve 83 ppm tellür elementlerini içerdiği belirlenmiştir.

Çizelge 2. Bakır anot çamurunun kimyasal ve mineralojik analizi

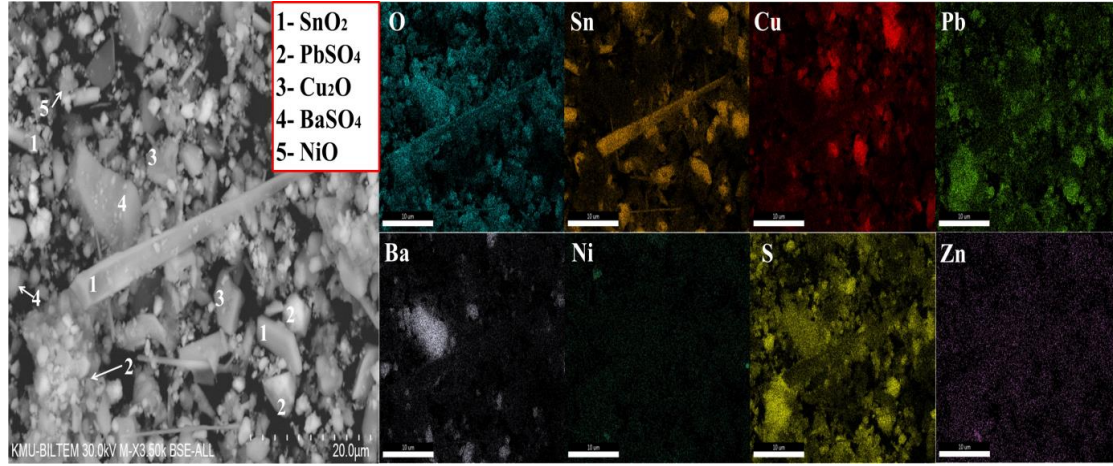
Element	Tenör (%)	Bileşik
Cu	23,10	**CuO, Cu ₂ O, CuS, CuSe ₂
Pb	20,51	**PbSO ₄
Sn	15,42	**SnO ₂
Ba	5,87	**BaSO ₄
S	4,11	
Ni	0,82	**NiO
Sb	0,24	**SbAsO ₄
Sr	0,14	
Zn	0,13	***ZnO
Bi	0,11	***Bi ₂ O ₃ / BiAsO ₄
Ag*	2204,2	***Ag ₂ SO ₄ , Ag ₂ Se, Ag ₂ Te, CuAgSe, AgCl, (Ag/Au)Te ₂ , Ag ₂ S, Ag ₂ O
Se*	413	***Ag ₂ Se, Cu ₂ Se, CuAgSe, Se
Te*	83	***Ag ₂ Te, Cu ₂ Te, (Ag/Au)Te ₂ , Te
Au*	21,9	***Au, (Ag/Au)Te ₂
* Anot çamuru bünyesindeki miktarları ppm seviyesindedir.		
** XRD analizi ile tespit edilen yapılar [14,15]		
*** Anot çamuru bu bünyesindeki muhtemel fazlar [34]		

Li ve arkadaşları [34] yaptıkları bir çalışma ile dünya genelinde farklı rafinerilerde ortaya çıkan bakır anot çamurlarının farklı kimyasal yapılar gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada araştırmacılar, bakır anot çamurlarının elementel olarak %7–53 aralığında bakır, %0,016–1,04 aralığında altın, %0,22–22,25 aralığında gümüş elementi içerebileceğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan bakır anot çamurunun kimyasal kompozisyonu farklı rafinerilerde ortaya çıkan diğer bakır anot çamurları ile karşılaştırıldığında altın ve gümüş gibi kıymetli metallerin önceki çalışmalarda belirtilen oranlara göre oldukça az olduğu yapılan kimyasal analiz ile ortaya konmuştur. Bu durumun temel sebebi, anot çamurunun temin edildiği bakır üretim tesisinde çoğunlukla daha önce rafine edilmiş hurda bakır malzemelerinin ham madde olarak kullanılmasıyla açıklanabilir.

Bu çalışmada kullanılan bakır anot çamurunun ana yapısını PbSO₄ ve SnO₂ bileşikleri oluşturmaktadır. Bu yapılarla birlikte bakır anot çamurunun içerisinde bakır CuO, Cu₂O ve CuSe₂ şeklinde bulunmaktadır. Ayrıca, bakır anot çamuru

içerisinde BaSO₄ ve SbAsO₄ bileşiklerinin bulunduğu da tespit edilmiştir. Anot çamurunun ihtiva ettiği bilinen altın, gümüş, selenyum ve tellür metalleri ve bu metallerin diğer elementlerle oluşturduğu bileşikler düşük miktarları nedeniyle XRD analizi ile tespit edilememiştir. Li ve arkadaşlarının [34] yaptıkları çalışmaya göre anot çamurunun ihtiva ettiği kıymetli metallerin olası bileşikleri Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Bakır anot çamurunun detaylı mineralojik analizi alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) cihaz yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Anot çamuru her hangi bir kaplama yapılmaksızın enerji dağılımlı spektroskopi (EDS) ile donatılmış SEM cihazı ile analiz edilmiştir. SEM analizinde renkli haritalama yöntemi kullanılmış ve anot çamurunun ihtiva ettiği ana elementler farklı renklere temsil edilmiştir. Elementel haritalama yönteminde oksijen mavi, kalay turuncu, bakır kırmızı, baryum beyaz, nikel koyu yeşil, kükürt sarı ve çinko mor renk ile gösterilmiştir. Anot çamurunun seçili alanı için SEM görüntüsü ve elementel haritalama analizinin sonucu Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Bakır anot çamurunun seçili alanı için SEM görüntüsü

Şekil 2’de verilen bakır anot çamurunun seçili alanı için SEM görüntüsü incelendiğinde, bakır anot çamurunun hem şekil hem de boyut olarak homojen bir yapıda olmadığı tespit edilmiştir. Bakır anot çamurunun içerdiği ağırlıkça fazla olan elementlerin (Cu, Pb, Sn ve O) numune içerisinde homojen ve farklı şekillerde dağıldığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra miktarca daha az olan baryum ve nikel elementleri seçili alan içerisinde farklı noktalarda bileşikler oluşturmuşlardır. Bakır anot çamurunun sahip olduğu ana fazlardan SnO₂ iğnemsî bir yapıda olduğu diğer ana fazların ise farklı boyut ve şekillerde olduğu SEM analizi ile tespit edilmiştir.

3.2. Düşük Ötektik Noktalı Çözücü ile Yapılan Liç Çalışmaları

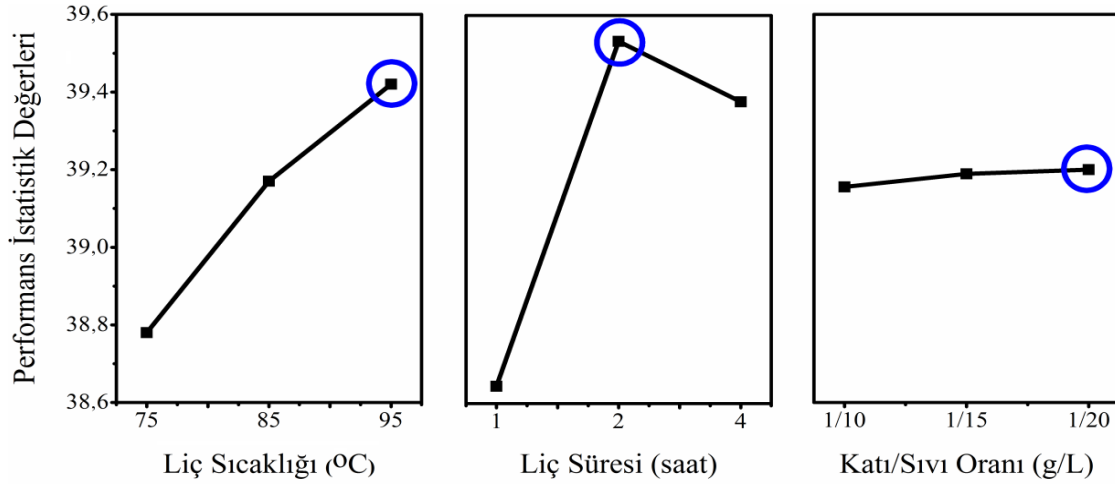
Bakır anot çamurundan ChCl-üre (DES) kullanılarak yapılan deneyler sonrasında bakırın çözeltilmeye alma oranları, elde edilen metal yüklü liç çözeltilisindeki bakır miktarının ICP-OES cihazı ile tespit edilmesi sonrası Eşitlik 1 kullanarak hesaplanmıştır. Bakır anot çamurundan bakır çözeltilmeye alınması için yapılan deneylerden sonra elde edilen liç verimi oranları ve en büyük en iyi performans istatistik değerleri (S/N_L) Çizelge 3’de gösterilmektedir.

Çizelge 3. DES kullanılarak gerçekleştirilen bakır liçinde takip edilen L9 deney düzeneği, bakırın çözeltilmeye alınma oranları ve performans istatistik değerleri

Deney No	Parametre ve Seviyeleri			Bakır Geri Kazanımı (%)	[S/N] _L
	Liç Sıcaklığı (°C)	Liç Süresi (saat)	Katı/Sıvı Oranı (g/mL)		
1	75	1	1/10	81,68	38,24
2	75	2	1/15	91,45	39,22
3	75	4	1/20	87,82	38,87
4	85	1	1/15	85,14	38,60
5	85	2	1/20	94,15	39,47
6	85	4	1/10	93,76	39,44
7	95	1	1/20	89,82	39,06
8	95	2	1/10	95,58	39,60
9	95	4	1/15	95,24	39,57

Yapılan analizler sonrası elde edilen sonuçlar kullanarak her bir parametre için performans istatistik grafikleri Minitab 17 programı kullanılarak çizilmiştir. ChCl-üre kullanılarak anot çamurundan

bakırın çözeltiliye alınması için incelenen parametrelerin performans istatistik grafikleri Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. ChCl - üre kullanılarak bakır anot çamurundan bakır geri kazanımı için incelenen parametrelerin performans istatistik grafikleri

Şekil 3'de gösterilen performans istatistik grafiklerine, ChCl-üre kullanılarak anot çamurundan bakırın çözeltiliye alınması için belirlenen optimum koşullar; liç sıcaklığı: 95 °C, liç süresi: 2 saat ve katı/sıvı oranı 1/20 olarak tespit edilmiştir. Bu koşullar altında ChCl-üre ile

bakır anot çamurundan tahmini bakır liç verimi Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu deneyler sonucunda bakırın çözeltiliye alınması için belirlenen optimum koşullar, tahmini bakır liç verimi ve doğrulama deneyinin sonuçları Çizelge 4'de gösterilmektedir.

Çizelge 4. ChCl-üre kullanılarak elde edilen bakırın çözeltiliye alınması için optimum koşullar, tahmini hesaplama ve doğrulama deneyinden elde edilen bakır liç verimleri

Parametre	Optimum Seviye Koşulları	
	Değer	Seviye
Liç Sıcaklığı	95 °C	3
Liç Süresi	2 saat	2
Katı/Sıvı Oranı	1/20 g/mL	3
Tahmini bakır liç verimi	%96	
Doğrulama deneyinden elde edilen bakır liç verimi	%98	

Çizelge 4'te görüldüğü üzere belirlenen optimum koşullar altında tahmini bakır liç verimi %96 olarak hesaplanmış, yapılan doğrulama deneyi sonrasında ise %98 bakır liç verimi değerli elde

edilmiştir. Bu sonuçlara göre DES kullanarak optimum koşullar altında tahmin edilen bakır liç verimi değeri ile doğrulama deneyi sonrası elde

edilen sonuç arasında iyi bir ilişki olduğu söylenebilir.

Bu deney sisteminde incelenen parametrelere ait performans istatistik grafikleri o parametrenin proses üzerindeki etkisini ifade etmez. Proses

üzerinde hangi parametrenin en etkin olduğunu belirlemek için birçok araştırmacı [28,35] ANOVA analizine başvurmuştur. Bu yüzden, DES çözücü sistemi içerisinde anot çamurundan bakır liç verimi için ANOVA analizi yapılmıştır. ANOVA analizinin sonuçları Çizelge 5'te verilmektedir.

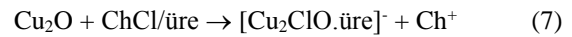
Çizelge 5. ChCl ve üre ile hazırlanan DES kullanılarak anot çamurundan yapılan bakır liç için varyans analizi

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Toplamının Ortalaması	F – Değeri	% Etki
Liç Sıcaklığı	2	65,746	32,8730	9,22	36,50
Liç Süresi	2	114,273	57,1363	16,02	63,42
Katı/Sıvı Oranı	2	0,139	0,0695	0,02	0,08
Hata	2	7,134	3,5668		
Toplam	8	187,291			

Çizelge 5'de verilen ANOVA analizine göre L9 deney düzeneği ile incelenen parametreler arasında ChCl ve üre ile hazırlanan DES içerisinde anot çamurundan bakır liçini etkileyen en önemli parametreler %63,42'lik oranla liç süresine ve %36,50'lik oranla liç sıcaklığına aittir. Ayrıca, ANOVA analizinden elde edilen R² katsayısı, modelin sistemi ne kadar iyi açıklandığı ifade eder. Bu durumda, ANOVA analizinden elde edilen katsayısının değeri (R²) 0,9619 olarak elde edilmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalarda [36,37] belirttiği üzere ChCl ve üre ile hazırlanan DES içerisindeki Cl⁻ iyonları çözünme mekanizmasında etkili iken, Ch⁺ iyonu çözünme mekanizmasına katılmamaktadır. Liç işlemleri sırasında Cl⁻ iyonları metal-oksijen bağımlı olarak metal merkezine ürenin sahip olduğu oksijenin bağlanması ve ürenin sıvı olarak görev yapması sonucunda metal kompleks anyonlarının (MxCIO.[üre]⁻) oluşumu ile çözünme gerçekleşmektedir. Ayrıca, önceki çalışmalarda ifade edildiği üzere [38-40] metal bileşenin oksitli ya da sülfürlü olmasından bağımsız olarak ChCl ve üre ile hazırlanan çözücü içerisinde metallerin çözünmesi sonrasında, nihai liç çözeltisi içerisinde metal kompleks anyonların oluştuğu

bilinmektedir. Bu nedenle bakır anot çamurunun DES ile liç işleminden sonra, liç çözeltisi içerisinde [CuClO.üre]⁻ kompleks anyonlarının meydana geldiği ifade edilebilir. Bu bilgilerin ışığı altında, bakır anot çamurunun ihtiva ettiği bakır içerikli bileşiklerin çözünme reaksiyonları Eşitlik 6 ve 7'deki gibi ifade edilebilir:



Derin ötektik noktalı çözücüler ile yapılan liç işlemleri sonrasında liç çözeltisinde nihai ürün olarak Cu-üre kompleks oluşmaktadır. Oluşan bu kompleks iyonların sıvıdan metal kazanım proseslerini engellemediği ve elektrokazanım, sementasyon ve solvent ekstraksiyon gibi sıvıdan metal kazanım proseslerinin uygulanabileceği ifade edilmiştir [21,37].

Son yıllarda, bakır anot çamurlarından bakır liç çözeltisine almak için farklı piro-hidrometalurjik yöntemler ve liç reaktifleri kullanılmıştır. Çizelge 6'da bakırın anot çamurlarından çözeltiye alınması için kullanılan yöntemlerin düşük ötektik noktalı çözücüler ile kıyaslaması verilmektedir.

Çizelge 6. Farklı yöntemlerle bakır anot çamurlarından bakır liç verimleri

Liç Reaktifi	Bakır Geri Kazanımı (%)	Referans
Kavurma & H ₂ SO ₄ Liçi	99,67	41
NaOH & H ₂ SO ₄ Liçi	95	42
HCl & H ₂ O ₂	100	43
HNO ₃	97	8
1-bütül-3-metil imidazolyum hidrojen sülfat	87,52	15
1-etil-3-metil imidazolyum hidrojen sülfat	50,16	44
Ultrason destekli H ₂ SO ₄ Liçi	99	45
Düşük Erime Noktalı Çözücü	98	Mevcut çalışma

Çizelge 6'da görüldüğü üzere, bakır anot çamurlarından bakır liçi için çoğunlukla asit liçi kullanılmıştır. Bu çalışmalarda bakır geri kazanım değerleri her ne kadar yüksek olsa da, çok miktarda asit kullanımı, liç işlemlerinde ilave ekipman kullanılması ve asitlerin doğada doğrudan kullanımları meydana gelecek çevresel zararlardan ötürü dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca yenilikçi çözücü olarak kullanılan imidazolyum kökenli iyonik sıvıların maliyeti nedeniyle bakır liçinde kullanımları kısıtlanmaktadır. DES ile yapılan bu çalışmada, yüksek oranda bakır liç verimi elde edilmesi ve DES'lerin maliyetlerinin az olması, ihmal edilebilir buhar basıncı, tutuşmazlık, liç ekipmanlarında korozyona sebep olmamaları ve bakteriler tarafından parçalanabilir (biyolojik olarak parçalanabilme) olmaları gibi çevre ve insan sağlığına karşı olumlu özelliklerinden ötürü bakır anot çamurlarından bakırın çözündürülmesi için uygun çözeltiler olarak düşünülebilir. Kolin klorür ve üre ile hazırlanan DES'in sağladığı avantajlarla birlikte bu karışımın sülfürik asite (26,7 cP, 25 °C) nazaran sahip olduğu yüksek vizkozitesi (750 cP, 25 °C) hidrometalurji çalışmalarında dezavantaj sağlamaktadır. Bu dezavantajın giderilmesi için liç işlemlerinden sonra yapılan katı-sıvı ayırımının sıcak bir ortamda yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte daha düşük viskoziteye sahip düşük erime noktalı çözücülerin bakır veya diğer değerli metallerin eldesinde kullanımları araştırılabilir.

3.3. Liç Atığının Karakterizasyonu

Bakır anot çamurundan bakırın çözeltiliye alınması için belirlenen optimum şartlar (95°C, 2 saat,

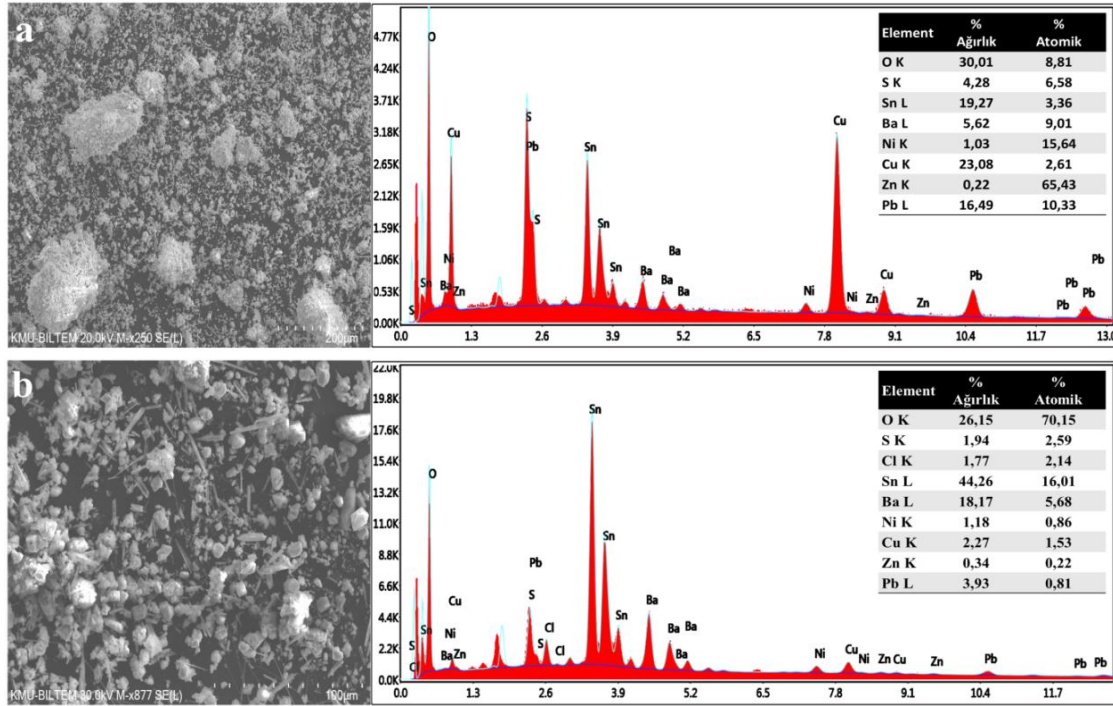
1/20 g/mL) altında DES ile yapılan liç deneyi sonrası elde edilen liç atığının kimyasal ve mineralojik analizi SEM/EDS analizi ile gerçekleştirilmiştir. Liç deneylerinde kullanılan anot çamurunun ve optimum şartlar altında yapılan liç deneyinden sonra elde edilen liç atığının SEM/EDS analizi Şekil 4'de verilmiştir.

Liç atığının ve bakır anot çamurunun SEM/EDS analizine göre (Şekil 4) çalışmalarda kullanılan bakır anot çamurunun seçili alan için SEM/EDS analizi incelendiğinde, numuneye ait EDS analizi bölgesel olarak değişiklik göstermesi muhtemel olsa bile ICP-MS ve kupelasyon yöntemleri ile belirlenen bakır anot çamurunun kimyasal analizi ile uyum göstermektedir. Şekil 4.b'de optimum şartlar altında yapılan doğrulama deneyinden sonra elde edilen liç atığının SEM/EDS analizine göre, liç atığı içerisinde Sn, Ni ve Ba elementlerinin ağırlıkça oranlarının arttığı gözlemlenmiştir. Buna ek olarak başlangıçta iğnemi yapıya sahip olan SnO₂'nin ise şekil olarak değişikliğe uğramadığı tespit edilmiştir. Bu durumun elementlerin ve oluşturdukları fazların DES içerisinde çözünmediği ya da çok az çözünürlüğe sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte bakır anot çamurunun ana yapısını oluşturan bakır ve kurşun elementlerinin ağırlıkça oranları sırasıyla %23,08 oranından %2,27 oranına ve %16,49 oranından %3,93 oranına düştüğü gözlemlenmiştir. Bu sonuç DES içerisinde bakır ile birlikte kurşun elementinin sahip olduğu PbSO₄ yapısının da oldukça yüksek miktarda çözündüğünü göstermektedir.

Bakır anot çamurunun ihtiva ettiği diğer elementlerin DES içerisinde çözünürlükleri

optimum şartlar altında yapılan liç deneyinden sonra elde edilen metal yüklü liç çözeltisinin ICP-OES analizi sonucunda Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır. Başlangıç numunesinde bakır gibi miktarda fazla bulunan Pb, Sn ve Ba elementleri dışında az

miktarda bulunan Ni ve Zn elementleri ve ppm seviyesinde bulunan Au, Ag, Se ve Te elementleri de takip edilmiştir. Anot çamurunun ihtiva ettiği elementlerin DES içerisinde çözünürlükleri Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. a) bakır anot çamuruna ve b) liç atığına ait SEM/EDS analiz sonuçları

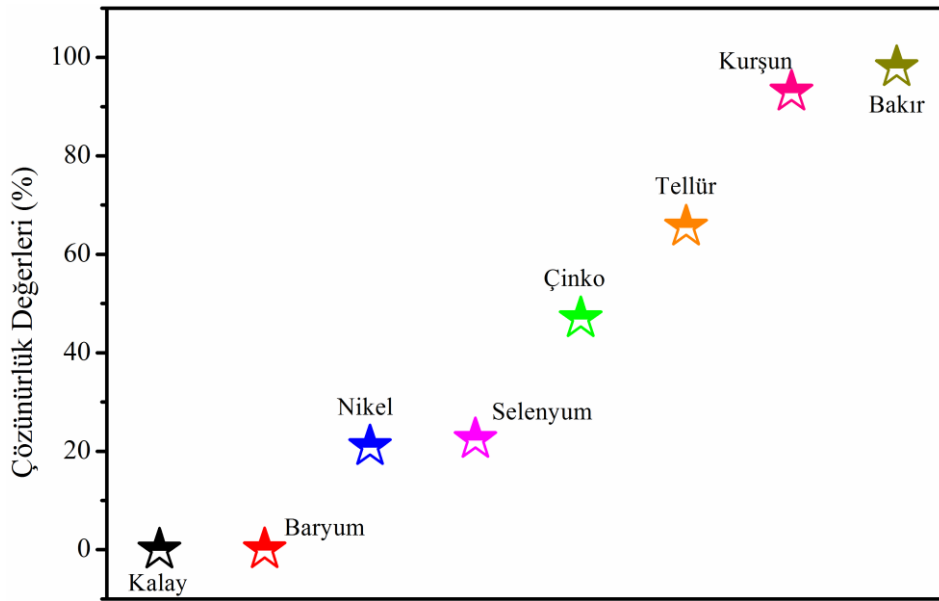
Şekil 5'ten anlaşılacağı üzere, bakır anot çamuru içerisinde $BaSO_4$ olarak bulunan baryum elementinin DES içerisinde çözünürlüğü oldukça azdır (%0,07). Optimum şartlar altında yapılan liç deneyinde bakır anot çamurunun ana elementlerinden olan nikel ve çinko elementlerinin çözünürlük oranları sırasıyla %21 ve %47 olarak belirlenmiştir. Numune içerisinde ppm seviyesinde bulunan selenyum ve tellür elementlerinin çözünürlük oranları sırasıyla %20 ve %65,6 olarak tespit edilmiştir. Bakır anot çamurunun ana yapısını oluşturan kalay DES içerisinde çözünmezken, kurşun ve bakır elementlerinin çözünürlük oranları sırasıyla %93 ve %98 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, DES ile liç işlemlerinin sonucunda elde edilen liç çözeltisinin ICP-OES cihazı yardımıyla yapılan analizlerde altın ve

gümüş elementleri belirlenememiş olup tayin sınırlarının altında kalmıştır.

Önceki çalışmalarda belirtildiği üzere farklı bileşenlerle hazırlan DES'lerin farklı metal oksitleri çözebildikleri ifade edilmiştir [19,20]. Yapılan bu çalışmada bakır anot çamurundan bakırın çözeltilmeye alınması hedeflenmiş olsa da bakır anot çamurunun ihtiva ettiği diğer bazı elementlerin de çözeltilmeye geçtiği tespit edilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalara göre [20,40] Cu_2O , CuO , PbO_2 ve $PbSO_4$ bileşiklerinin $CHCl_3$ ve üre ile hazırlanan DES içerisinde oldukça yüksek çözünürlüğe, NiO bileşiğinin ise daha az çözünürlüğe sahip olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonucunda anot çamurunun ihtiva ettiği elementlerin çözeltilmeye geçme oranlarının literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Yukarıdaki deneysel verilerin ışığı altında, DES liçi bakır ve kurşun endüstrisi için etkili bir proses olarak kullanılabilir. Birçok süreçte olduğu gibi, metal çıkarım işlemlerinden sonra DES'lerin geri dönüşümü ve yeniden kullanımı proses ekonomisi için oldukça önemlidir. Literatürde bulunan bir çalışmada [46], DES'lerin oluşumunun kimyasal

reaksiyonlar içermediğinden ve sadece bileşenler arasında meydana gelen hidrojen bağları ile sentezlendiğinden, DES'lerin geri dönüşümünün kolay olduğu bildirilmiştir. Ayrıca DES'ler, bakır anot çamurunun bakırsızlaştırma (decopperizing) işlemi için güvenli ve ekonomik bir çözücü olarak kullanılabilir.



Şekil 5. Optimum şartlar altında bakır anot çamurunun ihtiva ettiği elementlerin DES içerisinde çözünürlükleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada bakır anot çamurundan bakır geri kazanımı için geleneksel çözücülerin yerine düşük maliyetli, insan ve çevre sağlığına zararı olmayan düşük ötektik noktalı çözücü kullanılmıştır. Liç işlemlerinden önce yapılan kimyasal analize göre elementel olarak anot çamurunun bakır, kurşun ve kalay elementlerinden oluştuğu tespit edilmiştir. Bakır anot çamurunun mineralojik karakterizasyonuna göre $PbSO_4$ ve SnO_2 yapıları bakır anot çamurunun ana yapısını oluşturmaktadır. Bakır içerikli yapıların CuO , Cu_2O , CuS , $CuSe_2$ olduğu tespit edilmiştir.

Liç deneylerinde kullanılan liç reaktifi kolin klorür ve üre bileşenlerinin 1:2 molar oranda

karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Hazırlanan bu DES ile yapılan liç işlemlerinden sonra bakır geri kazanımı için optimum deneysel koşul; 95 °C liç sıcaklığı, 2 saat liç süresi ve 1/20 katı/sıvı oranı olarak belirlenmiştir. Optimum koşullar altında hesaplanan tahmini bakır geri kazanımı ile doğrulama deneyinden elde edilen sonuç arasında uyumlu bir sonuç yakalanmıştır ve doğrulama deneyinden sonra %98 oranında bakır geri kazanımı sağlanmıştır. Bakır geri kazanımı yanında DES ile yapılan liç işlemlerinden sonra yüksek oranda kurşun çözünürlüğü elde edilmiştir. Bu çalışma, metalik bakır üretiminde ortaya çıkan ve değerli atık sınıfına giren bakır anot çamurundan düşük ötektik noktalı çözücüler ile değerlendirilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Bakır anot çamurlarının düşük erime noktalı çözücü ile işlenmesinin hem ülke

ekonomisi hem de çevre ve insan sağlığı için faydalı sonuçlar ortaya çıkarması beklenmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasını 116M057 nolu proje numarası ile destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

- Schlesinger, M.E., Sole, K.C., Davenport, W.G., 2011. Extractive Metallurgy of Copper. Elsevier, 472.
- Topçu, M.A., Rüßen, A., Derin, B., 2019. Minimizing of Copper Losses to Converter Slag by a Boron Compound Addition. *J Mater Res Technol* 8, 6244-6252. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.018>.
- Lee, J.C., Kurniawan, K., Chung, K.W., Kim, S., 2020. Metallurgical Process for Total Recovery of all Constituent Metals from Copper Anode Slimes: A Review of Established Technologies and Current Progress. *Met Mater Int*. <https://doi.org/10.1007/s12540-020-00716-7>.
- Dehghanpoor, M.H., Zivdar, M., Torabi, M., 2016. Extraction of Copper and Gold from Anode Slime of Sarcheshmeh Copper Complex. *J South African Inst Min Metall*, 116, 1153–1157. <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2016/v116n12a9>.
- Jin, Y., Kim, J., Guillaume, B., 2016. Review of Critical Material Studies. *Resour Conserv Recycl* 113, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.003>.
- Hait, J., Jana, R.K., Kumar, V., Sanyal, S.K., 2002. Some Studies on Sulfuric Acid Leaching of Anode Slime with Additives. *Ind Eng Chem Res* 41, 6593–6599. <https://doi.org/10.1021/ie020239j>.
- Yang, H., Li, X., Tong, L., Jin, Z., Yin, L., Chen, G., 2018. Leaching Kinetics of Selenium from Copper Anode Slimes by Nitric Acid-Sulfuric Acid mixture. *Trans Nonferrous Met Soc China* 28, 186–192. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(18\)64652-7](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(18)64652-7).
- Li, X., Yang, H., Jin, Z., Tong, L., Xiao, F., 2017. Selenium Leaching from Copper Anode Slimes Using a Nitric Acid-Sulfuric Acid Mixture. *Metallurgist* 61, 348–356. <https://doi.org/10.1007/s11015-017-0500-2>.
- Xiao, L., Wang, Y., Yu, Yang., Fu, G., Liu, Y., Sun, Z., Ye, S., 2019. Enhanced Selective Recovery of Selenium from Anode Slime Using MnO₂ in Dilute H₂SO₄ Solution as Oxidant. *J Clean Prod*, 209, 494–504. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.144>.
- Tokkan, D., Kuşlu, S., Çalban, T., Çolak, S., 2013. Optimization of Silver Removal from Anode Slime by Microwave Irradiation in Ammonium Thiosulfate Solutions. *Ind Eng Chem Res*, 52, 9719–9725. <https://doi.org/10.1021/ie400345g>.
- Wang, S., Cui, W., Zhang, G., Zhang, L., Peng, J., 2017. Ultrafast Ultrasound-Assisted Decopperization from Copper Anode Slime. *Ultrason Sonochem*, 36, 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.11.013>.
- Li, D., Guo, X., Xu, Z., Xu, R., Feng, Q., 2016. Metal Values Separation from Residue Generated in Alkali Fusion-Leaching of Copper Anode Slime. *Hydrometallurgy*, 165, 290–294. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.01.021>.
- Guo, X., Xu, Z., Tian, Q., Li, D., 2017. Optimization on Selenium and Arsenic Conversion from Copper Anode Slime by Low-Temperature Alkali Fusion Process. *J Cent South Univ*, 24, 1537–1543. <https://doi.org/10.1007/s11771-017-3558-x>.
- Rüßen, A., Topcu, M.A., 2017. Optimization of Gold Recovery from Copper Anode Slime by Acidic Ionic Liquid. *Korean J Chem. Eng.* 34, 2958–2965. <https://doi.org/10.1007/s11814-017-0200-4>.
- Rüßen, A., Topçu, M.A., 2018 Investigation of an Alternative Chemical Agent to Recover Valuable Metals from Anode Slime. *Chem Pap* 72, 2879–2891. <https://doi.org/10.1007/s11696-018-0511-x>.
- Binnemans, K., Jones, P.T., 2017. Solvometallurgy: An Emerging Branch of Extractive Metallurgy. *J Sustain Metall.* 3, 570–600. <https://doi.org/10.1007/s40831-017-0128-2>.

17. Palden, T., Regadio, M., Onghena, B., Binnemans, K., 2019. Selective Metal Recovery from Jarosite Residue by Leaching with Acid-Equilibrated Ionic Liquids and Precipitation-Stripping. *ACS Sustain Chem Eng.* 7, 4239–4246. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b05938>.
18. Zhang, Q., Vigier, K.D.O., Royer, S., Jerome, F., 2012. Deep Eutectic Solvents: Syntheses, Properties and Applications. *Chemical Society Reviews*, 41(21), 7108-7146. <https://doi.org/10.1039/C2CS35178A>.
19. Abbott, A.P., Capper, G., Davies, D.L., McKenzie, K J., Obi, S.U., 2006. Solubility of Metal Oxides in Deep Eutectic Solvents Based on Choline Chloride. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 51(4), 1280-1282.
20. Abbott, A.P., Capper, G., Davies, D.L., Shikotra, P., 2006. Processing Metal Oxides Using Ionic Liquids. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 115(1), 15-18.
21. Abbott, A.P., Collins, J., Dalrymple, I., Harris, C.P., Mistry, R., Qiu, F., Scheirer, J., Wise, W., 2009. Processing of Electric Arc Furnace Dust Using Deep Eutectic Solvents. *Aust J Chem.* 62, 341–347. <https://doi.org/10.1071/CH08476>.
22. Bakkar, A., Neubert, V., 2019. Recycling of Cupola Furnace Dust: Extraction and Electrodeposition of Zinc in Deep Eutectic Solvents. *J Alloys Compd.* 771, 424–432. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.08.246>.
23. Rüßen, A., Topçu, M., 2017. Investigation of Various Metal Recoveries from Zinc Plant Leach Residue by Choline-Chloride Agent. *Curr Phys Chem.* 7, 273–280. <https://doi.org/10.2174/1877946807666170808120341>.
24. Rodriguez, N. R., Machiels, L., Onghena, B., Spooren, J., Binnemans, K., 2020. Selective Recovery of Zinc from Goethite Residue in the Zinc Industry Using Deep-Eutectic Solvents. *Rsc Adv.* 10, 7328–7335. <https://doi.org/10.1039/D0RA00277A>.
25. Peeters, N., Binnemans, K., Riaño, S., 2020. Solvometallurgical Recovery of Cobalt from Lithium-Ion Battery Cathode Materials Using Deep-eutectic Solvents. *Green Chem.* 22, 4210-4221. <https://doi.org/10.1039/D0GC00940G>.
26. Wang, S., Zhang, Z., Lu, Z.G., Xu, Z.A., 2020. Novel Method for Screening Deep Eutectic Solvent to Recycle Cathode of Li-Ion Batteries. *Green Chem.* 22, 4473-4482. <https://doi.org/10.1039/D0GC00701C>.
27. Abbott, A.P., Capper, G., Davies, D.L., Rasheed, R.K., Shikotra, P., 2005. Selective Extraction of Metals from Mixed Oxide Matrixes Using Choline-Based Ionic Liquids. *Inorg Chem.* 44, 6497–6499. <https://doi.org/10.1021/ic0505450>.
28. Khoei, A.R., Masters, I., Gethin, D.T., 2002. Design Optimisation of Aluminium Recycling Processes Using Taguchi Technique. *J Mater Process Technol.* 127, 96–106. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00273-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00273-X).
29. Taguchi, G., 2005. Chowdhury, S., Wu, Y. *Taguchi's Quality Engineering Handbook.* Wiley, 1696.
30. Guo, Z.H., Pan, F.K., Xiao, X.Y., Zhang, L., Jiang, K.Q., 2010. Optimization of Brine Leaching of Metals from Hydrometallurgical Residue. *Trans Nonferrous Met Soc China*, 20, 2000–2005. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(09\)60408-8](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(09)60408-8).
31. Dhawan, N., Safarzadeh, M.S., Birinci, M., 2011. Kinetics of Hydrochloric Acid Leaching of Smithsonite. *Russ J Non-Ferrous Met.* 52, 209–216. <https://doi.org/10.3103/S1067821211030059>.
32. Farahmand, F., Moradkhani, D., Safarzadeh, M. S., Rashchi, F., 2009. Brine Leaching of Lead-Bearing Zinc Plant Residues: Process Optimization Using Orthogonal Array Design Methodology. *Hydrometallurgy*, 95, 316–324. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2008.07.012>.
33. Kim, S.M., Park, K.S., Do Kim, K., Park, S. D., Kim, H.T., 2009. Optimization of Parameters for the Synthesis of Bimodal Ag Nanoparticles by Taguchi Method. *J Ind Eng Chem.* 15, 894–897. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2009.09.019>.
34. Liu, G., Wu, Y., Tang, A., Li, B., 2020. Recovery of Scattered and Precious Metals from Copper Anode Slime by Hydrometallurgy: A Review. *Hydrometallurgy*, 197, 105460-105476. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105460>.

35. Pérez, K., Toro, M., Saldaña, M., Rodriguez, E. S., Robles, P., Torres, D., Ricardo, I.J., 2020. Statistical Study for Leaching of Covellite in a Chloride Media. *Metals*, 10, 477. <https://doi.org/10.3390/met10040477>.
36. Abbott, A.P., Capper, G., Davies, D.L., Shikotra, P., 2006. Processing Metal Oxides Using Ionic Liquids. *Miner Process Extr Metall*, 115, 15–18. <https://doi.org/10.1179/174328506X91293>.
37. Bakkar, A., 2014. Recycling of Electric Arc Furnace Dust Through Dissolution in Deep Eutectic Ionic Liquids and Electrowinning. *J Hazard Mater*, 280, 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.07.066>.
38. Xie, X., Zou, X., Lu, X., Zheng, K., Cheng, H., Xu, Q., Zhou, Z., 2016. Voltammetric Study and Electrodeposition of Cu from CuO in Deep Eutectic Solvents. *J Electrochem Soc*, 163, 537–543. <https://doi.org/10.1149/2.1241609jes>.
39. Rao, S., Zou, X., Wang, S. Lu, Y., Shi, T., Hsu, H., Xu, Q., Lu, X., 2019. Electrodeposition of Ni-Cu Alloy Films from Nickel Matte in Deep Eutectic Solvent. *Mater Chem Phys*, 232, 6–15. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.04.052>.
40. Yang, H., Reddy, R.G., 2014. Fundamental Studies on Electrochemical Deposition of Lead from Lead Oxide in 2: 1 Urea/Choline Chloride Ionic Liquids. *J Electrochem Soc*, 161, 586. <https://doi.org/10.1149/2.1161410jes>.
41. Dönmez, B., Çelik, C., Çolak, S., Yartaşı, A., 1998. Dissolution Optimization of Copper from Anode Slime in H₂SO₄ Solutions. *Ind Eng Chem Res*, 37, 3382–3387. <https://doi.org/10.1021/ie9800290>.
42. Liu, W., Yang, T., Zhang, D., Chen, L., Liu, Y., 2014. Pretreatment of Copper Anode Slime with Alkaline Pressure Oxidative Leaching. *Int J Miner Process*, 128, 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2014.03.002>.
43. Xing, W.D., Lee, M.S., 2017. Leaching of Gold and Silver from Anode Slime with a Mixture of Hydrochloric Acid and Oxidizing Agents. *Geosystem Eng*, 20, 216–223. <https://doi.org/10.1080/12269328.2017.1278728>.
44. Rüßen, A., Topçu, M.A., 2017. The Effect of EmimHSO₄ (1-Ethyl-3-Methyl-imidazolium Hydrogen Sulfate) on Copper Recovery from Anode Slime. *AKU J Sci Eng*, 17, 696–703. <https://doi.org/10.5578/fmbd.58610>.
45. Ma, Z., Yang, H., Huang, S., Lu, Y., Xiong, L., 2015. Ultra-fast Microwave-assisted Leaching for the Recovery of Copper and Tellurium from Copper Anode Slime. *Int J Miner Metall Mater*, 22, 582–588. <https://doi.org/10.1007/s12613-015-1110-2>.
46. Satlewal, A., Agrawal, R., Bhagia, S., Sangoro, J., Ragauskas, A.J., 2018. Natural Deep Eutectic Solvents for Lignocellulosic Biomass Pretreatment: Recent Developments, Challenges and Novel Opportunities. *Biotechnol Adv*, 36, 2030–2050. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.08.009>.

Çeşitli Dayanımlara Sahip Atık Betonlardan Üretilen Geri Kazanılmış Agregaların Fiziksel ve Geomekanik Özellikleri

Hasan DİLBAS*¹

¹Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Van

Geliş tarihi: 01.02.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Öz

Bu basit ve kapsamlı çalışma, geri kazanılmış agreganın (RA) temel özelliklerini araştırmaktadır ve mevcut agrega standartlarına ek olarak, bu makale RA'nın yoğunluğunu ve su absorpsiyonunu kısa sürede tahmin etmek için basit bir tahmin yaklaşımını önermektedir. Bilindiği gibi, fiziksel testler uzun zaman almaktadır (yaklaşık 72 saat) ve atığın hızlı karakterizasyonu, özellikle geri dönüşüm tesisleri için daha önemlidir. Dolayısıyla, sonuçları genelleştirmek için yapılan testlerde düşük, orta ve yüksek dayanımlı atık betonlardan üretilen RA'lar dikkate alınmıştır. RA'nın temel özellikleri yoğunluk ve su absorpsiyonu olarak kabul edilebilir ve RA'ların geomekanik özelliklerini belirlemek için nokta yük testi kullanılmıştır. Nokta yük testinin dikkate alınmasının nedenleri, testin basitliği ve kısa test süresidir. Elde edilen deney sonuçları dikkate alınarak incelemelerde bulunulmuştur. Ayrıca, RA'nın fiziksel özelliklerini, nokta yük dayanım indeksi (Is(50)) kullanılarak tahmin etmek için denklemler önerilmiş ve tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geri kazanılmış agrega, Noktasal yükleme deneyi, Fiziksel özellikler, Regresyon analizi

Physical and Geomechanical Properties of Recycled Aggregate Sourced by Various Grade Concrete Wastes

Abstract

This simple and comprehensive study investigates main properties of recycled aggregate (RA) and, in addition to current aggregate standards, this paper proposes a simple prediction approach to estimate density and water absorption of RA in a short time. As well-known, physical tests take a long time (approximately 72 hours), and rapid characterization of the waste is more important especially for recycling plants. Hence, in this paper low, medium, and high strength concrete wastes are considered as RA in the tests to generalize the results. The main properties of RA are accepted as water absorption and density and point load test is employed to determine geomechanical property of RAs. The reasons of the consideration of the point load test are the simplicity of the test and the short test duration. Then, the test results are evaluated and examined. Equations to predict the physical properties of RA using the point load strength index (Is(50)) are proposed and satisfactory results are obtained.

Keywords: Recycled aggregate, Point load test, Physical properties, Regression analysis

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Hasan DİLBAS, hasandilbas@yyu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Recycled aggregate (RA) is produced from construction and demolition wastes (CDW) and defined as a concrete material in the last century [1]. The waste problem has been tried to solve in past decades and many research were conducted on CDW to use as RA in concrete (i.e., [2–6]). However, RA presents a variety and has many structural parts such as concrete, marble, PVC, plaster, styropor, gypsum, and tile. Consideration of concrete waste (CW) only in the production of RA limits the undesired the properties of resulting concrete. Because, if RA is sourced by marble, PVC, plaster, styropor, etc., RA negatively effects the performance of recycled aggregate concrete (RAC) reducing the physical and the mechanical properties.

In this view, the properties of RA and RA feature detection speed in tests gain importance. Because tests for complete properties RA take many times and this may cause waste of time. Hence, prediction of properties of RA instead of determination of whole properties of RA comes ahead, and some prediction methods are proposed for this topic. For instance, the relation between water absorption and density of RA is well-known and conversion formulas are proposed in the literature using statistical methods [7]. It is seen that the research of RA on rapid property estimation are rarely found in the literature.

In this research paper, geomechanical, physical and origin properties of RAs sourced by low strength, medium strength and high strength concrete wastes are employed. At first, source concrete properties are determined. Then, at second RA properties are obtained conducting many tests. In the last part, analytical examination is performed, and predicted results are compared with experimental data.

2. MATERIALS AND METHOD

In this study, all strength grades of CWs are considered and 20 cores with 100 mm diameter and 200 mm height are tested under compression load for each grade of CWs (Table 1) (low strength

(<20 MPa), medium strength (20-40 MPa), and high strength (40 MPa>) [8]).

Table 1. RA source parameters and notations of RAs

Notations	RA source strength			
	No. of test data	Average	Standard deviation	Strength grade [8]
RA-L	20	10.8 MPa	1.4 MPa	Low (<20MPa)
RA-M	20	34.5 MPa	1.1 MPa	Medium (20 MPa-40 MPa)
RA-H	20	45.4 MPa	0.9 MPa	High (40MPa>)

Thus, a generalized comprehensive study can be made, and the results are able to be compared. Here, RA sourced by low, medium, and high-grade CWs are named as RA-L, RA-M and RA-H, respectively. CWs are sourced by structural concrete element parts. CW is crushed into parts using lab type jaw crusher. Many CW particles (these are RAs) for each strength grade are employed to determine the geomechanical (point load strength index (Is(50)) and the physical (water absorption and density) properties according to the standards (Table 2-5).

Table 2. Tests applied to RAs

Parameters	Test	No. of data	Standard
Is(50)	Point load test	39	ASTM D5731[11]
%WA	Water absorption test	39	TS EN 12390-7[12]
D	Density test	39	TS EN 12390-7[12]

Point load test is utilized in general to characterize the rock strength and, also can be considered to predict the other properties of rocks. However, in this paper, the test is employed to define Is(50) of RAs and its relation with other RA properties considering irregular shaped samples (Figure 1).



Figure 1. Point load test machine

Table 3. The geomechanical and the physical test results of RA-L

No	Geomechanical Tests					Physical Tests	
	Point load strength index					Water absorption test	Density test
	Particle Dimensions, mm		Point load, N	Is	Is (50)	WA (%)	D (kg/m ³)
1	38	22	284	0.3	0.2	4.17	2000
2	39	16	438	0.6	0.4	12.14	1619
3	34	18	682	0.9	0.7	2.09	1927
4	34	23	430	0.4	0.4	2.76	1941
5	31	28	1210	1.1	0.9	2.64	2187
6	29	28	334	0.3	0.3	6.69	1713
7	30	27	748	0.7	0.6	4.44	2015
8	29	20	692	0.9	0.7	4.37	2025
9	25	21	364	0.5	0.4	3.50	2000
10	28	20	384	0.5	0.4	7.05	1819
11	28	25	280	0.3	0.2	2.26	2076
12	26	17	1012	1.8	1.3	3.56	2707
13	28	16	1410	2.5	1.8	3.48	2493
Average	31	22	636	0.8	0.6	4.55	2040
Standard deviation	5	5	400	0.7	0.5	2.81	317.1

Table 4. The geomechanical and the physical test results of RA-M

No	Geomechanical Tests					Physical Tests	
	Point load strength index					Water absorption test	Density test
	Particle Dimensions, mm		Point load, N	Is (MPa)	Is(50) (MPa)	WA (%)	D (kg/m ³)
1	32	28	1256	1.1	0.9	7.16	1803
2	43	22	622	0.5	0.4	3.44	1943
3	28	34	1018	0.8	0.7	4.18	1971
4	38	25	2625	2.2	1.8	2.43	2200
5	27	28	642	0.7	0.5	2.71	2514
6	31	34	748	0.6	0.5	2.73	2071
7	42	30	1606	1.0	0.9	2.04	2587
8	39	30	2070	1.4	1.2	3.26	2151
9	40	18	410	0.4	0.4	3.40	2801
10	30	28	664	0.6	0.5	1.98	3011
11	40	21	1026	1.0	0.8	3.43	2095
12	34	21	1114	1.2	1.0	6.09	2172
13	28	28	1302	1.3	1.1	2.84	2152
Average	35	27	1162	1.0	0.8	3.51	2267
Standard deviation	6	5	496	0.3	0.3	1.62	376

Table 5. The geomechanical and the physical test results of RA-H

No	Geomechanical Tests					Physical Tests	
	Point load strength index					Water absorption test	Density test
	Particle Dimensions, mm		Point load, N	Is (MPa)	Is(50) (MPa)	WA (%)	D (kg/m ³)
1	33	36	2056	1.4	1.2	0.87	2101
2	32	40	2062	1.3	1.1	3.64	2556
3	30	42	1600	1.0	0.9	7.72	1839
4	26	45	2176	1.5	1.3	2.85	2353
5	36	32	1424	1.0	0.9	3.69	2048
6	14	30	1430	2.7	1.9	3.28	2021
7	42	20	1636	1.5	1.3	1.65	2811
8	33	33	2012	1.5	1.3	2.69	2386
9	31	38	1524	1.0	0.9	2.19	2210
10	36	29	884	0.7	0.6	1.18	2932
11	24	23	1388	2.0	1.5	2.10	2217
12	29	28	1614	1.6	1.3	2.10	2547
13	20	37	1446	1.5	1.2	2.29	2215
Average	30	33	1635	1.4	1.2	2.79	2326
Standard deviation	8	6	352	0.5	0.3	0.93	308

3. RESULTS

In the experiments, the geomechanical and the physical properties of RA are determined. It is

observed that the source quality influences the properties of RA. When the strength of CW increases, the geomechanical properties of RA are affected positively (Figures 2-3).

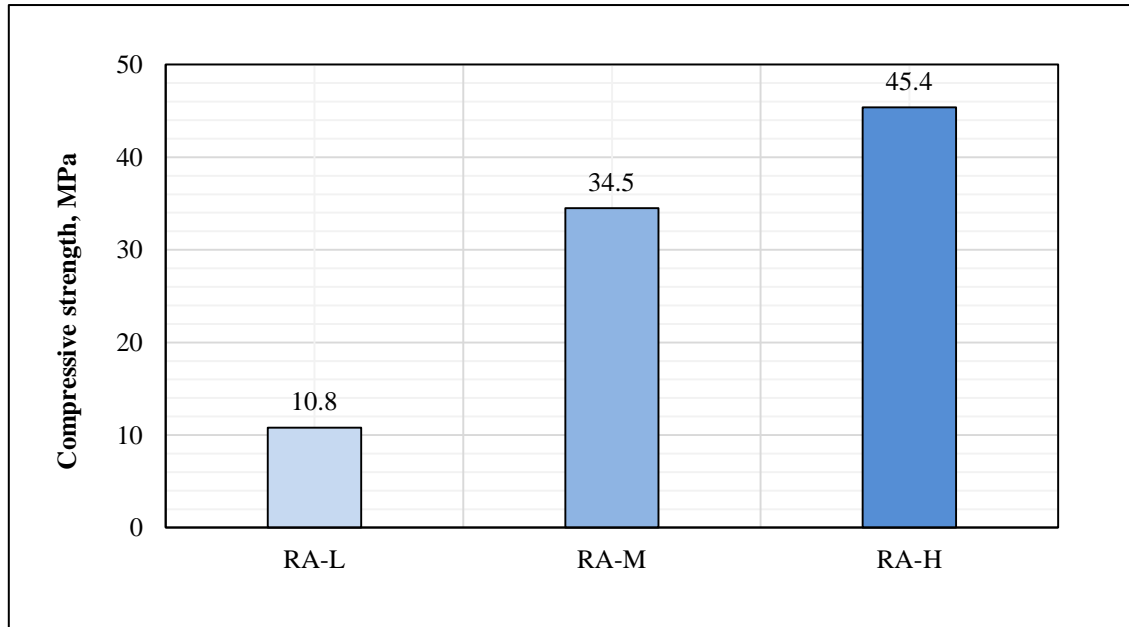


Figure 2. RA source compressive strength values

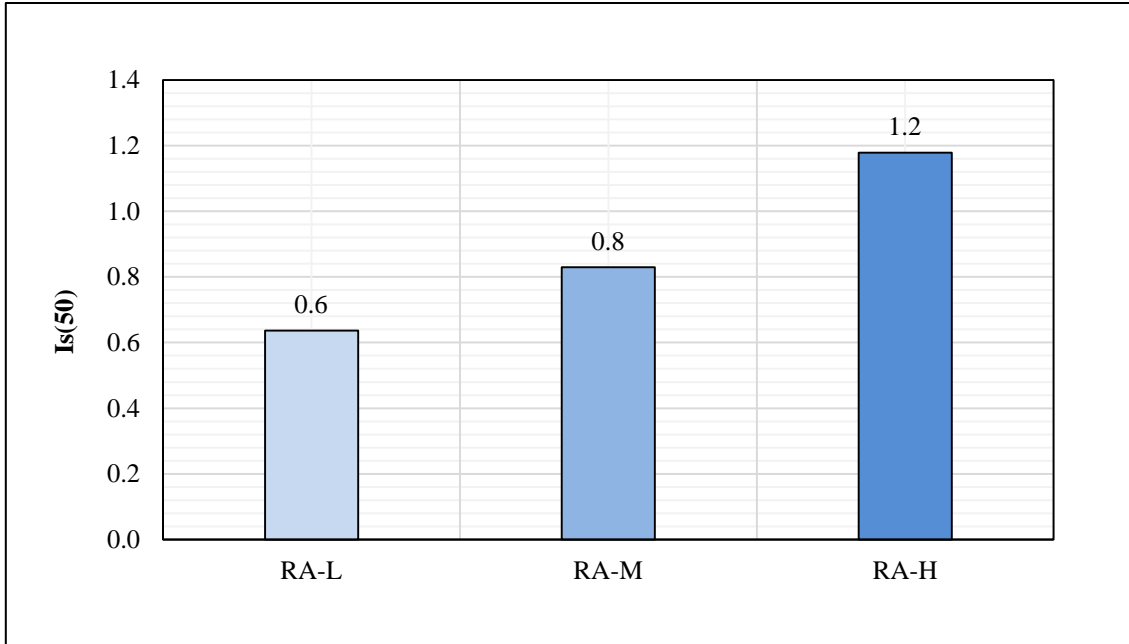


Figure 3. RA point load strength index values

For instance, source strengths of RA-L, RA-M and RA-H are 10.8MPa, 34.5 MPa and 45.4 MPa, respectively and those of Is(50) values are 0.6 MPa, 0.8 MPa and 1.2 MPa, respectively. On the other hand, the similar results are found for the physical properties (Figures 4-5).

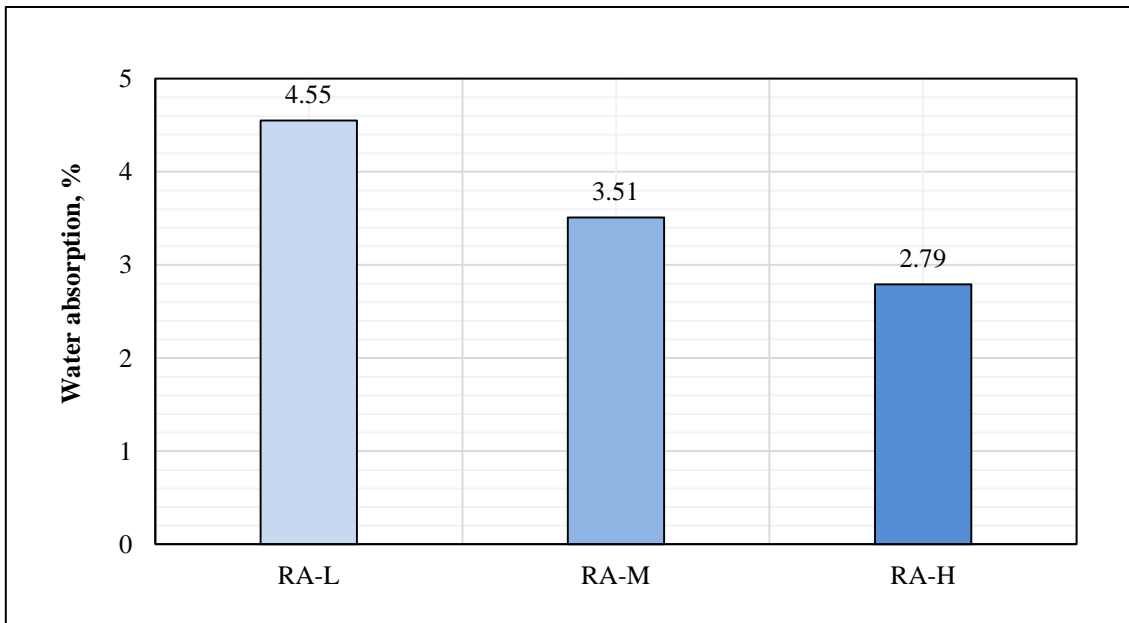


Figure 4. Water absorption vales of RAs

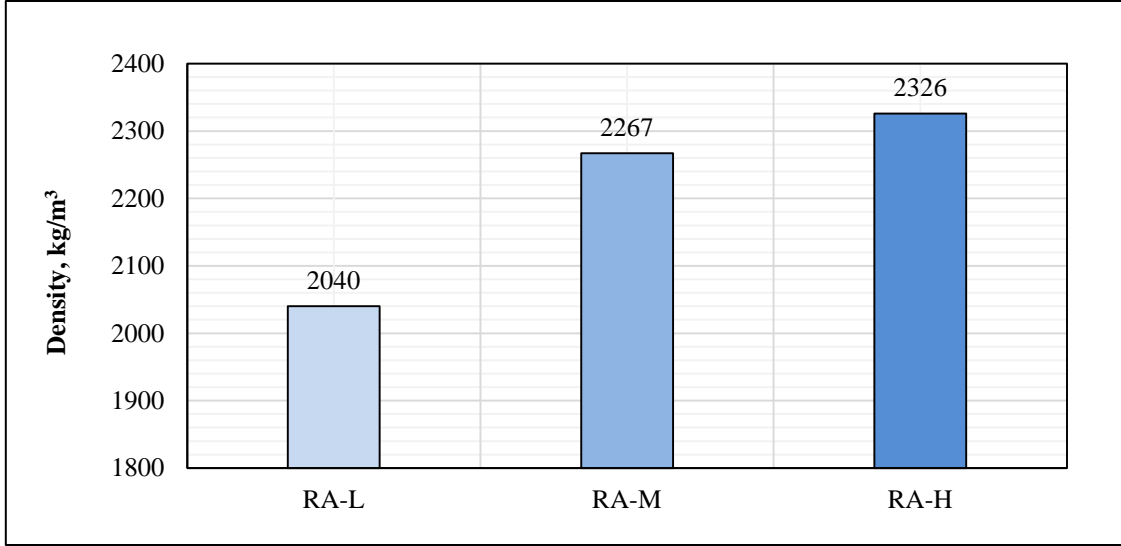


Figure 5. Density values of RAs

3.1. Evaluation of the Geomechanical and the Physical Test Results of RAs

In the literature, Silva et al. conducted a research on the related literature considering the physical properties of RA, and they divided RA qualities into four groups such as A, B, C and D (Figure 6)

[9]. In this classification, A is the best quality and D is the worse quality. According to this, the classification of RAs considered in this paper is properly determined and the qualities of RAs are found (Figure 6). It is observed that the scatter of RAs in each group is approximately homogeneous representing each aggregate class (Figure 6).

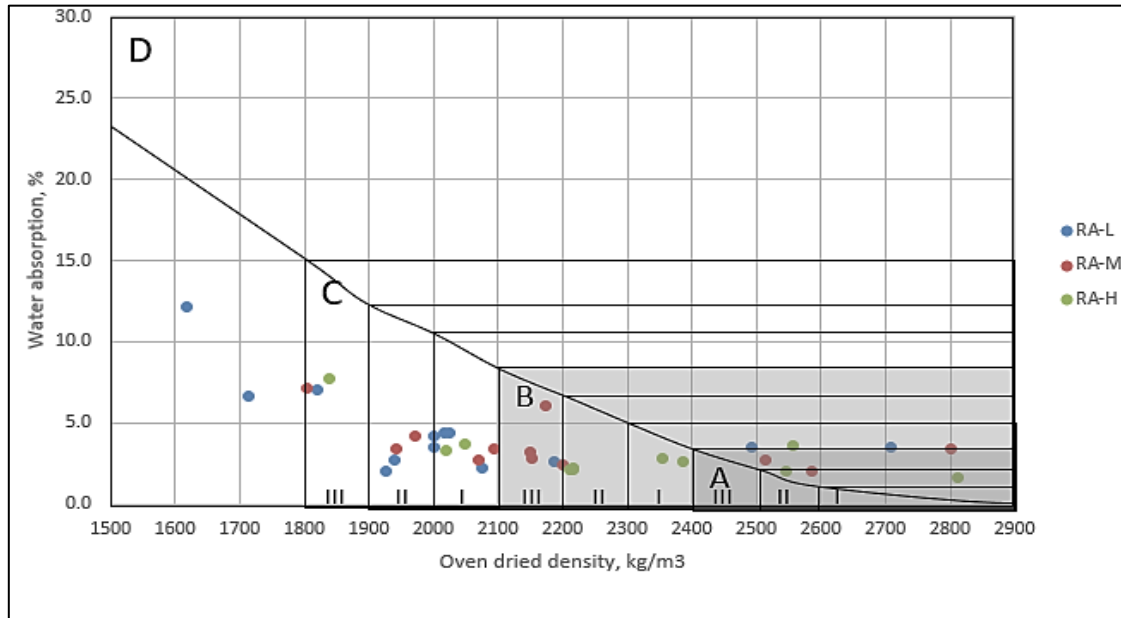


Figure 6. A, B, C and D classes of RAs according to Ref. [9]

Then, the number of RA in A, B, C and D classes and $Is(50)$ values of RAs for RA-L, RA-M and RA-H are determined (Table 6-7). It is found that although RA is sourced by medium/high grade, the resulting properties of RA can be worse or better and scattered after crushing process.

Table 6. The proposed A, B, C and D RA classes according to Ref. [9]

Property	Aggregate class									D
	A			B			C			
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
Min. Oven dried density (kg/m ³)	2600	2500	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800	No limit
Max. Water absorption (%)	1.5	2.5	3.5	5.0	6.5	8.5	10.5	13	15	
Max. Los Angeles abrasion mass loss (%)	40			45			50			

Table 7. Number of RA in A, B, C and D RA quality classes

Source	Number of aggregates in aggregate class			
	A	B	C	D
RA-L	2	1	8	2
RA-M	4	4	5	0
RA-H	5	4	3	0

For instance, RAs in A, B and C classes are obtained from RA-L, RA-M and RA-H. However, D class RA is obtained from RA-L only and high strength source results higher quality RAs generally. In the literature, the effects of RA source quality is investigated and it is found that

only RA sourced by low quality CW resulted worse effects on the resulting concrete [10]. Table 8-9 show an atlas of $Is(50)$ of RAs examined in this paper and mean that when RA quality class increases, the average value of point load strength index increases.

Table 8. Determined point load strength index ($Is(50)$) average values of RA classes

Class	$Is(50)$, MPa			Average in aggregate class
	I	II	III	
A	1.10	0.96	1.53	1.20
B	1.07	1.24	0.98	1.10
C	0.67	0.48	0.83	0.66
D	0.35			0.35

Table 9. Determined point load strength index min-max values of RA classes

Class	$Is(50)$, MPa			Min-max in aggregate class
	I	II	III	
A	0.50-1.89	0.36-1.48	1.29-1.77	0.36-1.89
B	0.90-1.24	0.58-1.84	0.91-1.06	0.58-1.84
C	0.25-1.30	0.22-0.71	0.41-1.15	0.22-1.30
D	0.26-0.43			0.26-0.43

However, the scattered data of $Is(50)$ of RAs due to attached old mortar (AOM) causes a large gap in min-max values of $Is(50)$. The physical test results for each RA class is given in Table 10-11.

It can be seen that from D to A class the water absorption of RA decreases and the density of RA increases.

Table 10. Determined water absorption vales of RAs

Class	Is(50), MPa			Average in aggregate class
	I	II	III	
A	1.6	2.8	3.5	2.6
B	3.1	2.3	3.9	3.1
C	3.5	3.3	7.3	4.7
D	9.4			9.4

Table 11. Determined density vales of RAs

Class	Is(50), MPa			Average in aggregate class
	I	II	III	
A	2918	2565	2600	2694
B	2252	2211	2171	2211
C	2044	1956	1820	1940
D	1666			1666

3.2. Analytical Examinations of Test Results

In this section, the geomechanical and the physical test results are examined and the relations between the properties are determined (Figures 7-8).

Figures 7-8 includes the average values for each class of RA. The trend line of the relations is determined and the analytical relations with high accuracy between the parameters are found ($R^2 \approx 0.7$).

The values of RAs in class D drawn in Figures 7-8 are thought to be deviated unsimilar to those of RAs in classes A, B and C. However, when the data is eliminated in the analytical examinations, R^2 of the equations found in Figures 7-8 get so little. This shows that the meaningfulness of the equations gets worse. Thus, it is concluded that the data is important for the graphs and equations and it is not deviated from others.

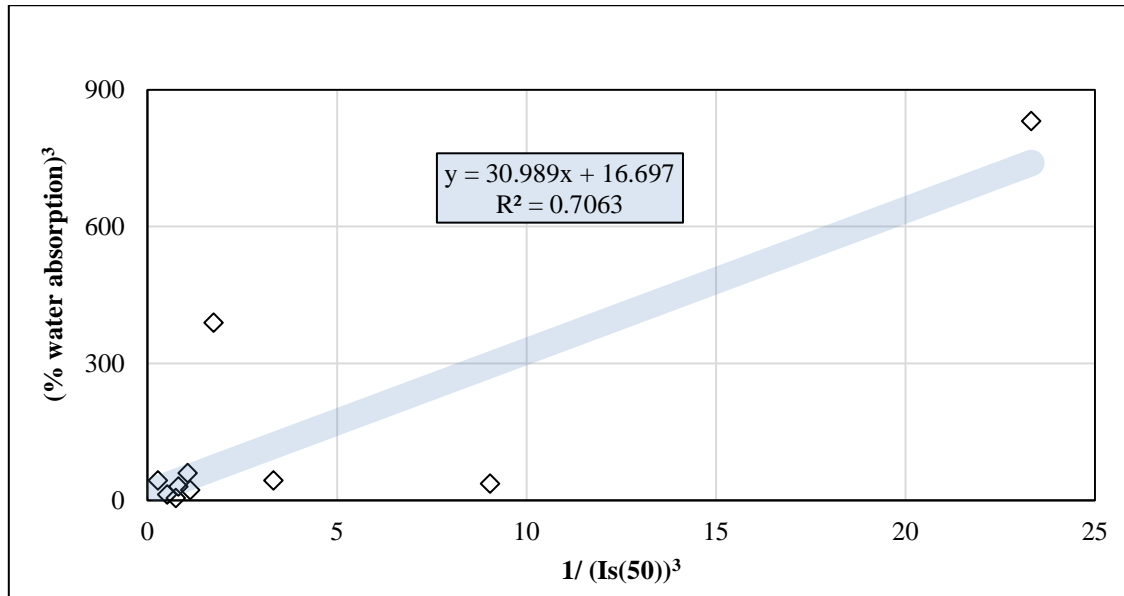


Figure 7. Water absorption and point load strength index relation

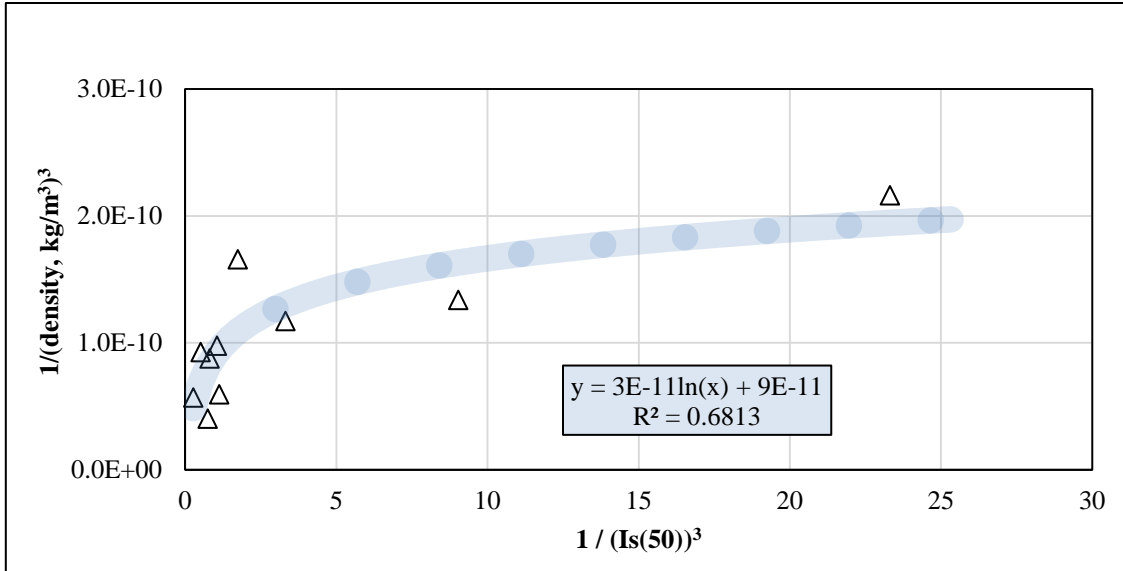


Figure 8. Density and point load strength index relation

The best fitted equations are given in Equation 1-2. It is observed that there is a non-linear relation between the geomechanical and the physical properties of RA. It can be stated that the equations predict the water absorption and the density of RA considering only point load strength index value with a short duration. Thus, it ensures an idea on the physical properties of RA and the grade of RA.

$$WA = \sqrt[3]{\frac{32.078}{(Is(50))^3}} \quad (1)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{1}{3E-11 \ln\left(\frac{1}{Is(50)}\right) + 9E-11}} \quad (2)$$

where WA is water absorption of RA (%), Is(50) is point load strength index of RA (MPa), D is density of RA (kg/m³).

4. CONCLUSIONS

In this paper, the geomechanical and the physical properties of recycled aggregates (RAs) sourced by low, medium, and high strength concrete wastes

(CW) are investigated. Also, the analytical examinations are conducted on the properties. Following conclusions based on the test results are drawn:

- RA quality classification can be used for RAs and an increase in the strength of CW causes an increase in the properties of RA.
- The geomechanical properties such as point load strength index is a parameter that can be simply determined in a short time and can be used for RA. Also, there is a relation between the point load strength index and main physical properties of RA (i.e., water absorption and density).
- The proposed equations have an opportunity to give an idea for the main physical properties of RA and it depends on the point load test result that is determined in a short time.
- Recycling plants, in a normal day, transforms huge amounts of CW into RA and generally many tons of RA are stocked in the plants with no detail. Here, if it is intended to assess the properties/quality/grade of stocked RA, a long time is required. However, the proposed equations can shorten the demanded time and can be useful for the recycling plants.

5. REFERENCES

1. Xiao, J., Li, W., Poon, C., 2012. Recent Studies on Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete in China-A review, *Sci. China Technol. Sci.* 55, 1463–1480. <https://doi.org/10.1007/s11431-012-4786-9>.
2. Duan, Z.H., Poon, C.S., 2014. Properties of Recycled Aggregate Concrete Made with Recycled Aggregates with Different Amounts of Old Adhered Mortars, *Mater. Des.* 58, 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.01.044>.
3. Matias, D., de Brito, J., Rosa, A., Pedro, D., 2013. Mechanical Properties of Concrete Produced with Recycled Coarse Aggregates-Influence of the Use of Superplasticizers, *Constr. Build. Mater.* 44, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.011>.
4. Poon, C.S., Shui, Z.H., Lam, L., Fok, H., Kou, S.C., 2004. Influence of Moisture States of Natural and Recycled Aggregates on the Slump and Compressive Strength of Concrete, *Cem. Concr. Res.* 34, 31–36. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00186-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00186-8).
5. Sanchez, M., Gutierrez, P.A., 2004. Influence of Recycled Aggregate Quality on Concrete Properties, *Proceeding of the International RILEM Conference: The Use of Recycled Materials in Building and Structures*, Barcelona, Spain, 545-553.
6. Topçu, I.B., Günçan, N.F., 1995. Using Waste Concrete As Aggregate, *Cem. Concr. Res.* 25 1385–1390.
7. de Brito, J., Saikia, N., 2013. *Recycled Aggregate in Concrete Use of Industrial, Construction and Demolition Waste*, Springer, XII, 448. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4540-0>.
8. Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M., 2006. *Concrete: Microstructure, Properties and Materails*, Third Edit, The McGraw-Hill, New York, 684. <https://doi.org/10.1036/0071462889>.
9. Silva, R.V., De Brito, J., Dhir, R.K., 2014. Properties and Composition of Recycled Aggregates from Construction and Demolition Waste Suitable for Concrete Production, *Constr. Build. Mater.* 65, 201–217. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117>.
10. Pedro, v de Brito, J., Evangelista, L., 2014. Influence of the Use of Recycled Concrete Aggregates from Different Sources on Structural Concrete, *Constr. Build. Mater.* 71, 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.030>.
11. ASTM International, 2016. *ASTM D5731-16 Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classification*, West Conshohocken, PA. <https://doi.org/10.1520/D5731-16>.
12. Turkish Standards Institution, 2013. *TS EN 12390-7 Tests for Mechanical and Physical Properties of Aggregates-Part 6: Determination of Particle Density and Water Absorption*, Ankara, Turkey.

Comparison of the Performance of K-Nearest Neighbours and Generalized Neural Network in Construction Crew Productivity Prediction

Okyanus ORAL¹, Emel LAPTALI ORAL^{*2}, Mehmet Sait ANDAÇ³

¹Middle East Technical University, Electrical-Electronics Engineering Department, BSc Student, Ankara

²Çukurova University, Civil Engineering Department, Adana

³Alparslan Mah. Uzay Cad. 40/17 Melikgazi, Kayseri

Geliş tarihi: 01.02.2021 Kabul tarihi: 31.03.2021

Abstract

Construction crew productivity prediction is one of the most important issues that affect the realistic prediction of construction duration and cost. Use of different search algorithms like Feed Forward Neural Network, Ant Colony, Artificial Bee Colony, Particle Swarm Optimization, Radial Based Neural Networks and Self Organizing Maps for crew productivity prediction problem have been discussed in previous studies. However, the significant effect of the coherence between the nature of the data and the characteristics of the method used in prediction performance has generally been neglected. The aim of the current research thus has been to analyse the prediction performance of two contemporary learning algorithms; K- Nearest Neighbour (K-NN) and Generalized Neural Network (GRNN) when applied to three different crew (formwork, tiling and masonry) productivity related data sets with different distribution characteristics. Performance of both methods varied with the changing coefficient of variation values. K-NN outperformed GRNN for all data sets and both of the methods had their worst performance on the dataset with the highest variance.

Keywords: Construction crew, Productivity, Artificial neural networks, K-nearest neighbour, Generalized neural network

İnşaat Ekibi Üretkenlik Tahmininde K-En Yakın Komşu ve Genelleştirilmiş Sinir Ağının Performansının Karşılaştırılması

Öz

İnşaat işlerinde ekip verimliliğinin tahmini, inşaat süresi ve maliyetinin gerçekçi tahminini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Ekip verimliliği tahmini için İleri Besleme Sinir Ağı, Karınca Kolonisi, Yapay Arı Kolonisi, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Radyal Tabanlı Sinir Ağları ve Kendi Kendini Düzenleyen Haritalar gibi farklı arama algoritmalarının kullanımı önceki çalışmalarda tartışılmıştır. Ancak, bu çalışmalarda tahmin performansında kullanılan yöntemin özellikleri ile verinin niteliği arasındaki tutarlılığın etkisi genellikle ihmal edilmiştir. Dolayısıyla mevcut araştırmanın amacı, iki çağdaş öğrenme algoritması olan K- En Yakın Komşu (K-NN) ve Genelleştirilmiş Sinir Ağı (GRNN) kullanılarak farklı dağılım özelliklerine sahip üç farklı ekibe (kalıp, döşeme ve duvar) ait verimlilikle

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Emel LAPTALI ORAL, emellaptalioral@yahoo.com

ilgili veri seti için tahmin performansını analiz etmektir. Her iki yöntemin performansı da, değerlerin değişen katsayıları için farklılık göstermiştir. K-NN, tüm veri setleri için GRNN'den daha iyi performans göstermiş olup, her iki yöntem de en yüksek varyansa sahip veri kümesinde en kötü performansa sahiptir.

Anahtar Kelimeler: İnşaat ekibi, Verimlilik, Yapay sinir ağları, K-en yakın komşu, Genelleştirilmiş sinir ağı

1. INTRODUCTION

Precise estimation of duration and in turn cost of a project is one of the vital activities of construction project management as precise estimates together with a proper execution result in successful completion of the projects. Construction management related research has focused on two important issues related to the precise estimation of duration of construction activities. These are firstly determination and secondly prediction of the crew (labour) productivity (man-hour) values.

While man-hour/ crew productivity values can be determined by collecting related data through methods like time-study or work-study, and are used for prediction with a certain amount of confidence in industries where the production is based on repetitive tasks under steady working conditions, prediction becomes a problematic issue for construction works where project-based production leads to varying conditions related with labour, management, working space and the environment from one project to the other. Thus, man hour/crew productivity values determined during one project may be insignificant for the other. Research has focused on predicting crew productivity values for these varying conditions by using methods based on initially statistics and recently machine learning. While continuous developments in neural networks resulted in the application of many new methods to the problem, either focusing on the performance of a single prediction method or comparison of two or more methods by only focusing on one particular activity like formwork, tiling, and so on have not created a firm ground for future research. The significant effect of the coherence between the nature of the data and the characteristics of the method used in prediction performance has generally been neglected. The aim of the current

research thus has been to analyse the prediction performance of two different learning algorithms when the distribution characteristics of data are changed. In order to achieve the aim of the research, productivity data related to three different types of crews; i.e. ceramic tiling, brick wall building, and timber formwork, with different distribution characteristics, i.e. standard variation, coefficient of variation, coefficients of skewness, and kurtosis has been used.

2. LITERATURE REVIEW

Artificial Neural Networks (ANNs), unlike conventional programmes, learn from observational data and figure out their own solutions to the problems. They are a series of algorithms that recognize the underlying relationships in a set of data through a process that mimics the way the human brain operates. Since their first introduction by [1], ANNs have evolved through a broad family of learning algorithms that have advanced the state of the art across multiple domains. Feed Forward Neural Network (FFNN) was the first and has been the most commonly used ANN and [2] were the first to use FFNN for construction crew productivity prediction problem. The productivity of some formwork crews were predicted by training the FFNN with the data related to the place of work, skills of the superintendents, quantity of the formwork, thickness of the walls, degree of repetitions, number of reuses of the formworks, season, site conditions, material handling problems and project gross building area. Data was collected from a previously completed building project. Results were compared with the estimators' predictions and FFNN was reported to be superior in predicting formwork crew productivity rates than the estimators. [3] followed [2] and used FFNN in predicting the performance of not only formwork crews but also concrete

pouring and concrete finishing crews. Applying two variations of FFNN with different number of hidden layers let the researchers to undertake sensitivity analysis related to the effect of variables like crew size, weather conditions (temperature, precipitation, humidity) and amount of work done on prediction performance of FFNNs. Data was collected from eight building projects and results were compared with regression analysis results. [4] then applied FFNN to the prediction of pipe installation crew productivity and like [2] compared the results with the estimators' results. After these pioneering studies, FFNN has not lost its popularity over time. While researchers like [5] and [6] still focused on the performance evaluation

of FFNN by applying it to formwork and concrete crews respectively, some researchers introduced more contemporary methods like Generalized Neural Network (GRNN) [7,8], Self-Organizing Maps (SOM) [8,9], Radial Basis Neural Network (RBNN) [10], Artificial Bee Colony (ABC) [11, 12] for construction crew productivity problem and mostly used FFNN as a comparison benchmark (see Table 1). As summarised in Table 1, while input variables and the type of crews changed depending on the availability of real-life data during each research, method selection depended mainly on the academic trends of the time of research.

Table 1. Literature findings related to ANN applications in construction crew prediction problem

Reference	Nature of Data Crew Type/ Input Variables	Method Proposed/Alter native Method	Superior method/ Results
1) Postas and AbouRizk (1997)	Formwork crews from one particular building project / place of work, skills of the superintendent, quantity of formwork, thickness of the wall, degree of repetition, number of reuses, season, site conditions, material handling problems, project gross building area.	FFNN /Estimators' predictions	FFNN/ Prediction values lying within the interval of $\pm 5\%$ of the actual values.
2) Sönmez and Rowings (1998)	Concrete pouring, formwork, concrete finishing crews from eight building projects/ crew size, temperature, precipitation, humidity, amount of work done.	FFNN/ Multiple Regression Analysis	FFNN / Best MAPE values of 71.7% and 68.1% for concrete pouring and formwork crews, respectively.
3) AbouRizk et al. (2001)	Pipe installation crews from twenty-seven projects/ location, state/province, administrative requirements, year of construction, quality requirements, degree of difficulty.	FFNN/Estimators' predictions	FFNN/ Predicted values within the interval of $\pm 15\%$ of the actual values for 84% of the cases.
4) Dissanayake et al. (2005)	Hydro testing of pipe fabrication crews / no. of pipe modules in progress, equipment availability, no. of cranes, manpower availability, ratio between no. of pipefitters and no. of modules, temperature, precipitation, rework, quality control/testing ratio.	A hybrid neural network combining the GRNN, Fuzzy Logic (FL) and Genetic Algorithms (GA)/ Real activity data	MAE equals to 0,018, MSE equals to 0,001.

Comparison of the Performance of K-Nearest Neighbours and Generalized Neural Network in Construction Crew Productivity Prediction

5) Ezeldin and Sharara (2006)	Formwork, steel fixing, concrete pouring crews from six projects.	ANN/Real life data	Best MAPE values of 44%, 38%, and 42% for formwork assembly, steel fixing, and concrete pouring, respectively.
6) Oral and Oral (2010)	Concrete pouring, reinforcement, formwork /crew size, experience of the crew on the particular site, age of the crew members, payment system, weekly working hours, daily working hours, accommodation distance of the crew members from the site.	SOM/ Multiple Regression Analysis	SOM/ Optimum values when crew size, experience of the crew on the particular site, age of the crew members, payment system is used as an input. Best MAPE values of 25.68%, 38.04%, 25.05% for concrete pouring, reinforcement, formwork crews, respectively.
7) Oral et. al (2012)	Plastering crews/ crew size, experience of the crew on the particular site, age of the crew members.	SOM /GRNN, FFNN	SOM/ Best MAPE values of 41,27%, 45,87% and 45,97% for SOM, GRNN and FFNN, respectively.
8) Gerek et al. (2015)	Masonry crews /crew size, experience of the crew on the particular site, age of the crew members, payment system, weekly working hours, daily working hours, accommodation distance of the crew members from the site, experience of the crew members in the same team, accommodation type, materials used.	RBNN/ FFNN	RBNN / Best MAPE values of 10,152% and 14,942% for RBNN and FFNN, respectively.
9) Dikmen and Sönmez (2015)	Formwork crews data from twenty-two different concrete building projects)/ building size, climatic conditions, work culture, building height, working height.	FFNN/Real life data	FFNN/ min.11% , max. 22% variation from the actual field data.
10) Heravi and Eslamdoost (2015)	Concrete foundation works in two real power plant construction projects / labour competence, poor decision making, motivation of labour, suitable site layout, and proper planning w	FFNN trained with back propagation learning algorithm using Bayesian Regularization and Early stopping methods.	Training based on Bayesian Regularization gives better results in small sized data sets.
11) Oral et al. (2016)	Ceramic tiling crews/ Crew sizes, age distribution of crew members, payment methods.	SOM/ABC	SOM / Best MAPE values of 22,54%, 39,96% for SOM and ABC, respectively.
12) Andaç, Oral (2019)	Plastering crews / crew size, experience of the crew on the particular site, age of the crew members.	ABC/FFNN	ABC / Best MSE values of 0,0523 and 0,0583 for ABC and FFNN, respectively.

3. MATERIAL AND METHODOLOGY

3.1. Material

As the aim of the research was to analyse and discuss the relationship between the distribution characteristics of data (like coefficient of variation, skewness and kurtosis) and performance of the methods, three different data sets were chosen from a group of data sets composed through time studies undertaken by 288 different construction crews (121 brick wall building, 100 formwork, 67 ceramic tiling crews) working around 200 construction sites in various regions of Turkey. Standard time study sheets designed by considering the details of each work and crew information sheets were used in order to collect data consistently. Age, accommodation type (on site or not), method of payment(daily, monthly, lump sum), experience duration on site and size of the crews were selected as the input (independent) variables depending on the previous experience of the researchers discussed in various studies [9–11]. Output (dependent variable) was—the productivity value (hr/m²) of the crews recorded during time study. Distribution characteristics of the productivity values for each crew type are summarised in Table 2.

3.2. Methods Used K- Nearest Neighbour (K-NN) and Generalized Regression Neural Network (GRNN)

While K-NN and GRNN are reported and used to be two different prediction methods, they are both based on Radial Basis Function Kernel (RBF Kernel) network and both do not require an iterative training procedure as back propagation networks. They approximate any arbitrary function between input and output data set, drawing the function estimate directly from the training data [13] Meanwhile the main difference between these two methods is that; while GRNN uses all of the

training data sets for prediction of the output of a query, K-NN uses k number of data sets nearest to the query data set for prediction [14]. Like GRNN, K-NN also finds the distances between a query and all the examples in the training data set but unlike GRNN it only selects the specified number (k) of examples closest to the query and determines the similarities of only K- nearest neighbour to the query. In GRNN this similarity is calculated between the whole training data set and the sample of query. Finally, both methods predict the output of the query by considering the calculated similarity values. Following steps for further explanation of the application of the networks to construction crew productivity prediction problem.

Step 1) Preparing the Data Sets for Training and Cross Validation:

Original data sets of the three crew types (i.e. brick wall, formwork and ceramic tiling) were initially divided into 5 randomly formed sets (each containing 20% of the original data) and each neural network was trained by feeding the network with 4 of the 5 sets (i.e. 80% of the data) at a time leaving other 20% for validation. Thus, the following steps were undertaken five times and performance of the neural networks were then evaluated accordingly, as discussed below.

Step 2) Training the Neural Networks:

As stated above, each neural network was fed by 80% of the total samples which comprised 97, 80 and 54 sample data sets for brick wall, formwork and ceramic tiling crews, respectively. Input variables were age, accommodation type, method of payment and experience of the crew members on the particular site, which in turn determined the number of input nodes, i.e. neurons (n) to be 4.

Table 2. Distribution characteristics of data

Formwork	
Man Hour (hr/m ²)	0,87
Standart Deviation (σ)	0,85
Coefficient of Variation (V)	0,97
Coefficient of Skewness	2,82
Coefficient of Kurtosis	9,57
Ceramic Tiling	
Man Hour (hr/m ²)	0,68
Standart Deviation (σ)	0,49
Coefficient of Variation (Değişim katsayısı) (V)	0,72
Coefficient of Skewness	2,05
Coefficient of Kurtosis	4,3
Brick Wall	
Man Hour (hr/m ²)	0,69
Standart Deviation (σ)	0,35
Coefficient of Variation (V)	0,5
Coefficient of Skewness	1,39
Coefficient of Kurtosis	2,21

Step 3) Deciding the k Value:

As pointed out above, GRNN covers all the training data set for prediction, in fact resulting in the value of k to be equal to the number of data samples in the training set. It is stressed in the literature [18] that the value of k may have a strong effect on the performance of K-NN, with small values resulting in smaller biases and higher variances and large values and vice versa, which also stresses the potential differences between the prediction performances of K-NN and GRNN when applied to the same data set. In order to analyse the effect of the varying values of k on prediction accuracy, k values between 1 to 30 were tested during the application of K-NN.

Step 4) Calculating the Distance and the Similarity Between the Query and the Training Data Set:

One needs to calculate the distance between the query and the training data set in order to be able to determine their similarities. While there are different distance measures like Euclidean Distance, Manhattan Distance and Angular Similarities [15–17]. Euclidean Distance, i.e. the most popular similarity measure, was used both

during the application of GRNN and K-NN in the current study.

$$ED(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

where;

ED (x,y): Euclidean Distance between the sample of query (y) and a particular sample (x) of the training set

n: number of independent variables in one sample (input nodes) (n=4 for the current research)

x_i : value of the i^{th} independent variable in the particular sample of the training set

Y_i : value of the i^{th} independent variable in the sample of query

While GRNN uses all of the calculated distances for similarity determination, K-NN requires selection of k nearest distances, i.e. neighbours, to the query to be used. The similarity of each sample to the query is calculated using RBF Kernel (see Equation 2), which outputs a similarity value between 0 (complete opposite) and 1 (exactly the same).

$$S(x, y) = \exp\left[-\frac{ED(x, y)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2)$$

The hyper-parameters of RBF Kernel are:

$S(x, y)$: Similarity value between a particular sample (x) and the sample of query (y)

$ED(x, y)$: Euclidean Distance between a particular sample (x) and the sample of query (y)

σ : the parameter for adjusting the gradient of associated similarity with respect to distance.

Like k value, σ is also selected by the researcher and its value has a strong effect on the similarity of a particular sample in the training set to the query. While a ‘too large’ σ value would result in every sample in the training sample to be equally similar to the sample of the query, a ‘too small’ σ value would result in ‘no similarity’ between any of the samples in the training data set and the sample of query. In order to analyse the effect of σ value on prediction performance of the two neural networks, σ values between 0.01 to 30.00 were tested consecutively.

Step 5) Predicting the Value of the Output of the Sample of Query:

The output of the sample of query, i.e. crew productivity is calculated by using Equation 3 which includes similarity values as weighted averages.

$$P(y) = \frac{\sum_{i=1}^k S(x, y) P(x)}{\sum_{i=1}^k S(x, y)} \quad (3)$$

$P(y)$: Productivity (output) value of the sample of query (y)

$S(x, y)$: Similarity value of a particular sample (x) to the query sample (y)

$P(x)$: Productivity value of a particular sample (x)

k : selected number of the nearest neighbours (for GRNN $k=n$)

Performance Measurements: In this study, results of the analyses are measured by using 3 different statistical error measurement techniques.

Mean Absolute Percentage Error (MAPE):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - P_i}{A_i} \right| \quad (4)$$

Mean Square Error (MSE):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_i - P_i)^2 \quad (5)$$

Mean Absolute Error (MAE):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |A_i - P_i| \quad (6)$$

where;

n : Number of data sets used for estimation.

A_i : Actual value of the i^{th} element of the data set.

P_i : Predicted value of the i^{th} element of the data set.

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Prediction Performance of the Models

Discussion under Material and Methodology Section on the similarities and dissimilarities of K-NN and GRNN methods led the choice of data sets as stated in Table 2. As shown in the table, distribution characteristics of formwork, ceramic tiling and masonry crews varied. Productivity values between formwork crews had the largest variation. Depending on the nature of the data and the characteristics of the two methods, following were expected to be fulfilled after the methods were applied to these three different data sets. Due to the relatively high variation of productivity related data of formwork crews;

- 1) Both GRNN and K-NN are expected to have the worst performance for formwork crew productivity prediction

- 2) K-NN is expected to give better results than GRNN, especially for formwork crew productivity prediction
- 3) In K-NN application k value with the best (minimum) MAPE value is expected to be the largest for formwork crews, ceramic tiling crews and masonry crews following it, respectively.
- 4) σ values with best (minimum) MAPE values for both GRNN and K-NN applications are expected to be sorted for the masonry, ceramic tiling and formwork crews in ascending order.
- Table 3 shows the best MAPE, MAE and MSE values achieved when GRNN and K-NN were
- 1) Both GRNN and K-NN had the worst performance for formwork crew productivity prediction, as expected.
- 2) K-NN gave better results than GRNN for all of the crew types, as expected.
- 3) Optimum k value with minimum MAPE was the largest for formwork crew data set, and ceramic tiling and masonry crews followed it, as expected.
- 4) Optimum σ values in the GRNN application were as expected, but not as expected for the K-NN application.

Table 3. MAPE, MSE and MAE Values for GRNN and K-NN Applications

<i>K-NN</i>									
	<i>Formwork</i>			<i>Tiling</i>			<i>Masonry</i>		
	k	σ	err	k	σ	err	k	σ	err
MAPE	23	10	0,70032	17	0,15	0,134518	5	10	0,420937
MAE	28	10	0,347715	12	0,38	0,082592	5	10	0,255795
MSE	24	2,66	0,179473	12	0,48	0,063814	5	10	0,113705
<i>GRNN</i>									
	<i>Formwork</i>			<i>Tiling</i>			<i>Masonry</i>		
	k	σ	err	k	σ	err	k	σ	err
MAPE	23	10	0,470036	13	10	0,175702	5	0,59	0,415452
MAE	28	10	0,347726	17	10	0,087171	5	0,69	0,251965
MSE	24	10	0,179497	12	10	0,066764	30	0,53	0,11105

With σ values between 0,01 to 30,00, and k between 1 to 30 (for K-NN) tested consecutively, results show that K-NN gave better results than GRNN for all crew types. Best MAPE values in K-NN applications were for the k values equal to 23, 17 and 10 for formwork, floor tiling and masonry crews respectively which was in good agreement with the fact that; optimum k value varies depending on the data set and, the more homogenous the data, the smaller the value of optimum k is. Optimum MAE and MSE values also provided a similar comparison. When optimum σ values are analysed in the GRNN application, the results fit with the fact that the more homogenous the data, the larger the value of

optimum σ giving minimum MAPE is (ie. σ values 18, 9,95, 9,39 for brick wall, ceramic tiling and formwork crews, respectively). However, such a relationship is not observed for the K-NN application.

When the results are compared with the results of previous studies that were based on the similar data sets used during the current research, it is observed that;

- (1) for formwork crew productivity prediction, SOM [9] with 25,05% MAPE values had better results than both K-NN and GRNN with 47,00% and 142,36% MAPE values,

- (2) for masonry crew productivity prediction, RBNN and FFNN [10] with 10,15% and 14,92% MAPE values had better results than both K-NN and GRNN with 42,09% and 99,50 % MAPE values, respectively,
- (3) for ceramic tiling crew productivity prediction, SOM and ABC [11] with 22,54 % and 39,96% MAPE values had worse results than KKN with MAPE 13,45%, but better results than GRNN with MAPE 106,80%.

5. CONCLUSION

Previous research that focused on application of artificial neural networks to construction crew productivity problem inevitably followed academic trends of their time in computer science and usually ignored or had to ignore the significant effect of the coherence between the nature of the data and the characteristics of the method used in prediction performance. Recent developments in machine learning methods now allow any researcher to be able to select an appropriate method from different alternatives. K-NN and GRNN are two of these methods in which the relationship between the similarity related parameters like k , σ , $S(x,y)$, $ED(x,y)$ and nature of the data distribution are to some extent predictable and have significant impact on the model performance. Thus, while these two methods reduce the risk of overfitting, they have the complication of having to choose the best values of the similarity related parameters. In this research three different data sets with different distribution properties were used to analyse the performance of these methods. Performance of both methods varied with the changing coefficient of variation values and K-NN outperformed GRNN for all data sets as expected and both of the methods performed worst on the dataset with the highest variance, i.e. the formwork crew data set. While the relationship between the optimum values of parameter k with the nature of the data was as expected, optimum values of σ was as expected for GRNN only.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

This paper is based on some of the findings of the research project 106M055 which is supported by TÜBİTAK (The Scientific and Technical Research Council of Turkey).

7. REFERENCES

1. McCulloch, W.S., Pitts, W., 1943 Learning Based Industrial Bin-picking Trained with Approximate Physics Simulator. Bull Mat Biophys. 5, 115–133. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01370-7_61.
2. Portas, J., Abou Rizk, S., 1997. Neural Network Model for Estimating Construction Productivity. J Constr Eng Manag. 123, 399–410. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1997\)123:4\(399\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1997)123:4(399))
3. Sonmez, R., Rowings, J.E., 1998. Construction Labor Productivity Modeling with Neural Network. J Constr Eng Manag, 498–504.
4. AbouRizk, S., Knowles, P., Hermann, U.R., 2001. P Roduction R Eport/a Creage R Eport P Roduction R Eport/a Creage R Eport. J Constr Eng Manag. 127, 502–511.
5. Dikmen, U.S., Sonmez, M., 2011. An Artificial Neural Networks Model for the Estimation of Formwork Labour. J Civ Eng Manag, 17, 340-347. <https://doi.org/10.3846/13923730.2011.594154>.
6. Heravi, G., Eslamdoost, E., 2015. Building Information Modeling Education for Construction Engineering and Management. II: Procedures and Implementation Case Study. J Constr Eng Manag. 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862).
7. Dissanayake, M., Fayek, A.R., Russell, A.D., Pedrycz, W., 2005. A Hybrid Neural Network for Predicting Construction Labour Productivity. Proc 2005 ASCE Int Conf Comput Civ Eng. 819–830. [https://doi.org/10.1061/40794\(179\)78](https://doi.org/10.1061/40794(179)78).
8. Oral, M., Oral, E.L., Aydin, A., 2012. Supervised vs. Unsupervised Learning for Construction Crew Productivity Prediction. Autom Constr. 22, 271–276. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.09.002>

9. Oral, E.L., Oral, M., 2010. Predicting Construction Crew Productivity by Using Self Organizing Maps. *Autom Constr*, 19, 791–797. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.05.001>.
10. Gerek, I.H., Erdis, E., Mistikoglu, G., Usmen, M., 2015. Modelling Masonry Crew Productivity Using Two Artificial Neural Network Techniques. *J Civ Eng Manag*, 21, 231–238. <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.802741>.
11. Oral, E.L., Oral, M., Andaç, M., 2016. Construction Crew Productivity Prediction: Application of Two Novel Methods. *Int J Civ Eng*, 14, 181–186. <https://doi.org/10.1007/s40999-016-0009-2>.
12. Andac, M.S., Oral, E., 2019. Crew Productivity Prediction by Using Artificial Bee Colony and Levenberg-Marquardt Algorithms-Comparison of Performances. *Int Civ Eng Archit Conf*, 29-44.
13. Firat, M., Gungor, M., 2009. Generalized Regression Neural Networks and Feed Forward Neural Networks for Prediction of Scour Depth Around Bridge Piers. *Adv Eng Softw*, 40, 731-737. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2008.12.001>.
14. Harikumar, S., Aravindakshan Savithri, A., Kaimal, R., 2019. A Depth-based Nearest Neighbor Algorithm for High-dimensional Data Classification. *Turkish J Electr Eng Comput Sci*, 27, 4082–4101. <https://doi.org/10.3906/ELK-1807-163>.
15. Prasath, S., Abu Alfeilat, H., Lasassmeh, O., Hassanat, A.B.A., Tarawneh, A.S., 2017. Distance and Similarity Measures Effect on the Performance of K-Nearest Neighbor Classifier -A Review. 1–39. <https://doi.org/10.1089/big.2018.0175>.
16. Mulak, P., Talhar, N., 2015. Analysis of Distance Measures Using K-Nearest Neighbor Algorithm on KDD Dataset. *Int J Sci Res*, 4, 2319–7064.
17. Yu, X.G., Yu, X.P., 2008. A New K-nearest Neighbor Searching Algorithm Based on Angular Similarity. *Proc 7th Int Conf Mach Learn Cybern ICMLC 3*, 1779–1784. <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2008.4620693>.
18. A Complete Guide to K-Nearest-Neighbors with Applications in Python and R, <https://kevinzakka.github.io/2016/07/13/k-nearest-neighbor/#more-on-k>, Jul 13, 2016.

Erkenez Havzası CBS Matris Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi

Eser KOÇ¹, Muhterem KÜÇÜKÖNDER*²

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bölümü,
Kahramanmaraş

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü,
Kahramanmaraş

Geliş tarihi: 11.02.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Öz

Ülkemizde depremde sonra en fazla yaşanan doğal afetler arasında heyelanlar yer almaktadır. Heyelan duyarlılık çalışmaları ise bu afetlerin yarattığı etkinin boyutunu gerçekleşmeden önce tahmin ederek mekânsal heyelan meydana gelme olasılıklarını haritalamayı amaçlamaktadır. Ülkemizde yağış ve litolojik faktörler dikkate alındığında heyelan olayları birçok bölgemizde yaşanmaktadır. Erkenez havzası topoğrafik, jeolojik ve meteorolojik faktörler dikkate alındığında Kahramanmaraş ilinde heyelan olaylarının yoğunlaştığı bölgelerden biridir. Havzanın heyelan duyarlılık analizi heyelan envanterine dayalı çok değişkenli haritalama birimlerinde olası kombinasyonlar arasında heyelanlı ve heyelansız alan ayırımına dayanan CBS Matris modeli ile gerçekleştirilmiştir. Bu modelde, sayısal yükseklik modeli (SYM), litolojik birimler, arazi kullanımı, eğim, bakı, normalize fark bitki indeksi (NDVI) ve topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) parametreleri kullanılmıştır. 265 km² alana sahip havzanın %4,5'i heyelanlı bölgedir. Havzada %6,97'si düşük, %3,11'i orta, %1,37'si yüksek, %1,2'si çok yüksek derecede heyelana duyarlı alanlar olarak tespit edilmiştir. Havza için üretilen heyelan duyarlılık haritaları ile ileriye dönük yerleşim planlamalarında sorunların azaltılması ve çözümü yönünde pozitif etkisi olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Erkenez havzası, Heyelan, CBS matris, Heyelan duyarlılık

Landslide Susceptibility Assessment with GIS Matrix Method in Erkenez Watershed

Abstract

Landslides are among the most common natural disasters after earthquakes in our country. Landslide susceptibility studies aim to map the probability of spatial landslides by estimating the extent of the impact of these disasters before they occur. The Erkenez watershed is one of the regions where the landslide events are concentrated in Kahramanmaraş, considering the topographic, geological and meteorological factors. The landslide susceptibility analysis of the watershed was carried out with the GISMatrix model based on the separation of landslide and non-landslide areas between possible combinations in multivariate mapping units based on landslide inventory. In this model, digital elevation model (DEM), lithological units, land use, slope, aspect, normalized difference plant index (NDVI) and

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Muhterem KÜÇÜKÖNDER, muhteremkucukonder@ksu.edu.tr

topographic wetness index (TWI) parameters were used. The study area is 265 km² and 4.5% of it is landslide zone. In the watershed, 6.97% are low, 3.11% are medium, 1.37% are high, and 1.2% are very high landslide sensitive areas. It is thought that the landslide susceptibility maps produced for the watershed will have a positive effect in reducing and solving problems in settlement planning.

Keywords: Erkenez watershed, landslide, GIS matrix, landslide susceptibility

1. GİRİŞ

Doğal süreçler ya da insan etkileri ile meydana gelen heyelan; kayaç, toprak, yamaç molozu, yapay dolgu veya bunların bir kombinasyonunda dâhil olmak üzere eğim yönünde malzemelerin aşağı doğru hareketine neden olan çeşitli süreçleri tanımlamaktadır [1]. Afet boyutuna ulaşmasını engellemek açısından potansiyel heyelan alanların tespit edilmesi meydana gelebilecek maddi ve can kayıplarının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Heyelan duyarlılık analizlerinde, topoğrafik etkiler ile doğal ve insan kaynaklı birden fazla faktör bir arada değerlendirilmelidir [2-5]. Bu sebeple duyarlılık analizleri uygulanırken Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) temelli veri işleme süreçleri ile istatistiksel ve nicel analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Duyarlılık analizlerinde CBS tabanlı oluşturulan modellere ait tüm değişkenler ve parametreler girilerek hızlı, güvenilir ve doğru sonuçlar elde edilebilmektedir [6].

Heyelan duyarlılık kavramı, herhangi bir zamansal çıkarım olmaksızın heyelana eğilimli alanları belirlemek amacıyla heyelana hazırlayıcı faktörlerin mekânsal dağılımının değerlendirilmesidir [7-10]. Bu yaklaşım, heyelan envanterlerinin, yağışların meteorolojik kayıtlarının eksik veya daha az olduğu ve heyelanları tetikleyen depremlerin büyüklüğü/yoğunluğu hakkında verilen olmadığı veya temin edilmesinin zor olduğu alanlar için kullanışlı bulunmaktadır [6,10]. Heyelan duyarlılığın mekânsal olarak hesaplanması, toplam heyelan yoğunluğu ya da muhtemel sıklığı, rölatif tehlikenin bir ifadesi olarak kabul edilmektedir [5,11,12].

Günümüzde, heyelan duyarlılığını CBS ortamında analiz etmek için pek çok yöntem bulunmaktadır [2,13,14]. Bu teknikler, hazırlayıcı faktörler ve

gerçekleşen heyelanların bölgesel dağılımı arasındaki karşılaştırmaya dayanmaktadır [15-20]. Tüm ele alınan parametreler heyelanların mekânsal gerçekleştirme olasılığını temsil etmektedir [5,9].

Heyelan duyarlılığı çalışmalarında farklı yaklaşımlar kullanılmakta olup literatürde genel olarak; Frekans oranı, Analitik Hiyerarşi Yöntemi, Çok değişkenli istatistik yöntemi olan Lojistik regresyon ve Yapay sinir ağları yöntemleri yer almaktadır [4,21-25].

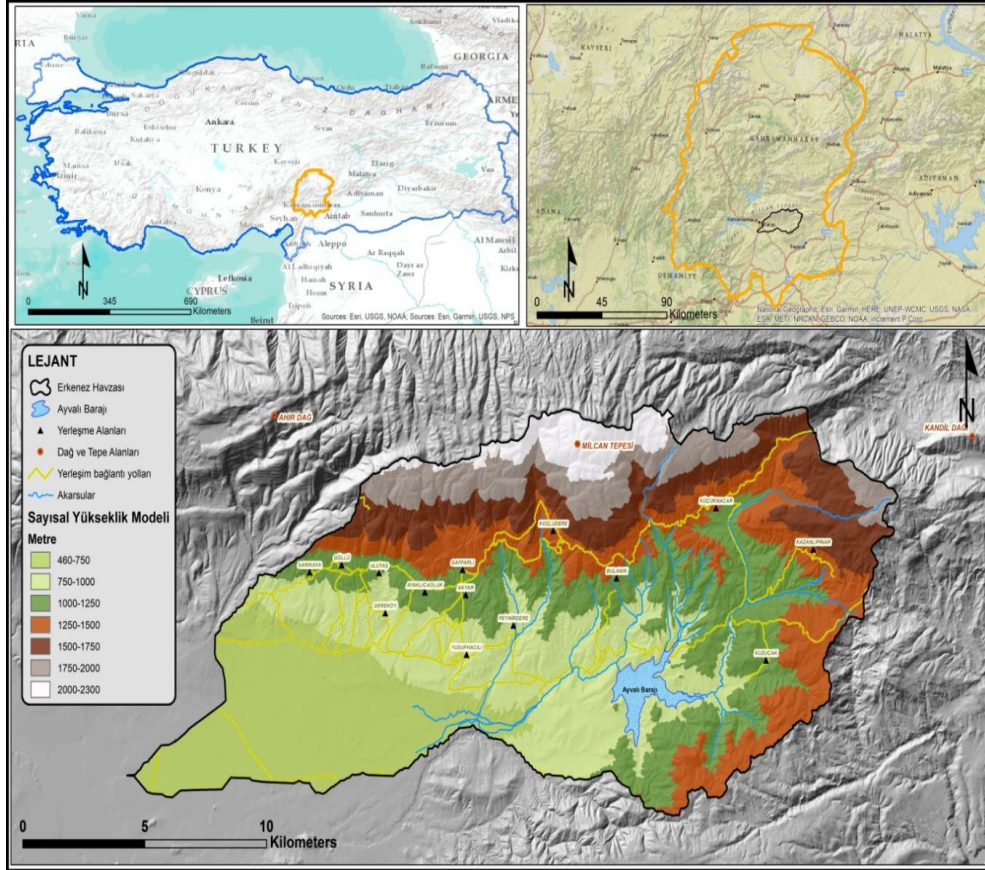
Çalışma alanı olan Erkenez Havzası, geçmiş yıllarda heyelan yaşanan ve heyelan aktivitesi devam eden bir bölgedir. Gelişen yerleşme sahaları ile kentleşme artmakta ve hızlı değişen arazi kullanım koşulları planlama sürecinde olası heyelanların dikkate alınması zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada Erkenez Havzasında CBS Matris tekniği kullanılarak heyelan duyarlılık değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

1.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı Erkenez Havzası, Kahramanmaraş'ın doğusunda yer alan Dulkadiroğlu ilçesi sınırları içerisinde 265 km²'lik alanda yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı yükselti değerleri, Maraş ovası vadi tabanında 450'den başlayarak Ahir Dağına doğru 2350 m arasında değişmektedir. Genel olarak engebeli bir araziye sahip havza içerisinde 14 tane küçük yerleşim birimi bulunmaktadır. Havzada 1100 ile 1400 m rakım arasında bulunan Kozludere Mahallesi havzanın en yüksek yerleşim alanıdır. Dereköy ve Yusufçacı mahalleleri ise 800 m yükseltisiyle havza içindeki en alçak yerleşim yerleridir. Akdeniz İklimi özellikleri gözlenen bölgede yıllık ortalama yağış miktarı 719,7 mm'dir [47]. En çok yağış aralık ve ocak aylarında ortalama 121 mm düşmektedir. Havza da ortalama

sıcaklıklar değişiklik göstermektedir. Yüksek kesimlerde ortalama sıcaklık değerleri 10,5 °C olarak ölçülmektedir. Şehir merkezine yakın

yerleşmelerde sıcaklık değerleri ortalama 14,7 °C'dir [47].



Şekil 1. Erkenez Havzası'nın konumu ve yükselti basamakları haritası

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Arazide yer alan jeolojik birimlerinin türü, toprak veya kaya tipi, eğim açısı, arazi kullanımı ve örtüsü, yükseklik ve bakı duyarlılık parametreleri arasında yer almaktadır [26]. Bu çalışmada kullanılan CBS Matris modelinde uluslararası ve ulusal literatürde en sık kullanılan yedi faktör yapılan saha çalışmaları ve heyelanlı alan etkileri incelenerek seçilmiştir [17,27-29]. Bunlardan üç tanesi sayısal yükseklik modelinde türetilen eğim, eğim yüksekliği ve bakı, litoloji haritası ve arazi kullanımı verileri yer almaktadır. Model üzerinde değişiklik yapılarak, analizlerin daha da tutarlı ve

uygun sonuçlar vermesi açısından Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TWI) ve Normalize Fark Bitki İndeksi (NDVI) gibi heyelan duyarlılık çalışmalarında farklı parametreler eklenmiştir.

Heyelan duyarlılık çalışmaları heyelana etki eden faktörleri belirleyen ve bu faktörleri birlikte değerlendiren analitik bir süreçtir. Çalışma kapsamında Kahramanmaraş ili sınırları içerisinde yer alan Erkenes Havzasının heyelana duyarlı alanlar değerlendirilmiştir. Analiz CBS ortamında dikkate alınan faktör türleri arasındaki olası tüm kombinasyonların belirlenmesine dayanan matris yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir [30-33].

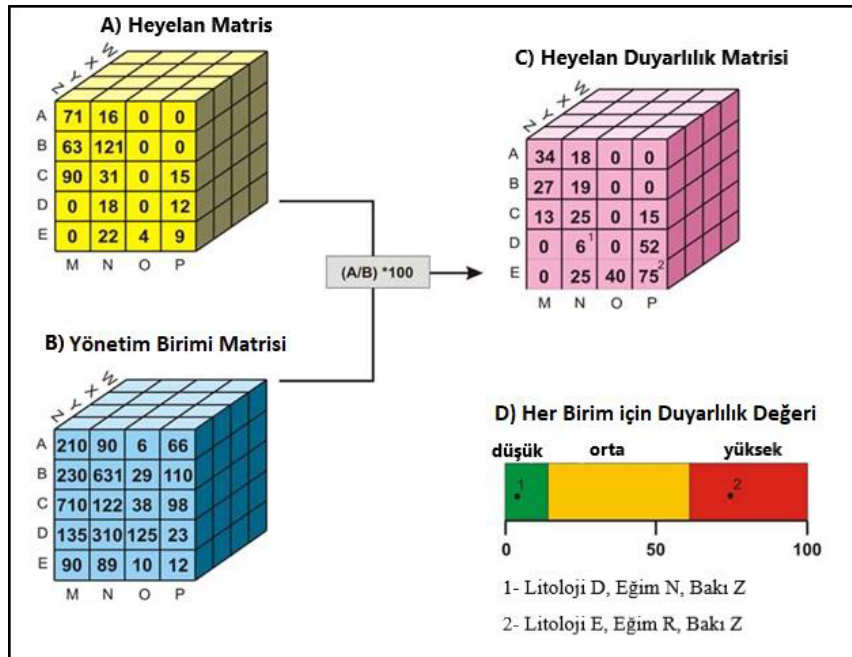
Heyelan envanteri kullanılarak her faktör kombinasyonundaki heyelanlardan etkilenen yüzey alanı hesaplanarak "Heyelan Matrisi" (Şekil 2a) oluşturulmaktadır. Bu aşamada faktör katmanları heyelanlı ve heyelansız olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Yönetim Birim Matrisinde, her faktör kombinasyonunun toplam yüzey alanı hesaplanmaktadır (Şekil 2b). Faktör sınıfları arasındaki tüm olası kombinasyonları gösteren bir harita üretmek üzere çakıştırma (overlay) yapılmaktadır. Çakıştırma katmanı kullanılarak çapraz tablo oluşturulup heyelanlı/heyelansız alanların dağılımı elde edilmektedir. Son olarak, Heyelan Duyarlılık Matrisinde (Şekil 2c), her bir piksel değeri, heyelan matrisine karşılık gelenler, yönetim birimi matrisindeki bölünerek duyarlılık haritası üretilmektedir. Heyelan duyarlılık matrisi değerleri, heyelanların toplam alana oranını ve arazinin her noktasındaki her faktör kombinasyonunun göreceli duyarlılığını

temsil etmektedir. Son olarak, elde edilen değerler, doğal-ayrım (natural-breaks) yöntemi kullanılarak 5 duyarlılık seviyesi (çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek) ayrılmaktadır (Şekil 2d) [27,31].

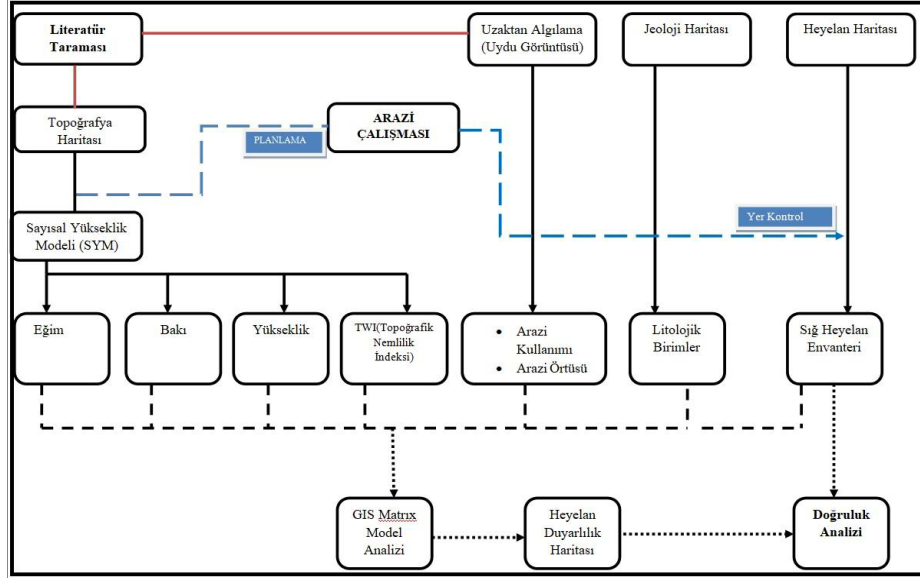
Duyarlılık analizleri sonucunda elde edilen değerlerin doğruluğu çalışma alanında gelişen güncel heyelanlar kullanılarak uyum derecesi (degree of fit: DF) yöntemi [27] ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile Eşitlik 1 kullanılarak yeni gelişen heyelanlar ile oluşturulan kontrol heyelanlarının her bir duyarlılık seviyesi içindeki alansal dağılımları hesaplanmaktadır.

$$DF_i = (m_i/t_i) / \sum (m_i/t_i) \quad (1)$$

m_i ; her bir duyarlılık seviyesinde (i) gerçekleşen heyelan alanı; t_i ; kullanılan duyarlılık seviyesinin toplam alanıdır.



Şekil 2. CBS Matris Yaklaşımı için Duyarlılık Akış Şeması [27] A: Heyelan matrisi; B: Yönetim Birim Matrisi. C: Heyelan duyarlılık matrisi (A/B) *100; D: Her birimde duyarlılık sınıflarının düşük, orta, yüksek olarak faktörlerin ağırlıkları. A, B, C kullanılan faktörleri; Piksel değerleri: heyelan matrisinde, her kombinasyonun heyelanlı yüzey alanı, yönetim birim matrisinde, her kombinasyonun toplam yüzey alanı ve heyelan duyarlılık matrisinde, her kombinasyonun heyelanlı alan yüzdesidir



Şekil 3. Duyarlılık çalışmasında veri kullanımı ve iş akış şeması

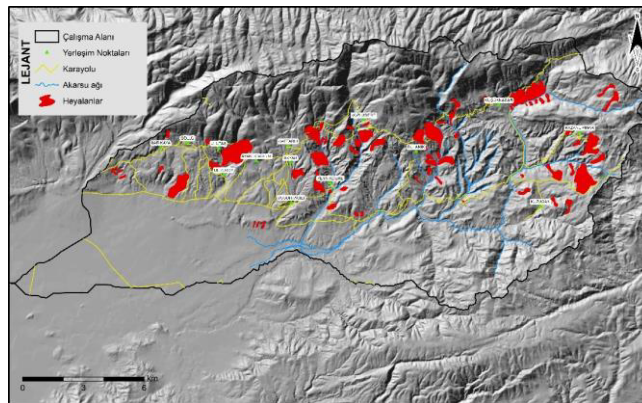
Erkenez havzası heyelan duyarlılık çalışmasında izlenen çalışma adımları Şekil 3'te gösterilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Heyelan Duyarlılık Analizlerinde Kullanılan Faktörler

İstatistiksel bir olasılık yaklaşımı benimsediğinde, heyelan envanteri; duyarlılık, tehlike veya risk değerlendirmesi sağlamayı amaçlayan herhangi bir heyelan projesinde ilk adımdır [10]. Erkenez Havzası 265 km²'lik alana sahiptir. Tüm havza

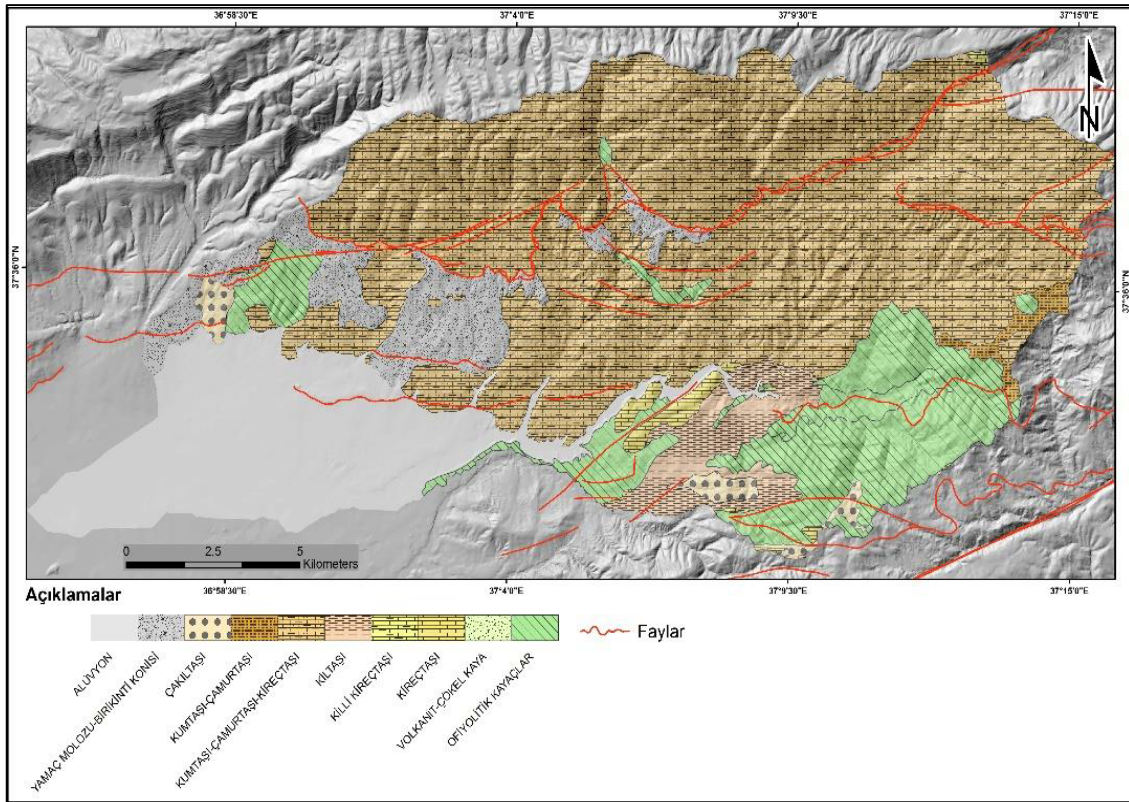
içerisinde heyelanlı alan dağılımı %4,5'dir. Heyelan envanter verileri için Maden Tetik ve Arama Müdürlüğü'nün yaptığı 1/1.500.000 ölçekli Türkiye heyelan envanter haritası çalışması referans alınmıştır (Şekil 4) [34]. Ayrıca arazi çalışmaları ile havzadaki heyelan alanları tespit edilip haritalanarak envanter güncellenmiştir. Çalışma alanının heyelan envanteri incelendiğinde 93 tane heyelan alanı bulunmaktadır. Bu envanterde yer alan heyelan alanlarının 40 tanesi eski heyelan ve 53 heyelan alanı ise aktif heyelanlar sınıfındadır.



Şekil 4. Erkenez Havzası heyelan envanter haritası [34]

Arabistan ve Anadolu levhalarının Kretase'den itibaren sıkışma rejiminin doğusunda yer alan Erkenez Havzasında birçok bindirme ve ters fayların gözleendiği aynı zamanda havzanın güneydoğusunda Pliyosen sonrası deformasyon rejiminin bir sonucu olarak gelişen Doğu Anadolu Fay Zonu yer almaktadır [35,36]. Erkenez havzası genel stratigrafisi Jura-Kretase yerleşim yaşına sahip ofiyolitik kayaçlar üzerinde Eosen-güncel örtü kaya birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 5) [37]. Çalışma alanı ile ilgili yapılan önceki

çalışmalar incelendiğinde Jura-Kretase yaşlı çoğunlukla serpantin, peridotit, gabro, bazalt ve yabancı bloklardan oluşan oldukça karmaşık bir istif sunan ofiyolit ve ofiyolitik melanj bölgeye tektonik olarak yerleşmiş kayaçlar ile temsil edilmektedirler [38,39]. Bu birimler üzerinde Eosen-güncel yaşlı şeyl, kilitaşı, marn, kumtaşı, çamurtası, çakiltası ve kireçtaşından oluşan örtü kaya birimleri ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve yamaç molozu bulunmaktadır [38,39].



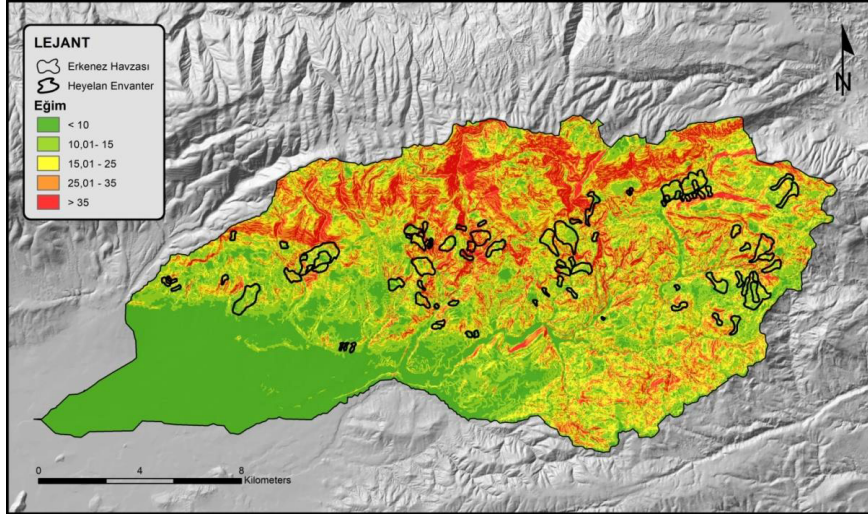
Şekil 5. Çalışma alanının genel jeoloji haritası [37]

Heyelan çalışmalarında eğim, arazinin topoğrafik yapısı ve morfolojik unsurlarının açıklanmasında önemli bir göstergedir [26]. Eğim; toprak yapısı, suya doygunluk, jeolojik faktörler gibi etkenlerle birlikte heyelana hazırlayıcı önemli bir faktördür. Çalışma sahası incelendiğinde heyelanların daha çok 10° ile 25° arası eğimli yamaçlarda meydana geldiği gözlenmektedir. Havzanın ova ve vadi

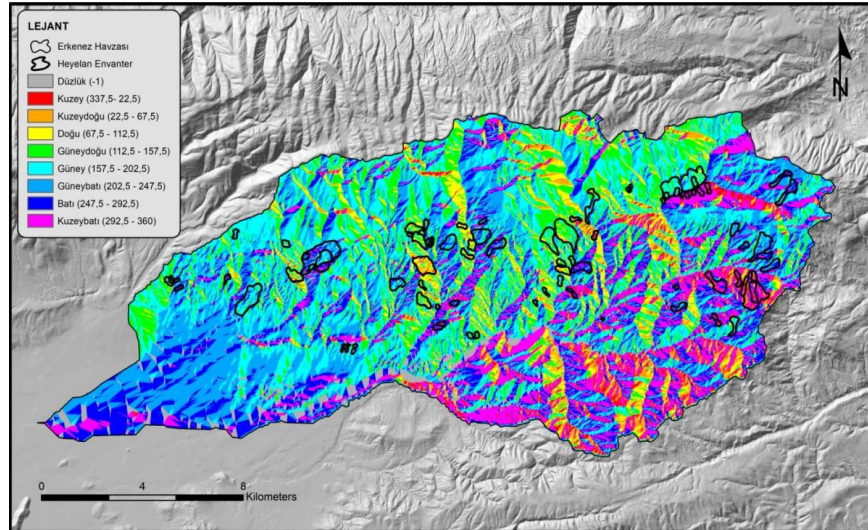
taban bölümlerinde eğim 10o'nin altında heyelan gelişimi gözlenmeyen alanlardır (Şekil 6).

Bakı faktörü, sahadaki nem, yağış, rüzgâr, güneşlenme süresi ve şiddeti gibi doğal ortam özellikleri üzerinde dolayısıyla ayrışma hızını kontrol etmektedir [40]. Bakı, heyelan üzerinde dolaylı bir etkiye sahiptir [26]. Çalışma alanında

güney ve güney bileşenli bakıya sahip yamaçlarla heyelan aktiviteleri daha çok etkindir (Şekil 7).



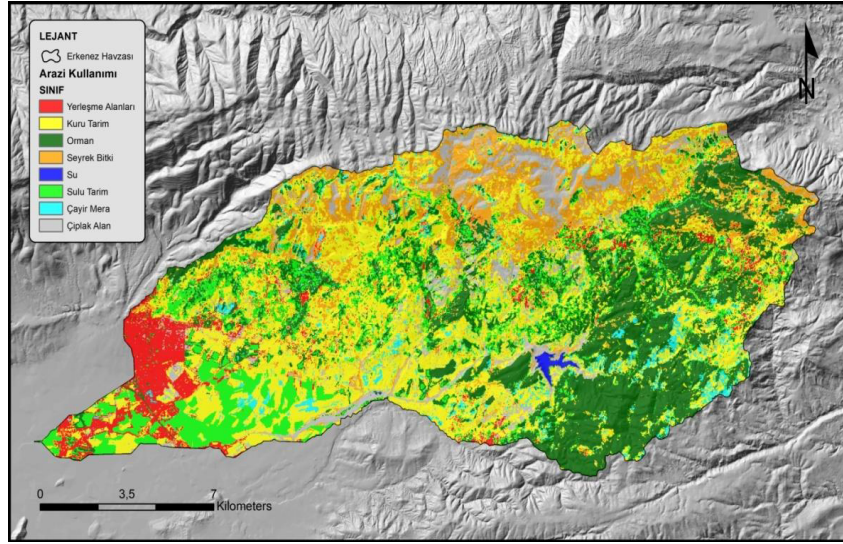
Şekil 6. Erkenez Havzası eğim haritası



Şekil 7. Erkenez Havzası bakı haritası

Arazi kullanımı heyelan oluşumundan sorumlu anahtar faktörlerden bir diğeridir [41]. Buna karşılık, vejetatif alanlar yağmur gibi iklimsel etkenlerin etkisini azaltma eğilimindedir, böylece ağaç kökleri tarafından sağlanan doğal destek nedeniyle erozyonu önler ve bu nedenle yarı kurak bölgelerde ormanlık alanlar heyelanlara daha az eğilim gösterirler. Bu çalışmada arazi kullanım haritası, Landsat 8 OLI/TIRS uydusu 11.08.2017

tarihli uydu görüntüsü üzerinden yapılan kontrolsüz sınıflama yöntemi ile oluşturulmuştur. Havzanın %23'ünü oluşturan orman alanları çalışma alanının güneydoğu bölümlerinde yoğunlaşırken, kuzey kesimlerde seyrek bitki örtüsü ve kuru tarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği alanlar yer almaktadır (Şekil 8, Çizelge 1).



Şekil 8. Erkenez Havzası arazi kullanım haritası

Çizelge 1. Arazi kullanım sınıfları

Arazi Kullanım Sınıfları	Su Yüzeyi	Sulu Tarım	Kuru Tarım	Yerleşme Alanları	Orman Alanları	Çayır ve Meralar	Çıplak (Kayalık) Alanlar	Seyrek Bitki Alanları
Kapladığı Alan (km ²)	0,6	34,5	89,6	15,8	62,3	10,4	19,8	32,4

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde arazi bitki yoğunluk durumunu belirten bir parametre olarak Normalize Fark Bitki İndeksi (NDVI) kullanılmaktadır. NDVI bitkilerin duyarlı olduğu uydu görüntülerinde yakın kızıl ötesi ve kırmızı spektral aralıkların oranlanması ile elde edilen bir indistir [29,42] (Eşitlik 2).

$$NDVI = \frac{\text{Yakın Kızıl Ötesi} - \text{Kırmızı}}{\text{Yakın Kızıl Ötesi} + \text{Kırmızı}} \quad (2)$$

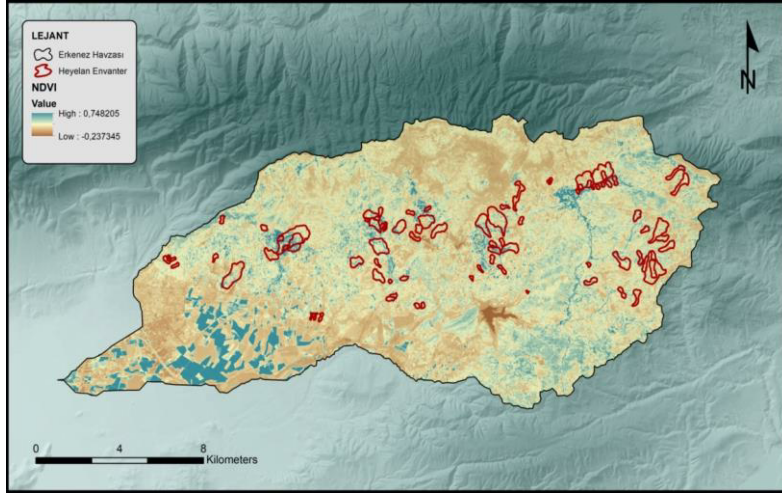
NDVI sonuç değerleri bitki örtüsünün yoğunluk durumuna göre -1 ve +1 değerleri arasında değişmektedir. NDVI değerleri 0,1 veya daha düşükse kayalık, çıplak alan gibi bitki örtüsünün bulunmadığı sahaları; 0,2 ile 0,3 arasında ise çayır, mera ya da yeşil çimenlik orta yoğunlukta bitki sahalarını; 0,6 ile 0,8 arasında ise bitki örtüsünün çok yoğun olduğu ormanlık sahaları ifade etmektedir [43]. Normalize fark bitki indeksi çalışma alanı için 11/08/2017 tarihli Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntüsü Kırmızı (band 4) ve

Yakın Kızılötesi (band 5) bandları formüle edilerek oluşturulmuştur (Şekil 9). Havzada vadi tabanları yüksek NDVI değerine sahipken havzanın kuzeyinde düşük NDVI değerleri görülmektedir.

Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TWI) toprakların potansiyel doyumluk veya bir başka ifadeyle su tutma kapasitesinin belirlenmesine yönelik yapılan analizlerde kullanılan bir parametredir ve özellikle heyelana yönelik çalışmalarda çok sık kullanılmaktadır [29]. TWI değerleri yüzeysel akışın toplandığı vadi tabanlarında yüksek değerler sunmaktadır [14]. TWI akış yönünden türetilen, akış toplama alanı bilgisi ve eğim faktörlerinin bir bileşkesidir [44-46]. TWI formülü aşağıda yer almaktadır (Eşitlik 3);

$$TWI = \ln \left(\frac{As}{\tan \beta} \right) \quad (3)$$

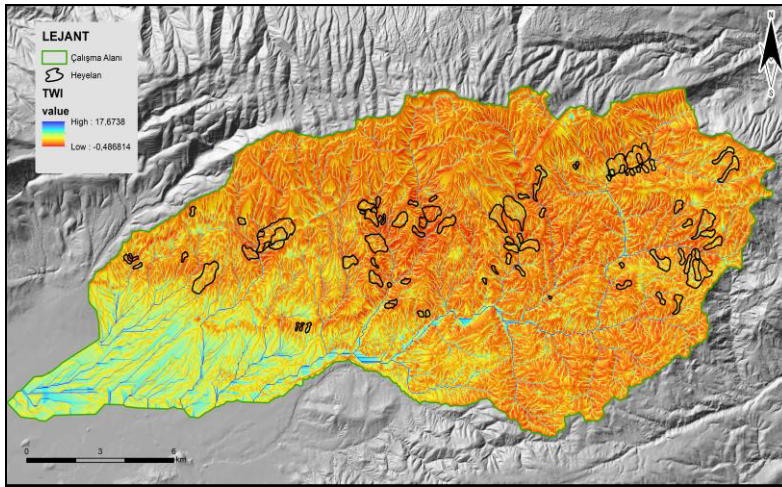
As= akış toplamı alanı- Tanβ = lokal eğim



Şekil 9. Erkenez Havzası normalize fark bitki indeksi (NDVI) haritası

Burada TWI Topoğrafik Nemlilik İndeksini, As doğal logaritmik tabanda spesifik havza alanının (m/m²), yamaç eğimine oranını ifade etmektedir. Topoğrafik nemlilik endeks değerlerinin düşük

olduğu yerler çalışma alanındaki sırtları; yüksek değerler ise alüvyal düzlükleri göstermektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Erkenez Havzası topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) haritası

3.2. Heyelan Duyarlılık Analizi

Erkenez havzası heyelan envanter haritasında, heyelanlar çalışma alanının %4,5'ine karşılık gelmektedir. Bu çalışmada CBS Matris modelinde uluslararası ve ulusal literatürde en sık kullanılan yedi faktör eğim, yükseklik, bakı, litoloji haritası, arazi kullanımı, Topoğrafik Nemlilik İndeksi

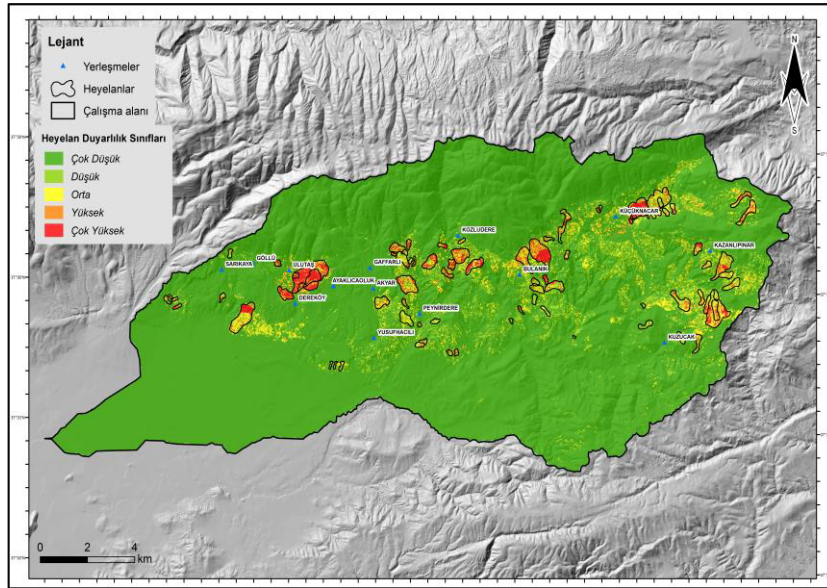
(TWI) ve Normalize Fark Bitki İndeksi (NDVI) kullanılarak duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Faktör katmanları yeniden sınıflandırıldıktan (Çizelge 2) ve vektörel bir formatta oluşturulduktan sonra, bu faktörlerin sınıfları arasındaki tüm kombinasyonlar ArcGIS programı geoprocessing araçları ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2. Çalışma Alanına ait faktörlerin sınıflandırılması

Ana Faktörler	Alt Faktörler	Altsınıflar
Jeolojik	Litoloji	JKk, Tmy, Qal, Tmt, Qym, KTsq, Kbe, Tma, Tkd, PIQb, Kbes, Qav
Jeomorfoloji	Yükselti (m)	460-750, 750-1000, 1000-1250, 1250-1500, 1500-1750, 1750-2000, 2000-2338
	Eğim (°)	<10, 10,1-15, 15,01-25, 25,01-35,>35
	Bakı	Sekiz ana yön (K, KD, D, GD, G, GB, B, KB) ve düz alanlar (-1 °)
Hidroloji	TWI (Topoğrafik nemlilik indeksi)	(-0-1,7, 1,7-2,7, 2,7-3,8, 3,8-5,1, 5,1-6,4, 6,4-8,02, 8,02-10,08, 10,08-12,9)
		Sulak, Sulu ve Kuru Tarım, Kentsel
		Ormanlık, Seyrek Bitki Örtüsü, Çayır ve Mera
Arazi Kullanım	Arazi örtüsü ve kullanımı	Kavalık-Çıplak Alanlar
	NDVI (Normalize fark bitki indeksi)	(-0,23, -0,24, -0,24-0,42, 0,42-0,74)

CBS Matris modeli ile üretilen heyelan duyarlılık haritalarına göre havza içerisinde %6,97'si düşük, %3,11'i orta, %1,37'si yüksek, %1,2'si çok yüksek

derecede heyelana duyarlı alanlar olarak tespit edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Erkenez Havzası heyelan duyarlılık haritası

Duyarlılık sonuçlarına göre 14/01/2019 tarihinde Dereköy, 21/04/2019 tarihinde Kuzucak ve 10/05/2020 tarihinde Peynirdere 'de yapılan saha çalışmalarında özellikle eski heyelan kütleleri içerisinde yeni akma ve rotasyonel heyelan gelişimleri gözlenmiştir (Şekil 12).

Duyarlılık haritalarının doğruluk analiz sonuçlarına göre çok düşük ve düşük duyarlılık seviyelerinin uyum derecesi 7,32 iken çok yüksek duyarlı olarak tespit edilen alanların uyum derecesi 45,33 olarak hesaplanmıştır (Şekil 13).



(a)

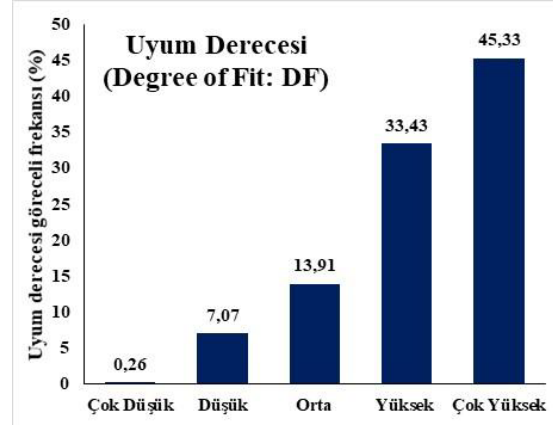


(b)



(c)

Şekil 12. Erkenez Havzası'nda a) Kuzucak, b) Peynirdere, c) Dereköy, yerleşimlerinde heyelanlı sahalar



Şekil 13. Uyum derecesi (DF) sonuçlarının duyarlılık seviyeleri dağılımı

4. SONUÇLAR

Heyelanların dağılımını belirleyen ve oluşumunu sağlayan çok sayıda faktör vardır. Jeolojik, jeomorfolojik ve iklimik faktörler en önemlileridir. Heyelan duyarlılık haritaları, heyelan kaynaklı riskleri en aza indirmeyi amaçlayan karar-destek araçlarıdır. Bu çalışmada CBS Matris modeli ile bölgesel ölçekte heyelan duyarlılık haritalaması ve doğrulama için otomatik bir süreç oluşturulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada, Kahramanmaraş ili Erkenez Havzasında heyelan duyarlılık analizleri yapılmıştır. Çalışma için bütün heyelan türleri için heyelana neden olan faktörler belirlendikten sonra heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Havza içerisinde %6,97'si düşük, %3,11'i orta, %1,37'si yüksek, %1,2'si çok yüksek derecede heyelana duyarlı alanlar olarak tespit edilmiştir. Duyarlı alanların önemli bir bölümü tarımsal nitelikteki arazi kullanım alanlarında yoğunlaşmaktadır. Diğer duyarlı alanlar litoloji ile ilişkili olarak killi ve gevşek karasal kırıntılı birimler içerisinde gözlenmektedir. Yeni gelişen heyelanlar ile yapılan doğruluk analizleri yaklaşık %79 doğruluk ile heyelana duyarlı alanların örttüğünü göstermektedir. Bağlı hata oranı yaklaşık %7 olması çalışma alanında küçük akmalara kullanılan sayısal yükseklik modeli çözünürlüğü ve daha detaylı litoloji haritalamasına ihtiyaç olması ile ilişkili olarak

yakalanamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

CBS temelli bu yaklaşımla elde edilen sonuçlar ilerleyen süreçlerde heyelan olası risk haritalama çalışmalarına bir altlık oluşturulacaktır. Duyarlılık haritaları aynı zamanda mekânsal planlama ve heyelanlar ile ilişkili afet yönetimi aşaması karar alım süreçlerinde ana sınırlılıkların belirlenmesi ve ayrıca uygun önleyici ve iyileştirici önlemlerin alınması gereken alanların tespiti gibi uygulama aşamalarında dikkate alınması olumlu sonuçlar ortaya çıkaracaktır.

5. TEŞEKKÜR

Yayının değerlendirme sürecinde yer alan hakemlere katkı ve önerilerinden dolayı teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Dragovich, J.D., Brunengo, M.J., 1995. Landslide Map and Inventory, Tilton River-Mineral Creek Area, Lewis County, Washington. Wash. Dept. Natural Resources, Div. of Geology and Earth Resources, Open-File Report, 95-1, 165.
2. Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Heyelan Tehlike Değerlendirmesi: Mevcut Tekniklerin Gözden Geçirilmesi ve Çok Ölçekli Bir Çalışmadaorta İtalya, Jeomorfoloji, 31(1-4), 181-216.
3. Dağ, S., Bulut, F., 2012. Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye). Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 36(1), 35-62.
4. Kavzoğlu, T., Şahin, E.K., Çölkesen, İ., 2012. Heyelan Duyarlılığının İncelenmesinde Regresyon Ağaçlarının Kullanımı: Trabzon Örneği. Harita Dergisi, 147(3), 21-33.
5. Chen, W., Li, Y., 2020. GIS-Based Evaluation Of Landslide Susceptibility Using Hybrid Computational Intelligence Models. Catena, 195, 104777.
6. Guzzetti, F., Mondini, A.C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., Chang, K.T., 2012. Landslide Inventory Maps: New Tools for an Old Problem. Earth-Sciencereviews, 112(1-2), 42-66.
7. Radbruch, D.H., Crowther, K.C., 1970. Map Showing Relative Amounts of Landslides in California (No. 70-270). <https://doi.org/10.3133/ofr70270>
8. Dobrovolny, E., 1971. Landslide Susceptibility in and Near Anchorage as Interpreted from Topographic and Geologic Maps, in the Great Alaska Earthquake of 1964-Geology Volume. Publication 1603. US Geological Survey Open File Report, 86-329.
9. Brabb, E.E., Pampeyan, E.H., Bonilla, M.G., 1972. Landslide Susceptibility in San Mateo County, California (No. 360). US Geological Survey, 1.
10. Chacón, J., Irigaray, C., Fernandez, T., El Hamdouni, R., 2006. Engineering Geology Maps: Landslides and Geographical Information Systems. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 65(4), 341-411.
11. Evans, N.C., King, J.P., 1998. The Natural Terrain Landslide Study: Debris Avalanche Susceptibility. Technical Note TN 1/98. Planning Division. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Hong Kong, 96.
12. Evans, N.C., Huang, S.W., King, J.P., 1997. The Natural Terrain Landslide Study-Phases I and II. Special Project Report SPR5/97. Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, 420.
13. Chacón, J., Corominas, J., 2003. Special Issue on Landslides and GIS. Natural Hazards, 30, 263-499.
14. Tekin, S., Çan, T., 2019. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Ermenek Havzası'nın (Karaman) Kayma Türü Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 3(1), 21-28.
15. Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., Vescovi, P., 2002. A Procedure for Landslide Susceptibility Zonation by the Conditional Analysis Method. Geomorphology, 48(4), 349-364.
16. Lee, S., Ryu, J.H., Min, K., Won, J.S., 2003. Landslide Susceptibility Analysis Using GIS and Artificial Neural Network. Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the

- British Geomorphological Research Group, 28(12), 1361-1376.
17. Fernández, T., Irigaray, C., El Hamdouni, R., Chacón, J., 2003. Methodology for Landslide Susceptibility Mapping By Means of a GIS. Application to the Contraviesa Area (Granada, Spain). *Natural Hazards*, 30(3), 297-308.
 18. Süzen, M.L., Doyuran, V., 2004. Data Driven Bivariate Landslide Susceptibility Assessment Using Geographical Information Systems: A Method and Application to Asarsuyu Catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 71(3-4), 303-321.
 19. Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C., 2004. Use of Fuzzy Relations to Produce Landslide Susceptibility Map of a Landslide Prone Area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, 75(3-4), 229-250.
 20. Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The Application of GIS-Based Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2), 15-31.
 21. Lee, S., Talib, J.A., 2005. Probabilistic Landslide Susceptibility and Factor Effect Analysis. *Environmental Geology*, 47(7), 982-990.
 22. Reis, S., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., Bayrak, T., Sancar, C., Ekercin, S., 2009. CBS ve Uzaktan Algılama Teknikleri ile Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretimi: Rize İli Örneği. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu (TUFUAB 2009)*, Ankara
 23. Tekin, S., Çan, T., 2019. Ermenek Havzasının Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi, 1, 21-28. doi: 10.30516/bilgesci.525438.
 24. Pham, B.T., Tien Bui, D., Indra, P., Dholakia, M., 2015. Hindistan, Uttarakhand Himalaya'nın Bir Bölümünde, Frekans Oranı Yönteminin CBS Tabanlı İstatistiksel Yaklaşımı Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. *Int J Eng Res Technol*, 4(11), 338-344.
 25. Dağdelenler, G., 2020. İki Farklı Örneklem Tekniği Kullanılarak Oluşturulan Heyelan Duyarlılık Haritalarının Frekans Oranı (FO) Yöntemi ile Karşılaştırılması. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 44(1), 19-38.
 26. Fernández, T., Jiménez, J., Fernández, P., El Hamdouni, R., Cardenal, F.J., Delgado, J., Chacón, J., 2008. Automatic Detection of Landslide Features with Remote Sensing Techniques in the Betic Cordilleras (Granada, Southern Spain). *Int Soc Photogramme*, 37(8), 351-356.
 27. Irigaray, C., Fernández, T., El Hamdouni, R., Chacón, J., 2007. Evaluation Andvalidation of Landslide-Susceptibility Maps Obtained by a GIS Matrix Method: Examples from the Betic Cordillera (Southern Spain). *Natural Hazards*, 41(1), 61-79.
 28. Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The Application of GIS-Based Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2), 15-31.
 29. Erener, A., Sarp, G., Duzgun, S.H., 2019. Use of GIS and Remote Sensing for Landslide Susceptibility Mapping. In *Advanced Methodologies and Technologies in Engineering and Environmental Science*, IGI Global, 384-398pp.
 30. Degraff, J.V., Romesburg, C., 1980. Regional Landslide Susceptibility Assessment for Wildland Management: A Matrix Approach.
 31. Irigaray, C., 1995. *Movimientos De Ladera: Inventario, Análisis Y Cartografía de Susceptibilidad Mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG). Aplicación a Las Zonas de Colmenar (Ma), Rute (Co) Y Montefrío (Gr)* (Doctoral Dissertation, Universidad de Granada).
 32. Fernández, C.I., Del Castillo, T.F., Hamdouni, R.E., Montero, J.C., 1999. Verification of Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 24(6), 537-544.
 33. Chacón, J., Irigaray, C., Fernandez, T., El Hamdouni, R., 2006. Engineering Geology Maps: Landslides and Geographical Information Systems. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65(4), 341-411.
 34. Duman, T.Y., Çan, T., Olgun, Ş., Nefeslioğlu, H.A., Durmaz, S., Hamzaçebi, S., Elmacı, H.,

- Çörekçioğlu, Ş., 2009. Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-1:500.000 Ölçekli Hatay Paftası, MTA Özel Yayınlar Serisi 24, Ankara, 23.
35. Varol, L., Alican, K.O.P., Darbaş, G., 2012. Koçlar-Sarıgüzel (Kahramanmaraş Kuzeyi) Arasında Kalan Bölgenin Genel Jeolojik Özellikleri, Doğu Toroslar. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(1), 43-56.
36. Duman, T.Y., Emre, Ö., 2013. The East Anatolian Fault: Geometry, Segmentation and Jog Characteristics, In: Robertson, A.H.F., Parlak, O., and Ünlügenç, U.C., (Eds.), Geological Development of Anatolia and Easternmost Mediterranean Region. Geological Society, London, Special Publication. 372, 495-529.
37. Ulu, Ü., 2002. 1:500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Hatay Paftası. Türkiye 1/500.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, No: 16, M. Şenel (Ed.), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
38. Erkmek, C., Eravcı, B., Özsarac, V., Yaman, M., Tekin, B.M., Albayrak, H., Kuterdem, K., Aktan, T., Tepeugur, E., 2009. Doğu Anadolu Fayı'nın Paleosismolojisi Pilot Bölge: "Türkoğlu Gölbası Arası". Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB) Ulusal Deprem Programı Proje No: TUJJB-UDP-1-07.
39. Yalçın, C., 2012. Çağlayancerit (Kahramanmaraş) Batısının Tektono-Stratigrafisi ve Yapısal Evrimi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129.
40. Akar, İ., 2007. Jeomorfoloji Analizlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri Tekniklerinin Kullanımı: Kasatura Körfezi Hidrolojik Havzası Örneği. Türkiye Kuaterner Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Enstitüsü, İstanbul.
41. Dahal, R.K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Masuda, T., Nishino, K., 2008. GIS-based Weights-of-evidence Modelling of Rainfall-induced Landslides in Small Catchments for Landslide Susceptibility Mapping. Environmental Geology, 54(2), 311-324.
42. Karabulut, M., 2015. Farklı Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Göksu Deltası Göllerinde Zamansal Değişimlerin İncelenmesi. Journal of International Social Research, 8(37), 347-347.
43. Çelik, M., Karabulut, M., 2013. Yağış Koşullarının Antep Fıstığı (*Pistacia Vera L.*) Biomas Aktivitesi ve Fenolojik Özelliklerine Etkisinin Uzaktan Algılama Verileri Kullanılarak İncelenmesi. Türk Coğrafya Dergisi, (60), 37-48.
44. Quinn, P.F., Beven, K.J., Lamb, R., 1995. The Ln (A/Tan β) Index: How to Calculate it and How to Use it Within the Topmodel Framework, Hydrological Processes 9, 161-182.
45. Sorenson, R., Zinko, U., Seibert, J., 2005. On the Calculation of the Topographic Wetness Index: Evaluation of Different Methods Based on Field Observations, Hydrology and Earth Systems Sciences Discussions, 2, 1807-1834.
46. Gomez, H., Kavzoglu, T., 2005. Assessment of Shallow Landslide Susceptibility Using Artificial Neural Networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. Engineering Geology, 78 (1-2), 11-27.
47. MGM, İllere Ait Mevsim Normalleri (1981-2010) <https://www.mgm.gov.tr/veri-degerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=K.MARAS>, 10.09.2020.

Critical Parameter Selection and Survival Model Development for Heart Failure Patients

Ahmet AYDIN*¹

¹Cukurova University, Faculty of Engineering, Department of Biomedical Engineering, Adana

Geliş tarihi: 15.02.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Abstract

Cardiovascular diseases are among the diseases that cause the most deaths worldwide. Heart failure is also one of the most common diseases, and mortality rates vary according to the patient's risk level. This distinct difference in mortality revealed the need to develop methods that could predict which patients have a worse prognosis and identify the risk group that would benefit more from intensive medical treatment and/or left ventricular assist devices and heart transplant treatments. In this study, survival models were developed using the dataset of 299 heart failure patients and Cox, Random Survival Forest, and Gradient Boosting Survival. Two different approaches are also used to determine the critical parameters in developing the survival model for heart failure patients. When a model is created using these parameters instead of all parameters in the dataset, higher success has been achieved, and this result is also better than the other studies using the same dataset. In conclusion, a survival model that can predict with high accuracy was developed for heart failure patients using the selected parameter set and Random Survival Forest.

Keywords: Heart failure, Survival analysis, Cox, Random survival forest, Gradient boosting survival

Kalp Yetmezliği Hastalarında Kritik Parametre Seçimi ve Sağkalım Modeli Geliştirilmesi

Öz

Kardiyovasküler hastalıklar dünya çapında en fazla ölüme neden olan hastalıklar arasındadır. Kalp yetmezliği de sık karşılaşılan hastalıklardan biridir ve hastanın taşıdığı risk seviyesine göre ölüm oranları değişiklik göstermektedir. Ölüm oranlarındaki bu belirgin farklılık, hangi hastaların daha kötü prognoza sahip olduğunu tahmin edebilen ve daha yoğun tıbbi tedaviden ve/veya sol ventriküler destek cihazlarından ve kalp nakli tedavilerinden daha fazla yararlanabilecek olan risk grubunu belirleyen yöntemlerin geliştirilmesinin ihtiyaç olduğunu ortaya çıkarmıştır. Çalışma kapsamında kalp yetmezliği bulunan 299 hastanın verileri ve Cox, RSF ve GSB yöntemleri kullanılarak sağkalım modelleri geliştirilmiştir. Ayrıca iki farklı yöntem kullanılarak kalp yetmezliği hastalarının sağkalım modelinin geliştirilmesinde kritik rol oynayan parametreler belirlenmiştir. Veri setindeki tüm parametreler yerine belirlenen bu parametreler kullanılarak bir model oluşturulduğunda daha yüksek başarı elde edilmiştir ve elde edilen bu sonuç aynı veri setini kullanan başka çalışmaların sonuçlarında da daha iyidir. Sonuç olarak

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ahmet AYDIN, aaydin@cu.edu.tr

seçilen parametre seti ve RSF yöntemi kullanılarak kalp yetmezliği hastaları için yüksek doğrulukla tahmin yapabilen bir sağkalım modeli geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kalp yetmezliği, Sağkalım analizi, Cox, RSF, GBS

1. INTRODUCTION

Heart failure is the condition in which the heart is unable to pump enough blood to the body organs or can do this by increasing filling pressures. There are several causes of heart failure; coronary heart disease, diabetes, hypertension, alcohol or cocaine abuse, chemotherapy, or radiation therapy. Cardiovascular diseases are the top reason for death worldwide [1]. As society's lifespan extends and the life expectancy of heart failure patients increases with modern methods, the frequency of heart failure in society increases [2]. Despite improvements in treatment, heart failure patients' death rates still quite high and continue to be a huge burden on hospitalizations [1]. The life expectancy of patients with heart failure is different from each other, while the one and four-year mortality rate is 5% and 19% in New York Heart Association (NYHA) class 1 patients [3], 15%, and 40% in NYHA class 2-3 [4], and 6-month and 12-month mortality rates in class 4 are 44% and 64% [5]. This distinct difference in mortality has led to the need for risk stratification, which can estimate which patients have a worse prognosis and may benefit more from more intensive medical therapy and/or left ventricular assist devices and heart transplant treatments. Different risk assessment models have been developed to date in the light of population-based data on heart failure [6-9]. However, these risk models were proved to be useful, and there is substantial patient-to-patient variability. This variability can be addressed with novel machine learning-based methods and provide better prediction performance. Also, these methods can be used to determine the critical parameters for the survival modeling.

Ahmad et al. collected the data of 299 patients over the age of 40 with Class III or IV heart failure according to the classification of the NYHA and analyzed which parameters played a critical role in

the mortality of heart failure patients [10]. Since the dataset contains censored data, Kaplan&Meier [11] and Cox [12] risk models are used for the analysis and found that age, serum creatin, blood pressure ejection fraction, and anemia play a critical role in the survival model [10]. Chicco et al. used statistical methods on the same dataset and ranked the collected parameters based on their importance [13]. As a result of the study, they concluded that the serum creatinine and ejection fraction parameters would be sufficient to predict the patient's survival with a certain accuracy.

Zahid et al. argued that men's and women's risk parameters would differ from each other due to their lifestyle and physiological differences [14]. They have analyzed the parameter importance for each gender and found that the male and female patients' critical parameters were different from each other. Thereupon, gender-based models were created and compared with the model created with the entire data set. As a result, while the c-index value of the model developed using all male and female patients' data was 0.72, the c-index of the models created with only male and female patients was 0.73 and 0.77, respectively.

Apart from parameter analysis, many studies have been conducted using such heart failure datasets to predict the patients' mortality [15-20]. In these studies, machine learning methods were used, and high accuracy predictions were made. While in some of these studies, the whole dataset was used, in others, parameter analysis was performed, and high estimation results were tried to be obtained with fewer parameters [15,17,20].

It provides valuable information to predict whether the patient will die with artificial intelligence methods. But the main purpose of collecting censored data is to determine the patient's risk level and indicate how long he might live. Besides, there are patients whose follow-up was abandoned in the early period of the study. For example, in

the current data set, while there are patients who died on the 4th day of the 285-day follow-up period, there are also those who died on the 241st day; there are patients who were recorded “not die” in mortality prediction studies because they were not followed up on the 12th day, as well as patients who were followed for 285 days and did not die. Therefore, although some patients were not recorded as dead because their follow-up was ended in an early period of the study, a different result would have been obtained if they were followed up throughout the study. Therefore, new survival analysis methods have been developed that use the advantage of censored data and artificial intelligence methods’ learning capabilities. With the help of these methods, a high-accuracy survival model was developed by taking into account the censorship of the data.

This study shows that prediction performance can be increased by using a machine learning-based survival model and finding the parameters that play an important role in the survival analysis of heart failure patients.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. The Dataset

In order to develop a model for survival analysis, it is necessary to follow the patients for a certain period of time and to record when the patient dies. Within the scope of the study, the heart failure clinical dataset shared in the UCI Machine Learning Repository, which has this feature, was used [10,13]. This dataset includes data from 299 patients with Class 3 or 4 heart failure according to NYHA, which was followed up between April and December 2015 for 285 days [21].

Thirteen different parameters were collected from the patients. Some of these parameters are only binary data, while others take continuous values. The details about the collected data, short descriptions, and value ranges are presented in Table 1 [13]. The follow-up period and death event are the main target parameters used to calculate the survival function.

Table 1. Parameters used in the dataset, their meanings, and value ranges [13]

Feature	Explanation	Measurement	Range
Age	Age of the patient	Years	[40, ..., 95]
Anaemia	Decrease of red blood cells or hemoglobin	Boolean	0,1
High blood pressure	If a patient has hypertension	Boolean	0,1
Creatinine Phosphokinase (CPK)	Level of the CPK enzyme in the blood	mcg/L	[23, ..., 7861]
Diabetes	If the patient has diabetes	Boolean	0,1
Ejection fraction	Percentage of blood leaving the heart at each contraction	Percentage	[14, ..., 80]
Sex	Woman or man	Binary	0,1
Platelets	Platelets in the blood	kiloplatelets/mL	[25.01, ..., 850.00]
Serum creatinine	Level of creatinine in the blood	mg/dL	[0.50, ..., 9.40]
Serum sodium	Level of sodium in the blood	mEq/L	[114, ..., 148]
Smoking	If the patient smokes	Boolean	0,1
Time	Follow-up period	Days	[4, ..., 285]
(target) death event	If the patient died during the follow-up period	Boolean	0,1

mcg/L: micrograms per liter, mL: microliter, mEq/L: milliequivalents per litre

2.2. Survival Analysis Methods

The purpose of survival analysis is to calculate a patient’s survival probability over time. The

collected censored data is used to obtain a survival function $S(t)$ for that disease, and this function is used when evaluating the condition of the patients in the future [22]. The survival function will take a

value of 1 when the study starts, and as time progresses, the risk of death of the patient will increase, and the survival probability will approach 0 as time passes, Figure 1 [22].

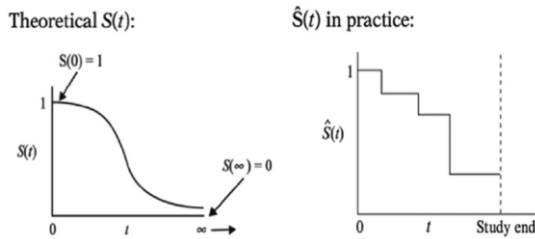


Figure 1. The theoretical (left) and practical (right) survival functions [22]

Survival analysis methods can be divided into three groups in general: non-parametric, semi-parametric, and parametric.

The most widely used non-parametric method is the Kaplan-Meier method [11]. Non-parametric methods are widely preferred as they are computationally simple. Equation 1 is used to obtain $S(t)$ by using the Kaplan-Meier method.

$$S(t) = \prod_{i:t_i \leq t} \frac{n_i - d_i}{n_i} \quad (1)$$

In the given equation, n_i and d_i respectively represent those who are still at risk (patients who still alive) and patients who died at the time t_i .

As can be understood from Equation 1, this method does not consider other factors that may affect survival, such as age, gender, and current health status, and in this case, the prediction success is limited.

In the semi-parametric methods such as Cox Survival Analysis, the model is developed to make predictions considering the patient's current condition [12,23]. Thus, more successful estimates can be made by considering how other parameters affect this risk in addition to the patient's present baseline risk. In this method, the parameters in Equation 2 are found during model training, and

the trained model is used to assess subsequent patients' conditions.

$$\lambda(t|x) = \lambda_0(t) \exp(\beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n) \quad (2)$$

In the given equation, λ_0 represents the baseline risk, $x_1 \dots x_n$ the input parameter values and $\beta_1 \dots \beta_n$ the trained model parameters.

Although Cox Survival Analysis is widely used in many studies, it lacks in generalizing the dataset. The biggest problem of this method is that the proportional risk between two patients remains the same at all times. In other words, if a patient's condition is two times riskier compared to the other patient when the follow-up is started, the model assumes that he will always be two times riskier than the other patient even in the evaluation months later. But this assumption is not always true. For this reason, machine learning methods reveal successful results in this regard, as in many other fields. Machine learning methods generalize the data set better and eliminate this proportional problem.

In this study, machine learning-based Random Survival Forest (RSF) and Gradient Boosting Survival (GBS) methods are used.

RSF is one method that can be used to eliminate the generalization disadvantage of Cox. In this method, firstly, a decision tree divides the data into different groups according to the existing parameters, and then another survival function is modeled for each subgroup [24]. Thus, instead of only a proportionally changing model with the same shape as the reference risk, patients with different characteristics are represented with other models. Therefore more successful predictions are obtained with RSF.

Similarly, the GBS is a decision tree-based method and can also model different survival functions. However, in the RSF method, subgroups are created independently, and the estimation results of the subgroups are averaged. In contrast, in the GBS, subgroups are created consecutively, aiming to increase performance [25].

The data set was first randomly divided into 25% test and 75% training set to evaluate the methods' performance. The model was developed using the training set, and then predictions were obtained on the model with the test data. Harrell's Concordance Index (c-index) was calculated as a performance parameter. [26]. The c-index shows the generated model's ability to provide survival times based on individual risk scores reliably. A c-index value of 1 indicates a perfect model, while 0.5 is equivalent to a random prediction.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, survival models were created using Cox, RSF, and GSB, and their performances were compared using the c-index. Then, the most critical parameters were defined and ranked by analyzing each parameter in the dataset. Finally, the best performing method and parameter set are compared with other studies using the same dataset.

Two different methods were used to determine the critical parameters. In the first method, separate Cox models were created using each parameter, and the predictive performance of these models was evaluated by calculating the c-index. Parameters showing higher success than other parameters alone were considered more important. The parameter ranking obtained with this method is given in Table 2.

Table 2. Parameter ranking obtained with Cox survival models

Rank	Parameter
1	Serum creatinine
2	Ejection fraction
3	Serum sodium
4	Age
5	Creatinine phosphokinase
6	High blood pressure
7	Anemia
8	Diabetes
9	Sex
10	Platelets
11	Smoking

Another method used to determine the critical parameters is training a survival model using all parameters with RSF and GSB, then calculating the prediction accuracy decrease after removing one parameter at a time. Thus, a collective parameter selection was made by considering the relationship between parameters.

In this way, the five most critical parameters have been determined as given in Table 3.

Table 3. Selected parameters after ranking with RSF and GSB

Rank	Parameter
1	Age
2	Ejection Fraction
3	Serum Creatinine
4	Platelets
5	High Blood Pressure

The first five parameters in Table 2 and the parameters in Table 3 are different. Therefore, the parameters' importance changes when their relationship is considered. Since the relationship between parameters is important, the parameters obtained in Table 3 will be more suitable to use.

After the critical parameters are defined, in addition to the survival models created using all parameters, other models are created with the selected parameters. In the first group, all five selected parameters are used, and three models are created using Cox, RSF, and GSB, then in the second group, the top three of the parameters are used to create three other models. The obtained c-index results are presented in Table 4.

To optimize the RSF and GSB survival models, different values of the minimum leaf, minimum sample split, learning rate, and the number of the estimators are tried. At first, the optimum values of the minimum leaf, minimum sample split, and learning rate are defined. Then using these defined values as constant, the number of the estimators is changed between 5-150 with five steps.

Table 4. The c-index results of the created models with different parameter sets. The values in the parenthesis show the number of estimators in which the best value is obtained

	All The Parameters	5 Selected Parameters	3 Selected Parameters
Cox	0.6477 (-)	0.6761 (-)	0.6482 (-)
RSF	0.7532 (35)	0.7798 (55)	0.7628 (30)
GSB	0.7046 (65)	0.7798 (145)	0.7706 (125)

The best prediction is obtained with the selected five parameters using RSF and GSB as 0.7798. However, the number of estimators used at GSB much higher (145) compared to RSF (55). Therefore RSF is performing better at modeling a survival function.

The contribution of the parameter selection on the performance can be seen from the results in Table 4. The best performance is obtained with the selected five parameters and the worst when all the parameters are used. It can be concluded that some parameters have a negative impact on the performance, and choosing too few parameters are not enough to obtain the best performance. Therefore the selected five parameters are the optimum ones.

The obtained results are compared with other studies using the same dataset. Zahid et al. created three different models. While using all patients' data in the first model, the other two models are for men and women. They performed parameter selection for each model. The c-index value is obtained as 0.72 using the model created with all patients' data and 0.73 and 0.77 with the male and female models [14]. A better c-index was obtained in this study as 0.78, using the model created with RSF for all patients.

4. CONCLUSION

This study shows that machine learning-based methods such as Random Survival Forest are more successful in creating a survival model than non-parametric or semi-parametric methods. Only a few parameters can be categorized in classical

methods, and a model can be created for that patient group. After the model is trained with the RSF, certain groups are automatically determined according to all parameters in the data set, and separate risk models are automatically created for each subgroup. Thus, unlike other studies, particular models can be obtained for patients of different ages or other physiological conditions, even if their gender is identical.

Besides, when all parameters are used to create a survival model, parameters that negatively affect performance can also be included in the dataset, so a model that predicts with the desired accuracy cannot be obtained. Critical parameters are determined using Random Survival Forest and Gradient Boosting Survival, considering the relationships between parameters, and it was found that Age, Ejection Fraction, Serum Creatinine, Platelets, and High Blood Pressure play an essential role in model creation.

5. ACKNOWLEDGMENTS

I want to thank Cardiology Specialist Süleyman Özbiçer for his medical comments and guidance.

6. REFERENCES

1. Cardiovascular diseases. https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-diseases#tab=tab_1 (accessed Feb. 08, 2021).
2. Ho, K., Pinsky, J., Kannel, W., Levy, D., 1993. The Epidemiology of Heart Failure: The Framingham Study. *Journal of the American College of Cardiology*. 22(4), 6-42. 6A-13A. 10.1016/0735-1097(93)90455-A.
3. The SOLVD Investigators, 1992. Effect of Enalapril on Mortality and the Development of Heart Failure in Asymptomatic Patients with Reduced Left Ventricular Ejection Fractions, *New England Journal of Medicine*, 327(10), 685–691, doi:10.1056/NEJM199209033271003.
4. Yusuf, S., 1991. Effect of Enalapril on Survival in Patients with Reduced Left Ventricular Ejection Fractions and Congestive

- Heart Failure,” *New England Journal of Medicine*, 325(5), 293–302, doi: 10.1056/NEJM199108013250501.
5. Swedberg, K., Kjeksus, J., 1988. Effects of Enalapril on Mortality in Severe Congestive Heart Failure: Results of the Cooperative North Scandinavian Enalapril Survival Study (CONSENSUS), *The American Journal of Cardiology*, 62(2), 60A-66A, doi: 10.1016/S0002-9149(88)80087-0.
 6. Lee, D.S., Austin, P.C., Rouleau, J.L., Liu, P.P., Naimark, D., Tu, J.V., 2003. Predicting Mortality Among Patients Hospitalized for Heart Failure: Derivation and Validation of a Clinical Model, *Journal of the American Medical Association*, 290(19), 2581–2587. doi: 10.1001/jama.290.19.2581.
 7. Aaronson, K.D., Cowger, J., 2012. Heart Failure Prognostic Models Why Bother?, *Circulation: Heart Failure*, Lippincott Williams & Wilkins Hagerstown, MD, 5(1), 6–9. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.111.965848.
 8. Levy, W.C., Mozaffarian, D., Linker, D.T., Sutradhar, S.C., Anker, S.D., Cropp, A.B., Anand, I., Maggioni, A., Burton, P., Sullivan, M.D., Pitt, B., Poole-Wilson, P.A., Mann, D.L., Packer, M., 2006. The Seattle Heart Failure Model: Prediction of Survival in Heart Failure. *Circulation*, 113(11), 1424-1433. doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.584102.
 9. Brophy, J.M., Dagenais, G.R., McSherry, F., Williford, W., Yusuf, S., 2004. A Multivariate Model for Predicting Mortality in Patients with Heart Failure and Systolic Dysfunction, *The American Journal of Medicine*, 116(5), 300-304, doi.org/10.1016/j.amjmed.2003.09.035.
 10. Ahmad, T., Munir, A., Bhatti, S.H., Aftab, M., Raza, M.A., 2017. Survival Analysis of Heart Failure Patients: A case study. *PLoS ONE* 12(7), e0181001, doi: 10.1371/journal.pone.0181001.
 11. Kaplan, E.L., Meier, P., 1958. Non-parametric Estimation from Incomplete Observations, *Journal of the American Statistical Association*, 53(282), 457–481, doi: 10.1080/01621459.1958.10501452.
 12. Collett, D., 2003. *Modelling Survival Data in Medical Research*, 2nd ed. Boca Raton, Fla. : Chapman & Hall/CRC, 391.
 13. Chicco, D., Jurman, G., 2020. Machine Learning can Predict Survival of Patients with Heart Failure from Serum Creatinine and Ejection Fraction Alone, *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 20(1), 16, doi: 10.1186/s12911-020-1023-5.
 14. Zahid, F.M., Ramzan, S., Faisal, S., Hussain, I., 2019. Gender Based Survival Prediction Models for Heart Failure Patients: A Case Study in Pakistan, *PLOS ONE*, 14(2), doi: 10.1371/journal.pone.0210602.
 15. Oladimeji, O.O., Oladimeji, O., 2020. Predicting Survival of Heart Failure Patients Using Classification Algorithms, *JITCE (Journal of Information Technology and Computer Engineering)*, 4(02), 90–94, doi: 10.25077/jitce.4.02.90-94.2020.
 16. Rahayu, S., Jaya Purnama, J., Baroqah Pohan, A., Septia Nugraha, F., Nurdiani, S., Hadianti, S., 2020. Prediction of Survival of Heart Failure Patients Using Random Forest, 16(2), 255-260. doi: 10.33480/PILAR.V16I2.1665.
 17. Erdas, C.B., Olcer, D., 2020. A Machine Learning-Based Approach to Detect Survival of Heart Failure Patients, 1–4, doi: 10.1109/tiptekno50054.2020.9299320.
 18. Le, M.T., Thanh Vo, M., Mai, L., Dao, S.V.T., 2020. Predicting Heart Failure Using Deep Neural Network, in *International Conference on Advanced Technologies for Communications*, 221–225, doi:10.1109/ATC50776.2020.9255445.
 19. Kucukakcali, Z., Cicek, I.B., Guldogan, E., Colak, C., 2020. Assessment of Associative Classification Approach for Predicting Mortality by Heart Failure, *The Journal of Cognitive Systems*, 5(2), 41–45, Accessed: Feb. 07, 2021. [Online]. Available: <http://dergipark.gov.tr/jcs>.
 20. Chicco, D., Jurman, G., 2020. Survival Prediction of Patients with Sepsis from Age, Sex, and Septic Episode Number Alone, *Scientific Reports*, 10(1), 1–12, doi: 10.1038/s41598-020-73558-3.
 21. Raphael, C., Briscoe, C., Davies, J., Whinnett, Z.I., Manisty, C., Sutton, R., Mayet, M., 2019. Machine Learning Predicts Survival in Heart Failure Patients, *PLoS ONE*, 14(2), doi: 10.1371/journal.pone.0210602.

- J., Francis, D.P., 2007. Limitations of the New York Heart Association Functional Classification System and Self-reported Walking Distances in Chronic Heart Failure, *Heart*, 93(4), 476–482, doi:10.1136/hrt.2006.089656.
22. Deep Learning for Survival Analysis. https://humboldt-wi.github.io/blog/research/information_systems_1920/group2_survivalanalysis/ (accessed Feb. 10, 2021).
23. Cox, D.R., 1972. Regression Models and Life-Tables, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 34(2), 187–202, doi: 10.1111/j.2517-6161.1972.tb00899.x.
24. Ishwaran, H., Kogalur, U.B., Blackstone, E.H., Lauer, M.S., 2008. Random Survival Forests, *Annals of Applied Statistics*, 2(3), 841–860, doi: 10.1214/08-AOAS169.
25. Friedman, J.H., 2001. Greedy Function Approximation: a Gradient Boosting Machine, *The Annals of Statistics*, 29(5), 1189–1232, Accessed: Feb. 05, 2021. [Online].
26. Uno, H., Cai, T., Pencina, M.J., D’agostino, R.B., Wei, L.J., 2011. On the C-statistics for Evaluating Overall Adequacy of Risk Prediction Procedures with Censored Survival Data, *Statistics in Medicine*, 30(10), 1105–1117. doi: 10.1002/sim.4154.

Numerical Analysis of Ampicillin Release from Electrospun Nanofibrous Mats

Mehmet Melih TATLISÖZ¹, Çetin CANPOLAT*¹

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

Geliş tarihi: 15.02.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Abstract

The electrospun nanofibrous mat is an emerging tool for drug release studies. Therefore, it is essential to predict this type of system's drug release behavior to overcome the existing problems and generate novel drug release systems. In the present work, a numerical study is performed for fulfilling this requirement, and the current numerical data is validated with the experimental study, which is available in the open literature. Transient Langmuir-Freundlich adsorption-desorption isotherm is employed for describing the drug release behavior of the electrospun nanofibrous system under perfect sink conditions. The effect of the diffusion phenomenon is also taken into account. Drug release rates are investigated for different initial drug concentrations, porosity values, permittivity mass coefficients, and mat surface areas. Moreover, the relationship between the porosity and the initial drug concentration is also presented. It can be reported that significant alterations occur in drug release rates through varied initial drug concentrations and porosity. Although the drug release rate is altered with permittivity coefficient or surface area, minor variations are observed compared to the parameters above. The results of the numerical code agree well with the experimental data.

Anahtar Kelimeler: Controlled drug release, Electrospinning, Nanofibrous mat, Numerical analysis, Adsorption-desorption kinetics

Electrospun Nanofibröz Matlardan Ampisilin Salımının Sayısal Analizi

Öz

Elektrospun nanofibröz mat, ilaç salım çalışmaları için güncel bir tekniktir. Bu nedenle, mevcut sorunların üstesinden gelmek ve yeni ilaç salım sistemleri oluşturmak için bu tür sistemlerin ilaç salım davranışını incelemek önemlidir. Bu makalede, bu gerekliliğin karşılanması için sayısal bir çalışma yapılmış ve mevcut sayısal veriler literatürde bulunan deneysel çalışma sonuçları ile doğrulanmıştır. Geçici Langmuir-Freundlich adsorpsiyon-desorpsiyon izotermi, elektrospun nanofibröz sistemin mükemmel kuyu koşulları altında ilaç salım davranışını açıklamak için kullanılmıştır. Difüzyonun etkisi de hesaba katılmıştır. İlaç salım oranları, farklı ilk ilaç konsantrasyonları, gözenek değerleri, geçirgenlik kütle katsayıları ve mat yüzey alanları için araştırılmıştır. Ayrıca gözenek ve ilk ilaç konsantrasyonu arasındaki ilişki de bu çalışmada verilmiştir. Çeşitli başlangıç ilaç konsantrasyonları ve gözenekler

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Çetin CANPOLAT, ccanpolat@cu.edu.tr

vasıtasıyla ilaç salım oranlarında bazı önemli değişikliklerin meydana geldiği görülmüştür. İlaç salım hızı, geçirgenlik katsayısı veya yüzey alanı ile değişmekle birlikte, bu değişimlerde yukarıda bahsedilen parametrelere göre küçük farklılıklar gözlenmektedir. Sayısal kodun sonuçları deneysel verilerle uyumludur.

Keywords: Kontrollü ilaç salımı, Elektrospinning, Nanofibröz mat, Sayısal analiz, Adsorpsiyon-desorpsiyon kinetiği

1. INTRODUCTION

Various advantages of extending drug release in the human body, such as decreased fluctuations of the active component in the bloodstream [1], lower duration of administration [2], improved patient enforcement [3] are present. In order to prolong the active ingredient's efficacy, many medicinal and chemical precautions are recommended. For instance, adsorption time can be increased by modifying the medication's administration type [4], biotransformation can be prevented through introducing enzymatic inhibitors to the drug composition [5], and vasoconstrictor compounds may postpone the extraction of the active ingredient from the body [6]. The most effective and healthy method is changing the type of active ingredient's release form [7].

Electrospinning is a versatile process for generating continuous fibers with diameters ranging from nano- to micro-scale [8]. In this process, an external electrical field is applied to the hemispherical solution drop at the edge of the nozzle. Taylor cone is formed along with increasing external electrical field [9]. After a threshold value, the fluid's surface tension is exceeded by electrostatic repulsive forces, which leads to the ejection of a solidified single fluid jet from the tip of the Taylor cone [10]. A single fluid jet is splayed into fibers as traveling through the applied electrical field [11]. Splayed fibers are randomly or uniformly deposited on the grounded scaffold; thus, a nanofibrous mat is generated. Some remarkable advantages of electrospinning exist, such as the fabrication of nanofibers with large surface areas, good mechanical properties, and easy surface functionalization [12]. Therefore, electrospinning becomes a popular technique throughout diverse professions, such as textile engineering [13], food engineering [14],

pharmaceutics [15], electronics [16], optics [17], and biomedical engineering [18]. From a biomedical engineering perspective, electrospinning is utilized in the fields of biomaterials [19], biosensors [20], tissue engineering [21], and medical imaging [22]. The advantages of electrospun nanofibers in pharmaceutics are high drug loading capacity, controllable microstructure and positional deposition of components, enabling simultaneous delivery of different therapeutics, and low costs [23]. Moreover, location-specific drug delivery, high solubility of hydrophobic drugs, prevention of degradation of biomolecules can be achieved with electrospinning, in contrast to conventional drug release systems [24]. Due to these capabilities and advantages, the drug release from electrospun nanofibers is conducted and proposed in the literature. Tetracycline hydrochloride release from electrospun fibers is investigated and compared with commercial drug release systems by Kenawy et al. [25]. Zeng et al. [26] conduct a comparative study between coated and uncoated nanofibers according to drug release behaviors. Cui et al. [27] utilizes electrospun nanofibers as drug delivery vehicles. Thakur et al. [28] fabricate a nanofiber scaffold by electrospinning and employ it as a drug release system, etc.

Most studies are performed experimentally in the drug release studies for nanofiber mats. To the best of the authors' knowledge, mathematical modeling for nanofibrous drug release is included only in three studies, which are Nakielski et al. [28], Lin et al. [29], and Petlin et al. [30]. While numerical analysis is utilized for verifying experimental drug release behavior by the first and the second studies, the effect of nanofiber diameter distribution on drug release rate is investigated mechanistically in the work of Petlin et al. [29]. However, influences of many parameters

associated with the electrospinning technique are still unknown. At this point, mathematical modeling comes into play as a useful tool to handle physical problems due to its low time, labor burden and high accuracy. Mathematical models of drug release can be mainly categorized as empirical/semi-empirical and mechanistic. Although structural connectivity and functional mechanisms are known for mechanistic modeling, empirical/semi-empirical modeling is governed by the system's external parameter, namely the drug release rate.

In the current numerical study, the comprehensive numerical analyses are provided for the parameters of electrospinning affecting the drug release rate, such as initial drug concentration, the porosity of nanofibrous mat, and permittivity coefficient between the nanofibrous mat and release medium, size of the nanofibrous mat. Moreover, the impact of porosity and the nanofibrous mat size on initial drug concentration is also presented. For the validation purposes of mathematical model, the experimental results of Sultanova et al. [30] are utilized.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Theory

Drug release from nanofibrous mats are described with transient Langmuir – Freundlich adsorption-desorption isotherm (Equation 1):

$$\frac{dC_A}{dt} = k_{ads} (C_{A0} - C_A) C_B - k_{des} C_A \quad (1)$$

where drug adsorbed on the fiber surface is represented by C_A (kg/kg), C_B is the desorbed drug concentration (kg/m³), and C_{A0} represents the initial adsorbed drug concentration. k_{ads} (m³/kg.s) and k_{des} (1/s) are adsorption rate constant and desorption rate constant, respectively.

After the desorption process, free drug molecules are removed from the nanofibrous surface through the diffusion phenomenon. Rectangular coordinates are preferred for describing the

transport of free drug molecules. Note that the diffusion coefficient of the modeled drug is assumed constant. The change of the desorbed drug concentration with time can be governed by the equation below (Equation 2).

$$\frac{dC_B}{dt} = D_B \left(\frac{\partial^2 C_B}{dx^2} + \frac{\partial^2 C_B}{dy^2} \right) - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \rho_p \frac{dC_A}{dt} \quad (2)$$

where ε is the porosity of nanofibrous mat and ρ_p is the density of polymer (kg/m³). A nanofibrous mat is assumed to be placed in a perfect sink medium. Therefore, perfect sink condition is applied upon the boundaries of the nanofibrous mat (Equation 3):

$$J_B = k_c (C_{B,medium} - C_B) \quad (3)$$

where J_B is the flux of the desorbed molecule, k_c is the permittivity coefficient (m/s), C_B , the medium is the desorbed molecule concentration in the surrounding medium and equal to zero, due to the perfect sink condition. The drug release rate is calculated according to the ratio of remaining drug mass inside the computational domain and initial drug mass, as shown (Equation 4):

$$DRR = 1 - \frac{\int_V C_A ((1-\varepsilon)/\varepsilon) \rho_p dv}{\int_V C_{A0} ((1-\varepsilon)/\varepsilon) \rho_p dv} \quad (4)$$

As seen in the equation 4, the drug release mechanism is primarily based on the adsorption-desorption process. C_A and C_{A0} are multiplied by the equation of $((1-\varepsilon)/\varepsilon)\rho_p$ for converting the mass concentration term (kg/kg) to the volumetric concentration term (kg/m³). In addition, the drug release mechanism is also affected by the concentration of desorbed drug molecules, the diffusion coefficient of the model drug, and the permittivity coefficient of the interface between the nanofibrous mat and the release medium.

2.2. Numerical Analysis

First of all, the study by Sultanova et al.,[30] is used to validate the initial results of the current

numerical simulation. In their study, ampicillin and polycaprolactone (PCL) are the drug and the polymer, respectively. Drug release is carried out in phosphate-buffered saline (PBS, at pH: 7.4) medium. The experimental result of the drug release rate is exploited to determine the model parameters. By this means, an excellent alignment is established between the experimental and the numerical results. Simulations are performed via COMSOL Multiphysics 5.3a software. The nanofibrous mat is constructed as a tetragonal prism with a width of $W=1.5\text{cm}$, a length of $L=1.5\text{cm}$, and a height of $H=0.025\text{cm}$, as depicted in Figure 1a. Due to the physics of the problem, the nanofibrous mat used in our numerical model is created in two dimensions (2D), as shown in Figure 1b since nanofibrous mats have a relatively

low thickness (typically a few hundred micrometers). Therefore, the numerical model can provide acceptable results with the experimental data. Moreover, nanofibers are assumed to be non-degradable in numerical analyses. PCL degrades fully in a period of 60 months in PBS media [31], which is a very long time scale for our simulations; thus, degradation can be safely ignored in this work. The computational domain has a mesh structure with triangular elements. A convergence analysis is carried out to determine the optimum mesh element number. The problem is solved with meshes having 366, 574, 1308 and 2124 elements. The relative error between 574- and 1308-element meshes is observed to be lower than 0.1%. Therefore, 574-element mesh is taken to be optimal for this study.

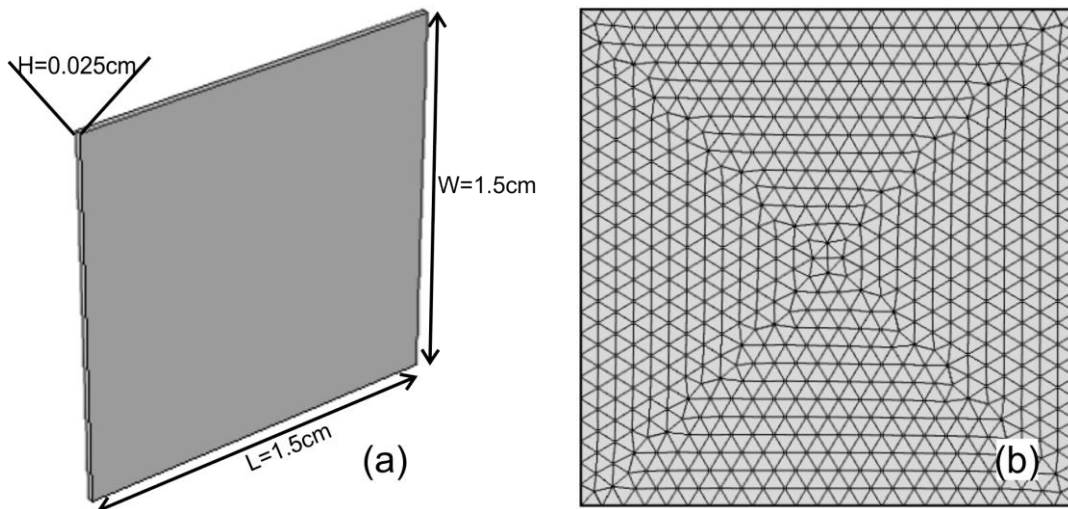


Figure 1. (a) Nanofibrous mat dimensions in 3D (b) 2D computational domain with applied mesh

3. RESULTS AND DISCUSSION

Since the required modeling parameter values for ampicillin and PCL are not available, we first focus on determining these parameters in this study. A strong correlation with $r=0.9815$ is observed between the experimental and numerical results, as shown in Figure 2. Therefore, adsorption rate constant, desorption rate constant, diffusion coefficient of desorbed drug and permittivity constant at the interface are determined as $k_{ads}=5 \times 10^{-8} \text{ m}^3/(\text{kg}\cdot\text{s})$, $k_{des}=2.3 \times 10^{-4}$

$1/\text{s}$, $D_B=1 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, $k_c=7 \times 10^{-8} \text{ m/s}$, respectively. In the experimental study, the nanofibrous mats' mass is given as 100 mg and drug concentration is five times lower than polymer concentration, which yields $C_{A0}=0.2$. Hence, the initial drug mass is determined as 16.667 mg. In order to obtain the initial drug mass, which is aimed to be consistent with the experimental results, the porosity value as shown in the denominator of Equation 4 is adjusted to 0.436. The density of PCL is a known value and equals to $\rho_p=1145 \text{ kg/m}^3$. All parameters used for the simulations are listed in Table 1.

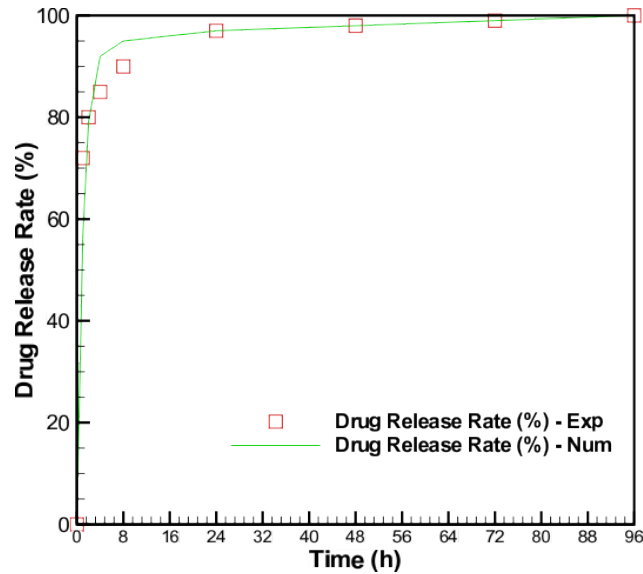


Figure 2. Comparison of drug release rates between the experimental study of Sultanova et al. [30] and our numerical results

Table 1. Parameters used during the numerical analyzes

Symbol	Definition	Values
k_{ads}	Adsorption rate constant of the model drug	$5 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}\cdot\text{s}$
k_{des}	Desorption rate constant of the model drug	$2.3 \times 10^{-4} \text{ 1/s}$
C_{AO}	Initial adsorbed drug concentration	0.05-0.1-0.2-0.4-0.8 kg/kg
ϵ	Porosity of the nanofibrous mat	0.216-0.436-0.654-0.872
D	Diffusion coefficient of the model drug	$1 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$
k_c	Permittivity coefficient	3.5×10^{-8} - 7×10^{-8} - $1.4 \times 10^{-7} \text{ m/s}$

Adsorbed drug concentration, depicted in Figure 3, demonstrates that the loaded drug is uniformly adsorbed on the nanofiber surface initially. When the release process starts, the drug is desorbed and transported out of the nanofibrous mat. During the process, the uniform distribution of the drug is roughly maintained. Concentration diminishes slightly in the horizontal and vertical directions. When a drug concentration of 296.18 kg/m^3 is loaded, the only drug in the amount of 24.156 kg/m^3 remains after $t=4\text{h}$. This result is consistent with the inevitable burst release behavior of nanofibrous membranes. The drug release rate is attenuated for $t=8\text{h}$, for which a drug concentration of 17.118 kg/m^3 is left. The attenuation in the drug release rate is sustained for further timeframes. Drug concentrations of 15.208 kg/m^3 , 10.072 kg/m^3 and 3.7843 kg/m^3 are

left as adsorbent for $t=24\text{h}$, $t=48\text{h}$, $t=96\text{h}$, respectively. Drug release characteristic diverges from zero-order release kinetics while the corresponding graph approaches the full release condition. The concentration of the adsorbed drug (C_A) is also graphically presented in Figure 4, along with the desorbed drug concentration (C_B) on the nanofibrous mat. While adsorbed drug concentration increases, desorbed drug concentration, in contrast, decreases for the first six hours. Concentration values of $C_A=1.46 \text{ kg/m}^3$ and $C_B=229.98 \text{ kg/m}^3$ are obtained at $t=6\text{h}$. Afterward, C_A decreases continuously, as C_B does. It can be concluded that after a certain time point, which is approximately $t=6\text{h}$ for the present study, diffusion dominates adsorption-desorption as a release mechanism. C_A disappears completely and C_B approaches 31.17 kg/m^3 after 96 hours.

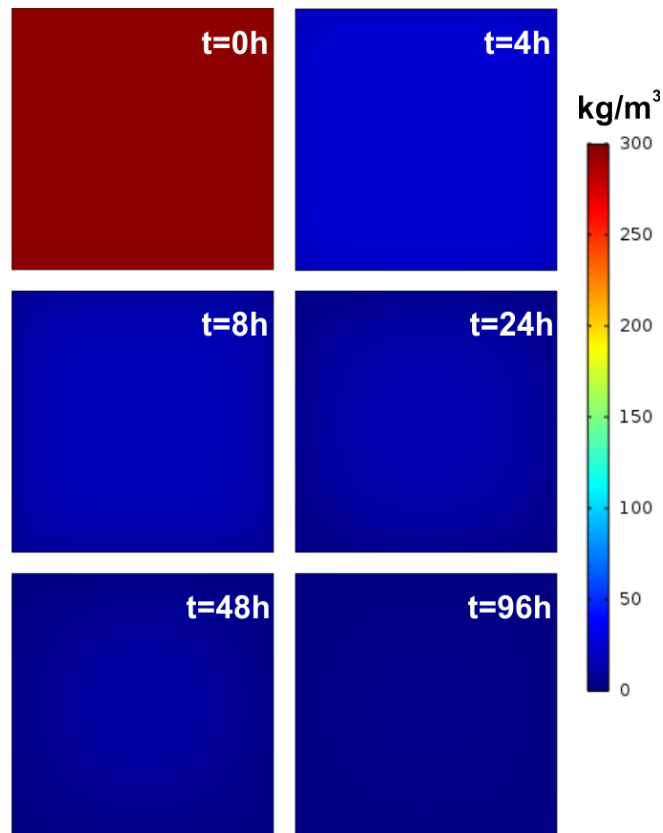


Figure 3. Concentration maps of adsorbed drug molecules on the nanofibrous mats for different timescales (h=hour)

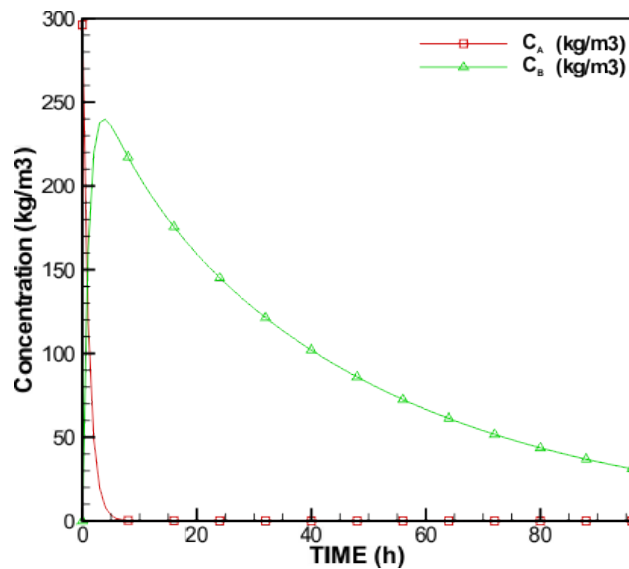


Figure 4. Transient concentrations of adsorbed and desorbed molecules on the nanofibrous mat

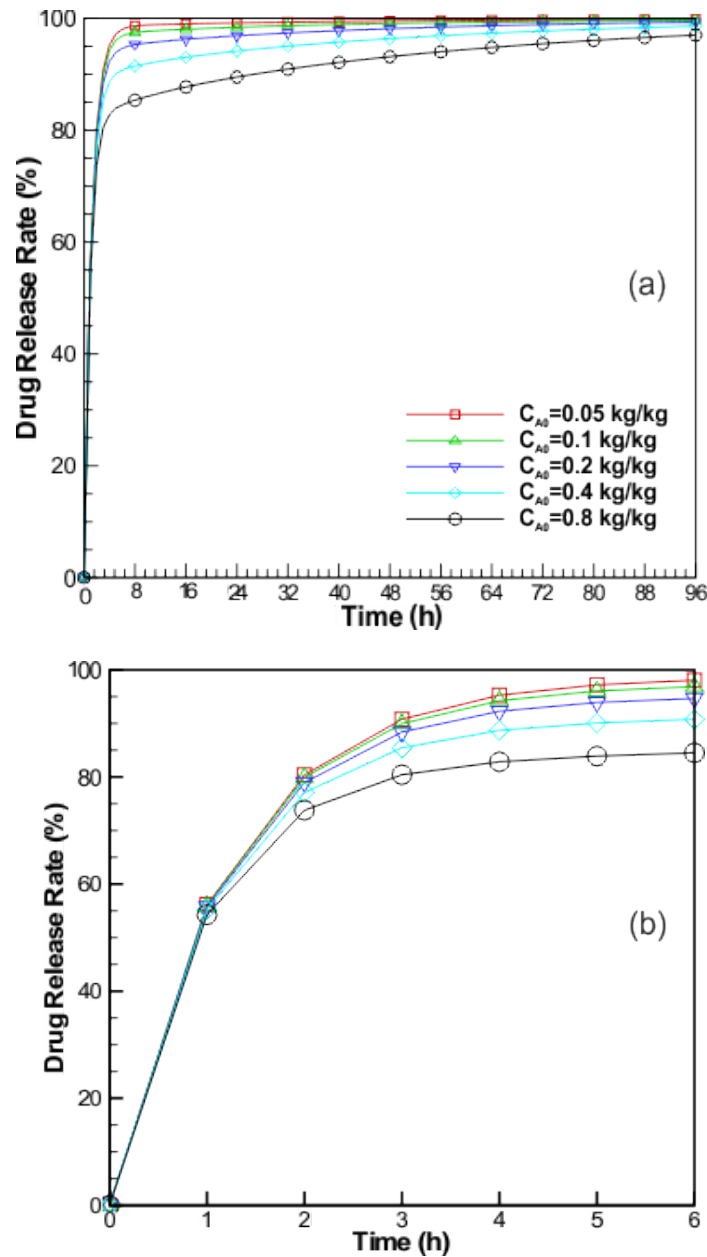


Figure 5. (a) Drug release rates for different initial drug concentrations within 96h. (b) Drug release rates for different initial drug concentrations within 6h

Initial drug concentration is significant for the drug release behavior, as graphically depicted in Figure 5a. When lower concentrations of the drug are loaded to the nanofibers, faster drug release is consistently observed, which agrees with the

experimental study of Kabay et al. [32]. While 98.05% of the loaded drug is released for $C_{A0}=0.05$, 84.5% of the loaded drug is released for $C_{A0}=0.8$. Nearly full release, which is defined as a release rate higher than 99.5%, is observed at

$t=46$ h and $t=78$ h for $C_{A0}=0.05$ and $C_{A0}=0.1$, respectively. However, this rate is not reached via $C_{A0}=0.2$, $C_{A0}=0.4$, $C_{A0}=0.8$, whose efficiencies are 99.31%, 98.57% and 97.01%, respectively.

Porosity [33] is one of the most fundamental parameters for drug release studies. In electrospinning systems, porosity correlates with nanofiber density through nanofiber deposition duration on the scaffold. Since the drug is dissolved within the polymer solution, porosity is directly related to the initial drug concentration. As shown in Figure 6a, the initial drug mass decreases with increasing porosity. The porosity value of $\epsilon=0.436$ is the base value in this study, which corresponds to an initial drug mass of 16.667 mg. When the porosity decreases twofold ($\epsilon=0.218$), the initial drug mass increases to 46.207 mg. On

the other hand, if the porosity increases twofold ($\epsilon=0.654$) and fourfold ($\epsilon=0.872$), the initial drug mass is calculated as 6.815 mg and 1.891 mg, respectively. This finding is graphically displayed in Figure 6a. The influence of porosity variation on drug release rate is also investigated in the present work. As such, the drug release rate rises with increasing porosity, as seen in Figure 6b and Figure 6c. At $t=6$ h, drug release rates of 88.13%, 94.66%, 97.29%, 98.73% are obtained for the porosity values of $\epsilon=0.218$, $\epsilon=0.436$, $\epsilon=0.654$, $\epsilon=0.872$, respectively. Although, the nearly full release is observed for $\epsilon=0.872$ and $\epsilon=0.654$ at $t=13$ h and $t=68$ h, respectively; 97.97% and 99.31% of drug release is reached for the systems with $\epsilon=0.218$ and $\epsilon=0.436$ at 100h and 88h, respectively. It is known that the drug release rate is directly proportional to the porosity.

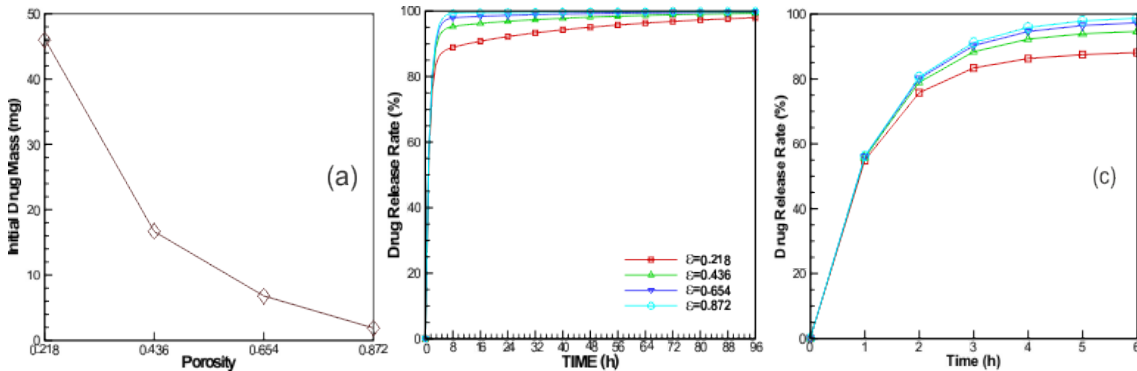


Figure 6. (a) Variations of initial drug concentrations for different porosity values. (b) Drug release rates for different porosity values within 96h. (c) Drug release rates for different porosity values within 6h

The results of the current numerical work also provide information about the effect of the permittivity coefficient on the drug release. As seen in Figure 7, a slight decrease is observed in drug release rates with decreasing permittivity coefficients. For instance, drug release rates of 94.39%, 94.66%, 94.95% are acquired for $k_c=3.5 \times 10^{-8}$ m/s, $k_c=7 \times 10^{-8}$ m/s, $k_c=1.4 \times 10^{-7}$ m/s at $t=6$ h, respectively. When full release is obtained nearly for $k_c=1.4 \times 10^{-7}$ m/s at $t=92$ h, drug release rates of 99.31% and 98.81% are obtained for $k_c=7 \times 10^{-8}$ m/s and $k_c=3.5 \times 10^{-8}$ m/s, respectively. It is also investigated whether the drug release rate is

affected by the nanofibrous mat's surface area. The base surface area for the nanofibrous mat in this study is set to $A=2.25\text{cm}^2$, which is halved as well as doubled and quadrupled in various analyses for parametric investigation. Initial drug concentration varies linearly with surface area, as shown in Figure 8a. However, no significant variations are observed for drug release rates with different surface areas, in contrast to the drug release from tablet matrices [34] or hydrogel coatings [35]. Nevertheless, more rapid drug release is observed for smaller surface areas, which is shown in Figures 8b and 8c. Drug release rates of 95.36%,

94.66%, 94.41%, 94.29% are acquired for the surface areas of $A=0.5625 \text{ cm}^2$, $A=2.25 \text{ cm}^2$, $A=5.0625 \text{ cm}^2$, $A=9 \text{ cm}^2$ at $t=6 \text{ h}$, respectively. Moreover, nearly full release is reached only with

$A=0.5625 \text{ cm}^2$ at $t=40 \text{ h}$. Drug release rates of 99.31%, 98.24%, %97.46 is carried out for $A=2.25 \text{ cm}^2$, $A=5.0625 \text{ cm}^2$, $A=9 \text{ cm}^2$ at $t=96 \text{ h}$, respectively.

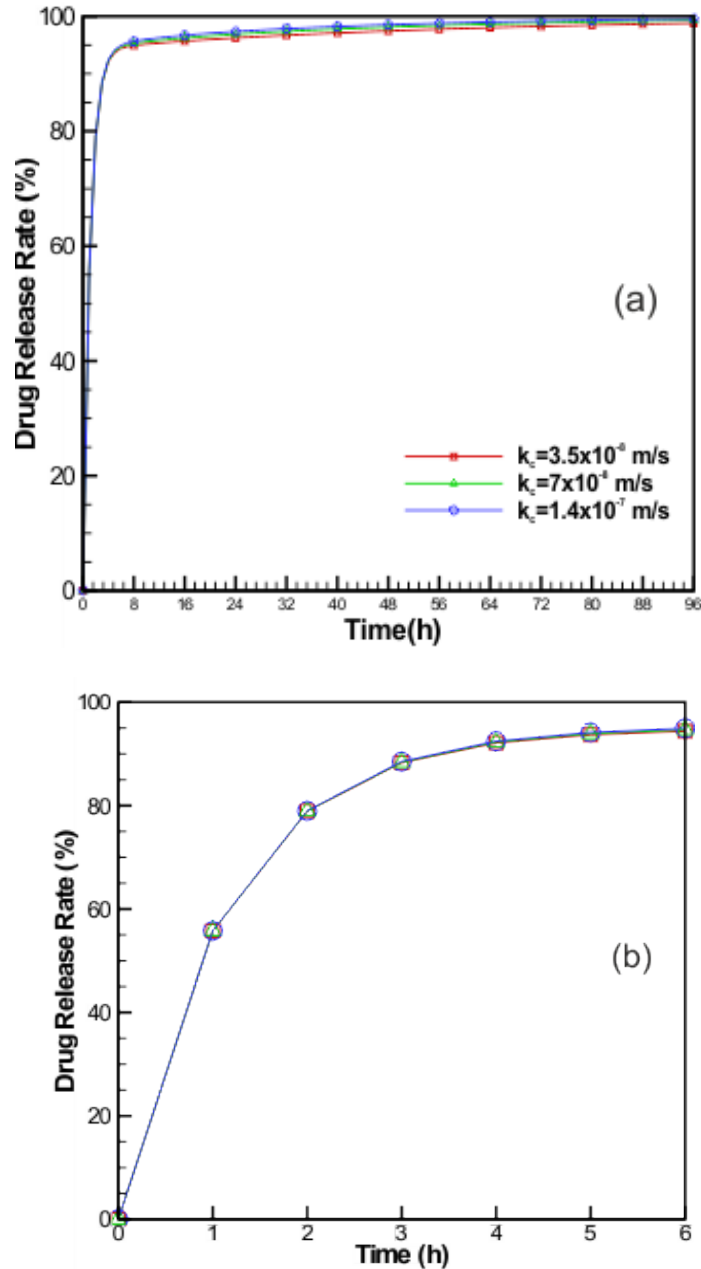


Figure 7. (a) Drug release rates for different permittivity coefficients within 96h. (b) Drug release rates for different permittivity coefficients within 96h

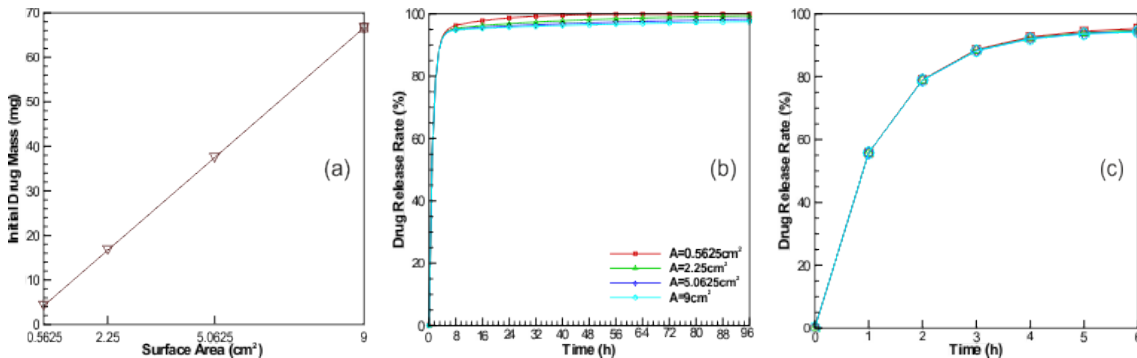


Figure 8. (a) Relationship between nanofibrous mat surface area and initial drug mass. (b) Drug release rates for varying surface areas within 96h. (c) Drug release rates for varying surface areas within 6h

4. CONCLUSIONS

In this study, drug release from nanofibrous mats is numerically analyzed. Although several experimental works are presented in the literature, comprehensive numerical studies are limited in this field. The following conclusions can be drawn from this study.

1. The experimental data are perfectly predicted by the current finite-element code.
2. The adsorbed drug is almost uniformly distributed throughout the nanofibrous mat surface, and burst release is observed initially.
3. Most of the drug molecules are desorbed within six hours.
4. More rapid drug release is achieved by means of lower concentrations of initial drug loading.
5. When the porosity decreases, initial drug mass increases due to enhanced nanofiber density.
6. The drug release rate can be accelerated by increasing the porosity.
7. The drug release rate can be increased by the rise of the permittivity coefficient or attenuating the nanofibrous mat's surface area.

5. ACKNOWLEDGMENTS

This work is supported by Cukurova University Scientific Research Office financially under contract no FBA-2017-7960 and FBA-2019-12419.

6. REFERENCES

1. Jaimini, M., Kothari, A.H., 2012. Sustained Release Matrix Type Drug Delivery System: A Review. *J Drug Deliv Ther*, 2(6), 142-148 <https://doi.org/10.22270/jddt.v2i6.340>.
2. Borgquist, P., Körner, A., Piculell, L., Larsson, A., Axelsson, A., 2006. A Model for the Drug Release from a Polymer Matrix Tablet-effects of Swelling and Dissolution. *J Control Release*, 113, 216–225.
3. Kuentz, M., Holm, R., Elder, D.P., 2016. Methodology of Oral Formulation Selection in the Pharmaceutical Industry. *Eur J Pharm Sci*, 87, 136–163.
4. Patel, H., Panchal, D.R., Patel, U., Brahmabhatt, T., Suthar, M., 2011. Matrix Type Drug Delivery System: A Review. *J Pharm Sci Biosci Res*, 1,143–151.
5. Tan, H.W., Xing, S.S., Bi, X.P., Li, L., Gong, H.P., Zhong, M., Zhang, Y., Zhang, W., 2008. Felodipine Attenuates Vascular Inflammation in a Fructose-induced Rat Model of Metabolic Syndrome Via the Inhibition of NF- κ B Activation. *Acta Pharmacol Sin*, 29(9),1051-9.
6. Pitt, C.G., Schindler, A., 1995. The Kinetics of Drug Cleavage and Release from Matrices Containing Covalent Polymer-drug Conjugates. *J Control Release*, 33, 391–5.
7. Frenning, G., Fichtner, F., Alderborn, G., 2005. A New Method for Characterizing the Release of Drugs from Single Agglomerates. *Chem Eng Sci*, 60, 3909-18.

8. Chou, S.F., Carson, D., Woodrow, K.A., 2015. Current Strategies for Sustaining Drug Release from Electrospun Nanofibers. *Journal of Controlled Release*, 220, 584-591.
9. Doshi, J., Reneker, D.H., 1995. Electrospinning Process and Applications of Electrospun Fibers. *Journal of Electrostatics*, 2, 151-160.
10. Zong, X., Kim, K., Fang, D., Ran, S., Hsiao, B.S., Chu, B., 2002. Structure and Process Relationship of Electrospun Bioabsorbable Nanofiber Membranes. *Polymer*, 43(16), 4403-4412.
11. Hamori, M.M., Shin, M., Rutledge, G., Brenner, M.P., 2001. Preparation and Pharmaceutical Evaluation of Nanofiber Matrix Supported Drug Delivery System Using the Solvent-based Electrospinning Method. *Physics of Fluids*, 13(8), 2201-2220.
12. Agarwal, S., Wendorff, J.H, Greiner, A., 2008. Use of Electrospinning Technique for Biomedical Applications. *Polymer*, 49, 5603-562.
13. Bedform, N.M., Steckl, A.J., 2010. Photocatalytic Self-Cleaning Textile Fibers by Coaxial Electrospinning. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2(8), 2448-2455.
14. Aceituno-Medina, M., Mendoza, S., Lagaron, J.M., Loperz-Rubio, A., 2013. Development and Characterization of Food-grade Electrospun Fibers from Amaranth Protein and Pullulan Blends. *Food Research International*, 54(1), 667-674.
15. Hamori, M., Yoshimatsu, S., Hukuchi, Y., Shimizu, Y., Fukushima, K., Sugioka, N., Nishimura, A., Shibata, N., 2014. *International Journal of Pharmaceutics*, 464(1-2), 243-251.
16. Sun, B., Long, Y.Z., Chen, Z.J., Liu, S.L., Zhang, H.D., Zhang, J.C., Han, W.P., 2014. Recent Advances in Flexible and Stretchable Electronic Devices Via Electrospinning. *Journal of Materials Chemistry C*, 2, 1209-1219.
17. Liu, H., Edel, J.B., Bellan, L.M. Craighead, H.G., 2006. Electrospun Polymer Nanofibers as Subwavelength Optical Waveguides Incorporating Quantum Dots. *Small*, 2(4), 495-499.
18. Khil, M.S., Cha, D.I., Kim, H.K., Kim, I.S., Bhattarai, N., 2003. Electrospun Nanofibrous Polyurethane Membrane as Wound Dressing. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 67B(2), 675-679.
19. Ren, X., Akdag, A., Zhu, C., Kou, L., Worley, S.D., 2009. Electrospun Polyacrylonitrile Nanofibrous Biomaterials. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 91A(2), 385-390.
20. Ren, G., Xu, X., Liu, Q., Cheng J., Yuan, X., Wu, L., Wan, Y., 2006. Electrospun Poly (vinyl alcohol)/glucose Oxidase Biocomposite Membranes for Biosensor Applications. *Reactive and Functional Polymers*, 66(12), 1559-1564.
21. Yoshimoto, H., Shin, Y.M., Terai, H., Vacanti, J.P., 2003. A Biodegradable Nanofiber Scaffold by Electrospinning and its Potential for Bone Tissue Engineering. *Biomaterials*, 24, 2077-2082.
22. Zhou, F.L., Hubbard, P.L., Eichborn, S.J., Parker, G.J.M., 2012. Coaxially Electrospun Axon-mimicking Fibers for Diffusion Magnetic Resonance Imaging. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 4, 6311-6316.
23. Hu, X., Liu, S., Zhou, G., Huang, Y., Xie, Z., Jing, X., 2014. Electrospinning of Polymeric Nanofibers for Drug Delivery Applications. *Journal of Controlled Release*, 185, 12-21.
24. Liang, D., Hsiao, B.S., Chu, B., 2007. Functional Electrospun Nanofibrous Scaffolds for Biomedical Applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 59(14), 1392-1412.
25. Kenawy, E.R., Bowlin, G.L., Mansfield, K., Layman, J., Simpson, D.G., Sanders, E.H., Wnek, G.E., 2002. Release of Tetracycline Hydrochloride from Electrospun Poly (ethylene-co-vinylacetate), Poly (lactic acid), and a Blend. *Journal of Controlled Release*, 81(1-2), 57-64.
26. Zeng, J., Yang, L., Liang, Q., Guan, H., Xiuling, X., Chen, X., Jing, X., 2005. Influence of the Drug Compatibility with Polymer Solution on the Release Kinetics of Electrospun Fiber Formulation. *Journal of Controlled Release*, 105(1-2), 43-51.
27. Cui, W., Li, X., Zhu, X., Yu, G., Zhou, S., Weng, J., 2006. Investigation of Drug Release

- and Matrix Degradation of Electrospun Poly (dl-lactide) Fibers with Paracetamol Inoculation. *Biomacromolecules*, 7(5), 1623-1629.
28. Nakielski, P., Kowalczyk, T., Zembrzycki, K., Kowalewski, T.A., 2014. Experimental and Numerical Evaluation of Drug Release from Nanofiber Mats to Brain Tissue. *Journal of Biomedical Materials Research B: Applied Biomaterials*, 103B(2), 282-291.
 29. Petlin, D.G., Amarah, A.A., Tverdokhlebov, S.I., Anissimov, Y.G., 2017. A Fiber Distribution Model for Predicting Drug Release Rates. *Journal of Controlled Release*, 258, 218-225.
 30. Sultanova, Z., Kaleli, G., Kabay, G., Mutlu, M., 2016. Controlled Release of a Hydrophilic Drug from Coaxially Electrospun Polycaprolactone Nanofibers. *International Journal of Pharmaceutics*, 505, 133-138.
 31. Lam, C.X.F., Savalani, M.M., Teoh, S.H., Hutmacher, D.W., 2008. Dynamics of in Vitro Polymer Degradation of Polycaprolactone-Based Scaffolds: Accelerated Versus Simulated Physiological Conditions. *Biomedical Materials*, 3(3), 034108.
 32. Kabay, G., Meydan, A.E., Can Kaleli, G., Demirci, C., Mutlu, M., 2017. Controlled Release of a Hydrophilic Drug from Electrospun Amyloid-like Protein Blend Nanofibers. *Materials Science & Engineering C*, 81, 271-279.
 33. Tatlısoz, M.M., Demirturk, E., Canpolat, C., 2021. Release Characteristics of Gliclazide in a Matrix System. In *Silico Pharmacol.* 9, 12.
 34. Frenning, G., Brohede, U., Stromme, M., 2005. Finite Element Analysis of the Release of Slowly Dissolving Drugs from Cylindrical Matrix Systems. *Journal of Controlled Release*, 107, 320-329.
 35. Siepmann, J., Podual, K., Sriwongjanya, M., Peppas, N.A., Bodmeier, R., 1998. A New Model Describing the Swelling and Drug Release Kinetics from Hydroxypropyl Methylcellulose Tablets, *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 88(1), 65-72.

Daraltılmış Treyler Şasi Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Metodu ile Yapısal Analizi

Tayfun ÖZGÜR^{*1}, Seyfi Burak KARATAŞ²

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

²Makinsan Treyler San. ve Tic. Ltd. Şti. Acıdere OSB, Adana

Geliş tarihi: 15.02.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Öz

Otomotiv sektöründe taşımacılıkta treyler tipi ağır vasıtalar büyük öneme sahiptir. Ülkemizde gerek kullanım alanının geniş olması gerekse de ekonomik ve tecrübeli servis hizmetlerinin bulunması ile damperli treyler tipi taşıtlar daha çok tercih edilmektedir. Damperli treyler tipi araçların ağırlığının büyük oranını şasi oluşturmaktadır. Treyler şasisi dinamik ve statik birçok kuvvete maruz kalmaktadır. Bu sebeplerden treyler üreticileri tarafından da öncelikli çalışma konusu olarak şasi tercih edilmektedir. Bu çalışmada bir treyler şasisinin enine uzunluğu dar yapıda yeniden modellenerek yapısal analizinin eski modeli ile karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Bu yeni dar yapıda tasarım, DIN standartlarında belirtilen aks yay merkezleri arası mesafe dikkate alınarak oluşturulmuştur. Mukavemet değerleri korunarak dar yapıda, daha hafif, yakıt ve çevre dostu yeni bir treyler tasarlamak bu çalışmanın ana hedefini oluşturmaktadır. Bu çalışmadaki analiz ve hesaplamalar göstermektedir ki; dar yapıda modellenen treylerin %7 oranında ağırlığında bir azalma meydana gelmiştir. Sonuç olarak, ağırlık azaltımının sağladığı yakıt tasarrufu sayesinde daha çevreci bir treyler tasarımı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Treyler, Damper, Şasi, Aks yayı, Dar yapı

Design of Narrowed Trailer Chassis and Structural Analysis with Finite Element Method

Abstract

Trailer-type heavy vehicles are of great importance in transportation in the automotive sector. Dumper trailer type vehicles are preferred more with their usage area as well as economical and experienced service in our country. A large proportion of the weight of the tipper trailer type is the chassis. The chassis of the trailer is exposed to many dynamic and static forces. For these reasons, it is preferred by the chassis trailer manufacturers also as a priority work subject. In this study, it is aimed to remodel the transverse length of a trailer chassis with a narrow structure and compare the structural analysis with the

*Sorumlu Yazar (Corresponding author): Tayfun ÖZGÜR, tozgur@cu.edu.tr

old model. In this new narrow structure, the design is based on the distances between the axle spring centers specified in DIN standards. Designing a narrow, lighter, fuel, and environment-friendly new trailer by protecting the strength values is the main purpose of this study. The analysis and calculations in this study show that; there has been a 7% reduction in the weight of the trailer modeled in a narrow structure. As a result, a more environmentally friendly trailer design has been achieved thanks to the fuel savings provided by weight reduction.

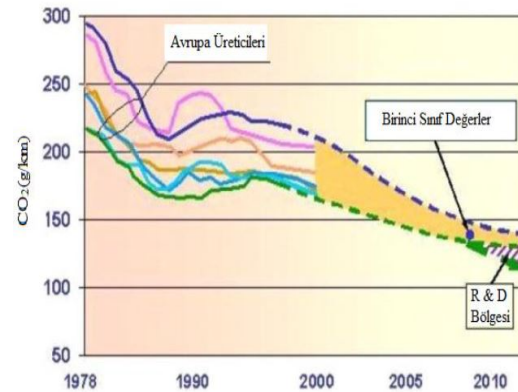
Keywords: Trailer, Dumper, Chassis, Axle spring, Narrow structure

1. GİRİŞ

Son yıllarda kirlenici gazların meydana getirdiği çevre kirliliğinin önüne geçebilmek, yakıt tasarrufu sağlamak ya da üretim maliyetini azaltma çabaları neticesinde taşıt ağırlıklarının azaltılması çalışmaları giderek önem kazanmaktadır. Özellikle elektrikli ve hibrit taşıtlar gibi yeni konseptlerin hafif konstrüksiyon üzerine kurgulanmış olmasıyla bu önemi daha da artırmaktadır. Taşıt hafifletme çalışmaları ile birlikte taşıtların hızlanması ya da yokuş çıkması için gereken enerji miktarı azaltılabilmekte buna ek olarak taşıtın yavaşlatılması ya da durdurulması sırasında fren kuvveti ile birlikte sürtünmeyle kaybolan enerji daha da aza indirilebilmektedir. Sonuç olarak yakıt ekonomisine katkı enerjinin korunumu ile sağlanmaktadır [1].

Emisyonlar üzerinde önemli olumlu etkileri bulunan hafifletme çalışmaları ile Dünyadaki CO₂ (karbondioksit) emisyonlarının oluşumunun azaltılması arasında bir ilişki söz konusudur. Günümüzde dünya genelinde oluşan CO₂ emisyonlarının yaklaşık %20'si taşıtlardan kaynaklanmaktadır. Artan dünya nüfusu ile bu oranın ilerleyen yıllarda daha da artacağı beklenmektedir. Bu durum göz önüne alındığında gerek regülasyonlar gerekse de yasalar ile emisyonların daha sıkı bir şekilde kontrol edilmesi gerekliliği ortaya çıkacaktır. Bu nedenlerle adına emisyonların azaltılmasına katkı sağlamak, tasarımcılar için önemli kriterden biridir. Emisyonları azaltmak için yapılan çalışmalar örnek olarak; taşıtlarda yüksek mukavemetli çelik kullanımı gösterilebilir. Gelişmiş yüksek mukavemetli çelikler (Advanced High Strength

Steel-AHSS) ile yapılan üretim ile bir taşıtın ömrü boyunca çevreye bıraktığı CO₂ miktarında yaklaşık 2800 kg'lık bir azalma sağlamak mümkün olabilmektedir. Bu kazanımların 460 kg'lık bölümü malzemelerin üretimi esnasında sağlanırken geri kalan 2340 kg'lık bölümü ise taşıtların kullanılması esnasında sağlanmaktadır. Şekil 1'de CO₂ emisyon miktarındaki değişim yıllara göre gösterilmiş olup grafikte yer alan azalma eğilimi görülmektedir.



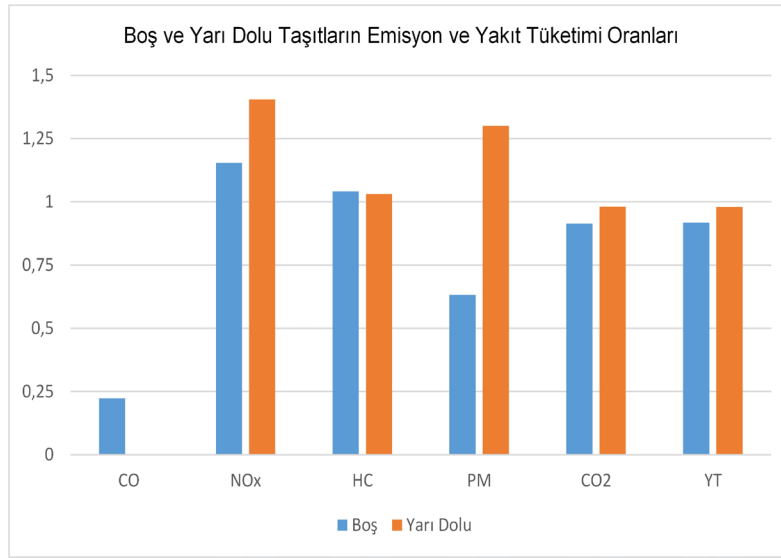
Şekil 1. Taşıtlardaki CO₂ emisyon miktarının yıllara göre değişimi [2]

Otomotiv sektöründe taşımacılıkta treyler tipi ağır vasıtalar büyük öneme sahiptir. Ülkemizde gerek kullanım alanının geniş olması gerekse de ekonomik ve tecrübeli servis hizmetlerinin bulunması ile treyler tipi taşıtlar daha çok tercih edilmektedir. Treyler tipi araçların ağırlığının büyük oranını şasi oluşturmaktadır. Treyler şasisi dinamik ve statik birçok kuvvete maruz kalmaktadır. Bu sebeplerden dolayı treyler üreticileri tarafından da öncelikli çalışma konusu olarak şasi tercih edilmektedir.

Büyük Britanya Ulaştırma Bakanlığı tarafından 2010 yılında yapılan bir çalışmaya göre, ağır yük taşıtları (ağır vasıtalar) Büyük Britanya'daki toplam yük hareketlerinin, toplam ton kilometrelerin %68'ini ve taşınan toplam tonların %82'sini oluşturmaktadır [3]. Tahminler, karayolu taşımacılığı faaliyetinin hem toplum hem de ekonomi için temel önemde olmaya devam edeceğini göstermektedir [4]. Ancak karayolu yük taşımacılığı, İngiltere'nin karbon ayak izinin yaklaşık %5'ini oluşturduğu için çevre üzerinde

olumsuz bir etkiye sahiptir [3]. Birleşik Krallık hükümeti tarafından belirlenen yeni hedefler doğrultusunda 2050 yılına kadar CO₂ emisyonlarında 1990 seviyelerine kıyasla %80 oranında bir azalma hedeflenmektedir.

Şekil 2'de emisyon çeşitlerinin yalnızca taşıt ağırlığına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Taşıt yarı doluyken ve boşken yapılan kıyaslama ile emisyonlar ve yakıt tüketiminin ağırlıkla olan ilişkisi ortaya koyulmuştur [2].



Şekil 2. Boş ve yarı dolu taşıtın emisyon ve yakıt tüketim oranları [2]

Toplam boş araç ağırlığı, araç yakıt tüketimine ve CO₂ emisyonlarına katkıda bulunan faktörlerden birisidir. Mafsalı karayolu yük taşıtlarının toplam boş ağırlığı, çekicinin boş ağırlığı ile römorkun boş ağırlığının birleşimden oluşmaktadır. Bu nedenle, treylerin boş kütlelerinin azaltılmasıyla aracın bir bütün olarak enerji verimliliği iyileştirilebilmektedir [5].

Ağır vasıtaların enerji tüketimine katkıda bulunan ana unsurlar üç geniş kategoriye ayrılabilir:

1. Araç tasarım faktörleri; araç boyutları, kütle, hacim, motor verimi, yuvarlanma direnci, aerodinamik gibi profil ve malzeme seçimi.

2. Lojistik faktörler; araç kullanımı, araç hızı, araç rotası ve tedarik zinciri yapısı gibi.
3. Dış faktörler; sürüş döngüsü, trafik koşulları, sürücü davranışı ve hava koşulları gibi.

Ayrıca treylerin yüksüz kütlelerini %25 azaltarak yakıt tüketiminde yaklaşık %6,5'lik bir azalma bekleneneği de belirtilmiştir. Bununla birlikte, hafifletme nedeniyle yakıt tüketiminde tahmini %6,5'lik azalma, ekolojik denge için oldukça önemlidir ve diğer önlemlere kıyasla daha kolay uygulanabilirliği bulunmaktadır. Aslında, treylerin yüksüz kütlelerinin azaltılmasının, muhtemelen uygulanacak araç tasarım değişikliklerinin en kolay yolu olduğu öne sürülmüştür [6]. Bununla birlikte, Britanya hükümetinin iddialı 2050

emisyon azaltma hedefine ulaşmak için bir önlem portföyüne ihtiyaç duyulacağı unutulmamalıdır [5]. Bu tür önlemler şunları içerebilir: Léonardi ve Baumgartner tarafından önerilenler gibi treylere hafifletme, geliştirilmiş treylere aerodinamiği, alternatif yakıtların benimsenmesi ve araç kullanımını iyileştirmek için girişimler [7]. Sürücü eğitimi ve ödül programlarının yakıt tüketimini azaltmada değerli olduğu gösterilmiştir [8]. Uzun vadeli sera gazı emisyonlarında iddialı düşüşler elde etmek için bir çözüm portföyüne duyulan ihtiyaç, literatürde iyi belirtilmiştir [9].

Tasarımda hafif malzemelerin uygulanmasıyla boş treylere kütlelerini azaltma fikri yeni bir fikir değil ve son on yıl boyunca bunu yapmanın potansiyel faydaları giderek artan bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu, nihayetinde yapılarında hafif kompozit malzemeler kullanan bir dizi hafif treylere prototipinin geliştirilmesine yol açmıştır [6]. Bu tür hafif treylere örnekleri arasında ROADLITE Treylere, CleanMould Treylere, Compositrailer, Phoenix Treylere ve Walmart Prototip Treylere bulunmaktadır [10-14]. Karbon fiber bazlı soğutmalı Aldi treylere gibi soğutmalı treylere hafif malzemeler de uygulanmıştır [15]. Bu projelerin tümünde, geleneksel çelik römorklara kıyasla boş treylere ağırlığı %10 ila %30 oranında azaltılması sonucuna başarılı bir şekilde ulaşılmıştır [6]. Galos ve Sutcliffe [16] yaptıkları çalışmada, yapısal optimizasyon ve malzeme seçimi kombinasyonunun hafif kamyon römorku üzerinde incelemesi yapmışlardır. Geliştirilen sonlu eleman modeli ve malzeme optimizasyonu ile ağırlıktan %67 (1326 kg) tasarruf edilebileceğini göstermiştir. Bir diğer çalışmada ise Galos ve arkadaşları [5] iki ayrı firmaya ait yüreyen zeminli iki treylere ağırlık azaltımından nasıl etkilendiğini istatistiksel olarak incelemişlerdir. Treylere ağırlığının %30 azaltılmasının, treylere için %11 kütle enerji performans azalması sonucuna ulaşmışlardır.

Dünyadaki otomotiv ve taşımacılık sektörü taşıyabilecekleri maksimum yükü Karayolları istiap haddini aşmadan güvenli bir taşıma amacıyla olup aynı zamanda bu işlemi minimum

yakıt tüketimi ile başarmak istegindedir. Böylece çevreye zararlı emisyon salınımı azaltılacak, çevre dostu araçlar üretilebilecektir [17].

Yarı römork üreticileri bu durumu göz önünde bulundurarak çalışmalarını öncelikle yük transferindeki temel öge kabul edilen şasi üzerinde yoğunlaştırmışlardır.

Bu çalışma bir treylere şasisinin daha hafif yapıda yeniden modellenmesi ve yük dayanımının eski model ile karşılaştırılması sonucu daha ergonomik treylere ürünü ortaya çıkarılması hedeflenmektedir. Ayrıca, mukavemet değerleri korunarak yeni bir form verilen, daha hafif, yakıt ve çevre dostu yeni bir treylere tasarlamak bu çalışmanın ana hedefini oluşturmaktadır. Yeni tasarımla birlikte karayolları istiap haddi kısıdıyla aracına belirli miktarda yük yüklemenin yanında kullanıcıların güvenle tercih edeceği çevre dostu hafif formda araç ihtiyacı karşılanmış olacaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu çalışmaya konu olan treylere şasisi de çoğunlukla St52 yerine S700MC gibi yüksek mukavemetli çelik sac malzemelerden oluşmaktadır. St52 ve S700MC çelikleri için alaşım elementlerinin yüzdesi karşılaştırıldığında, S700MC çeliğinin, malzemelerin mekanik özelliklerini artıran bazı temel alaşım bileşenlerinin daha fazla yüzde oranına sahip olduğu görülmektedir. Örneğin, S700MC, mukavemeti ve sertliği artıran %55 daha yüksek manganeze (Mn) mukavemeti, sertliği, aşınma direncini ve korozyon direncini artıran %675 daha yüksek kroma (Cr) ve tokluğu ve sertleşebilirliği artıran %3920 daha fazla molibdene (Mo) sahiptir. Bu temel alaşım elementleri aynı zamanda daha iyi sertlik ve aşındırıcı aşınma direnci için karbür oluşturan elementlerdir [18].

Yeni modellenen tasarımda Alman Standartlar Enstitüsü (DIN-Deutsches Institut Für Normung) standartları temel alınarak aks makas merkezleri arası mesafe 1300 mm'den 1200 mm'ye

çekilmiştir. Ayrıca şaside kullanılan diğer parçalar da bu ölçü temel alınarak kısaltılmıştır.

Araç ağırlığının büyük oranını oluşturan, dinamik ve statik kuvvetlere direkt maruz kalan I kesitli S700MC malzemeden üretilecek şasinin dayanımını koruyarak darbelere ve hava sürüklenme kuvvetine daha az maruz kalacak hafif ve doğaya en az zarar verecek daraltılmış formda yeni bir tasarıma ihtiyaç duyulmuştur.

2.1.1. Ticari Araç Kataloğu 2010/2011 (DIN Standartlarına Göre)

Modeli şekillendirirken referans alınan önemli çıkış noktalarından biri ağır vasıta araçlarında

kullanılan aksların teknik özelliklerinin ve toleranslarının dışına çıkmadan makas merkezlerini değiştirebilme düşüncesidir. DIN standartlarına göre aks teknik özellikleriyle birlikte makas merkez uzunlukları tolerans aralıkları aşağıda Çizelge 1’de verilmiştir.

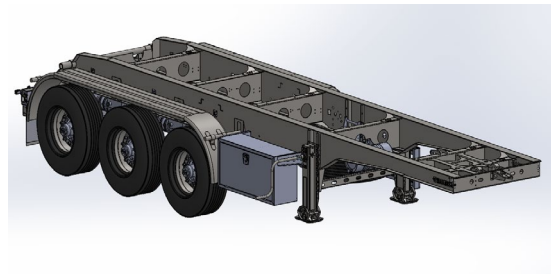
Bu çizelge, DIN Standartları temel alınarak Avrupa’da bir aks üreticisi firmanın ağır ticari araçlar için kullanılacak aksların teknik detaylarını belirttiği ürün kataloğundan alınmıştır. Bu bilgilerle göre 3 Akslı Damperli Treyler’de kullanılan aks modelinin makas merkezlerinin ayarlanabileceği mesafelerin tolerans aralıkları verilmiştir (1300 mm> 1200 mm) [19].

Çizelge 1. Aks makas yayı merkezleri arası mesafe [19]

Aks tipi	105 km/saatte izin verilen yük kapasitesi (kg)	İz genişliği (SP) (mm)	Yay merkezi (FM) (mm)	Aks kesiti (mm)	Lastik örneği	Toplam genişlik (P) (mm)	Aks ağırlığı (kg)
HSF 6510	6500	2040	1300	120x10	10 R20	2335	280
HSF 6508	6500	2040	1300	120x10	10 R20	2340	278
HSF 9010	9000	2095	1300	120x10	385/65 R22.5	2490	292
HSF 9010	9000	2140	1400	120x10	385/65 R22.5	2535	294
HSF 9010	9000	2140	1400	120x10	385/65 R22.5	2535	295
HSF 9010	9000	2040	1200	120x10	385/65 R22.5	2435	328
HSF 9010	9000	2040	1300	120x10	385/65 R22.5	2435	328
HZF 10110	11000	1820	900	150x10	11 R22.5	2425	352
HZF 10110	11000	1820	980	150x10	11 R22.5	2425	352
HSF 12010	12000	2040	1300	150x10	445/65 R22.5	2505	385

2.1.2. Şasi Tasarımı

Önceki bölümlerde incelenen veriler ışığında aracı, etkileyen teknik aksesuarların konumları da göz önüne alınarak yapılan tasarım çalışmaları sonucunda 100 mm daha dar yapıda tasarlanmıştır. Bu bağlamda etkilenen ve yeniden modellenen şasi parçaları; ara taşıyıcılar, king pim tablası grubu, park ayağı braketleri, arka mil ve arka tampon grubudur.



Şekil 3. Komple şasi

Yeni form kazandırılan şasi, standart üst yapıya uygun olarak 8,6 metre uzunluğunda, boyuna taşıyıcı ayna sacları arası mesafe 1195 mm ve değiştirilen metal gruplarının 917 kg olacak şekilde modellenecek şekilde tasarlanmıştır.

2.2. Yöntem

Yeni ve eski formdaki şasi modellerine sonlu elemanlar metodu ile statik analiz uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

2.2.1. Aks Modelinin Sonlu Elemanlar Metodu ile Statik Analizi

Aksların sonlu elemanlar metodu ile statik analizinde en doğru sonucu verecek kalitede mesh uygulanmıştır. Denemeler sonucunda %100 uygunluk (relevance), 7 mm mesh eleman boyutu kullanılarak en iyi ve gerçekçi sonuca yaklaşılmıştır. Sonlu elemanlar metodu ile yapılan analizlerde mesh yani modeli elemanlarına ayırma yöntemi kullanılmaktadır.

Details of "Mesh"	
<input type="checkbox"/> Display	
Display Style	Body Color
<input type="checkbox"/> Defaults	
Physics Preference	Mechanical
<input type="checkbox"/> Relevance	100
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Sizing	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Coarse
<input type="checkbox"/> Element Size	7,0 mm
Initial Size Seed	Assembly
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Minimum Edge Length	2,9872e-002 mm
<input type="checkbox"/> Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	1,3057e-010
<input type="checkbox"/> Max	0,99971
<input type="checkbox"/> Average	0,26302
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,18827

Şekil 4. Ağ detayları

Bu adımda en iyi sonuca varabilmek için en kaliteli meshi uygulamak gerekmektedir [20].

En yaygın kullanılan ve gerçeğe yakın sonuç veren mesh kalite kriteri skewness yani eğrilik tabanlı mesh kalite kriteridir. Bu analizin mesh detaylarına da Şekil 4'te görüldüğü gibi seçilen eleman sayısı 7 mm, ortalama eğrilik kalite değeri (average of skewness) 0,26 olarak ayarlanmıştır. Skewness değeri hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

$$\text{Skewness} = \frac{O.E.B. - A.E.B.}{O.E.B.} \quad (1)$$

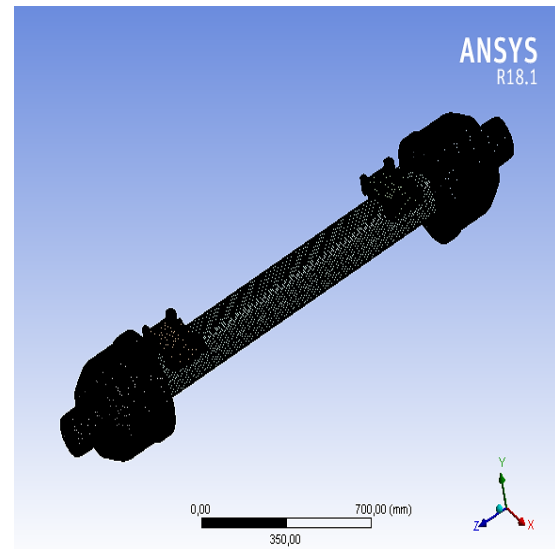
O.E.B.: Optimum Element Boyu

A.E.B.: Aktif Element Boyu

Çizelge 2. Skewness mesh kalite kriterleri [21]

Skewness mesh değeri	Kalite kriteri
0 – 0,25	Mükemmel
0,25 – 0,50	Çok iyi
0,50 – 0,80	İyi
0,80 – 0,94	Uygun
0,94 – 0,97	Kötü
0,98 – 1	Kabul edilemez

Şekil 5'te aksa uygulanan mesh görseli yer almaktadır.

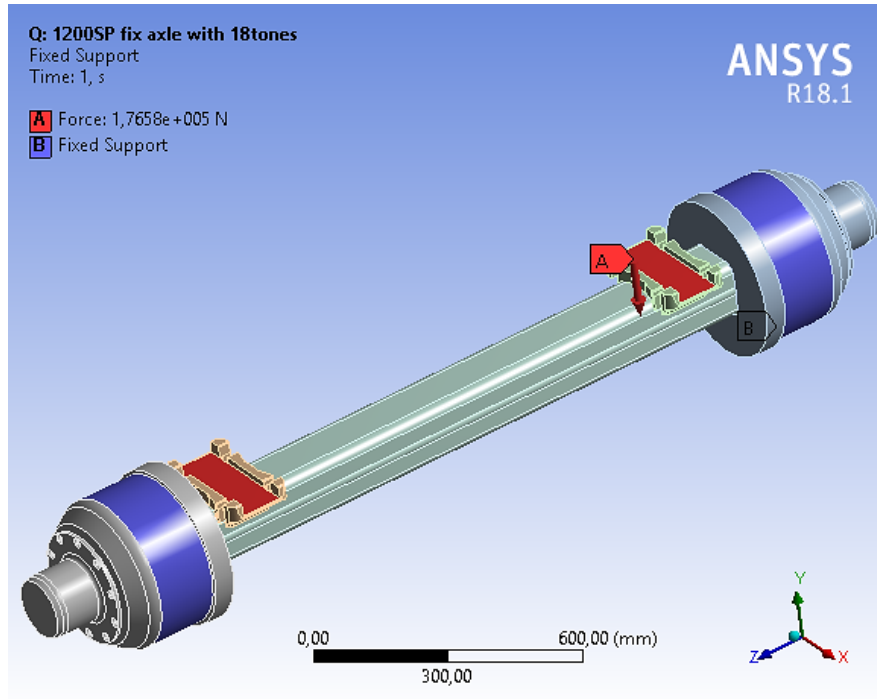


Şekil 5. Aksa uygulanan mesh modeli

Aks üreticisinden alınan teknik tedarikçi kataloğundaki bilgilere göre kullanılan aks kapasiteleri 9000 kg olarak belirtilmiştir. Aks makas yay merkezleri 100 mm kısaltılarak (1300 mm>1200 mm) modellenmiştir. Sonlu elemanlar metodu ile uygulanan yapısal analizde

aks emniyet katsayısı 2 alınarak $9000 \text{ kg} \times 2 = 18000 \text{ kg} = 176580 \text{ N}$ yayılı yük atanmıştır.

Aks makas tablalarından uygulanan kuvvet ve tepki kuvvet noktaları Şekil 6'daki gibi makas merkezleri ve aks kafası olarak atanmıştır.

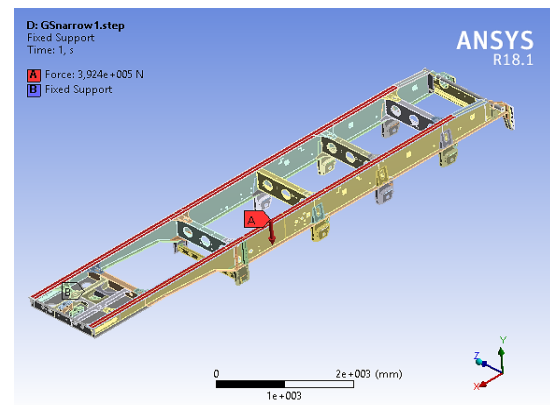


Şekil 6. Aks modeline uygulanan yük ve sabit destek noktaları

2.2.2. Şasi Modelinin Sonlu Elemanlar Metodu ile Statik Analizi

Ulaşılabilecek en iyi sonuçları elde etmek için, denemeler sonucunda en gerçekçi analize ve modele uygun mesh uygunluk (relevance) oranı %94 olarak atanmıştır. Bu analizde ortalama eğrilik kalite değeri 0,71 olarak ayarlanmıştır.

Uygulanacak kuvvet, Şekil 7'de görüldüğü gibi üst yapının montajlanacağı şasi üst lama yüzeylerinde, destek noktaları ise taşınacak yüke tepki gösterecek aks ve king pimi bölgelerinde seçilmiştir.



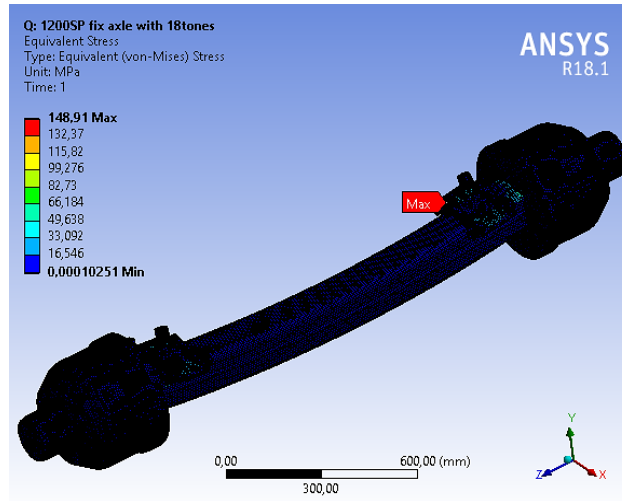
Şekil 7. Şasi modeline uygulanan yük ve sabit destek noktaları

3. BULGULAR

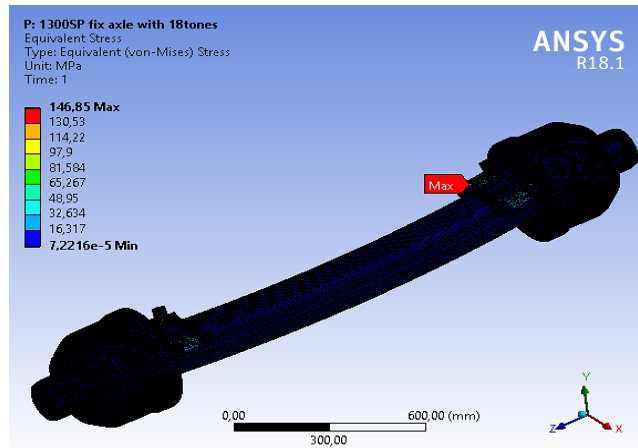
Sonlu elemanlar metodu ile aks modelinin uygulanan analiz ile 18000 kg'lık sanal yüke karşı tepkisi ölçülmüştür.

Makas yay merkezleri mesafe 1200 mm olan yeni aks modelinin 1300 mm olan modelden deformasyon değeri %35, maksimum gerilim değeri bazında da %1 oranında daha fazla çıkmasına karşın dayanıklı ve emniyetli koşullarda çalışmaya uygundur.

Maksimum deformasyon yeni modelde aks gövdesinde, eski aks modelinde ise makas tablalarında gözlenmektedir. Maksimum gerilimin olduğu bölge ise her iki modelde de makas tablası üzerinde gözlenmektedir. Şekil 9'daki eski aks modelinde meydana gelen maksimum gerilim değerinden çok az bir oranda fazla çıkmış olsa da Şekil 8'den ulaşılan yeni modellenen aks grubunun analiz sonucunda maruz kaldığı gerilim değeri (148.91 MPa), aks malzemesinin verilen dayanabileceği maksimum gerilim değerinin (355 MPa) yalnızca %42'sine karşılık gelmektedir.



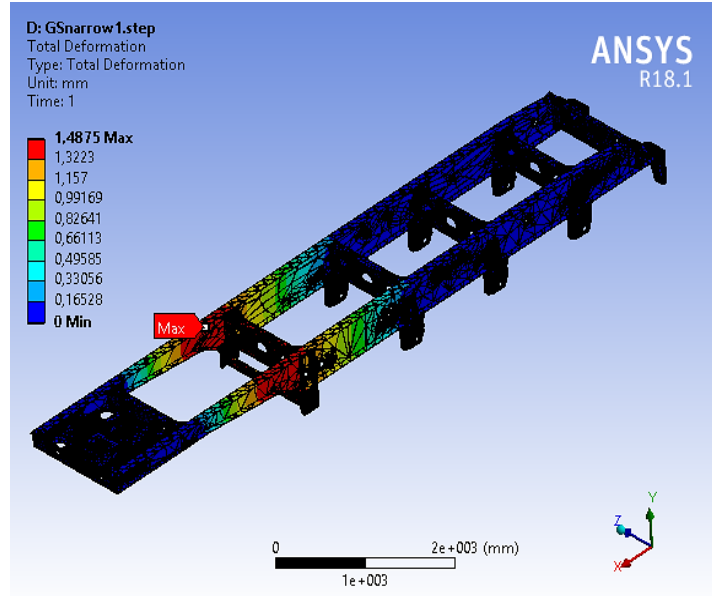
Şekil 8. 1200 mm yay merkez mesafeli aks modelinde meydana gelen gerilim değeri



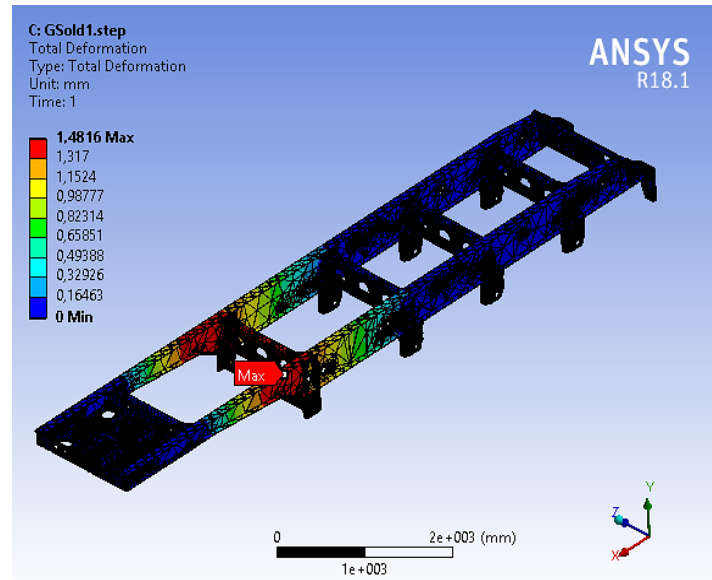
Şekil 9. 1300 mm yay merkez mesafeli aks modelinde meydana gelen gerilim değeri

Aks üretiminde kullanılan S355 malzemenin akma dayanımı (355 MPa) dikkate alınarak, emniyet katsayısı 2 seçilerek 18000 kg yük altında teorik olarak mukavim olmakla birlikte emniyetli çalışacağı yorumu yapılabilmektedir.

Maksimum deformasyon, yeni şasi modelinde Şekil 10, eski şasi modelinde Şekil 11'de görüldüğü gibi şasi boyun kısmı ile ön ara taşıyıcı arasında gözlenmektedir. Maksimum gerilimin olduğu bölge ise king pim tablası ile şasi üst laması kesişim bölgesinde gözlenmektedir.



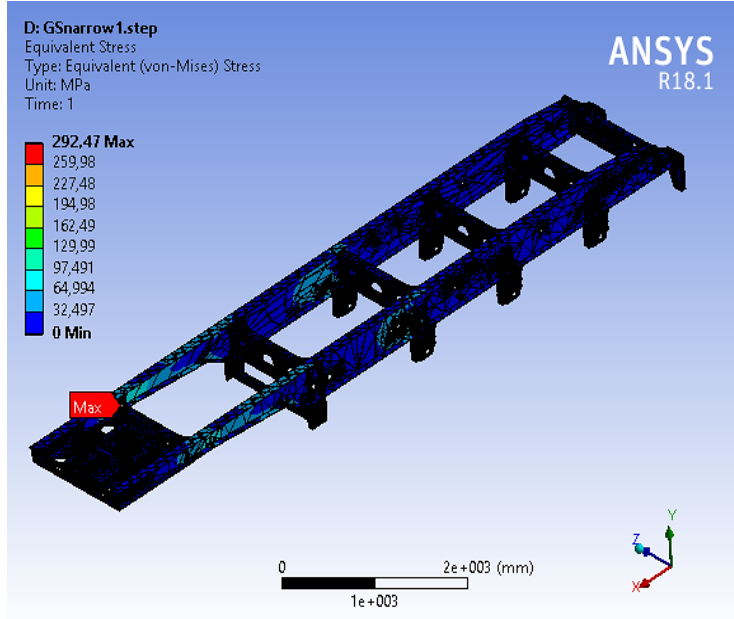
Şekil 10. Daraltılmış şasi modelinde meydana gelen deformasyon değeri



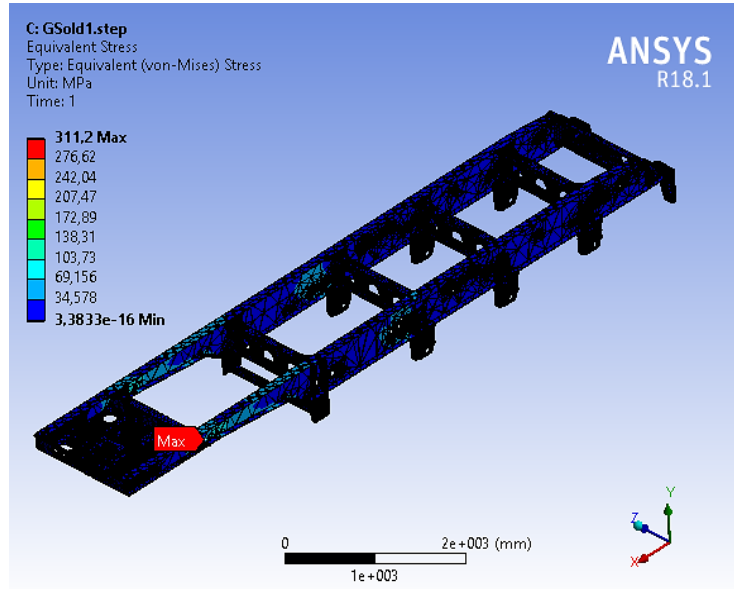
Şekil 11. Eski şasi modelinde meydana gelen deformasyon değeri

Şekil 13'te görülen eski şaside meydana gelen maksimum gerilim değeri, yeni modelde önemli ölçüde düşürülmüştür. Şekil 12'deki yeni modellenen treyler şasisinin analiz sonucunda maruz kaldığı gerilim değeri (292,47 MPa), şasi

malzemesi olan S700MC çeliğinin literatürde bilinen dayanabileceği maksimum gerilim değerinden (700 MPa) %58 oranında daha düşük ve 2,39 kat emniyetlidir.



Şekil 12. Daraltılmış şasi modelinde meydana gelen gerilim değeri



Şekil 13. Eski şasi modelinde meydana gelen gerilim değeri

4. SONUÇ

Proje kapsamında daraltılan şasi parçaları üzerinde yapılan sonlu elamanlar yöntemi ile yapısal analizler sonucunda kritik noktalarda oluşan deformasyon miktarlarının %10 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Komple şasi modellerindeki incelemelere bakıldığında daraltılmış şaside 1,4875 mm, eski şasi modelinde ise 1,4816 mm deformasyon değerleri gözlemlenmiştir. Deformasyon değeri oransal olarak çok düşük bir negatif değişimi gösterse de bu durum gerilme eğiliminde avantaja dönüşmektedir. Daraltılmış şasi modelinde meydana gelen maksimum gerilme değeri 292,47 MPa, eski şasi modelinde ise bu değer 311,2 MPa olarak tespit edilmiştir. Böylece komple daraltılmış şasinin de analizler ışığında, eski modelden %6 oranında daha az gerilime uğradığı saptanmıştır.

Bununla birlikte treyler şasisinin daraltılmış tasarımında değişen parçaları göz önüne alındığında en az %7 oranında hafifleme söz konusudur. Bu bağlamda karayolları kullanımı ile çekici ve römork ömrünün uzatılmasına yönelik ilk adımlar atılmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde; konu ve kaynak açısından desteklerini esirgemeyen Makinsan Treyler San. ve Tic. Ltd. Şti.'ye teşekkür ederiz.

6. KAYNAKÇA

1. Ozturk, F., Toros, S., Esener, E., Uysal, E. 2009. Otomotiv Endüstrisinde Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Kullanımının İncelenmesi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 11. Otomotiv Sempozyumu, Bursa, Türkiye, 50(596), 44-49.
2. Kartal, Y., 2014. Taşıtlarda Akustik Performansı Gözetilerek Uygulanan Ağırlık Azaltma Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 91.
3. Transport Statistics Great Britain, <https://www.gov.uk/government/collections/transport-statistics-great-britain>, 17 Aralık 2020, 2012.
4. Mckinnon, A.C., 2006. Life Without Trucks: the Impact of a Temporary Disruption of Road Freight Transport on a National Economy. J. Business Logistics, 27(2), 227-251.
5. Galos, J., Sutcliffe, M., Cebon, D., Piecyk, M., Greening, P., 2015. Reducing the Energy Consumption of Heavy Goods Vehicles Through the Application of Lightweight Trailers: Fleet Case Studies, Transportation Research Part D: Transport and Environment. 41, 40-49.
6. Odhams, A.M.C., Roebuck, R.L., Lee, Y.J., Hunt, S.W., Cebon, D., 2010. Factors Influencing the Energy Consumption of Road Freight Transport, Proc. Inst. Mech. Eng. Part C-J. Mech. Eng. Sci. 224(9), 1995-2010.
7. Léonardi, J., Baumgartner, M., 2004. CO₂ Efficiency in Road Freight Transportation: Status Quo, Measures, and Potential, Transport. Res. Part D: Transport Environ. 9(6),451-464.
8. Lai, W.T., 2015. The Effects of Eco-driving Motivation, Knowledge, and Reward Intervention on Fuel Efficiency, Transport. Res. Part D: Transport Environ. 34, 155-160.
9. Yang, C., McCollum, D., McCarthy, R., Leighty, W., 2009. Meeting an 80% Reduction in Greenhouse Gas Emissions from Transportation by 2050: a Case Study in California, Transport. Res. Part D: Transport Environ. 14(3), 147-156.
10. Turner, M., Boyce, G., 2005. ROADLITE- Manufacture of a Lightweight, Cost-effective, Polymer Composite Road Trailer, JSAE Annual Congress, CrossRef Test Account Yokohama, Japonya, doi: 10.4271/2005-08-0199.
11. Publishable Final Activity Report D27 – Final Project Report, 2010. Development of Lightweight, Recyclable Thermoplastic Composite Semi-trailer and Boat Hulls with Enhanced Performance. Publishable Final Activity Report D27, EPL Composite Solutions, 46.
12. Verhaeghe, J., 2006. Introducing an Affordable Composite Trailer to a Conservative Market- Reinforced Plastics, 20(5), 34-37.

13. Jarvis, B., 2006. A Composite Glimpse of the Future. The Commercial Motor Magazine Archive. <http://archive.commercialmotor.com/article/12th-october-2006/52/a-composite-glimpse-of-the-future>, 17 Ocak 2020.
14. Gardiner, G., 2014. Walmart Uses CFRP to Boost Efficiency: Composites World. <https://www.gardnerweb.com/articles/walmart-uses-cfrp-to-boost-efficiency>, 18 Ocak 2020.
15. Kaiser, R., 2010. Thermosets and Thermoplastics set to Compete for Composite Trailer Market. European Plastics News, https://www.avk-tv.de/files/pressclip/avk-pc/20101220_thermosets_and_thermoplastics_set_to_compete_for_composite_trailer.pdf, 18 Ocak 2020.
16. Galos, J., Sutcliffe, M., 2019. Material Selection and Structural Optimization for Lightweight Truck Trailer Design, SAE International Journal of Commercial Vehicles, 12(4), 281-297.
17. Şen, Ş., Yaşar, M., Koçar, O., 2018. Dorse Tasarımında Stres Dağılım Analizi ve Topoloji Optimizasyonu, Karaelmas Fen ve Müh. Derg., 8(1), 309-316.
18. Yıldırım, H.C., Marquis, G., Sonsino, C.M., 2015. Lightweight Potential of Welded High-strength Steel Joints from S700 Under Constant and Variable Amplitude Loading by High-frequency Mechanical Impact (HFMI) Treatment. Procedia Engineering, 101, 467-475.
19. BPW, 2010, Commercial Vehicle Catalogue 2010/2011- BPW. The Quality Factor 89, 118.
20. Ovalı, İ., Esen, C., 1999. Ansys Workbench, Altın Kitap, Ankara, 560.

The Influence of Dimension Effect on the Hydrothermal Aging Behavior of Aramid/Epoxy Composites

Zeynal Abidin OĞUZ*¹, Ahmet ERKLİĞ²

¹General Directorate of State Hydraulic Works, Adıyaman

²Gaziantep University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, Gaziantep

Geliş tarihi: 02.03.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Abstract

An investigation was carried out concerning the hydrothermal aging effect on the water intake character of aramid/epoxy composites based on the dimension effect. The aramid/epoxy composites were manufactured by the vacuum assisted resin infusion method (VARIM) kept in distilled water and sea water at 25 °C and 70 °C for 6 weeks in a controllable aging cabin. The water absorption behavior of composite samples cut with different length/width (L/w) ratios was assessed according to different water types and temperatures. Besides, the water intake character of aramid/epoxy samples was interpreted theoretically according to the Fick model. The experimental and theoretical results showed that aramid/epoxy composites displayed a tendency consistent with the Fickian model. Further, the water intake character of aramid/epoxy samples was affected by criteria such as sea water, distilled water, temperature, and different L/w ratio. The temperature increase was caused to more water absorption. Further, the increase of L/w ratio was caused to more water intake for both water types.

Key Words: Aramid/epoxy, Hydrothermal aging, Distilled water, Sea water

Numune Boyut Etkisinin Aramid/Epoksi Kompozitlerin Hidrotermal Yaşlanma Davranışına Etkisi

Öz

Boyut etkisine bağlı olarak aramid/epoksi kompozitlerin su emme davranışı üzerindeki hidrotermal yaşlanma etkisi ile ilgili bir araştırma yapılmıştır. Vakum destekli reçine transfer yöntemi (VARIM) ile üretilen aramid/epoksi kompozitler, kontrol edilebilir bir yaşlandırma kabininde 6 hafta boyunca saf su ve deniz suyuna 25 °C ve 70 °C sıcaklıklarda daldırılmıştır. Farklı uzunluk/genişlik (L/w) oranlarında kesilen kompozit numunelerin su emme davranışları, farklı su tipleri ve sıcaklıklara göre değerlendirilmiştir. Ayrıca aramid/epoksi numunelerinin su emme özelliği teorik olarak Fick modeline göre yorumlanmıştır. Deneysel ve teorik sonuçlar, aramid/epoksi kompozitlerinin Fickian modeliyle tutarlı bir eğilim sergilediğini göstermiştir. Ayrıca aramid/epoksi kompozit numunelerin su emme

*Sorumlu Yazar (Corresponding author): Zeynal Abidin OĞUZ, oguzeynal02@gmail.com

davranışı, deniz suyu, saf su, sıcaklık ve farklı L/w oranı gibi kriterlerden etkilenmiştir. Sıcaklık artışı daha fazla su emilimine neden olmuştur. Ayrıca, L/w oranındaki artış, her iki su türü için daha fazla su alımına neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Aramid/epoksi, Hidrotermal yaşlanma, Saf su, Deniz suyu

1. INTRODUCTION

Polymer-based matrix composites are used in a wide range of applications from advanced engineering to daily usage due to their superior properties such as lightweight, high specific strength, good fatigue properties, excellent vibration damping [1,2]. Although its mechanical properties are superior to other material classes, the moisture and water absorption of polymer composites is caused to deteriorate their mechanical properties. In most of the studies in the literature conducted to see how the mechanical properties of composite materials are affected by different environmental conditions, water absorption tendencies were also examined. In the studies, the effects of criteria such as humidity level, water type, temperature, and aging time on the water absorption of composite samples were investigated. However, an investigation based on sample sizes has not been clarified. In this section, information will be given about similar studies that can be associated with this study.

The analysis of the aramid/epoxy interfacial behaviors was examined by Tanaka et al. [3] using pull-out tests and the effect of water uptake. In this study, aramid/epoxy specimens were aged in distilled water at 80 °C for 4, 7, 10, and 13 weeks. A rapid weight gain was seen in the first 4 weeks. Water absorption continued to increase until the 10th week. However, there was no change in the weight of the samples between the 10th week and the 13th week. The water gain ratios of aramid/epoxy composites were found as 1.9%, 2.0%, 2.1%, and 2.1% after 4, 7, 10, and 13 weeks aging period, respectively.

Akay et al. [4] tried to see the moisture intake behavior of Kevlar-49/epoxy resin by using Fiberite and Brochier systems and its effect on the

thermal and mechanical behavior. Samples were kept for three weeks at 70 °C with 95% and 100% relative humidity, RH. For the Fiberite system, it was noticed that the glass transition temperature, T_g , didn't change at the first 1% absorbed moisture rate. For each 1% moisture absorbed, T_g , fell by 10 °C and 15 °C for Fiberite and Brochier systems, respectively. Further, it was observed that an increase in moisture level was caused to more moisture absorption. The maximum moisture absorption rate in all groups was found between 2.5% and 6.5%.

At the Wan et al.'s study [5], research was actualized about moisture ingress behavior and its effect on the flexural response of non-hybrid carbon/epoxy, non-hybrid Kevlar/epoxy, and hybrid carbon/Kevlar/epoxy composites. The aging condition was selected as Hanks solution at 37 °C for 1700 h. It was found that both non-hybrid samples and hybrid samples displayed a Fickian diffusion character. Also, the highest water absorption was observed in the non-hybrid Kevlar/epoxy composite group as 2.18%. Further, the overall water intake rate of non-hybrid Kevlar/epoxy samples was found as bigger than non-hybrid carbon/epoxy and hybrid carbon/Kevlar/epoxy samples.

Yahaya et al. [6] evaluated the aging influence on the impact and physical behaviors of hybrid kenaf-Kevlar composites. Hybrid specimens were kept in distilled water at laboratory conditions for 300 hours. It was observed that as the Kevlar rate increased in hybrid samples, the overall water intake rate decreased. It was noticed that the water absorption rate of non-hybrid Kevlar/epoxy samples was lower than hybrid composites and non-hybrid Kenaf/epoxy composites. The overall water intake rate of non-hybrid Kevlar/epoxy samples was found as 7.83%.

The hybrid glass/Kevlar specimens were immersed in distilled water at several temperatures and different humidity grades for diverse aging periods at the study of Srivastav et al. [7]. Water absorption behaviors were studied on samples that would be subjected to tensile, flexural, and shear tests. Researchers noticed that the shape of specimens affected the maximum water absorption trend of composites. The maximum water absorption rates were found as 12.38%, 4.81%, and 5.487% for tensile test, flexural test, and shear test samples, respectively.

Imielinska et al. [8] assessed the aging effect on the impact character of two different hybrids aramid-glass fiber/epoxy composites types. Hybrid samples were exposed to distilled water at 70 °C for 8 weeks. It was noticed that both hybrid types displayed Fickian like water absorption character. Further, it was reported that hybrid type affected the water gain parameters. The maximum water gain ratio and diffusion coefficient of interlayer aramid/glass/epoxy samples were found as bigger than intralayer aramid/glass/epoxy samples. The overall water intake rate of hybrid interlayer and intralayer samples were found as 4.8% and 4.1%, respectively.

Summaries of some studies on the water absorption behavior of aramid composites, which are few in the literature and generally study different temperature and water types, are given. However, it is substantial to investigate water sorption behavior to predict not only the results that the water absorbed may have but also how water sorption can be reduced. Hence, in this study, dimension effect was studied on the water absorption behavior of aramid/epoxy composites aged in different conditions. Two composite groups with different L/w (length/width) ratios were aged in distilled water and sea water for 6 weeks (1000 hours). The water sorption parameters of aramid/epoxy composites were assessed with criteria such as temperature and water type based on the L/w ratio.

2. MATERIALS AND PROCEDURES

2.1. Materials

In this study, twill woven aramid fabric, with an areal density of 173 g/m², was used as a reinforcement phase and an epoxy MGS L 285 resin with MGS H 285 hardener was selected as a matrix system. The mechanical and physical properties of reinforcements and matrix systems are illustrated in Table 1 and Table 2, respectively. The reinforcement materials were supplied from Dost Kimya, Istanbul, Turkey.

Table 1. Mechanical and physical properties of reinforcement

Material	Specifications	Dimensions
Aramid Fabric	Areal Density	173 g/m ²
	Fabric thickness	0.17 mm
	Tensile Strength	2750-3000 (MPa)
	Elastic Modulus	82-124 (GPa)

Table 2. Physical properties of resins systems

Material	Specifications	Dimensions
MGS L 285	Density	1.18-1.23 g/cm ³
	Viscosity	600-900 mPa.s
MGS H 285	Density	0.94-0.97 g/cm ³
	Viscosity	50-100 mPa.s

2.2. Manufacturing Process

Composite plates were manufactured as twelve ply laminates of twill woven aramid fabric by the vacuum-assisted resin infusion method (VARIM). The resin MGS L 285 and the curing agent the MGS H 285 were prepared with a stoichiometric mass ratio of 100:40. Before the resin/curing agent mixture started to harden, the impregnation process was started. The impregnation process was continued until the aramid fabrics were completely wet. The vacuum pressure control was carried out throughout the process to prevent leakage. The designation of the manufacturing method and production process is showed in Figure 1 a) and b), respectively.

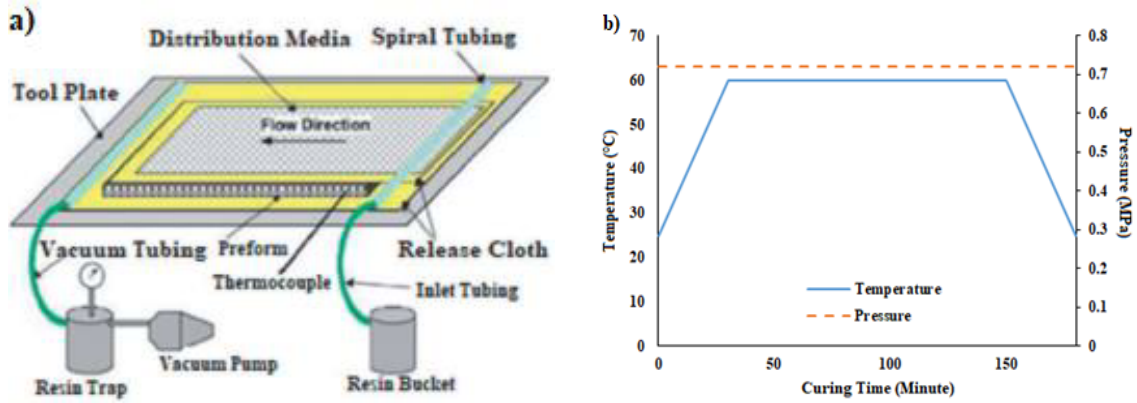


Figure 1. a) Designation of VARIM method [18], b) Production process

Two aramid/epoxy composite groups using different L/w ratios were cut from 350 * 500 mm² plates with a CNC router. Composite samples with two different widths were cut as L/w ratios were 10 and 15, by the length remaining constant. The designation of composite sample is illustrated in Figure 2.

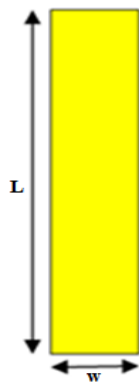


Figure 2. Test specimen

2.3. Hydrothermal Aging

The composite samples were aged in sea water (SW) and distilled water (DW) at 25 °C and 70 °C temperatures for 1000 hours. Because of the geographical position, it is not possible to obtain sea water directly from the sea, artificial sea water was prepared with natural sea salt at a concentration of 3.5 percent, based on the global average concentration of ocean salt. Since this rate shows variation due to evaporation, it was

periodically controlled with a suitable densitometer, and fixed with addition of proper amount of water and salt. The aging cabin is illustrated in Figure 3.

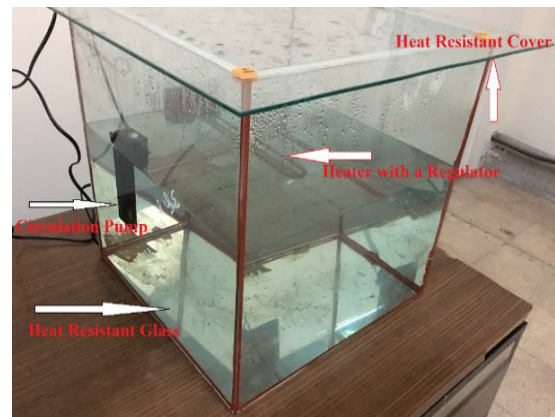


Figure 3. Hydrothermal aging cabin

To prevent restriction of water absorption during the test, the samples that would be immersed in water before the test was not sandpapered due to the sandpapering process could prevent water absorption. Furthermore, to maximize the water absorption, a suitable separator was used to prevent the contact of the samples and to achieve water intake from all surfaces.

Depending on ASTM D5229/D5229M-14 [9], hydrothermal aging was performed in which the water absorption amount M_t can be determined as below (Equation 1)

$$M_t = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

where m_t and m_0 are the weight at time t and the first weight of specimens, respectively.

Moreover, the water sorption tendency of samples was also computed theoretically based on Fick's law. Fick's law leads with thickness h to the following equation (Equation 2) [10].

$$\frac{M_t}{M_m} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 Dt}{h^2}\right] \quad (2)$$

where M_t and M_m are the water absorption amount t and the overall water gain at equilibrium plateau, respectively and D is the diffusion coefficient.

Shen and Springer [11] simplified the Equation 2 based on Dt/h^2 ratio as (Equation 3-4)

$$\frac{M_t}{M_m} = \begin{cases} 4 \sqrt{\frac{Dt}{\pi}} & \text{for } \frac{Dt}{h^2} < 0.05 \end{cases} \quad (3)$$

$$\frac{M_t}{M_m} = \begin{cases} 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp\left[-\frac{\pi^2 Dt}{h^2}\right] & \text{for } \frac{Dt}{h^2} > 0.05 \end{cases} \quad (4)$$

The composite diffusion coefficient D can be calculated as

$$D = \pi \left(\frac{h}{4M_m} \right)^2 k^2 \quad (5)$$

where k is the initial slope of the plot M_t versus square root of time, \sqrt{t} .

Due to the water intake experiments involve water intake from all surfaces, the estimated value of D from Equation 5 causes to mistake [12,13]. For the correct diffusion coefficient, a correction factor can be calculated for the edge effect, so the corrected diffusion coefficient D_c can be counted as;

$$D_c = D \left(1 + \frac{h}{L} + \frac{h}{w} \right)^{-2} \quad (6)$$

where w and L are the width and length of the sample, respectively [13].

A nomenclature is given to the samples showing the parameters studied. For instance, 15-DW25 is a specimen that was manufactured with an L/w ratio of 15 and aged in distilled water at 25 °C temperature, whereas 10-SW70 is a specimen that was manufactured with an L/w ratio as 10 and aged in sea water at 70 °C temperature.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The weight gain rate graphs of aramid/epoxy composites aged at 25 °C and 70 °C are shown in Figures 4 and 5, respectively, based on the theoretical (M_t) and experimental (M_e) measurements. The water gain curves of composites were plotted against the square root of an aging time in figures.

The M_t , representing Fick's law, and the M_e , representing the experimental measurements, showed a harmonious appearance in all environments for the two L/w ratios. Hence, it can be said that the water absorption trend of aramid/epoxy composites displayed a trend like the Fickian model.

It was observed that the water absorption behavior of composites was time-dependent. The rapid onset of water absorption started to decrease as the aging period increases. Further, it was noticed that the composite samples approached the almost saturation point at the end of the aging period. The initial rapid water absorption can be caused by the concentration difference between the composite samples and the aging environment. Besides, voids found both at the surface and the fiber/matrix interface can also produce the rapid initial water absorption [14].

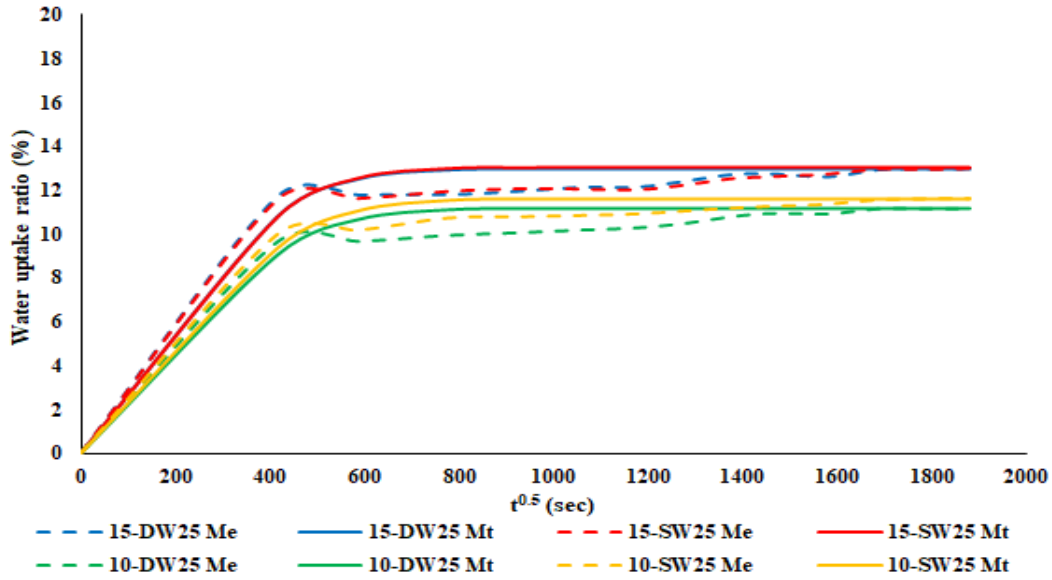


Figure 4. Water uptake ratio of composites aged at 25 °C

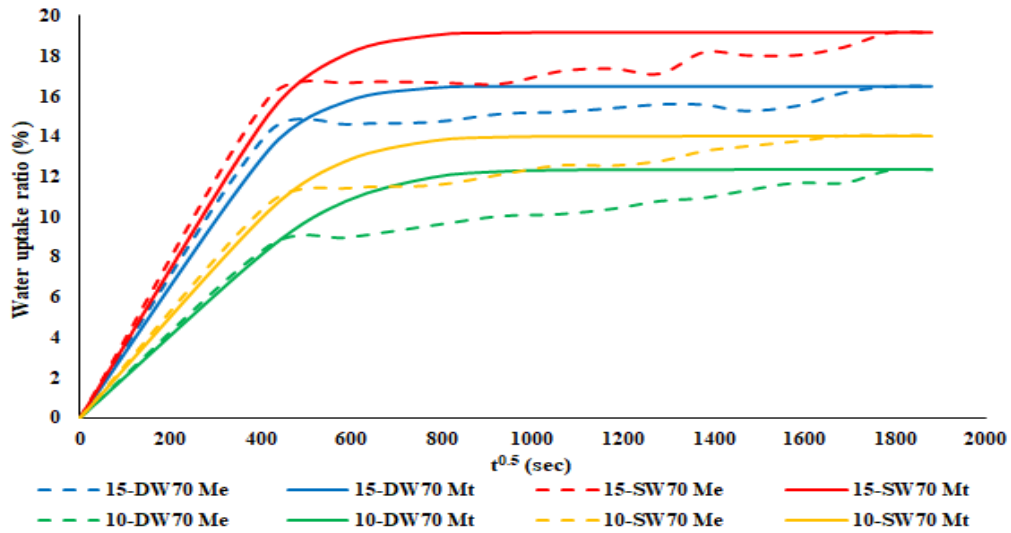


Figure 5. Water uptake ratio of composites aged at 70 °C

The maximum water uptake ratio of aramid/epoxy composites based on the L/w ratio is shown in Figure 6. When the maximum water absorption rates of aramid/epoxy composites with different L/w ratios were examined based on temperature, it was observed that the temperature directly affected the maximum water absorption rate in both water

types. The temperature increase was caused the more water absorption. High temperature is one of the most important factors that disrupt the matrix and fiber/matrix structure. Cracks and voids tend to increase in structures that deteriorate at high temperatures. Voids and cracks filling with water causes excessive water absorption [15].

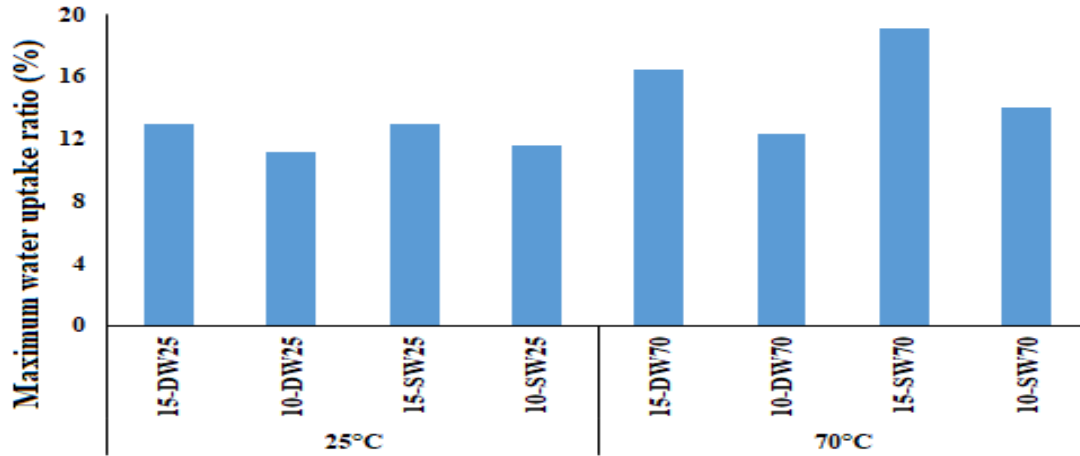


Figure 6. Maximum water uptake ratio of aramid/epoxy composites

Furthermore, the maximum water uptake rate of aramid/epoxy samples was evaluated for different water types and different L/w ratios separately. The maximum water absorption rate of aramid/epoxy samples immersed in distilled water was found to be less than samples aged in sea water in both temperatures and L/w ratios. Besides, the difference in maximum water ratios was observed more clearly at high temperatures. The more sea water absorption can be explained with the pH level that causes micro-cracks in the composite structure [16]. Degradation areas in the form of micro-cracks in the composite structure increase the absorption of sea water.

When the water absorption rates were examined based on the sample dimensions, it was noticed that the maximum absorbed water amount of aramid/epoxy composite samples changed under the effect of dimension. Considering the maximum water absorption rate of aramid/epoxy samples aged at the same water type and temperature with different L/w ratio, it was observed that the increase of the L/w ratio was caused by more water absorption, as seen in Figure 6. The maximum water uptake ratio of samples aged in distilled water at 25 °C was found as 12.990% and 11.189% for 15-DW25 and 10-DW25, respectively. A similar water absorption trend was observed in sea water aging at 25 °C. The maximum water gain ratios were found as 13.010% and 11.629% for 15-SW25 and 10-SW25,

respectively. In addition, the effect of the L/w ratio on the maximum water intake rate of aramid/epoxy samples aged at 70 °C was more clearly observed. Compared to specimens immersed at 25 °C, the maximum water uptake rate of specimens immersed at 70 °C increased more as the L/w ratio increased. The maximum water uptake ratio of samples aged in distilled water at 70 °C was found as 16.470% and 12.330% for 15-DW70 and 10-DW70, respectively. Also, a similar water absorption tendency was observed for the sea water aging process. The maximum water uptake ratio of samples aged in sea water at 70 °C was found as 19.160% and 14.041% for 15-SW70 and 10-SW70, respectively.

The diffusion coefficient (D) that displays how much water molecules can penetrate the composite samples is one of the most major factors of Fick's model [17]. The diffusion coefficient (D) and corrected diffusion coefficient (D_c) are illustrated in Figure 7. The experimental findings displayed the diffusion coefficient values gave harmonious and uniform results for both temperatures and water types. As seen in Figure 7, the decrease of the L/w ratio was caused to fall back of D values. The diffusion coefficients of composites aged at 25 °C temperature were found as $8.865 \cdot 10^{-6}$, $8.161 \cdot 10^{-6}$, $8.673 \cdot 10^{-6}$, and $7.297 \cdot 10^{-6}$ for 15-DW25, 10-DW25, 15-SW25 and 10-SW25, respectively. Besides, the diffusion coefficients of samples aged at 70 °C temperature displayed a

parallel character with 25 °C. The diffusion coefficients of composites aged at 70 °C temperature were found as $8.079 \cdot 10^{-6}$, $5.062 \cdot 10^{-6}$

, $7.514 \cdot 10^{-6}$, and $6.059 \cdot 10^{-6}$ for 15-DW70, 10-DW70, 15-SW70 and 10-SW70, respectively.

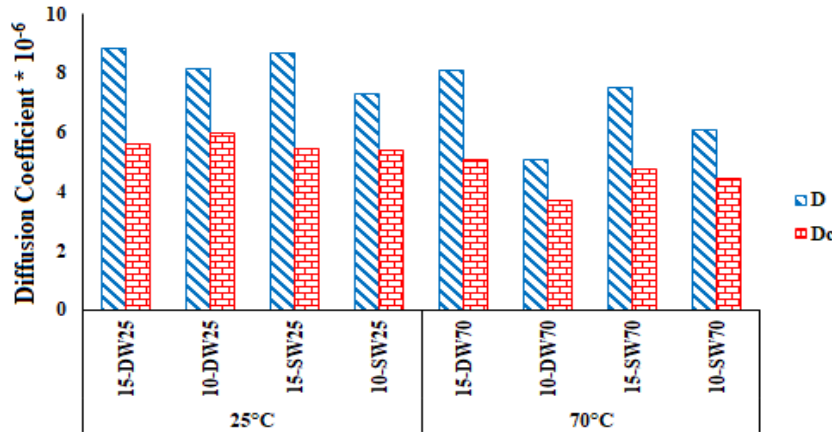


Figure 7. Diffusion coefficients of aramid/epoxy composites

Moreover, as a result of the edge factor, the D_c values were found as lower than the D values. The D_c values of aramid/epoxy showed a similar trend with D values, based on the dimension effect. The increase of L/w ratio was caused to increase of D_c values, except from samples aged in distilled water at 25 °C with a negligible difference, as seen in Figure 7. The corrected diffusion coefficients, D_c , of composites aged at 25°C temperature were found as $5.587 \cdot 10^{-6}$, $5.956 \cdot 10^{-6}$, $5.467 \cdot 10^{-6}$, and $5.401 \cdot 10^{-6}$ for 15-DW25, 10-DW25, 15-SW25 and 10-SW25, respectively. Likewise, the corrected diffusion coefficients, D_c , of composites aged at 70 °C temperature were found as $5.092 \cdot 10^{-6}$, $3.712 \cdot 10^{-6}$, $4.736 \cdot 10^{-6}$, and $4.443 \cdot 10^{-6}$ for 15-DW70, 10-DW70, 15-SW70 and 10-SW70, respectively.

4. CONCLUSION

In this research, the water sorption character of aramid/epoxy composites was intended to evaluate based on dimension effect. Periodic weight measurements revealed that factors such as water type and temperature directly affected the water sorption character of aramid/epoxy composites. The experimental and theoretical weight measurement lines showed parallel trends. Hence,

the water sorption character of aramid/epoxy composites displayed the Fickian model. It was observed that the sea water sorption rate of aramid/epoxy samples was higher than distilled water absorption rate for both temperatures. In addition, it was noticed that the temperature increase was caused by more water absorption for both two L/w ratio and water types. Moreover, when all results were evaluated on the basis of the dimension effect, it was seen that the increase of L/w ratio was caused to increase of overall water intake rate, diffusion coefficient and corrected diffusion coefficient.

5. ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Gaziantep University Scientific Research Project Governing Unit (BAPYB) with an MF.DT.19.08 project number.

6. REFERENCES

- Özbek, Ö., 2021. Axial and Lateral Buckling Analysis of Kevlar/epoxy Fiber-reinforced Composite Laminates Incorporating Silica Nanoparticles, *Polymer Composites*, 42, 1109-1122.

2. Özbek, Ö., Doğan, N.F., Bozkurt, Ö.Y., 2020. An Experimental Investigation on Lateral Crushing Response of Glass/carbon Intraply Hybrid Flament Wound Composite Pipes, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42, 389. doi: 10.1007/s40430-020-02475-3.
3. Tanaka, K., Minoshima, K., Grela, W., Komai, K., 2002. Characterization of the Aramid/epoxy Interfacial Properties by Means of Pull-out Test and Influence of Water Absorption, *Composites Science and Technology*, 62, 2169–2177.
4. Akay, M., Kong Ah Mud, S., Stanley, A., 1996. Influence of Moisture on the Thermal and Mechanical Properties of Autoclaved and Oven-cured Kevlar-49/epoxy Laminates, *Composites Science and Technology*, 51, 565-571.
5. Wan, Y.Z., Wang, Y.L., Huang, Y., Luo, H.L., He, F., Chen, G.C., 2006. Moisture Absorption in a Three-dimensional Braided Carbon/Kevlar/epoxy Hybrid Composite for Orthopaedic Usage and its Influence on Mechanical Performance, *Composites: Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(9), 1480-1484.
6. Yahaya, R., Sapuan, S.M., Jawaid, M., Leman, Z., Zainudin, E.S., 2016. Water Absorption Behaviour and Impact Strength of Kenaf-kevlar Reinforced Epoxy Hybrid Composites, *Advanced Composites Letters*, 25(4), 98-102.
7. Srivastav, P.A., Wangikar, K.S., Kale, A.D., 2017. Mechanical Characterization and Effects of Hydrolytic Aging on Glass Kevlar Hybrid Composites, *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, 5(9), 2320-2092.
8. Imielinska, K., Guillaumat, L., 2004. The Effect of Water Immersion Ageing on Low-velocity Impact Behaviour of Woven Aramid-glass Fibre/epoxy Composites, *Composites Science and Technology*, 64, 2271-2278.
9. ASTM D5229, Standard Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials.
10. Jost, V.W., 1960. *Diffusion in Solids, Liquids, Gases*, New York: Academic Press, 652.
11. Shen, C.H., Springer, G.S., 1976. Moisture Absorption and Desorption of Composite Materials, *Journal of Composite Material*, 10, 2-20.
12. Abd El-baky, M.A., Attia, M.A., 2018. Water Absorption Effect on the In-plane Shear Properties of Jute-glass-carbon-reinforced Composites using Losipescu Test, *Journal of Composite Materials*.
13. Collings, T.A., Copley, S.M., 1983. On the Accelerated Ageing of CFRP, *Composites*, 14(3), 180–188.
14. Bian, L., Xiao, J., Zeng, J., Xing, S., 2012. Effects of Seawater Immersion on Water Absorption and Mechanical Properties of GFRP Composites. *Journal of Composite Materials*, 46(25), 3151–3162. doi: 10.1177/0021998312436992.
15. Soykok, I.F., Sayman, O., Pasinli, A., 2013. Effects of Hot Water Aging on Failure Behavior of Mechanically Fastened Glass Fiber/Epoxy Composite Joints, *Composites Part B*, 54, 59–70. doi: 10.1016/j.compositesb.2013.04.073.
16. Larbi, S., Bensaada, R., Djebali, S., Bilek, A., 2016. Experimental and Theoretical Study on Hygrothermal Aging Effect on Mechanical Behavior of Fiber Reinforced Plastic Laminates. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 10(7), 1239-1242.
17. Oğuz, Z.A., Erklığ, A., Bozkurt, Ö.Y., 2020. Degradation of Hybrid Aramid/glass/epoxy Composites Hydrothermally Aged in Distilled Water. *Journal of Composite Materials*, doi: 10.1177/0021998320984237.
18. Wei, B., Cao, H., Song, S., 2011. Degradation of Basalt Fibre and Glass Fibre/epoxy Resin Composites in Seawater, *Corrosion Science*, 53(1), 426–431.

Soya ve Mısır Yağından Biyodizel Üretimine Yanıt Yüzey Metodu Kullanılarak Optimizasyonu

Ceyla ÖZGÜR*¹

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

Geliş tarihi: 17.02.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Öz

Bu çalışmada, soya fasulyesi ve mısır yağı karışımından biyodizel üretim prosesi için optimum parametreleri belirlemek amacıyla yanıt yüzey metoduna dayalı merkezi kompozit tasarımı (CCD) kullanılmıştır. Biyodizel üretiminin modellenmesi için dört değişkenli yanıt yüzey metoduna dayalı merkezi kompozit tasarımı uygulanmıştır. Bu nedenle, dört önemli üretim parametresinin üç farklı seviyesinde 30 deney gerçekleştirilmiştir. Seçilen giriş parametreler, metanol/yağ oranı, reaksiyon süresi, katalizör miktarı ve reaksiyon sıcaklığıdır. En yüksek dönüşüm değeri %94,49 ile 6,97:1 metanol/yağ oranı, 74,99 dakika reaksiyon süresinde, %1,04 katalizör miktarında, 64,99 °C reaksiyon sıcaklığında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Soya yağı, Mısır yağı, Biyodizel, Optimizasyon, Yüzey yanıt metodu

Using Response Surface Methodology to Optimize Biodiesel Production from Soybean and Corn Oil

Abstract

In this work, central composite design based on response surface method was used to determine optimum parameters for biodiesel production process from soybean and corn oil mixture. A central composite design (CCD) of RSM with four variables was applied to model to biodiesel production. For this reason, 30 experiments were performed for three levels of four important process parameters. The optimization parameters were methanol/oil ratio, reaction time, catalyst ratio and reaction temperature. A maximum biodiesel yield of 94.49% is accomplished at 6.97:1 methanol/oil ratio, 74.99 min reaction time, 1.04 wt% catalyst amount and 64.99 °C reaction temperature.

Keywords: Soybean oil, Corn oil, Biodiesel, Optimization, Response surface methodology

*Sorumlu Yazar (Corresponding author): Ceyla ÖZGÜR, cozgur@atu.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde hızla artan kentleşme ve sanayileşme, fosil yakıtların tükenmesine ve çevre kirliliğinin artmasına sebep olmaktadır [1]. Bu yüzden düşük maliyetli hammaddelerden alternatif yakıt üretmek ve aynı zamanda çevre kirliliğini en aza indirmek için çok sayıda çalışma yapılmaktadır [2]. Bu konuda, biyodizel yenilenebilir olması, yüksek oranda biyolojik bozunabilirliği, yüksek parlama noktasına sahip olması ve düşük egzoz emisyonları ile büyük bir öneme sahiptir [3]. Biyodizel çoğunlukla transesterifikasyon reaksiyonu ile üretilmektedir [4]. Transesterifikasyon reaksiyonunda trigliseridler ve kısa zincirli alkol katalizör eşliğinde monoester üretiminde kullanılır [5]. Üretim optimizasyonu önemli ve dikkate değer bir konudur ve biyodizel veriminin arttırması ve üretim maliyetinin azalmasını sağlar [6]. Yüzey yanıt metodu kompleks proseslerin geliştirilmesi, ilerletilmesi ve optimizasyonunda kullanılan ampirik bir modelleme sistemi olarak tanımlanabilir [7]. Yüzey yanıt metodolojisi birçok bilim alanında optimizasyon için tercih edilen bir uygulama metodudur [8]. Bu yöntem ile geliştirilen özel deney tasarımları kullanılarak optimizasyon için gerekli olan deney sayısı azaltılabilmekte bu da ekonomik açıdan avantaj sağlamaktadır [9]. Yanıt yüzey metodolojisi çoğunlukla biyodizel üretiminde transesterifikasyon parametrelerinin optimizasyonu için benimsenen istatistiksel bir metottur [10]. Biyodizel üretiminde proses parametrelerinin yanıt yüzey metodu yazılımı kullanılarak optimize edildiği birçok çalışma bulunmaktadır [11-14].

Bu çalışmanın amacı, soya-mısır yağından biyodizel üretiminde en yüksek model verimini elde etmek için çeşitli parametrelerin etkilerini ve parametreler arasındaki bu etkileşimleri ortaya koyabilmek için yanıt yüzey metodu uygulanarak sonuçların optimizasyonunu sağlamaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Omkaresh ve arkadaşları [15] *Annona squamosa* yağından biyodizel üretiminin optimizasyonu için

yanıt yüzey metoduna dayalı central design tasarımı kullanmışlardır. Çalışmalarında dört bağımsız üretimi parametresinin beş farklı seviyesini kullanmışlardır. Toplamda 30 deney tasarlamışlardır ve katalizör miktarının, reaksiyon süresinin, metanol/yağ oranının ve reaksiyon sıcaklığının biyodizel verimini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Model sonuçlarına göre, %94,24 *Annona squamosa* yağından biyodizel verimi 6,98:1 metanol/yağ oranı, 35,35 dakika reaksiyon süresi, %1,22 katalizör miktarı ve 53,27 °C sıcaklıkta bulunmuştur.

Yeşilyurt ve arkadaşları [16] sarı hardal tohumu yağından tek aşamalı transesterifikasyon işlemi ile biyodizel üretiminde reaksiyon parametrelerinin optimizasyonu için Central design içeren yanıt yüzey metodolojisini kullanmışlardır. Değişkenlerin biyodizel verimi üzerindeki etkilerinin incelenmesi için toplamda 30 deney tasarlamış ve gerçekleştirmişlerdir.

Kumar ve Kumar [17] portaka kabuğu yağından transesterifikasyon yöntemiyle metil ester üretiminin optimizasyonu için yanıt yüzey metodolojisini kullanmışlardır. Üretim parametreleri olarak katalizör miktarı, reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi ve metanol oranı, seçilmiştir. Bu çalışma sonucunda optimum %97,22 metil ester verimi, %0,67 katalizör miktarı, 53 °C reaksiyon sıcaklığı, 58,16 dakikalık bir reaksiyon süresi ve 6,27 molar oranında elde edilmiştir.

Srikanth ve arkadaşları [18] mandıra ykandı şüt köpüğü yağından transesterifikasyonla biyodizel üretiminin optimizasyonu için yanıt yüzey metodolojisinin Box-Behnken metodu kullanmışlardır. Metanol yağ molar oranı, KOH miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi gibi üretim parametrelerinin biyodizel numuneleri üzerindeki etkilerini çalışmışlardır. ANOVA sonuçlarından elde edilen 2. dereceden model, modelin anlamlı ve önemli olduğunu göstermiştir. Çok küçük olan p değeri (<0,0001) biyodizel verimi ve model değişkenleri arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu göstermektedir.

Dwivedi ve Sharma [19] dört proses değişkenini optimize ederek Pongamia yağından biyodizel verimini maksimize etmek için Box-Behnken yanıt yüzey metodolojisini kullanmışlardır. Metanol/yağ molar oranı (11,06:1) ile katalizör olarak KOH (%1,43 w/w) kullanılarak 81,43 dakikada 56,6 °C sıcaklıkta %98,4 biyodizel verimi elde etmişlerdir.

Mansourpoor ve Shariati [20] sıcaklık, katalizör miktarı ve metanol/yağ molar oranı üretim parametrelerinin biyodizel verimi üzerindeki etkilerini incelemişler ve yüzey yanıt metodu kullanarak reaksiyon koşullarını optimize etmişlerdir. Metil esterlerin üretimi için maksimum verimin 48 °C sıcaklıkta 6,825 molar oranda, ağırlıkça %0,679 katalizör konsantrasyonu, 290 rpm karıştırma hızı ve 2 saatlik bir reaksiyon süresinde 98,181 olduğu sonucuna varmışlardır.

Kolakoti ve arkadaşları [21] çalışmalarında mahua yağından transesterifikasyon metoduyla biyodizel üretimini optimize etmek için dört farklı üretim parametresinin etkilerini araştırmışlardır. Bu üretim parametreleri sırasıyla, katalizör miktarı, molar oranı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresidir. Yanıt yüzey metodu kullanılarak yapılan optimizasyon işleminde maksimum biyodizel verimi %91,32 olarak tespit edilmiştir.

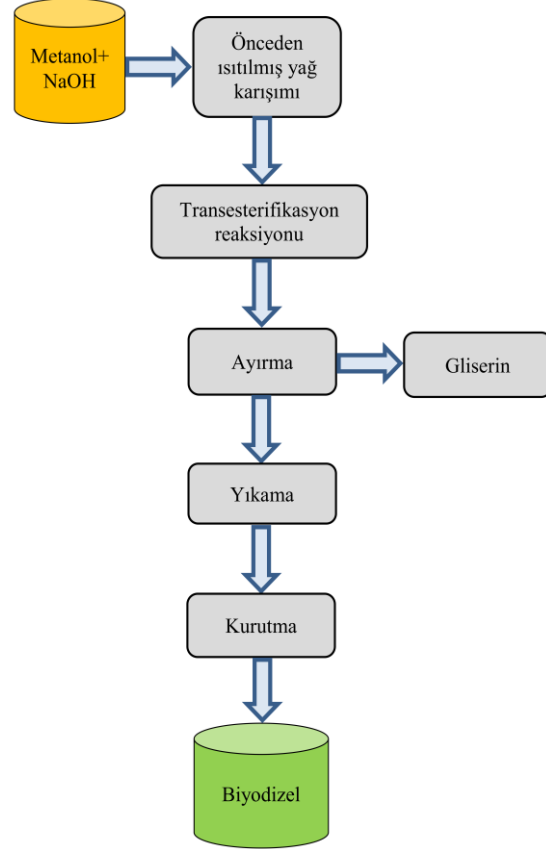
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Biyodizel üretiminde hammadde olarak hacimsel olarak %50:50 soya ve mısır yağı karışımı, alkol olarak %99,9 saflıkta metil alkol ve katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır.

3.2. Deney Düzenegi

Deney analizlerde kullanılan biyodizel soya ve mısır yağları karışımından transesterifikasyon reaksiyonu uygulanarak üretilmiştir. Biyodizel üretim prosesi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Biyodizel üretim prosesi

3.3. Yanıt Yüzey Metodu

Bu çalışmada Design Expert 12 Stat-Ease, Inc., Minneapolis, MN, USA yazılımı kullanılarak deneysel değerlerin istatistiksel analizi için yanıt yüzeyi metodolojisi kullanılmıştır. Biyodizel üretim parametrelerinin optimizasyonu için Yüzey yanıt metodolojisine dayalı merkezi merkezi kompozit tasarım (CCD) kullanılmıştır. Toplamda 30 adet deney yapılmıştır. Bu tasarım 16 faktöryel nokta, 8 aksenal nokta ve 6 merkez noktası içerir. Kullanılan üretim parametreleri molar oran (A), reaksiyon süresi (B), katalizör miktarı (C) ve reaksiyon sıcaklığıdır (D). Kullanılan dört bağımsız değişken ve değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Yanıt yüzey metodolojisi yanıt yüzeyini tahmin etmek için 2. dereceden polinom modeli kullanılır. Bu aşağıdaki Eşitlik 1'de verildiği gibidir [22].

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i>j}^n \sum_j \beta_{ij} x_i x_j + e \quad (1)$$

Burada; Y tahmin edilen biyodizel verimi, n faktör sayısı, β_0 sabit, β_i , β_{ii} , β_{ij} doğrusal, dördü ve etkileşim katsayılarıdır.

Varyans analizini değerlendirmek (ANOVA) için modelin istatistiksel bir analizi gerçekleştirilmiştir. Model uyumunun kalitesi belirleme katsayısı (R^2) kullanılarak değerlendirilmiştir ve tepki yüzey grafiği regresyon analizinden elde edilen uygun bir kuadratik polinom denklemi kullanılarak geliştirilmiştir.

Çizelge 1. Bağımsız değişkenler ve değerleri

Değişkenler	Değerler				
	-2	-1	0	1	2
Metanol yağ molar oranı	3	4,5	6	7,5	9
Reaksiyon süresi (dk)	30	45	60	75	90
Katalizör miktarı (%)	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5
Reaksiyon sıcaklığı (°C)	50	55	60	65	70

Çizelge 2. Yanıt yüzey metodu ile belirlenen değişkenler ve yanıtlar

Deney No	Molar oran	Reaksiyon süresi (dk)	Katalizör miktarı (%)	Reaksiyon sıcaklığı (°C)	Deneysel biyodizel verimi (%)	Tahmini biyodizel verimi (%)
1	7,5	45	0,6	65	83	82,93
2	7,5	45	1,2	55	93,5	92,98
3	6,0	60	0,9	60	92,1	91,21
4	6,0	60	0,9	70	90,54	91,76
5	4,5	75	0,6	55	72,68	72,98
6	4,5	75	1,2	55	79,56	79,44
7	7,5	45	1,2	65	90,53	90,37
8	6,0	60	0,9	60	91	91,21
9	6,0	60	0,9	60	90,25	91,21
10	7,5	75	0,6	55	83	82,19
11	7,5	45	0,6	55	81,65	83,67
12	6,0	30	0,9	60	90,3	89,79
13	4,5	45	0,6	55	75,66	76,10

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Yanıt Yüzey Metodolojisi ile Optimizasyon

Biyodizel üretiminde metanol/yağ molar oranı, reaksiyon süresi, katalizör miktarı ve reaksiyon sıcaklığının etkileri merkezi kompozit tasarım (CCD) kullanılarak belirlenmiştir. Biyodizel üretiminin optimizasyonu için, merkezi kompozit tasarımında (CCD) üç seviyeli dört üretim parametresi kullanılmıştır. Çizelge 2 üretim parametrelerini ve üretim parametrelerinin seviyelerini yanıtlarla birlikte vermektedir. Çıkış parametresi olan biyodizel veriminin giriş faktörlerine göre ikinci dereceden denklemi aşağıda verildiği şekildedir (Eşitlik 2):

$$Y = 91,21 + 3,96A - 0,0296B + 3,48C + 1,23D + 0,4081AB + 0,7881AC - 1,03AD + 0,0781BC + 1,04BD - 0,4656CD - 2,75A^2 - 0,3703B^2 - 3,71C^2 - 0,4778D^2 \quad (2)$$

Burada; Y biyodizel verimi, A metanol/yağ molar oranı, B reaksiyon süresi, C katalizör miktarı, D reaksiyon sıcaklığıdır.

Çizelge 2 (Devam)

Deney No	Molar oran	Reaksiyon süresi (dk)	Katalizör miktarı (%)	Reaksiyon sıcaklığı (°C)	DeneySEL biyodizel verimi (%)	Tahmini biyodizel verimi (%)
14	6,0	60	0,3	60	70,2	69,43
15	6,0	90	0,9	60	89,1	89,67
16	6,0	60	1,5	60	82,5	83,33
17	7,5	75	1,2	65	94	93,37
18	6,0	60	0,9	50	88	86,83
19	4,5	45	1,2	65	83,12	83,74
20	6,0	60	0,9	60	91,56	91,21
21	9,0	60	0,9	60	88,9	88,14
22	3,0	60	0,9	60	71,5	72,31
23	4,5	75	1,2	65	87	85,11
24	4,5	45	1,2	55	82,5	82,25
25	4,5	45	0,6	65	80,56	79,46
26	7,5	75	0,6	65	85,23	85,62
27	6,0	60	0,9	60	92,1	91,21
28	7,5	75	1,2	55	90,56	91,80
29	6,0	60	0,9	60	90,24	91,21
30	4,5	75	0,6	65	80,18	80,51

Çizelge 3 biyodizel verimi için ANOVA tablosunu göstermektedir. Varyans analizi (ANOVA) modelin önemini bulmak için kullanılır. Her faktörün yanıt üzerindeki önemini bulmak için olasılık değeri kullanılmıştır (p-değeri) ve ayrıca her parametrenin etkileşim gücünü de gösterir. Çizelge 3'e bakıldığında p değeri 0,0001'den düşüktür ve bu da yanıt değerini tahmin etmede ve çıkan modelin uygunluğunu belirlemede yüksek derecede önemli olduğunu gösterir. Modelin F değeri 61,12 modelin önemli olduğunu kastetmektedir. 0,05'ten küçük p değerleri model terimlerinin önemli olduğunu gösterir. Bu durumda A, C, D, AC, AD, BD, A², C², model terimleri önemlidir. Eğer f değerleri yüksek ve p değerleri de buna karşın düşük ise modelin uygunluğu o derece iyidir. Bu orana Adeq Precision denir. Adeq Precision sinyal/gürültü

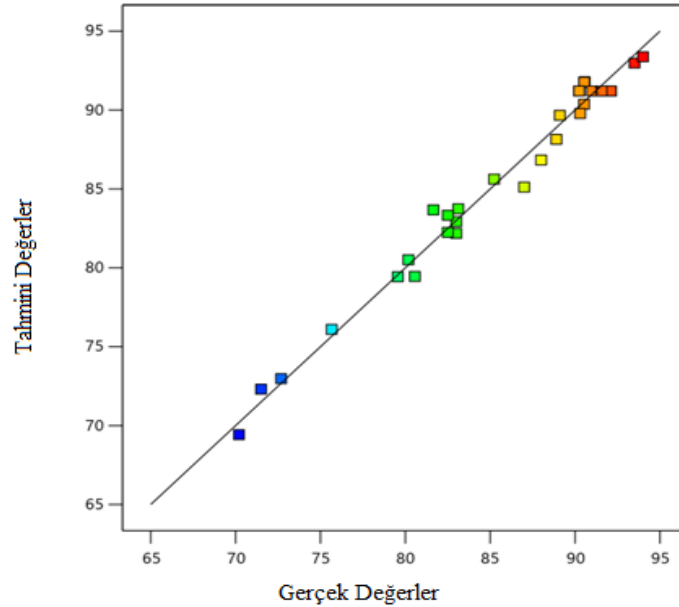
oranını ölçer. Modelin uygunluğu için bu oranın 4'ten büyük olması istenir. Bizim modelimizde bu oran 27,741'dir. R² (belirleme katsayısı) oluşturulan modelin değerlendirilmesinde kullanılır. 0-1 arasında bir değer sahip olup deneylerle uyumun iyi olup olmadığı hakkında bilgi verir. ANOVA ile regresyon denkleminin analizi, R² değerinin 0,9828 olduğunu göstermiştir. Tahmin edilen R² ve ayarlanmış R² değerleri sırasıyla 0,9128 ve 0,9667'dir. Tahmin edilen R² ile ayarlanmış R² değerleri arasındaki fark 0,2'den az olduğu için aralarında makul bir uyum vardır.

Tahmin edilen değerlerle gerçek değerler arasındaki mükemmel uyum Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi tüm noktalar mükemmel uyum çizgisine çok yakındır.

Çizelge 3. Model sonuçları (ANOVA)

Kaynak	DF	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F-değeri	P-değeri	
Model	14	1275,18	91,08	61,12	<0,0001	önemli
A-Molar oran	1	376,12	376,12	252,39	<0,0001	
B-Reaksiyon süresi	1	0,0210	0,0210	0,0141	0,9071	
C-Katalizör miktarı	1	289,88	289,88	194,52	<0,0001	
D-reaksiyon sıcaklığı	1	26,48	26,48	24,48	0,0002	
AB	1	2,67	2,67	1,79	0,2011	
AC	1	9,94	9,94	6,67	0,0208	
AD	1	16,83	16,83	11,29	0,0043	
BC	1	0,0977	0,0977	0,0655	0,8014	
BD	1	17,45	17,45	11,71	0,0038	
CD	1	3,47	3,47	2,33	0,1479	
A ²	1	206,72	206,72	138,72	<0,0001	
B ²	1	3,76	3,76	2,52	0,1330	
C ²	1	377,08	377,08	253,03	<0,0001	
D ²	1	6,26	6,26	4,20	0,0583	
Artık	15	22,35	1,49			
Uyum eksikliği	10	18,74	1,87	2,59	0,1523	önemli değil
Saf hata	5	3,61	0,7227			

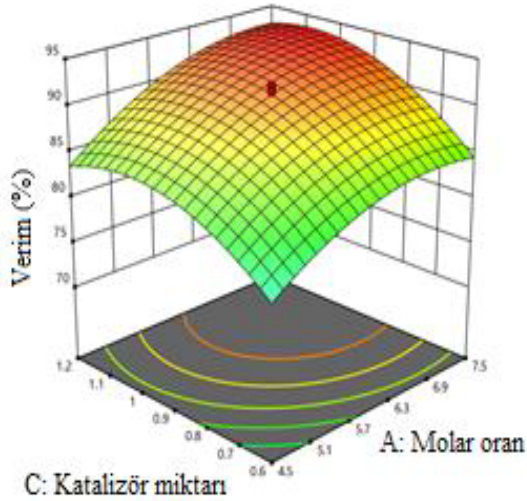
R²:0,9828, Ayarlanmış R²: 0,9667, Tahmini R²: 0,9128



Şekil 2. Biyodizel veriminde gerçek değerlere karşı tahmin edilen değerler

4.2. Reaksiyon Parametrelerinin Biyodizel Verimi Üzerine Etkisi

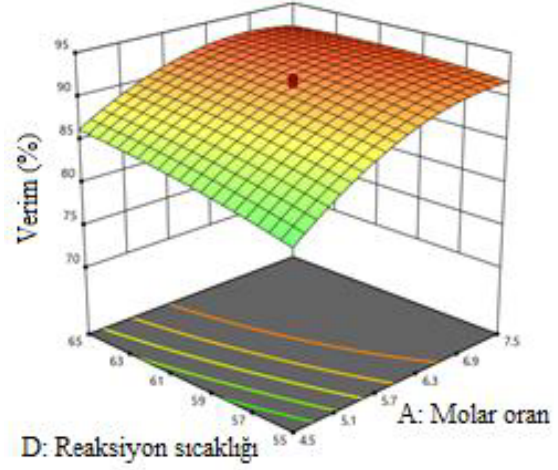
Transesterifikasyon prosesi sırasında reaksiyon parametrelerinin etkileşim etkileri, üç boyutlu yüzey grafikleri analiz edilmiştir. Şekil 3 katalizör miktarı ve metanol/yağ oranının biyodizel verimi üzerindeki etkisini göstermektedir. Şekil 3'de de görüldüğü üzere katalizör miktarı arttıkça biyodizel veriminde de bir artış gözükmemektedir, buna karşılık reaksiyon süresi 60 dakika ve reaksiyon sıcaklığı 60 °C olarak sabit tutulduğunda molar oran arttıkça biyodizel veriminde de ufak bir artış gözlenmektedir.



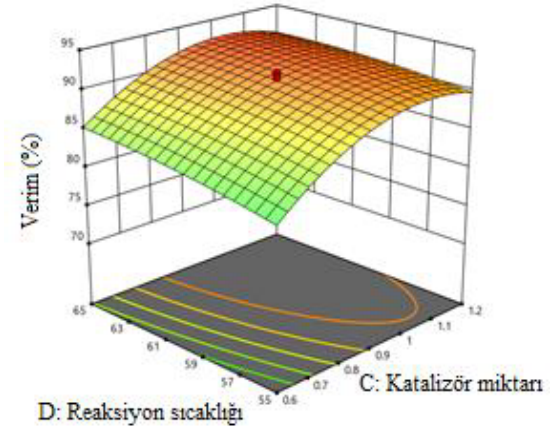
Şekil 3. Molar oran ve katalizör miktarının biyodizel verimi üzerindeki etkisinin 3 boyutlu çizimi

Şekil 4 reaksiyon sıcaklığı ve molar oranın biyodizel verimi üzerindeki karşılıklı etkileşimini göstermektedir. Şekil 4'e göre reaksiyon sıcaklığı ve molar oran arttıkça biyodizel veriminde de bir artış gözlenmektedir.

Şekil 5'te reaksiyon sıcaklığı ve katalizör miktarının biyodizel verimi üzerindeki önemini göstermektedir. Şekil 5'den de görüldüğü gibi reaksiyon sıcaklığının artması ile reaksiyon veriminde önemli bir artış görünmemesine rağmen katalizör miktarı arttıkça biyodizel veriminde ciddi bir artış gözlenmektedir.



Şekil 4. Molar oran ve reaksiyon sıcaklığının biyodizel verimi üzerindeki etkisinin 3 boyutlu çizimi



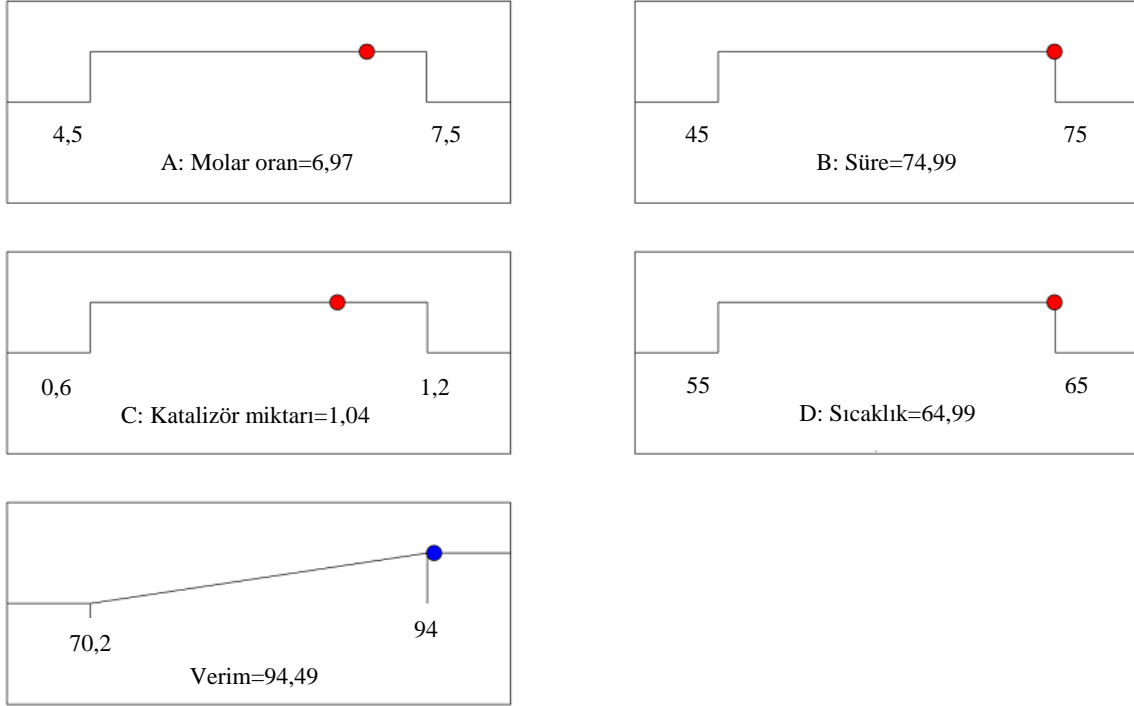
Şekil 5. Katalizör miktarı ve reaksiyon sıcaklığının biyodizel verimi üzerindeki etkisinin 3 boyutlu çizimi

4.3. Üretim Optimizasyon Tekniği

Yanıt yüzey metodundan elde edilen regresyon polinom denklemi her bir üretim parametresinin optimum seviyesinde maksimum yanıtı hesaplamak için kullanılmıştır. Biyodizel üretim parametrelerinin optimum değerleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Optimum değişken değerleri: 6,97:1 metanol/yağ oranı, 74,99 dakika reaksiyon süresi, %1,04 katalizör miktarı, 64,99 °C reaksiyon sıcaklığıdır. Bu optimum değerlerde tahmin edilen

biyodizel verimi %94,49'dur. Optimum değerler temel alınarak yapılan deneysel çalışmada elde edilen biyodizel verimi %94,0'tür. Elde edilen

sonuçlar karşılaştırıldığında deneysel sonuç ile yanıt yüzey metodundan elde edilen sonuç arasında %0,52'lik bir hata olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Üretim parametrelerinin optimal seviyeleri

5. SONUÇLAR

Soya-mısır yağı karışımından biyodizel üretiminde transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Metil ester verimini maksimize etmek için reaksiyon parametreleri yanıt yüzey metodolojisine dayalı merkezi kompozit tasarımı (CCD) kullanılarak optimize edildi. Deneysel sonuçların analizine dayanarak, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Optimum reaksiyon parametreleri 6,97:1 metanol/yağ oranı, 74,99 dakika reaksiyon süresi, %1,04 katalizör miktarı, 64,99 °C reaksiyon sıcaklığıdır. %94,49'luk optimum biyodizel verimi optimal reaksiyon koşullarında elde edilmiştir.

Biyodizel modeli için R^2 belirleme katsayısı 0,9828 olarak bulunmuştur ki bu da modelin doğruluğunun göstergesidir.

Elde edilen sonuçlar, tahmin edilen biyodizel verimi ile %94,49, test edilen verim %94,0 arasında çok iyi bir uyum olduğunu göstermektedir.

Bu da gösteriyor ki yanıt yüzey metodu biyodizel üretim parametrelerinin optimizasyonuna etkili bir şekilde uygulanabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Adam, I.K., Aziz, A.R.A., Yusup, S., Heikal, M., Hagos, F., 2016. Optimization of Performance and Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Rubber Seed-Palm Biodiesel Blends Using Response Surface Method, Asian Journal of Applied Sciences, 4(2), 401-421.
2. Bharadwaj, A.V.S.L., Sai, Niju, S., Begum, K., Meera, M., Anantharaman, N., 2019.

- Optimization and Modeling of Biodiesel Production Using Fluorite as a Heterogeneous Catalyst, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 41(15), 1862-1878.
3. Shah, M., Ali, S., Tariq, M., Khalid, N., Ahmad, F., Khan, M.A., 2014. Catalytic Conversion of Jojoba Oil into Biodiesel by Organotin Catalysts, Spectroscopic and Chromatographic Characterization, *Fuel*, 118, 392-397.
 4. Samuel, O.D., Okwu, M.O., 2019. Comparison of Response Surface Methodology (RSM) and Artificial Neural Network (ANN) in Modelling of Waste Coconut Oil Ethyl Esters Production, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 41(9), 1049-1061.
 5. Kumar, S., 2020. Comparison of Linear Regression and Artificial Neural Network Technique for Prediction of a Soybean Biodiesel Yield. *Energy Sources Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 42(12), 1425-1435.
 6. Anbessa, T.T., Karthikeyan, S., 2019. Optimization and Mathematical Modeling of Biodiesel Production using Homogenous Catalyst from Waste Cooking Oil. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(1), 1733-1739.
 7. Betiku, E., Omilakin, O.R., Ajala, S.O., Okeleye, A.A., Taiwo, A.E., Solomon, B.O., 2014. Mathematical Modeling and Process Parameters Optimization Studies by Artificial Neural Network and Response Surface Methodology: A Case of Non-edible Neem (*Azadirachta indica*) Seed Oil Biodiesel Synthesis, *Energy*, 72, 266-273.
 8. Uslu, S., 2019. Atık Lastik Piroлиз Yağı-Dizel Karışımları ile Çalışan Bir Dizel Motorda Emisyon ve Performansın Eşzamanlı Tahminine Yönelik Bir Yanıt Yüzey Metodolojisinin Geliştirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 7, 1261-1278.
 9. Demirkol, S., 2005. Soya Yağının Enzimatik Alkolizi ile Yağ Asidi Metil Esterleri Üretiminin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 91.
 10. Kumar, S., Jain, S., Kumar, H., 2017. Process Parameter Assessment of Biodiesel Production from a *Jatropha*-algae Oil Blend by Response Surface Methodology and Artificial Neural Network. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39(21), 19-25.
 11. Tshizanga, N., Aransiola, E.F., Oyekola, O., 2017. Optimisation of Biodiesel Production from Waste Vegetable Oil and Eggshell Ash, *South African Journal of Chemical Engineering*, 23, 145-156.
 12. Hamze, H., Akia, M., Yazdani, F., 2015. Optimization of Biodiesel Production from the Waste Cooking Oil Using Response Surface Methodology, *Process Safety and Environmental Protection*, 94, 1-10.
 13. Danish, M., Kale, P., Ahmad, T., Ayoub, M., Geremew, B., Adeloju, S., 2020. Conversion of Flaxseed Oil into Biodiesel Using KOH Catalyst: Optimization and Characterization Dataset, *Data in Brief*, 29, 105225.
 14. Jahirul, M.I., Koh, W., Brown, R.J., Senadeera, W., O'Hara, I., Moghaddam, L., 2014. Biodiesel Production from Non-Edible Beauty Leaf (*Calophyllum inophyllum*) Oil: Process Optimization Using Response Surface Methodology (RSM). *Energies* 7, 5317-5331.
 15. Omkaresh, B.R., Suresh, R., Yatish, K.V., 2017. Optimization of *Annona Squamosa* Oil Biodiesel Production by Using Response Surface Methodology, *Biofuels*, 8(3), 377-382.
 16. Yeşilyurt, M.K., Arslan, M., Eryılmaz, T., 2019. Application of Response Surface Methodology for the Optimization of Biodiesel Production from Yellow Mustard (*Sinapis alba* L.) Seed Oil, *International Journal of Green Energy*, 16(1), 60-71.
 17. Kumar, P., Kumar, N., 2021. Process Optimization for Production of Biodiesel from Orange Peel Oil Using Response Surface Methodology. *Energy Sources Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 43(6), 727-737.
 18. Srikanth, H.V., Venkatesh, J., Godiganur, S., 2021. Box-behnken Response Surface Methodology for Optimization of Process Parameters for Dairy Washed Milk Scum Biodiesel Production. *Biofuels*, 12(1), 113-123.

19. Dwivedi, G., Sharma, M.P., 2015. Application of Box-behnken Design in Optimization of Biodiesel Yield from Pongamia Oil and its Stability Analysis. *Fuel*, 145, 256-262.
20. Mansourpoor, M., Shariati, A., 2012. Optimization of Biodiesel Production from Sunflower Oil Using Response Surface Methodology. *J Chem Eng Process Technol*, 3(4), 141.
21. Kolakoti, A., Jha, P., Mosa, P.R., Mahapatro, M., Kotaru, T.G., 2020. Optimization and Modelling of Mahua Oil Biodiesel Using RSM and Genetic Algorithm Techniques. *Mathematical Models in Enginnering*, 6(2), 134-146.
22. Elkelawy, M., Bastawissi, H.A-E., Esmail, K. K., Radwan, A.M., Panchal, H., Sadasivuni, K. K., Suresh, M., Israr, M., 2020. Maximization of Biodiesel Production from Sunflower and Soybean Oils and Prediction of Diesel Engine Performance and Emission Characteristics Through Response Surface Methodology, *Fuel*, 266, 117072.

Çelik Lifli Betonlarda Agregat Tipinin Kırılma Enerjisine Etkisi

Merve DEMİRALP^{*1}, Ahmet BEYÇİOĞLU¹, Fuat KÖKSAL²,
Hüseyin Okan ANADUT², Hüsamettin ÜRÜNVEREN¹

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

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

Geliş tarihi: 26.02.2021

Kabul tarihi: 16.03.2021

Öz

Beton, farklı özelliklerdeki malzemelerin birlikte kullanılmasıyla oluşturulan kompozit bir mühendislik malzemesidir. Bu kompoziti oluşturan her bileşenin fiziksel ve mekanik performans açısından önemli düzeyde etkileri bulunmaktadır. Betonun en önemli bileşenlerinden bir tanesi de agregatlar olup agregatların birim ağırlığı, iç yapısı, mekanik özellikleri, yüzey formu vb. gibi birçok özelliği betonun fiziksel, mekanik, durabilite, radyoaktif etkilere karşı koyma yeteneği gibi mühendislik performanslarını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında, farklı tipteki agregatların çelik lifli betonlarda taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bu doğrultuda, kırılma agregatı (KTA) ve doğal agregat (DOA) ile C35 dayanım sınıfında çelik lifli beton numuneler üretilmiştir. Üretilen betonların taze ve sertleşmiş beton özellikleri belirlendikten sonra agregat tipinin çelik lifli betonlarda kırılma enerjisine etkisini incelemek amacıyla çentikli kiriş numuneler üzerinde kırılma enerjisi deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak KTA ile üretilen betonların dolaylı çekme ve enerji yutma kapasitesi açısından DOA ile üretilen betonlara kıyasla daha iyi bir performans gösterdiği ve normal betonda bilinen bu durumun lifli betonlar için de geçerli olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik lifli beton, Farklı tip agregat, Kırılma enerjisi, Çentikli kiriş, Sürdürülebilirlik

The Effect of Aggregate Type on Fracture Energy of Steel Fiber Reinforced Concretes

Abstract

Concrete is a composite engineering material produced by using materials with different properties. Each component forming concrete has significant effects in terms of physical and mechanical performance. One of the most important components of concrete is aggregates. The unit weight, internal structure, mechanical properties, surface form, etc. of the aggregates directly affect the engineering performances of concrete such as physical, mechanical, durability and ability to resist radioactive effects. In this study, the effects of different types of aggregates on the properties of fresh and hardened concrete in steel fiber reinforced concretes were investigated. Accordingly, C35 strength class steel fiber concrete samples were produced by using crushed stone aggregate and natural aggregate. After determining the fresh and hardened concrete properties of the produced concrete, fracture energy tests were carried out on notched beam samples in order to examine the effect of aggregate type on the fracture energy of steel fiber reinforced concretes. As a result, it has been determined that concretes produced with crushed limestone

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ahmet BEYÇİOĞLU, abeycioglu@atu.edu.tr

aggregates have a better performance in terms of indirect tensile and energy absorption capacity compared to concretes produced with natural aggregates and this situation known in normal concrete is also valid for fiber reinforced concretes.

Keywords: Fiber reinforced concrete, Different types of aggregates, Fracture energy, Notched beam, Sustainability

1. GİRİŞ

Temel bir yapı malzemesi olarak beton; su, agregata ve bağlayıcı özellik gösteren çimento gibi farklı malzemelerin belirli oranlarda bir araya getirilmesiyle oluşturulan kompozit bir malzemedir. Betonun oluşturan malzemelerin kolay temin edilebilmesi, düşük maliyetli olması ve mekanik performans özelliklerinin geliştirilmesi yönündeki ilerleme ile betonun yapı malzemesi olarak tercih edilmesi gün geçtikçe artmaktadır. Bu ilerlemenin yanında, yapılan çalışmalar gösteriyor ki; betonun basınç dayanımı değerinin yüksek olmasının aksine çekme dayanımı değeri de bir o kadar düşüktür [1-4].

Betonu meydana getiren malzemeler arasında en fazla orana sahip olan agregata, betonda pahalı olan çimento kullanımını azaltmak ve betonun teknik özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılan ve kırılmış, doğal ve sentetik halde bulunabilen tane yığındır. Beton üretiminde kullanılan agreganın şekli ve mekanik özellikleri direkt olarak betonun özelliklerini de etkiler. Agregata gerek doğal kaynakların giderek tükenmesi gerekse de nitelikli örneklerin bulunmadığı güçlüklerden dolayı beton sektöründe gittikçe önemli bir hale gelmektedir. DOA ve KTA ile hazırlanan karışımların özellikleri genel olarak incelendiğinde, kırmataş gibi köşeli bir yapıya sahip olan agregalar ile üretilen betonlarda işlenebilirlik değeri, DOA ile üretilen betonlara nazaran daha düşük olduğu, bu sebeple KTA'lı karışımlarda benzer işlenebilirlik performansını sağlamak amacıyla kullanılacak su miktarı ve akışkanlaştırıcı katkı miktarının daha fazla kullanılması gerektiği gözlenmektedir. Ayrıca sertleşmiş betonda da KTA'ların DOA'ya göre daha fazla köşeli ve daha pürüzlü yüzeye sahip olması sebebiyle beton ile daha iyi aderans yaptığı fakat, KTA'ların keskin köşeli bir yapıya sahip olması sebebiyle de daha az sıkışma gösterip

DOA'ya göre daha fazla boşluklu bir yapı oluşturduğu da gözlenmektedir [5-10].

Betonda gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin doğru yorumlanabilmesi, süneklik (μ) ve enerji tüketme kapasitesi gibi kavramların bilinmesine bağlıdır. Beton ile üretilmiş elemanın maruz kaldığı yük altında sünek bir davranış göstermesi ve yüksek enerji tüketebilmesi istenir. Çünkü deprem durumunda elemanın, meydana gelecek deprem yüklerini sönmemesi ve herhangi bir can kaybı yaşanmadan depremin atlattılması hayati öneme sahiptir [11].

Beton, donatısız halde iken belirli oranlarda süneklik ve enerji tüketme kapasitesine sahip olsa da bu değerler betonun doğal halde gevrek davranış sergilemesinden dolayı yeterli değildir. Bu gevrek davranış, donatı yerleştirilmesi ile sünek hale getirilebilmektedir. Ancak çalışmalar incelendiğinde betona süneklik özellik kazandıran çelik donatılar makro düzeydeki çatlaklarda etkili olabilmektedir. Gelişen teknolojiyle betona daha fazla enerji tüketebilmenin yanı sıra daha sünek hale getirebilmek amacıyla klasik olarak kullanılan çelik donatının yanında özellikle mikro çatlaklarda etkili olabilecek lif adı verilen malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Betonun güçlendirme amacıyla kullanılan, en boy oranı 20-100 arasında, farklı kesitlere sahip ve taze halde beton içerisinde rastgele dağılmak için yeterince küçük olan kısa, malzemeler çelik lif olarak tanımlanmaktadır. Lifli beton, içeriğinde homojen şekilde lif içeren kompozit bir malzemedir. Günümüzde üretilen yüksek performanslı cam, çelik, naylon gibi sentetik lifler betonun zayıf özelliklerini iyileştirme amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel olarak, doğal (hayvansal, bitkisel, mineral) ve sentetik (polimer, metalik, seramik) olarak 2 gruba ayrılan lif tiplerinin betonun değişik mekanik özelliklerine değişen oranlarda etki yaptığı, yapılan çalışmalarda

görülmektedir. Betonun zayıf olan eğilme dayanımı, çekme mukavemeti, enerji yutma kapasitesi ve süneklik gibi özelliklerine olumlu etkilerde bulunması da bu konuda yapılan çalışmaları artırmıştır. Tarih boyunca malzemelerin kırılma yönünü güçlendirmek için çaba sarf edilmiştir. Bu doğrultuda modern liflerden önce saman ve at kılı vb. malzemeler, yapı malzemelerinde kullanılmıştır. Çelik lifli betonlar günümüzde daha çok depreme dayanıklı yapı inşası, yol döşemeleri, liman kaplama ve havaalanları, patlamaya karşı dayanıklı yapılar ve daha birçok alanda kullanılmaktadır [12-22].

Bu çalışmada KTA ve DOA kullanımının lifli betonların mekanik performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışmada çimento olarak CEM I 42.5 R kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 1'de belirtilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan çimentonun özellikleri

Kimyasal bileşim	Ağırlıkça %	Mekanik özellikler	
SiO ₂	19,25	Basınç dayanımı (7 gün)	45,6 MPa
Al ₂ O ₃	5,12	Basınç dayanımı (28 gün)	54,2 MPa
Fe ₂ O ₃	4,32	Basınç dayanımı (90 gün)	62,2 MPa
CaO	65,70		
MgO	1,25	Fiziksel özellikler	
SO ₃	2,80	Priz başlangıcı	145 dk
Na ₂ O	0,12	Priz bitişi	195 dk
K ₂ O	0,45	Hacim genleşmesi	1 mm
Kızdırma Kaybı	3,55	Yoğunluk	3,15 g/cm ³
Çözünmeyen Kalıntı	0,75	Özgül yüzey alanı	4663 Blaine cm ² /g
Serbest CaO	0,49		

Betonun üretiminde karışım suyu olarak TS EN 1008'e uygun olarak [23] Düzce ili şehir şebekesi suyu kullanılmıştır.

Çalışmada, Düzce Asar deresinden temin edilen DOA ve Düzce Aksu köyünde Mercanlar Madencilik'in taş ocağından çıkardığı KTA kullanılmıştır.

Beton karışımlarının hazırlanmasında kullanılan iri-ince agregaya özellikleri Çizelge 2'de belirtilmiştir.

Çizelge 2. Kullanılan agregaların özellikleri

Agrega tipi	İnce agregaya (0-5 mm)		İri agregaya (5-15 mm)	
	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Su emme (%)	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Su emme (%)
DOA	2,63	0,80	2,68	0,70
KTA	2,63	1,30	2,70	0,70

Akışkanlaştırıcı katkı olarak, AYDOS Yapı Kimyasalları firmasından temin edilen SR 770 tipindeki polikarboksilat esaslı yüksek oranda su azaltıcı özelliği gösteren akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Kullanılan bu malzeme özellikleri firmaya ait teknik föylerden güncel olarak elde edilmiş ve Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Kullanılan akışkanlaştırıcı katkının özellikleri

Yoğunluk	1,06±0,02 kg/l
pH değeri	5,5±1
Klor içeriği	<%0,1
Alkali içeriği	<%4
Donma noktası	-4°C
Kullanım dozajı	100 kg için 0,5-2,0 kg

Çalışmada kullanılan çelik lif, Bekaert firmasından temin edilmiş olan C1008 sınıfı düşük karbonlu çelikten üretilmiş ve çekme dayanımı ortalama 1160 N/mm² olan iki ucu kancalı liftir. Liflerin boyu 30 mm uzunluğunda olup elastisite modülü 200000 MPa'dır. Tutkal yardımı ile bir arada olan lifler karışım suyu ile temasından sonra ayrırmakta ve etkili karıştırma ile de homojen bir dağılım gösterebilmektedir. Kullanılan çelik life ait örnek görsel Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Çalışma kapsamında kullanılan çelik lif

2.2. Metot

2.2.1. Beton Karışımlarının Hazırlanması

KTA ve DOA olmak üzere iki agrega türü için çelik lifli beton karışımları tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan betonların 1 m³'ünde bulunan malzeme miktarları Çizelge 4 ve Çizelge 5'te belirtilmiştir.

Çizelge 4. 1 m³ KTA'lı beton karışımında kullanılan malzeme miktarları

Malzemeler	1 m ³ 'deki malzeme miktarları (kg/m ³)
Çimento	340
Su	180
0-5 Kum	1168
5-15 agrega	656
Çelik lif	31
Kimyasal katkı	4,42

Çizelge 5. 1 m³ DOA'lı beton karışımında kullanılan malzeme miktarları

Malzemeler	1 m ³ 'deki malzeme miktarları (kg/m ³)
Çimento	345
Su	183
0-5 Kum	1091
5-15 agrega	722
Çelik lif	31
Kimyasal katkı	4,49

DOA ve KTA kullanılarak hazırlanan karışımlar Düzce Yiğitler Beton firmasına ait kalite kontrol laboratuvarında, kapalı ortam koşullarında; 140 litre kapasiteye sahip, ayarlanabilir dönme açılı laboratuvar tipi mikserde hazırlanmıştır.

Mikserde çalışma, 45° açı ile yapılmıştır. İri-ince agrega, bağlayıcı olarak çimento ve çelik lifler kuru halde 1 dakika karıştırılıp karışım suyunun 3/4'ü 45 saniye süresince karışıma eklenerek 4. dakikaya kadar mikser çalıştırılmıştır. Karışım suyunun kalan 1/4'lük kısmı akışkanlaştırıcı katkı ile beraber mikserde 45 saniye boyunca eklenerek homojen kıvam oluşturulana kadar mikserde karılma işlemine devam edilmiştir.

Hazırlanan karışımlar 3 tabaka şeklinde ve her bir tabakaya masa tipi vibratör vasıtasıyla vibrasyon uygulanıp kalıplara yerleştirilmiştir. Kırılma enerjisi deneyi için 150*150*550 mm boyutlarında çentikli kiriş kalıbı kullanılmıştır. Kalıptaki çentikte yükseklik 25 mm ve genişlik 3 mm olarak tasarlanmıştır. Basınç ve yarmada çekme deneyleri için de 150*150*150 mm'lik küp kalıplar kullanılmıştır.

2.2.2. Taze Beton Deneyleri

Çalışmada KTA'lı ve DOA'lı betonların işlenebilirliğinin tespiti için TS EN 12350-2'ye [24] uygun olarak çökme (slump) deneyi yapılmıştır.

Deney, düz ve sağlam bir yüzeye yerleştirilen metal bir plaka üzerine yerleştirilen huni yardımıyla yapılmıştır. Huni 3 tabaka şeklinde doldurulmuş, her tabaka 25 defa şişlenip sıkıştırılmıştır. Doldurulduktan sonra huni ağzı düz bir şekilde temizlenerek dikey olarak uygun hızda çekilerek betonun yaptığı çökme değeri ölçülmüştür.

2.2.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Çalışmada sertleşmiş beton üzerinde basınç, eğilmede çekme ve çentikli kirişte enerji yutma deneyleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan numune sayıları Çizelge 6'da sunulmuştur.

Çizelge 6. Sertleşmiş beton deneyleri

Agrega türü		
Deney	DOA'lı beton numuneler	KTA'lı beton numuneler
Basınç dayanımı	3 adet	3 adet
Eğilme dayanımı	3 adet	3 adet
Çentikli kiriş	3 adet	3 adet

2.2.3.1. Basınç Dayanımı Deneyi

28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra çıkarılan 150*150*150 mm küp numunelere TS EN 12390-3 [25] standardına uygun olarak basınç deneyi uygulanmıştır. 200 ton kapasiteye sahip preste yükleme hızı olarak 0,5 MPa/s seçilmiştir.

2.2.3.2. Eğilme Dayanımı Deneyi

Çalışmada üretilen DOA'lı ve KTA'lı betonlarda kırılma enerjisi deneyinde elde edilen veriler kullanılarak eğilmede çekme dayanımları TS EN 12390-5 [26] standardına uygun olarak Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\frac{3 * P * L}{2 * b * d^2} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de,

P = İlk çatlak açıklığı kırılma yükünü (N),

L = Mesnetler arası uzaklığı (mm)

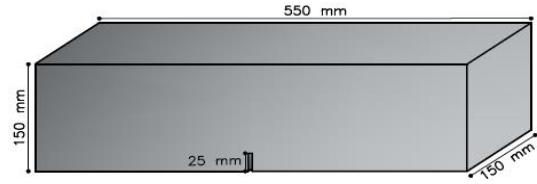
b = Numune genişliğini (mm)

d = Numune yüksekliğini (mm) ifade etmektedir.

2.2.3.3. Kırılma Enerjisi Deneyi

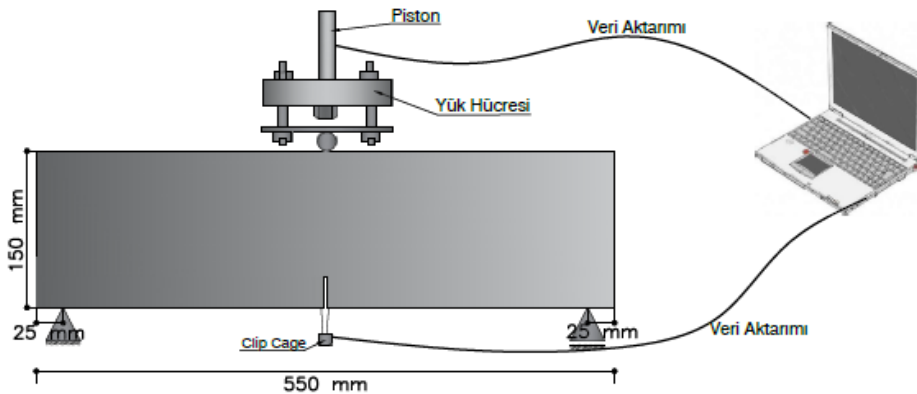
Çelik lifli tasarlanan betonlarda kullanılan DOA ve KTA'ların enerji yutma kapasiteleri çentikli kiriş deneyi ile belirlenmiş ve göreceli olarak karşılaştırılmıştır. Kirişlerde oluşan sehimler ile çentik açıklığındaki değişim çatlak ağzı açıklık yer değiştirme (crack mouth opening displacement (CMOD)) ve doğrusal değişken diferansiyel transformatörler (linear variable differential transformer (LVDT)) yardımıyla belirlenip kirişlerde kırılma enerjisi hesaplanmıştır.

Üretilen ve üzerinde deney yapılan çentikli kiriş numune ölçüleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çentikli kiriş numunesi

Kiriş numuneler kirece doymun kür havuzunda 28 gün boyunca bekletilmiş 28 günün ardından Şekil 3'te gösterilen deney düzeneğiyle 0,1 mm/dk sabit bir yükleme hızıyla orta noktadan yüklenmiştir. Uygulanan yük altında KTA'lı ve DOA'lı çelik lifli betonların sehim ve çatlak açıklığındaki değişimler deneysel olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Çentikli kiriş numunesi deney düzeneği

Deneyde, EN 14651 [27] standardına uygun 3 nokta eğilme deney düzeneğine yerleştirilmiş numuneler üzerinde uygulanan 0,1 mm/dk sabit yükleme ile oluşacak eğilmeden dolayı çatlaktaki açıklık değişimleri CMOD aparatı ile sayısal olarak belirlenmiştir. Kırılma enerjisi deneyi ve deneyde kullanılan numuneler Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Kırılma enerjisi deneyine tabi tutulan numunelere ait görseller

Yapılan deneylerde çentikli kiriş numunelerine uygulanan yükler ve bu yüklerle karşılık oluşacak sehim değerleriyle sehim-yük eğrisi oluşturulmuş, bu eğrinin altında kalan alanlar RILEM TC 50-FMC tarafından önerilen Eşitlik 2 yardımı ile hesaplanarak kırılma enerjileri bulunmuştur [28].

$$G_f = \frac{W_0 + m(1 - k^2)g\delta}{B(D - a)} \quad (2)$$

Eşitlik 2'de;

W_0 =Yük-sehim veya yük-çatlak açıklığı grafiğinin altında kalan alanı (N.m), (bu çalışmada 4 mm sehime kadar yük-sehim eğrisi altında kalan alan olarak alınmıştır).

m = Numunenin kütlesi (kg),

g = Yerçekimi ivmesi (9,81 m/s²)

δ = Açıklık ortasındaki sehim (m) (bu çalışmada δ yük-sehim eğrisi için 4 mm olarak alınmıştır).

B = Numune genişliği (m)

D = Numune derinliği (m)

a = Çentik derinliği (m)

$k = (U/S) - 1$

U = Numunenin boyu (m)

S = Mesnetler arası uzaklık (m)

G_f = Kırılma enerjisini (N/m) ifade etmektedir.

Deney esnasında ve sonrasında kirişler incelendiğinde, beton içerisine yerleştirilen çelik liflerin çatlama ve kırılma bölgelerinde betonla yaptığı aderans ile gerilme aktarımı yapabilen köprücük görevi gördüğü gözlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Kırılma bölgesinde köprü görevi gören çelik lifler

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Taze Beton Deney Sonuçları

Taze betonda uygulanan çökme (slump) deneyi karışımların taşınma ve yerleştirme özellikleri hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlar. Yapılan çökme deneyleri sonucunda DOA içeren karışımların slump değeri 18,5 cm ölçülürken, KTA içeren beton karışımlarında bu değer 19 cm ölçülmüştür. Elde edilen bulgular agrega tipinin betonlarda işlenebilirliğe etkisini yorumlamak açısından yetersiz kalmıştır.

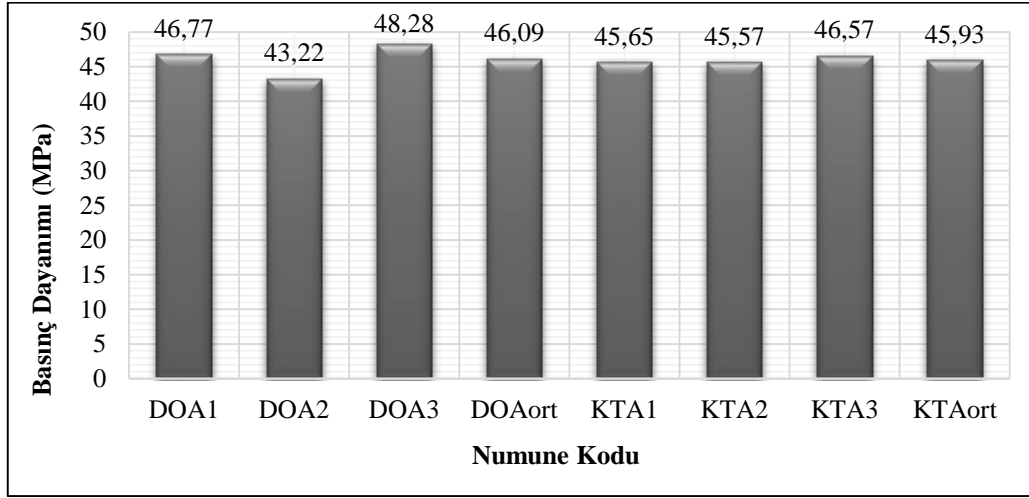
3.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

3.2.1. Basınç Dayanımı

Numunelerin 28 günlük basınç dayanımları Şekil 6'da görülmektedir. Deneyler sonucunda elde edilen basınç dayanımı değerlerinde görüldüğü gibi KTA içeren betonların en düşük

basınç dayanım değeri 45,57 MPa, en yüksek basınç dayanım değeri 46,57 MPa olarak bulunmuş ve bu tipteki agrega ile ortalama basınç değeri de 45,93 MPa olarak hesaplanmıştır. DOA içeren betonlarda ise bu değerler en düşük 43,22 MPa, en yüksek 48,28 MPa olarak bulunmuş ve DOA'lı betonlarda ortalama basınç dayanımı da

46,09 MPa olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, numunelerin çok yüksek bir standart sapma yapmadığını, hedef dayanım C35 olduğu için küp numunelerdeki bulgular karışımın doğru tasarlandığını ön deneylerin iyi bir şekilde yapıldığını ve hedeflenen değere göre uygun basınç dayanımı elde edildiğini göstermektedir.



Şekil 6. Basınç dayanımı sonuçları

Çizelge 7. İlk çatlak oluştuğu andaki eğilme dayanımları

	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	σ (MPa)	σ_{ort} (MPa)
KTA1	21214	500	150	125	6,79	5,58
KTA2	18602	500	150	125	5,95	
KTA3	12492	500	150	125	4,00	
DOA1	16027	500	150	125	5,13	5,20
DOA2	17937	500	150	125	5,74	
DOA3	14799	500	150	125	4,74	

3.2.2. Eğilme Dayanımı

Numunelere ait 28 günlük eğilme dayanımı değerleri Çizelge 7'de gösterilmiştir.

Çizelgedeki değerler incelendiğinde KTA ile üretilen betonların daha yüksek değere sahip olduğu görülmektedir.

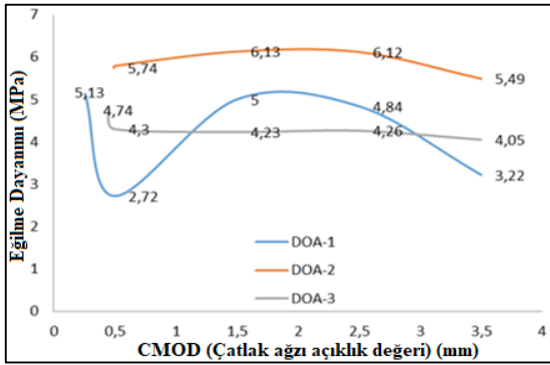
3.2.3. Kırılma Enerjisi

Çentikli kiriş numunelerinde gerçekleştirilen eğilme deneylerinden elde edilen, belirli bir CMOD değerine karşılık rezidüel yük ve rezidüel dayanım değerleri Çizelge 8'de gösterilmiştir. Eğilme deneyinde farklı düzeyde

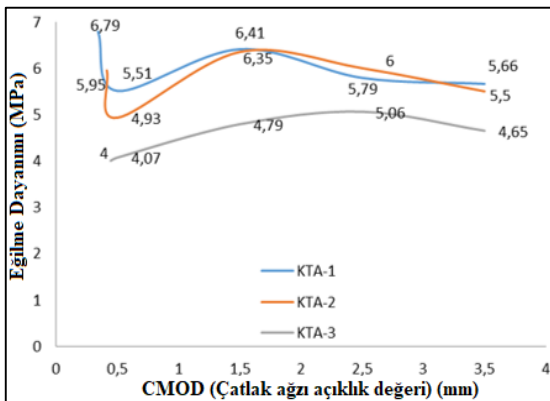
CMOD açıklığına bağlı anlık eğilme Şekil 8’de verilmiştir. dayanım değerlerindeki değişim de Şekil 7 ve

Çizelge 8. Belirli CMOD değerlerinde rezidüel yük ve rezidüel dayanım değerleri

Numune Türü		DOA			KTA		
Numune No		1	2	3	1	2	3
İlk Çatlak Yüğü (kN)		16,03	17,94	14,80	21,21	18,60	12,49
Rezidüel yük, F_j (kN)	CMOD ₁ = 0,5 mm	8,50	18,09	13,44	17,23	15,40	12,72
	CMOD ₂ = 1,5 mm	15,63	19,16	13,21	20,04	19,86	14,96
	CMOD ₃ = 2,5 mm	15,14	19,14	13,31	18,09	18,76	15,80
	CMOD ₄ = 3,5 mm	10,07	17,16	12,67	17,68	17,18	14,52
Net Eğilme Dayanımı (MPa)		5,13	5,74	4,74	6,79	5,95	4,00
Rezidüel dayanım f_{ij} (MPa)	CMOD ₁ = 0,5 mm	2,72	5,79	4,30	5,51	4,93	4,07
	CMOD ₂ = 1,5 mm	5,00	6,13	4,23	6,41	6,35	4,79
	CMOD ₃ = 2,5 mm	4,84	6,12	4,26	5,79	6,00	5,06
	CMOD ₄ = 3,5 mm	3,22	5,49	4,05	5,66	5,50	4,65



Şekil 7. DOA'lı numunelerde belirli CMOD açılmalarında eğilme dayanımı değişimi

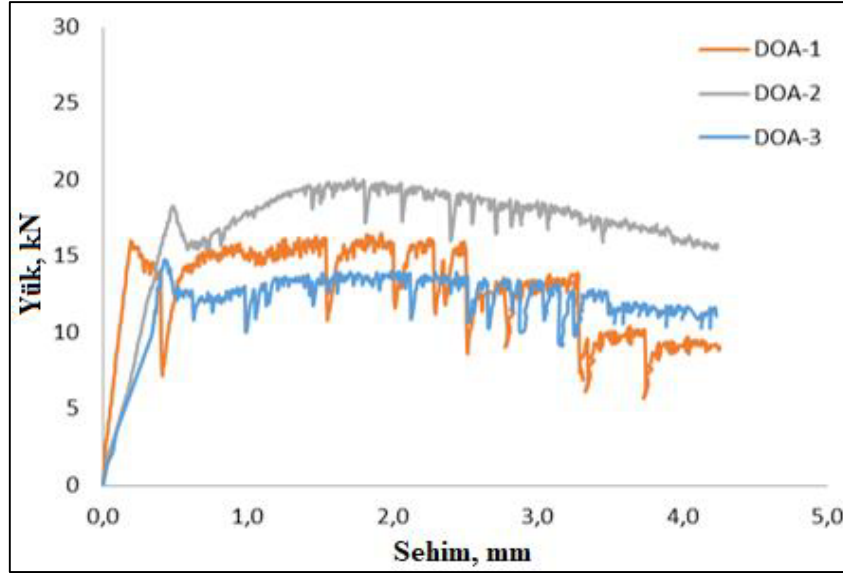


Şekil 8. KTA'lı numunelerde belirli CMOD açılmalarında eğilme dayanımı değişimi

Rezidüel dayanım sonuçları ele alındığında DOA'lı 3 adet numunede 5,13, 5,74 ve 4,74 MPa değerlerine ulaşan eğilmeye ilk çatlak oluştuğu gözlenmiştir. CMOD açıklığı 0,5 mm'ye geldiği anda ulaşılan bu değerler birinci ve üçüncü numunede sırasıyla ani olarak 2,72 ve 4,30 Mpa'ya düşmüş ancak ikinci numunede 5,79 MPa'ya gelmiştir. CMOD açıklığı 1,5, 2,5 ve 3,5 mm değerlerine ulaştığında ise eğilme dayanımı değişiklik gösterse de beton içerisinde bulunan çelik liflerin köprü görevi görmesinden dolayı numune, çelik lif kullanılmayan (lifsiz) betonlarda olduğu gibi ani bir göçme yapmamış ve yük taşımaya devam etmiştir.

Çelik liflerin varlığı ve köprü görevi görmesinden dolayı kirişlerin gerilme-deformasyon davranışı iyileşerek daha sünek bir şekilde enerji yutmaya devam etmiştir. Lif-süneklik ilişkisini daha iyi ifade etmek açısından Şekil 7 ve Şekil 8 verilmiştir. Genel anlamda incelenen bütün beton çeşitlerinde lif-matris aderansı iyi bir şekilde oluştuğu ve her iki agrega tipi için de süneklik değerinin önemli derecede arttığı ifade edilebilir.

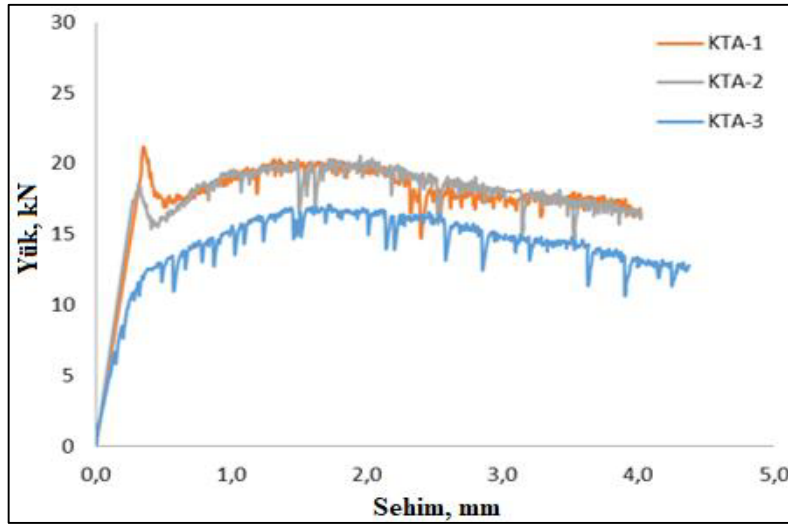
Üretilen çentikli kiriş numuneleri üzerinde gerçekleştirilen eğilme deneylerinde elde edilen Yük-Sehim grafikleri Şekil 9 ve Şekil 10'da sunulmuştur.



Şekil 9. DOA'lı numunelerde yük-sehim grafiği

Şekil 9 ve Şekil 10'da görülen yük-sehim grafikleri kullanılarak kirişlerin Yük-sehim ilişkisi grafiklerinin altında kalan alanlar (W_0) hesaplanmış ve W_0 -sehim grafikleri oluşturularak

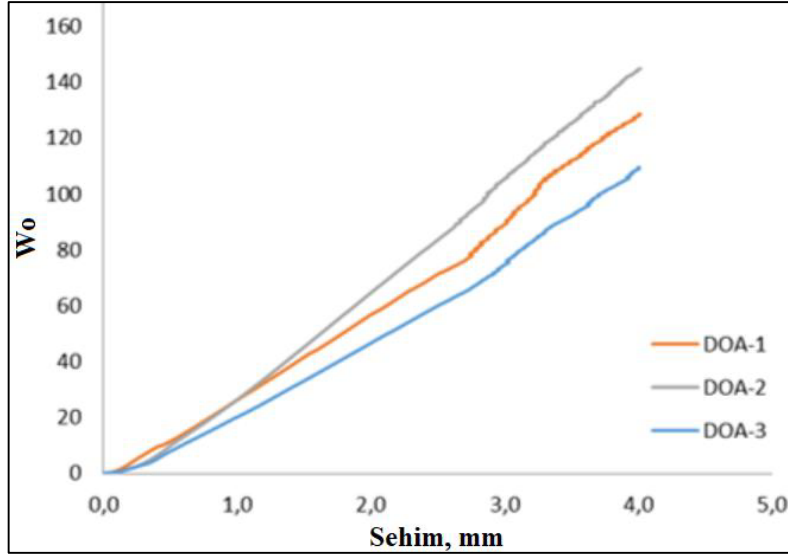
Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir. Bu grafikler Yük-sehim ilişkisi grafiklerinin altında kalan alanların kümülatif değişimini göstermektedir.



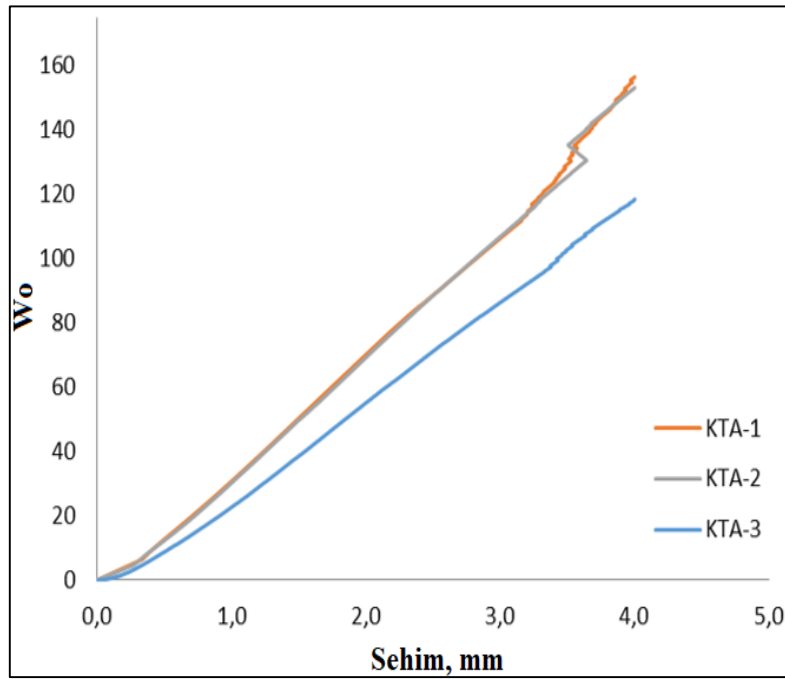
Şekil 10. KTA'lı numunelerde yük-sehim grafiği

Son olarak kırılma enerjisi değerleri Şekil 9 ve Şekil 10 kullanılarak Eşitlik 2 yardımıyla hesaplanmış ve hesaplanan kırılma enerjisi değerleri Şekil 13'te verilmiştir. Kırılma enerjileri

göreceli olarak karşılaştırıldığı için yük-sehim eğrisinin altında kalan alan her bir numunede sehimin 4 mm'ye ulaştığı noktaya kadar hesaplanmıştır.



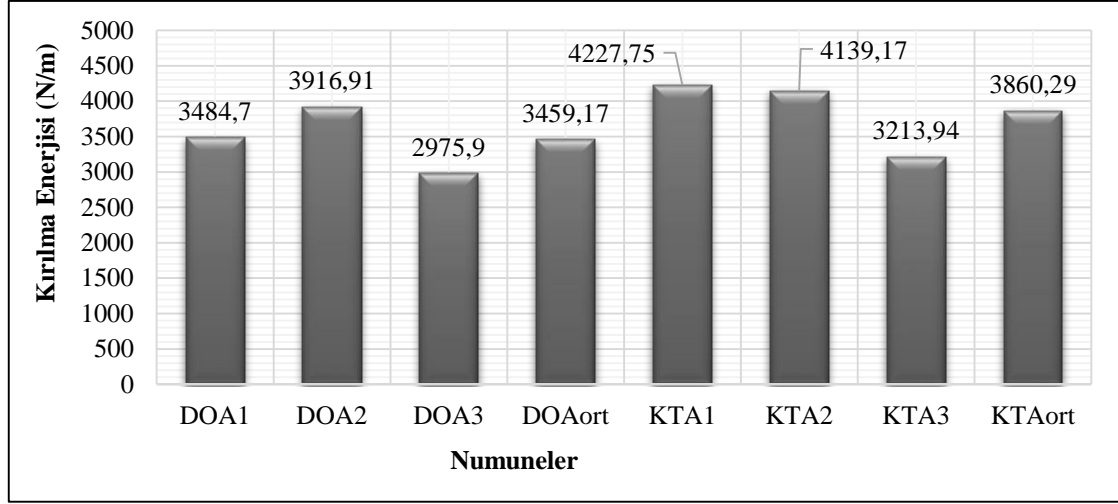
Şekil 11. DOA'lı numunelerde W_0 -sehim grafiği



Şekil 12. KTA'lı numunelerde W_0 -sehim grafiği

Kırılma enerjisi deney sonuçları incelendiğinde ortalama olarak en yüksek kırılma enerjisinin KTA içeren beton numunelerden elde edildiği, DOA içeren beton numunelerde bu değerin daha az

olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar bu konu özelinde detaylı bir şekilde içyapı analizi yapılmasının gerekli olduğunu göstermektedir.



Şekil 13. Kırılma enerjisi deney sonuçları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı türde agregalar kullanılarak üretilen benzer basınç dayanımlarına sahip çelik lifli numuneler üzerinde taze halde slump değerleri, sertleşmiş halde kırılma enerjisi, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı parametreleri deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir,

Sertleşmiş beton deneylerinden elde edilen bulgulara göre,

- Basınç dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde hem KTA hem de DOA kullanılarak benzer basınç dayanımına sahip lifli betonların üretilmesi mümkündür.
- Numunelere ait eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde, KTA ile üretilen lifli betonların eğilme dayanımları DOA ile üretilen betonların eğilme dayanımlarından daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmektedir.
- Çalışmanın en önemli verilerinden biri olduğu düşünülen ve farklı tür agregalar ile üretilen çelik lifli çentikli kiriş numunelerinin süneklikleri hakkında bilgi veren kırılma enerjileri incelendiğinde, KTA ile üretilen numunelerin ortalama kırılma enerjilerinin, DOA numunelerinin

ortalama kırılma enerjilerinden daha yüksek olduğu yani daha sünek bir davranış sergilediği görülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı 18103037 no'lu proje ile mali olarak destekleyen Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk, A.N., Yerlikaya, M., 2004. Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler, Beton 2004 Kongresi Bildiriler, İstanbul.
2. <http://www.thbb.org/teknik-bilgiler/agrega/>, Erişim Tarihi: 24.02.2021.
3. Gencil, O., 2011. Physical and Mechanical Properties of Concrete Containing Hematite as Aggregates. Science and Engineering of Composite Materials, 18(3).
4. Köksal, F., Şahin, Y., Beycioğlu, A., Gencil, O., Brostow, W., 2012. Estimation of Fracture Energy of High-strength Steel Fibre-reinforced Concrete Using Rule-based Mamdani-type Fuzzy Inference System. Science and

- Engineering of Composite Materials, 19(4), 373-380.
5. Güçlüer, K., Günaydın, O., Tekin, Ö.F., Şahan, M.F., 2017. Farklı Tipte Agrega Kullanımının Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(1), 107-114.
 6. Erdoğan, T., 2003. Beton. METU Press, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara, 741.
 7. Wang, X., Nie, Z., Gong, J., Liang, Z., 2021. Random Generation of Convex Aggregates for DEM Study of Particle Shape Effect, Construction and Building Materials, 268, 121468, ISSN 0950-0618.
 8. Mehta, P.K., Monteiro, J.M.P., 2006. Concrete, Microstructure-properties and Materials, Mc Graw Hill, (3rd ed.), 675.
 9. Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S., 2012. Beton, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No. 334, İzmir, 428.
 10. Dobiszewska, M.; Beycioğlu, A., 2020. Physical Properties and Microstructure of Concrete with Waste Basalt Powder Addition. Materials, 13, 3503.
 11. Zahn, F.A., Park, R., Priestly, M.J.N., 1989. "Strength and Ductility of Square Reinforced Concrete Column Sections Subjected to Biaxial Bending", Structural Journal, 86(2), 123-131.
 12. Noushini, A., Samali, B., Vessalas, K., 2015. Ductility and Damping Characteristics of PVA-FRC Beam Elements, Advances in Structural Engineering, United Kingdom, 18(11), 1763-1788.
 13. Chawla, K.K., 1998. Fibrous Materials, Cambridge University Pres, Cambridge, 293. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511525209>.
 14. Betterman, L.R., Quyang C., Shah S.P., 1995. Fiber-Matrix Interaction in Microfiber-Reinforced Mortar, Adv. Cem. Bas., 2, 53-61.
 15. Martínez-Barrera, G., Viguera-Santiago, E., Hernández-López, S., Brostow, W., Menchaca-Campos, C., 2005. Mechanical Improvement of Concrete by Irradiated Polypropylene Fibers. Polym. Eng. Sci., 45, 1426-1431.
 16. Demiralp, M., 2020. Çelik Lifli Betonlarda Agrega Tipinin Kırılma Enerjisine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Adana.
 17. Sarı, M., 2013. Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 94.
 18. Han, B., Yu, X., Ou, J., 2014. Self-sensing Concrete in Smart Structures, Butterworth-Heinemann, 1st Edition, 398.
 19. Kozak, M., 2013. Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması, SDU Teknik Bilimler Dergisi, 3(5), 26-35.
 20. Reported by ACI Committee 544, 2002. Report on Fiber Reinforced Concrete.
 21. Dündar, B., Çınar, E., Peşin, S., 2020. Bazalt ve Karbon Lif Takviyeli Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(4), 1039-1048. doi: 10.17714/gumusfenbil.700956.
 22. Bunnell, A.R., 1988. Fiber Reinforcement for Composite Materials, Vol: 2, (Series Editor: R. B. Pipes), Composite Material Series, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands, 537.
 23. TS EN 1008, Beton Karma Suyu, Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dâhil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, 2013.
 24. TS EN 12350-2, (Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 2): Çökme (Slamp) Deneyi.
 25. TS EN 12390-3, 2003. (Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3): Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, 2002.
 26. TS EN 12390-5, (Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5): Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, 2002.
 27. TS EN 14651, Metal Lifli Beton- Deney Metodu- Eğilmede Çekme Dayanımının Tayini (Orantı Sınırı (Loc), Artık), 2008.
 28. RILEM TC 50-FMC, 1985. Committee of Fracture Mechanics of Concrete Determination of Fracture Energy of Mortar and concrete by Means of Three-Point Bend Tests on Notched Beams, Materials and Structures, 18.

Farklı Çevresel Şartlarda İki Eksenli Yüklemelere Maruz Tabakalı Kompozit Malzemelerin Hasarı

Fatih DARICIK*¹, Sakine KIRATLI²

¹Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya

²Çankırı Karatekin Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Çankırı

Geliş tarihi: 03.03.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Öz

Polimer matrisli tabakalı kompozit malzemelerin bileşenlerinin dayanım yönünden çok farklı olması bu malzeme grubunun hasar analizlerini zorlaştırmaktadır. Tabakalı kompozitlerin hasar analizleri için önerilen birçok hasar ölçütü bulunmaktadır. Bu çalışmada iki yönde düzlemsel yayılı yüke ve bir yönde yayılı yük ile kayma yüküne maruz S-cam lifi/epoksi ve karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin Tsai-Wu ve Puck ölçütüne göre hasarı araştırılmıştır. Birçok yükleme halinde Puck ölçütü daha güvenli hasar zarfları göstermektedir. Ancak hangi hasar ölçütünün daha güvenli olduğu tabakalı kompozit malzemelerin türüne, çevresel şartlara, takviye lif açlarına ve yüklemenin işaretine göre farklılıklar göstermektedir. Her iki malzeme türünün hem açılı hem de çapraz katlı tasarımları için tüm iki eksenli yüklemelerde malzeme dayanımını en çok düşüren etken ortam nemidir. S-cam lifi/epoksi tabakalı kompozitlerde Puck ölçütü ile oluşturulan hasar zarfları ortam sıcaklığından daha fazla etkilenirken, karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerde Tsai-Wu ölçütü ortam sıcaklığı değişimine karşı daha duyarlı davranış göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Tabakalı kompozitler, İki eksenli yükleme, Çevresel şartlar, Hasar zarfları

Damage of Laminated Composite Materials Exposed to Biaxial Loads in Different Environmental Conditions

Abstract

The fact that the components of the polymer matrix laminated composite materials are very different in terms of strength makes the damage analysis of the materials difficult. There are many damage criteria recommended for damage analysis of laminated composites. In the present study, the damage of S-glass fiber/epoxy and carbon fiber/epoxy laminated composite materials subjected to planar distributed loads in two directions and also a planar distributed load with shear load was investigated according to Tsai-Wu criterion and Puck criterion. Puck criterion indicates more conservative damage envelopes in many loading cases. However, which of the criteria is more conservative varies according to the type of laminated composite materials, environmental conditions, orientation of fiber reinforcements and the sign of loading. For both the angle-ply and cross-ply stacking of both the laminated composite materials, it is

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

the ambient humidity that decreases the material strength the most in all biaxial loadings. For the S-glass fiber/epoxy laminated composites, failure envelopes created by the Puck criterion were affected more by ambient temperature, while for the carbon fiber/epoxy layered composites Tsai-Wu criterion showed more sensitive behavior due to ambient temperature changes.

Keywords: Laminated composites, Biaxial loading, Environmental conditions, Failure envelopes

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, birçok özelliği yanında hafiflik, yüksek dayanım ve rijitlik gibi temel özellikleri nedeniyle geleneksel malzemelere tercih edilmektedir. Kompozit malzemelerden cam elyaf takviyeli (CTP) ve karbon elyaf takviyeli (KTP) kompozit silindirik yapıların endüstriyel kullanımı oldukça yaygındır. Özellikle CTP borular petrol, doğalgaz, jeotermal akışkan, kullanılabilir su, atık su iletim hatlarında ve daha birçok mühendislik uygulamasında kullanılmaktadır [1–3]. CTP borular ve tüpler kullanım alanları içerisinde bileşke veya tekil halde çekme, basma, iç basınç ve dış basınç yüklemelerine maruz kalmaktadır. Örneğin gömülü borular hem iç basınca hem dış basınca hem de eğme yüklerine maruzdur. Diğer yandan boru içindeki akışkan sıcaklığı ve borunun gömülü bulunduğu ortam sıcaklığı da termal gerilmeler oluşturmaktadır. Açık denizlerde gömülü bulunan boru hatları, iletimini yaptıkları akışkanın iç basıncına maruz iken deniz suyunun hidrostatik basıncı altındadır. Bu nedenle silindirik kompozit malzemelerin değişken ortam sıcaklıklarında tekil ve bileşke yüklere karşı dayanım göstermeleri mühendislik uygulamalarının sürdürülebilirliği adına önem arz etmektedir.

Araştırmacılar, polimer matrisli çeşitli elyaflarla (cam, karbon ve aramid) takviye edilmiş kompozit silindirlerin iki eksenli yüklemesine yönelik olarak analitik, nümerik ve deneysel çalışma yapmışlardır. Quaresimin, Carraro ve Maragoni (2015) cam lifi/epoksi tüplerin çekme-burulma yükleri altında çift eksenli yorulma davranışını incelemişlerdir [4]. Yaptıkları analizlerde ilk çatlak başlangıcı ve çatlak ilerlemesinde her iki parametrenin de (çift eksenlilik ve yük oranı) güçlü etkisi olduğunu görmüşlerdir. Perillo vd. (2014) cam lifi/vinilester ve karbon lifi/epoksi kompozit tüplerin hasar zarflarını değerlendirmek

için dört kombinasyonlu yükleme (saf eksenel, saf kayma, kayma+eksenel, eksenel+kayma) yapmışlardır [5]. Deneysel olarak bulunan hasar zarflarını, çeşitli hasar ölçütleriyle (maksimum gerilme, Tsai-Wu, Tsai-Hill, Hashin, Puck) yapılan tahminlerle karşılaştırmışlar ve Puck ölçütünün hasar zarfını doğru bir şekilde tahmin etme kabiliyeti olduğunu bulmuşlardır. Quaresimin ve Carraro (2013) tek yönlü cam lifi/epoksi kompozit tüplerin çekme-burulma yüklemesi altında çok eksenli yorulma özelliklerini araştırmışlardır [6]. Çekme ve burulma rijitliğinin ani bir düşüş sergilediğini tespit etmişlerdir. Reddy ve Krishna (2012) saf ve bileşik yükleme altındaki karbon lifi/epoksi, E-cam lifi/epoksi, aramid lifi/epoksi kompozit tüpleri ANSYS paket programını kullanarak modellemişlerdir [7]. Tek eksenli, çift eksenli, üç eksenli ve çok eksenli yüklemeler altında her üç malzeme için gerilme ve rijitliği inceleyerek optimum açıları tespit etmiş ve en uygun malzemeyi seçmişlerdir. Bakaiyan, Hosseini ve Ameri (2009) iç basınç ve bir sıcaklık gradyanı altında [+55/-55/+55/-55] ve [+55/-55/+30/-30] dizilime sahip silindirik boruların ısı gerilmeleri ve deformasyonları için tam bir elastik çözüm sunmuşlardır [8]. Çevresel-eksenel gerilmenin, fiber oryantasyonu çevresel yöne eğilim gösterdikçe arttığını, fiber oryantasyonu eksenel yöne yöneldiğinde ise azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Çallioğlu, Ergun ve Demirdag (2008) iç basınç ve termal yüklemeye maruz (0/90), (30/-30), (45/-45) ve (60/-60) oryantasyonlarında cam lifi/epoksi kompozit silindirlerde gerilme fonksiyonu yaklaşımı kullanarak analitik bir çözüm sunmuşlardır [9]. Yaptıkları analizlerde radyal, teğetsel ve eksenel gerilme bileşenlerinin hem çapraz katlı hem de açılı katlı silindirler için değişmediğini bulmuşlardır. Li ve Shen (2008) yanal ve eksenel basınç etkisi altındaki ± 55 filaman sargılı E-cam lifi/epoksi silindirik elemanların termal ortam koşullarında burkulma sonrası davranışını teorik

ve nümerik olarak araştırmışlardır [10]. Burkulma davranışının sıcaklık ve fiber hacim oranından etkilendiği, burkulma sonrası davranışın ise yüke bağlı olarak değiştiği sonucuna ulaşmışlardır. Liu, Soden ve Kaddour (2005) ± 55 sarım açısına sahip E-cam lifi/epoksi kompozit tüpleri iki eksenli basma (dış basıncı ve eksenel basma) altında nümerik ve deneysel olarak araştırmışlardır [11]. ABAQUS ile yapılan sonlu eleman analizi ve deneysel şekil değiştirme dağılımları arasında iyi bir korelasyon olduğunu bulmuşlardır. Xia, Kemmochi ve Takayanagi (2001) iç basıncı ve sıcaklık değişimine maruz kalan E-cam lifi/epoksi sandviç borudaki termal gerilmeler ve birim şekil değiştirmeleri analitik ve nümerik olarak incelemişlerdir [12]. Yaptıkları analizde iç basıncı altında sandviç borunun eksenel şekil değiştirmesinin sarım açısına göre değişmediğini gözlemişlerdir. Martens ve Ellyin (2000) $[\pm 66_4, 0, \pm 66_3, 0, \pm 66_5, 0]$ oryantasyonlu cam lifi/epoksi bir borunun çift eksenli monotonik davranışını deneysel olarak araştırmışlardır [13]. Ayrıca eksenel ve çevresel yönlerdeki rijitlik ve Poisson oranındaki değişime bakmışlardır. Sızıntı hasarından önce rijitlik ve Poisson oranında önemli bir nonlineer değişiklik olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Gargiulo, Marchetti ve Rizzo (1996) $\pm 35, \pm 55, \pm 75$ filaman sargılı karbon lifi/epoksi ince tüplerin çift eksenli yükleme koşullarında mukavemetini deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir [14]. Maksimum gerilme, Tsai-Hill, Tsai-Wu ve Hoffman hasar ölçütlerini kullanmışlar ve Tsai-Wu hasar ölçütünün deneysel sonuçları daha iyi tahmin ettiği sonucuna ulaşmışlardır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, silindirik kompozit elemanlara yönelik araştırmaların çoğunluğunun ya iki eksenli yorulma ya da iç basıncı-sıcaklık koşullarında olduğu görülmüştür. Çalışmaların bir kısmında ise burkulma-sıcaklık, iç basıncı-eksenel, eksenel-kayma, eksenel-transvers yüklemeleri göz önüne alınmıştır. Ancak bu çalışmalarda sıcaklık ikinci bir yük olarak hesaba katılmıştır. Bu araştırmada ise çevresel şartlar ayrı parametre olarak düşünülerek iki eksenli pozitif ve/veya negatif düzlemsel yayılı yüklerin ve kayma yüklerinin etkisini göz önüne alan hasar

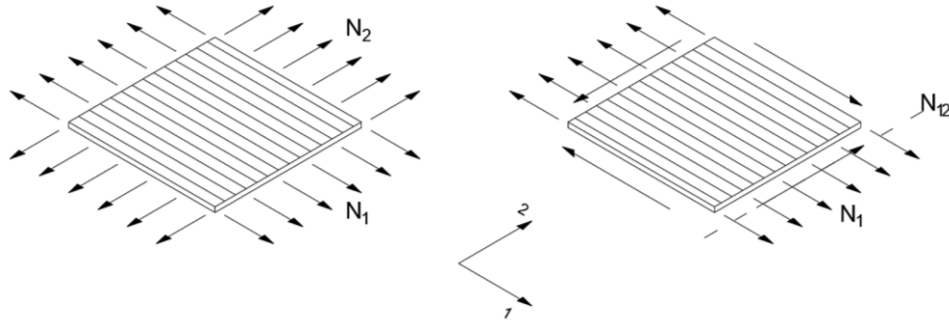
zarfları ile kompozit malzemelerin dayanımı araştırılmıştır. Araştırma hem açılı hem de çapraz katlı simetrik, dengeli S-cam lifi/epoksi ve karbon lifi/epoksi tabakalı kompozitlerin iki eksenli yüklemelerini kapsamaktadır. Kompozit malzemelerin hasar durumu ESAComp programı vasıtasıyla Tsai-Wu ve Puck ölçütlerine göre analiz edilmiş ve böylece iki farklı hasar ölçütü karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Analizler için tek yönlü karbon lifi/epoksi ve S-cam lifi/epoksi ile çapraz ve açılı katlı tabakalı kompozitler tasarlanmıştır. Karbon lifi/epoksi (TORAY T700GC) ve S-cam lifi/epoksi (Cycrom 381-S2) kompozit malzemelerin mekanik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Seçilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üç farklı ortam sıcaklığında ve hem sıcaklığın hem de nemin bulunduğu çevresel şartlar için verilmiştir. TORAY T700GC için -54 °C, 24 °C, 84 °C ortam sıcaklıkları ve 84 °C ortam sıcaklığı ile ortamda bulunan %70 bağıl nemin neden olduğu ağırlıkça %1 nem miktarı ele alınmıştır. Cycrom 381-S2 için ise -54 °C, 22 °C, 82 °C ortam sıcaklığı değerleri ve 71 °C ortam sıcaklığı ile ortamda bulunan %100 bağıl nemin neden olduğu ağırlıkça %1,5 nem miktarı ele alınmıştır. Çapraz katlı kompozit malzemeler için $[(0_2/90_2)_2]_s$ dizilimi, açılı katlı kompozit malzemeler için $[0_2/45_2/90_2/-45_2]_s$ dizilimi kullanılmıştır. Simetrik dizilim ile tasarlanan kompozit malzemelerde hem 1 ve 2 yönlerindeki yayılı yükler altındaki hasar durumu hem de 1 yönündeki yayılı yük ve 1-2 düzlemindeki kayma yükü altındaki hasar durumu araştırılmıştır. Tabakalı kompozit malzemelerin hasarı; etkileşimsiz (non-interactive) hasar ölçütleri (Maksimum gerilme, Maksimum gerinim, Maksimum kayma gerilmesi), etkileşimli (interactive) hasar ölçütleri (Tsai-Wu, Tsai-Hill, Hoffman) ve hasar biçimi ile ilişkili hasar ölçütleri (Hashin, Puck, Chang-Chang) ile incelenmektedir. Bu çalışmada tasarlanan kompozit malzemelerin iki eksenli yükleme altındaki hasarları hem Tsai-Wu hem de Puck hasar ölçütüne göre tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Analizlerde kullanılan karbon lifi/epoksi ve S-cam lifi/epoksi kompozit malzemelerin mekanik özellikleri [15,16]

Ortam	Simge	TORAY T700GC-12K-31E ($\rho=1,55 \text{ g/cm}^3$ $V_f= \%55$)				Cycrom 381 S2 UD ($\rho=1,65 \text{ g/cm}^3$ $V_f= \%50$)			
		Sıcaklığı (°C)	24	-54	82	82	22	-54	82
Nem miktarı (%)		-	-	-	1%	-	-	-	1,5%
Kompozit malzemelerin elastik özellikleri	E_1 (GPa)	119	121	121	119,5	48,10	47,9	47,1	47,45
	E_2 (GPa)	9	11,50	7,50	7	12,70	14,9	10,8	7,51
	E_3 (GPa)	9	11,50	7,50	7	12,70	14,9	10,8	7,51
	G_{12} (MPa)	4	5	4	3	4,70	5,6	3,7	3,2
	G_{13} (MPa)	4	5	4	3	4,70	5,6	3,7	3,2
	G_{32} (MPa)	3,33	4,26	2,78	2,59	4,88	5,73	4,15	2,89
	ν_{12}	0,309	0,35	0,309	0,323	0,250	0,250	0,250	0,250
	ν_{13}	0,309	0,35	0,309	0,323	0,250	0,250	0,250	0,250
	ν_{21}	0,350	0,350	0,350	0,350	0,300	0,300	0,300	0,300
Kompozit malzemelerin dayanım özellikleri	X_t (MPa)	2172,44	1682,01	2206,66	2259,82	1765	1834	1544	793
	Y_t (MPa)	48,86	52,975	44,23	25,91	60	71	44	25
	Z_t (MPa)	48,86	52,975	44,23	25,91	60	71	44	25
	X_c (MPa)	1449,77	1396,5	1410,32	1199,97	1227	1220	1193	945
	Y_c (MPa)	198,66	282,44	147,72	116,43	254	298	216	150,2
	Z_c (MPa)	198,66	282,44	147,72	116,46	254	298	216	150,2
	S_{12} (MPa)	154,74	159,52	128,31	95,22	135	178	102	78
	S_{13} (MPa)	154,74	159,52	128,31	95,22	135	178	102	78
	S_{23} (MPa)	50	63,89	41,67	38,89	73,27	85,96	62,31	43,33



Şekil 1. Tabakalı kompozit malzemelerin iki eksenli yüklenme durumları

Tsai-Wu hasar ölçütüne göre kompozit malzemenin hasara uğramaması için Eşitlik 1 ile hesaplanan f değeri 1'den küçük olmalıdır. Tabakalı kompozit yapıyı oluşturan tabakalardan herhangi birinde f değerinin 1'e eşit veya büyük olması gerek ve yeter şart olarak kabul edilerek tasarlanan modeller için bu şartı sağlayan yük değerleri tespit edilmiştir. Eşitlik 1'de σ_1 ve σ_2 ifadeleri sırasıyla 1 ve 2 yönlerindeki eksenel gerilme değerlerini, τ_{12} ifadesi 1-2 düzlemindeki

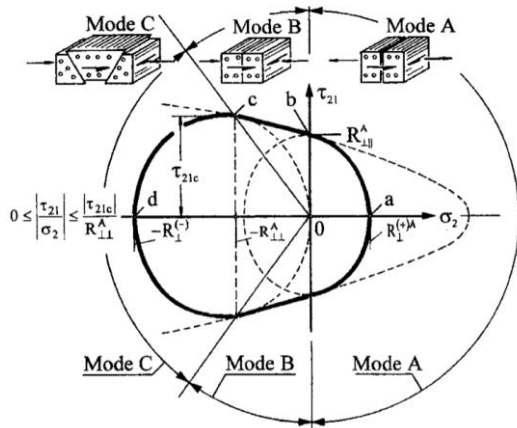
kayma gerilmesini ifade eder. Diğer katsayılar ise 1 ve 2 yönlerindeki çekme dayanımlarına (X_t , Y_t), basma dayanımlarına (X_c , Y_c) ve kayma dayanımına (S) bağlı sabitlerdir.

$$f = F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + F_6\tau_{12} + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2 + F_{11}\sigma_1^2 + F_{22}\sigma_2^2 + F_{66}\tau_{12}^2 \quad (1)$$

$$F_1 = \frac{1}{X_t} - \frac{1}{X_c}, \quad F_2 = \frac{1}{Y_t} - \frac{1}{Y_c}, \quad F_6 = 0$$

$$F_{11} = \frac{1}{X_t X_c}, \quad F_{22} = \frac{1}{Y_t Y_c}, \quad F_{66} = \frac{1}{S^2}$$

Puck ölçütü, takviye lif hasarını (FF) ve matris malzeme hasarını (MF) ayrı ayrı ele almakta ve lif hasarı ile matris hasarı için farklı indisler (I_{FF} , I_{MF}) kullanmaktadır. Takviye lif hasarı yalnız lif doğrultusundaki çekme yükü altında oluşmaktadır. Matris malzeme hasarı için ise üç farklı kırılma biçimi esas alınmaktadır (Şekil 2). Ölçüte göre Mod A hasarında takviye liflere dik yönde, yani malzemeye enine etkileyen çekme kuvvetleri ile takviye lifler arasında matris çatlakları oluşmaktadır. Mod B hasarında düzlem kayma gerilmeleri ile küçük basma gerilmeleri altında malzemede takviye lifler arasında matris çatlakları oluşmaktadır. Mod C hasarında ise basma yükleri altında malzemede eğik düzlemler boyunca matris çatlakları oluşmaktadır. Her bir hasar modunu kontrol etmek için Eşitlik 2-6 kullanılmaktadır. Puck ve Schürmann'a göre (2004) tabakalı kompozit malzemelerin hasar analizleri için; herbir katmanın gerilme ve gerinim analizleri, kırılma ölçütleri ve hasar ile indirgenmiş dayanımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu detaylı analizler gerçekleştirilebilirse en gerçekçi hasar zarfını oluşturulabilmektedir. Ancak araştırmacılar önerdikleri hasar ölçütünde tabakalı kompozit malzemelerin yük altındaki ilk hasarları ile ortaya çıkan indirgenmiş dayanım değerlerini ihmal etmişlerdir.



Şekil 2. Puck ölçütüne göre σ_2 ve τ_{21} düzlem gerilmeleri altında A, B ve C hasar modlarının oluşumu [17]

$$\sigma_1 > 0 \rightarrow I_{FF} = \sigma_1 / F_{1t} \quad (2)$$

$$-\sigma_1 < 0 \rightarrow I_{FF} = -\sigma_1 / F_{1c} \quad (3)$$

$$\sigma_2 \geq 0 \rightarrow I_{MF.A} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_6}{F_6}\right)^2 + \left(1 - p_{6t} \frac{F_{2t}}{F_6}\right)^2 \left(\frac{\sigma_2}{F_{2t}}\right)^2} + p_{6t} \frac{\sigma_2}{F_6} \quad (4)$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_2 < 0 \\ \left|\frac{\sigma_2}{\sigma_6}\right| \leq \frac{F_{2A}}{F_{6A}} \end{array} \right\} \rightarrow I_{MF.B} = \frac{1}{F_6} \left[\sqrt{\sigma_6^2 + (p_{6c} \sigma_2)^2} + p_{6c} \sigma_2 \right] \quad (5)$$

$$F_{2A} = \frac{F_6}{2 p_{6c}} \left[\sqrt{1 + 2 p_{6c} \frac{F_{2c}}{F_6}} - 1 \right] \quad p_{2c} = p_{6c} \frac{F_{2A}}{F_6}$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_2 < 0 \\ \left|\frac{\sigma_2}{\sigma_6}\right| \leq \frac{F_{2A}}{F_{6A}} \end{array} \right\} \rightarrow I_{MF.C} = -\frac{F_{2c}}{\sigma_2} \left[\left(\frac{\sigma_6}{2(1+p_{2c})F_6}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{F_{2c}}\right)^2 \right] \quad (6)$$

Açılı ve çapraz katlı tasarlanan karbon lifi/epoksi ve tek yönlü S-cam lifi/epoksi kompozit malzemelerin Tsai-Wu ve Puck ölçütleri ile hasar durumu, ilk katman hasarı (First Ply Failure, FPF) yaklaşımına göre değerlendirilmiştir. FPF yöntemi malzemenin hasar direncini göz önüne almakta olup, hasar toleransını göz ardı etmektedir. FPF yöntemine göre tabakalı kompozit malzemeyi oluşturan tabakalardan herhangi biri veya eş zamanlı olarak birkaçı hasara uğradığında kompozit malzemenin hasara uğradığı kabul edilir. Kompozit malzemede oluşan gerilmeler klasik laminasyon teorisine göre hesaplanır.

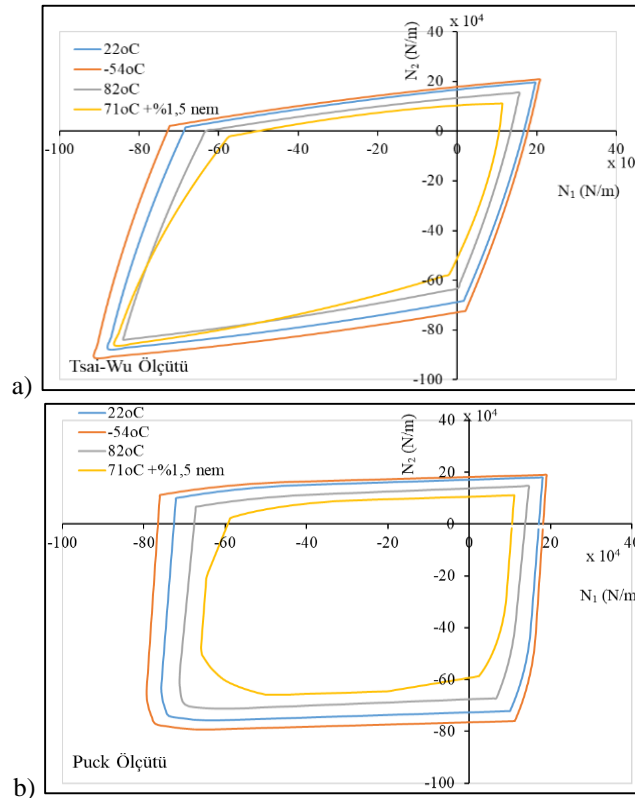
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. S-cam Lifi/epoksi Tabakalı Kompozit Malzemelerin Analizi

Farklı çevresel şartlarda açılı katlı olarak tasarlanmış S-cam lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin, 1 ve 2 yönlerindeki yayılı yükler ve 1 yönündeki yayılı yük ile 1-2 düzlemindeki kayma yükü altındaki hasar durumu Şekil 3 ve Şekil 4'de ayrı ayrı verilmiştir. S-cam lifi/epoksi tabakalı kompozit malzeme, -54 °C ortam sıcaklığındaki mekanik özellikleri ile tüm yüklenme

durumları için hem Tsai-Wu hem de Puck ölçütüne göre diğer ortam sıcaklıklarına kıyasla en yüksek dayanımı göstermiştir. Puck ölçütüne göre, malzemenin bulunduğu ortam sıcaklığı arttıkça tüm yükleme durumları için malzemenin dayanımı düşmektedir. Ortam neminin yükselmesi de belirgin dayanım kaybına neden olmaktadır. 71 °C ortam sıcaklığında ve ağırlıkça %1,5 nem içerisinde bulunan malzemenin dayanımı 82 °C ortam sıcaklığında bulunan malzemenin dayanımından daha düşüktür. Tsai-Wu ölçütüne göre de ortam sıcaklığı arttıkça malzemenin dayanım kaybı artmakta, nemin etkisi ile dayanım kaybındaki azalma daha da belirgin hale gelmektedir. Ancak 82 °C ortam sıcaklığında, her iki yönde basma (basma-basma) yüklemesi altındaki S-cam lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemede en yüksek N_1 ve N_2 değerleri için malzeme dayanımı en düşük seviyededir. 1 ve 2 yönlerinde ayrı ayrı tekil basma yükleri altında Tsai-Wu ölçütü daha güvenli davranış

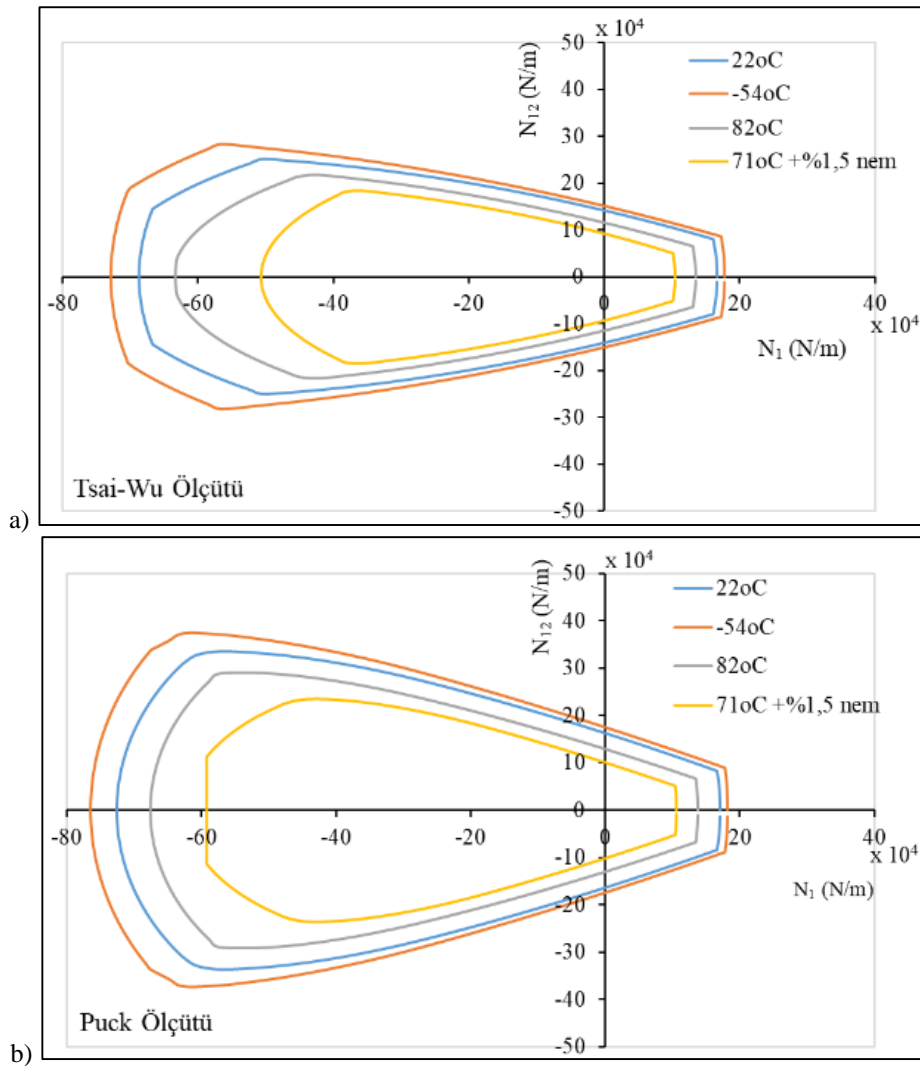
göstermektedir. Çekme-basma ve basma-çekme halindeki iki eksenli yüklerde de Tsai-Wu daha güvenli hasar zarfları oluşturmaktadır. Ancak hem her iki yönde çekme (çekme-çekme) hem de her iki yönde basma yüklerinin en yüksek değerleri için Puck ölçütüne göre oluşturulan hasar zarfları Tsai-Wu ölçütüne göre daha güvenlidir. Çizelge 1’de verilen mekanik özelliklere göre ortamda bulunan nem etkisi ile S-cam lifi/epoksi kompozit malzemenin basma yönündeki mekanik özellikleri en düşük değerlere sahip olurken, Tsai-Wu ölçütü belirtilen çevresel şartlarda basma-basma yükü altında bu malzeme ile üretilmiş açılı katlı tabakalı kompozitin 82 °C ortam sıcaklığındaki aynı malzemeye göre daha dayanıklı olduğunu belirlemiştir. Bu durum Puck ölçütünün Tsai-Wu ölçütüne göre iki eksenli basma yükü altında daha gerçekçi sonuç verdiğini göstermektedir.



Şekil 3. Açılı katlı S-cam lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin N_1 ve N_2 yayılı yükleri altında a) Tsai-Wu ölçütüne, b) Puck ölçütüne göre hasar zarfları

Açılı katlı S-cam lifi/epoksi malzemenin N_1 ile N_{12} yükü altında dayanımı ortam sıcaklığının artması ile azalmaktadır. Ortamda nem olması halinde dayanım kaybı daha belirgin hale gelmektedir. N_1 ile N_{12} yükü altında Tsai-Wu hasar ölçütü tüm ortam şartları için daha emniyetli dayanım değerleri tespit etmektedir. N_1 yükünün hem

pozitif hem negatif değerleri ile birlikte uygulanan ve malzemeyi hasara uğratan N_{12} değeri Tsai-Wu ölçütüne göre Puck ölçütü ile hesaplanan değerden daha düşüktür. Özellikle ortamda nem bulunması halinde Tsai-Wu ölçütüne göre malzemenin dayanımı belirgin olarak düşmektedir.



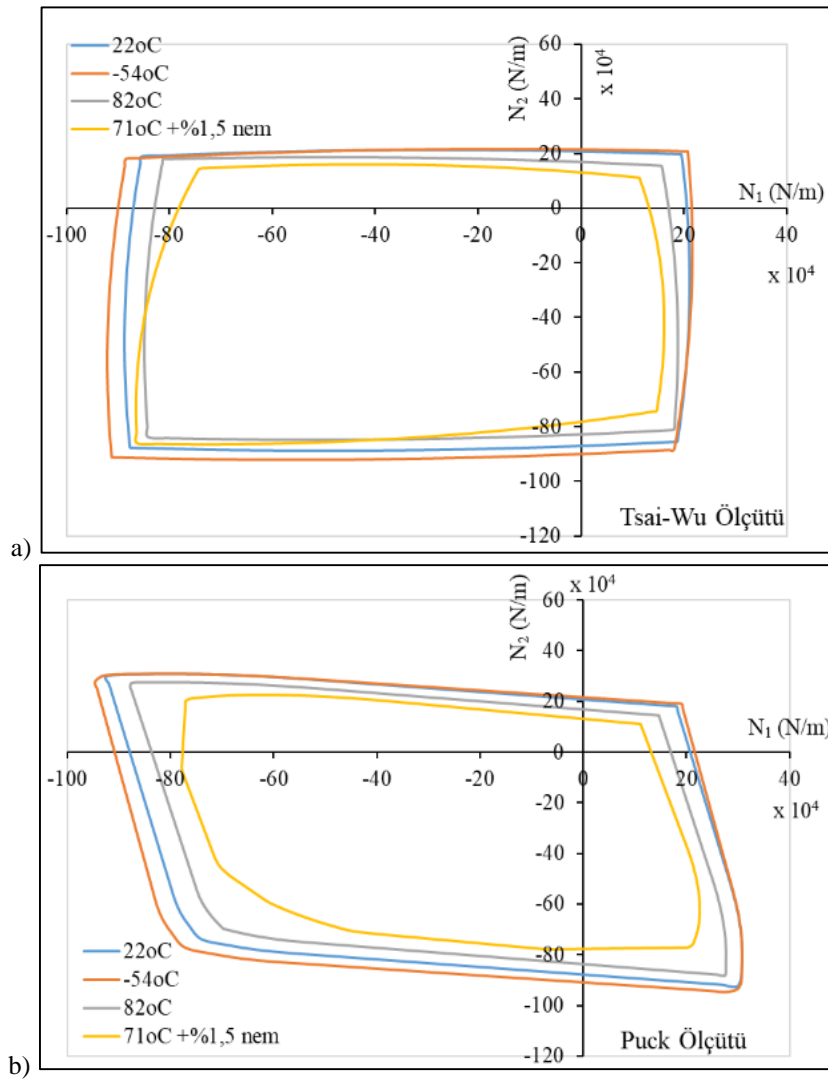
Şekil 4. Açılı katlı S-cam lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin N_1 ve N_{12} yayılı yükleri altında a) Tsai-Wu ölçütüne, b) Puck ölçütüne göre hasar zarfları

Çapraz katlı S-cam lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin N_1 ve N_2 yükleri için elde edilen hasar zarflarına göre basma-basma ve çekme-

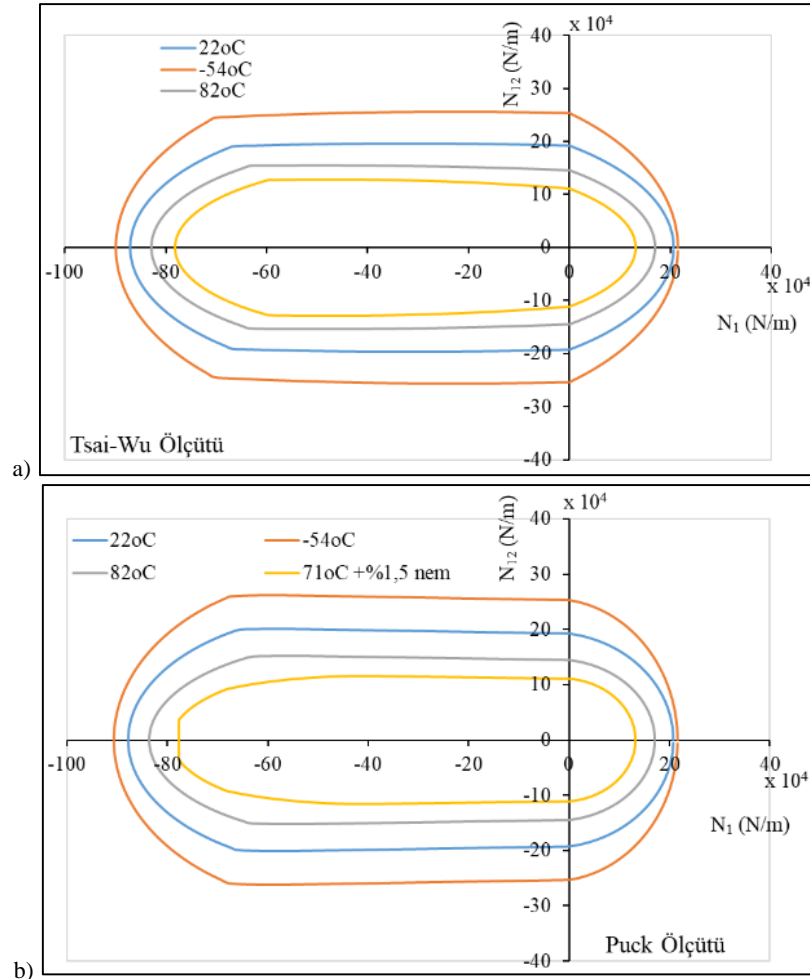
çekme yükleri altında Puck ölçütü daha güvenli sonuçlar vermektedir (Şekil 5a ve b). Yüksek sıcaklıklarda basma-çekme ve çekme-basma

yükleri için Tsai-Wu ölçütü ile hesaplanan yük değerleri daha güvenlidir. -54 °C ve 22 °C ortam sıcaklığında çekme-çekme, basma-çekme ve çekme-basma yükleri ile yapılan analizlerde, çapraz katlı malzeme hem Tsai-Wu hem de Puck ölçütüne göre yaklaşık aynı dayanımı göstermektedir. Açılı katlı S-cam lifi/epoksi kompozitlere benzer şekilde, çapraz katlı kompozitlerde de ortam nemi belirgin olarak malzemenin dayanımını düşürmektedir. Puck

ölçütü ortam sıcaklığı ve nemi etkisine karşı daha duyarlı davranış göstermekte ve daha güvenli davranmaktadır. Çapraz katlı S-cam lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin N_1 ve N_2 yükleri için Tsai-Wu ve Puck ölçütüne göre elde edilen hasar zarfları ise oldukça benzerdir. Tüm iki eksenli yükleme koşulları için Puck ve Tsai-Wu ölçütü her bir ortam sıcaklığında yaklaşık aynı hasar zarflarını oluşturmaktadır.



Şekil 5. Çapraz katlı S-cam lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin N_1 ve N_2 yayılı yükleri altında a) Tsai-Wu ölçütüne, b) Puck ölçütüne göre hasar zarfları



Şekil 6. Çapraz katlı S-cam lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin N_1 ve N_{12} yayılı yükleri altında a) Tsai-Wu ölçütüne, b) Puck ölçütüne göre hasar zarfları

3.2. Karbon Lifi/Epoksi Tabakalı Kompozit Malzemelerin Analizi

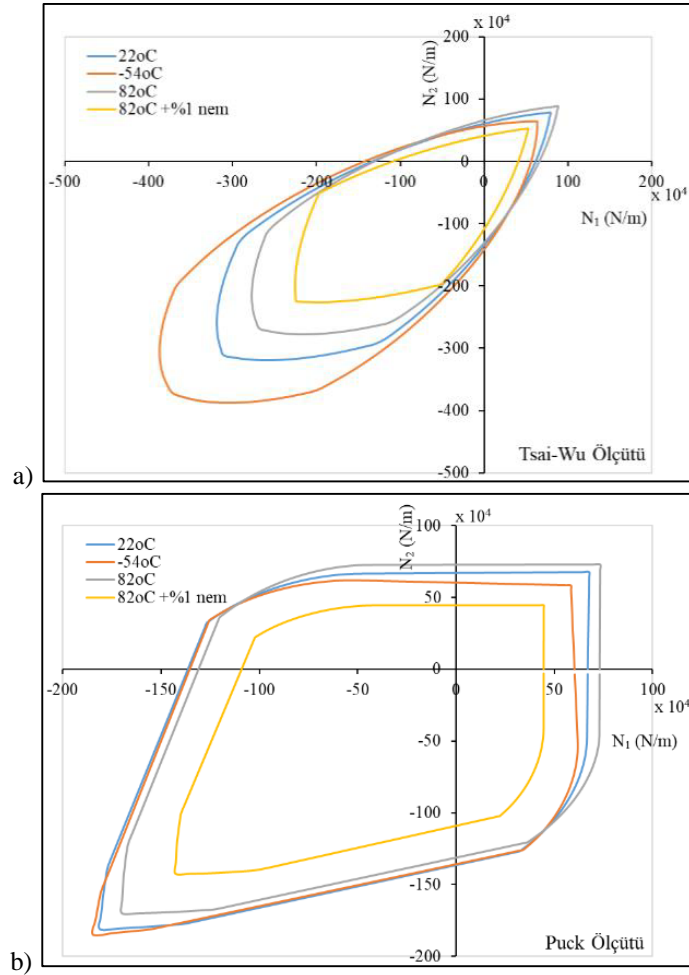
N_1 ve N_2 yükleri altındaki açılı katlı karbon lifi/epoksi malzeme için Tsai-Wu ve Puck ölçütleri ile elde edilen hasar zarfları oldukça farklıdır (Şekil 7a ve b). Tsai-Wu ölçütü, basma-basma yükü altındaki açılı katlı karbon lifi/epoksi malzeme için Puck ölçütüne göre oldukça yüksek dayanım değerleri hesaplamaktadır. İki hasar ölçütü arasındaki bu belirgin fark, Puck ölçütünün tabakalı kompozit malzemede hasar mekanizmasını, biri lif hasarı üçü matris malzeme hasarı olmak üzere, dört farklı mekanizma ile

incelemesinin bir sonucudur. Karbon lifi/epoksi malzemede, takviye lifin ve matris malzemenin dayanımları arasındaki farkın, S-cam lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemede bileşenlerin dayanımları arasındaki farka oranla daha yüksek olması da bu sonuca katkı sağlamaktadır. Çekme-çekme durumuna göre yüklerin maksimum değeri için Tsai-Wu ölçütü daha yüksek dayanım değerleri hesaplamaktadır. Çekme-basma ve basma-çekme yükleri için de Puck ölçütü ile tespit edilen dayanım değerleri daha yüksektir.

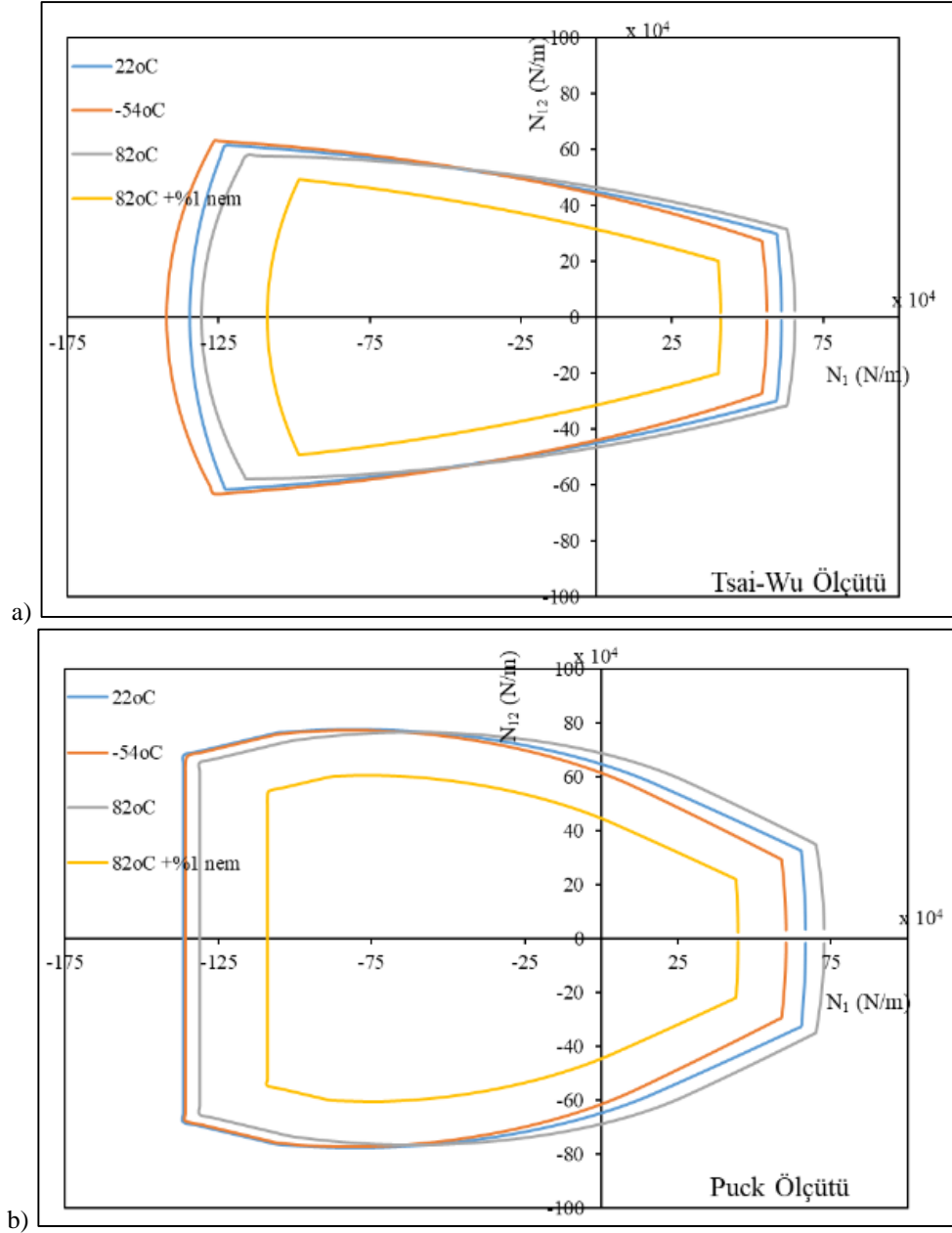
Açılı katlı karbon lifi/epoksi malzemenin ortam sıcaklığına bağlı dayanımı incelendiğinde Tsai-Wu

ölçütünün sıcaklık değişimine karşı daha duyarlı olduğu görülmüştür. Ortam sıcaklığının artması ile Tsai-Wu ölçütüne göre özellikle basma-basma ve çekme-çekme yükleri altında kompozit malzemenin dayanımı hızlı bir şekilde azalmıştır. Çekme-basma ve basma-çekme yükleri altında ise ortam sıcaklığının etkisi yok denecek kadar azken ortam neminin etkisi belirgindir. Puck ölçütüne göre çekme-çekme yüklemesi için ortam sıcaklığının artması ile malzeme dayanımı artmaktadır. Puck ölçütü, Tsai-Wu ölçütüne kıyasla ortam sıcaklığının değişimine karşı daha az duyarlı sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte Puck ölçütü, ortam neminin artması ile malzeme

dayanımının belirgin olarak düştüğünü tespit etmektedir. Her iki hasar ölçütüne göre N_1 ve N_2 yükleri; çekme halindeyken en yüksek dayanımın $82\text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığında, basma halindeyken en yüksek dayanımın $-54\text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığında olduğu tespit edilmiştir. N_1 ve N_{12} yükleri altındaki açılı katlı karbon lifi/epoksi kompozit malzeme için Tsai-Wu daha emniyetli hasar zarfları oluşturmaktadır (Şekil 8a ve b). Ancak $-54\text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığında N_1 yükünün negatif olduğu ve N_{12} yükünün sıfıra yakın olduğu yüklemeli hali istisna oluşturmakta ve Puck ölçütü daha emniyetli davranış göstermektedir.



Şekil 7. Açılı katlı karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin N_1 ve N_2 yayılı yükleri altında a) Tsai-Wu ölçütüne, b) Puck ölçütüne göre hasar zarfları



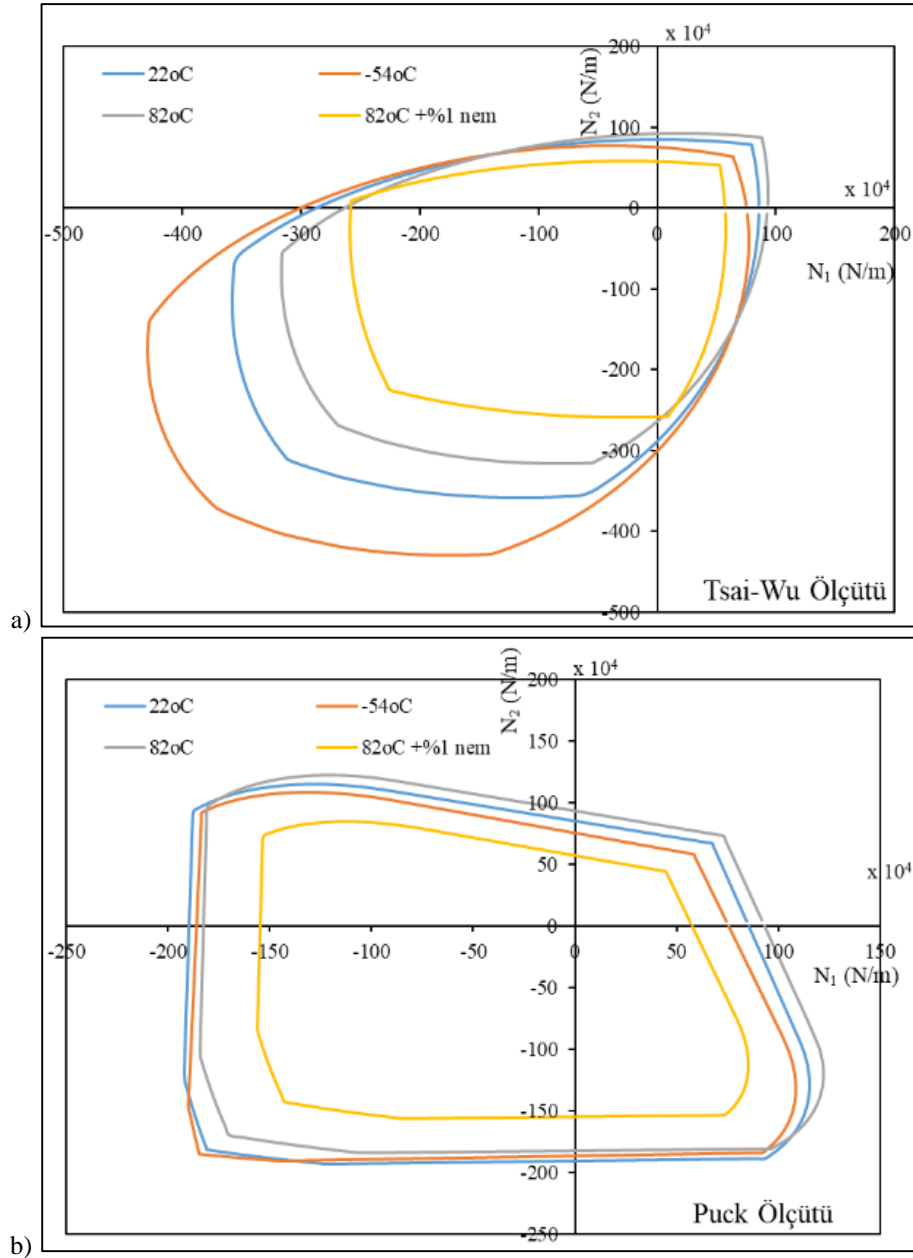
Şekil 8. Açılı katlı karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin N_1 ve N_{12} yayılı yükleri altında, a) Tsai-Wu ölçütüne, b) Puck ölçütüne göre hasar zarfları

Çapraz katlı karbon lifi/epoksi malzemenin N_1 ve N_2 yükleri altında Tsai-Wu ve Puck ölçütüne göre elde edilen hasar zarflarının ortam şartlarına göre değişimi açılı katlı karbon lifi/epoksi malzeme için ortaya çıkan değişime benzerdir. Tsai-Wu ölçütüne

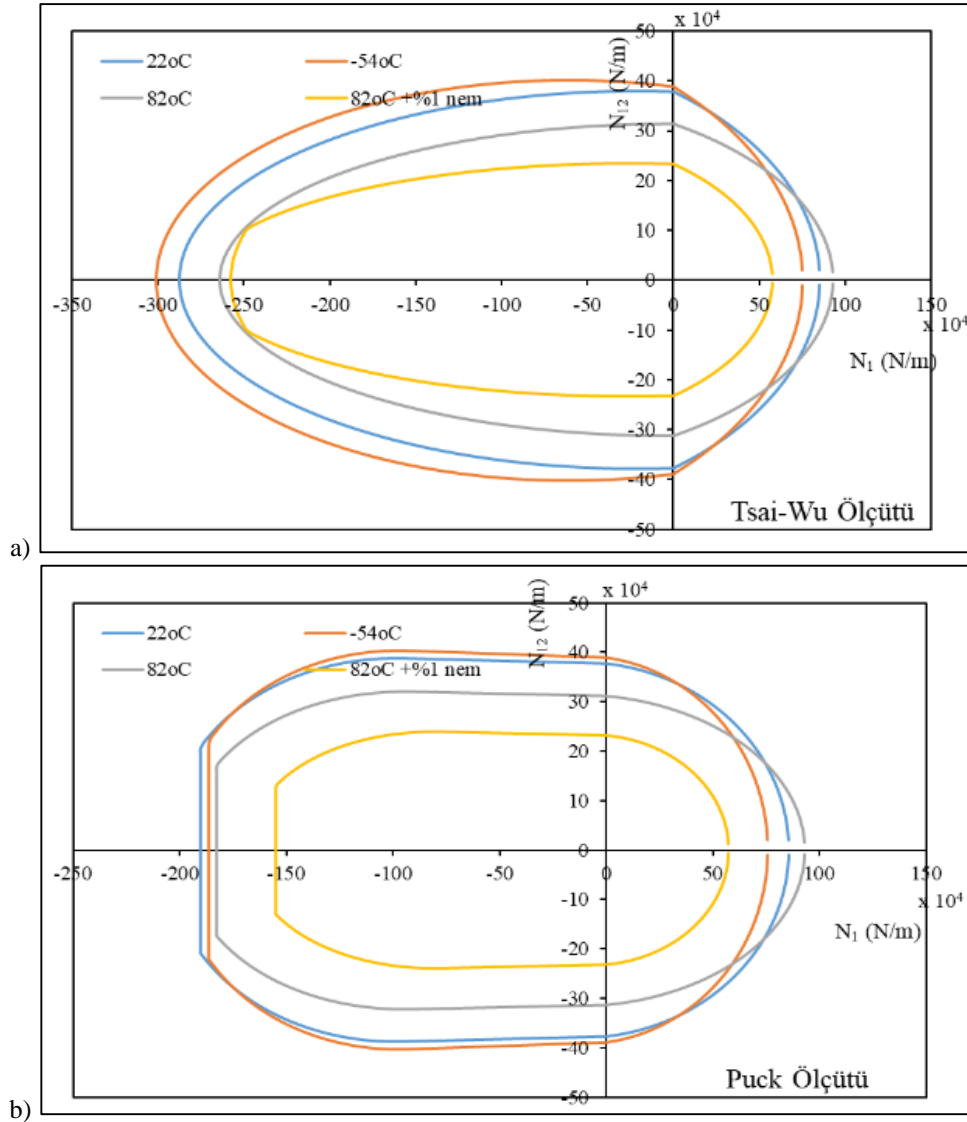
göre basma-basma yükleri altında ortam sıcaklığının artması ile hasar zarfı küçülmekte, ortam neminin artması ile malzeme dayanımı en aza inmektedir. Çekme-çekme yükleri altında ise tam tersi sıcaklığın etkisi ile dayanım artmakta

ancak ortamda bulunan nem malzemenin dayanımını yine en aza indirmektedir. Tsai-Wu ölçütü basma-basma yükleri için tüm çevresel şartlarda Puck ölçütüne kıyasla oldukça yüksek dayanım değerleri hesaplamakta, çekme-basma ve

basma-çekme yükleri için ise daha düşük dayanım yükleri tespit etmektedir. Farklı çevresel şartlar altındaki çekme-çekme yükleri için ise Tsai-Wu ve Puck ölçütü birbirlerine yakın dayanım değerleri göstermektedir.



Şekil 9. Çapraz katlı karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin N_1 ve N_2 yayılı yükleri altında a) Tsai-Wu ölçütüne, b) Puck ölçütüne göre hasar zarfları



Şekil 10. Çapraz katlı karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin N_1 ve N_{12} yayılı yükleri altında a) Tsai-Wu ölçütüne, b) Puck ölçütüne göre hasar zarfları

N_1 ve N_{12} yükleri altındaki çapraz katlı karbon lifi/epoksi kompozit malzemenin dayanımı, hem Tsai-Wu hem de Puck ölçütüne göre N_1 yükünün maksimum pozitif değerleri için ortam sıcaklığı yükseldikçe artmaktadır. N_1 yükünün negatif değerleri için de ortam sıcaklığı düştükçe malzemenin dayanımı artmaktadır. Çevresel şartların malzemenin dayanımı üzerindeki etkisi her iki hasar ölçütüne göre benzerdir. Ancak Puck

ölçütü N_1 yükünün negatif olduğu tüm çevresel şartlarda iki eksenli yükleme hali için Tsai-Wu ölçütüne göre çok daha fazla emniyetli hasar zarfları oluşturmaktadır.

4. SONUÇLAR

Açılı ve çapraz katlı S-cam lifi/epoksi ve karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin iki

eksenli yükler altında hasar zarfları oluşturulmuştur. Tabakalı kompozit malzemelerin farklı çevresel şartlarda elde edilen mekanik özellikleri kullanılmıştır. Hasar zarfları Tsai-Wu ve Puck hasar ölçütü kullanılarak incelenmiştir. Yüklemenin türüne, ortam sıcaklığına, malzeme tipine ve takviye liflerin yerleşim açısına bağlı olarak Tsai-Wu ve Puck ölçütlerinin gösterdiği davranış değişmektedir.

İki eksenli yüklemeye maruz S-cam lifi/epoksi tabakalı kompozit malzeme için Tsai-Wu ve Puck ölçütü ile oluşturulan hasar zarfları karşılaştırıldığında;

- Hasar zarflarından daha güvenli olanın, kompozit malzemenin açılı veya çapraz katlı olmasına ve/veya uygulanan yüklerin yönüne göre değişebildiği,
- Ortam sıcaklığı arttıkça malzemenin dayanımının azaldığı,
- Ortamda nem bulunmasının tüm yüklemeler için malzeme dayanımını belirgin olarak düşürdüğü çıkarımları yapılmıştır.

İki eksenli yüklemeye maruz karbon lifi/epoksi tabakalı kompozit malzeme için Tsai-Wu ve Puck ölçütü ile oluşturulan hasar zarfları karşılaştırıldığında ise;

- Hem açılı hem de çapraz katlı kompozit malzemede, tüm çevresel şartlar için N_1 ve N_2 yüklerinin işaretlerinin aynı olması halinde Puck ölçütünün güvenli olduğu, işaretlerin farklı olması halinde Tsai-Wu ölçütünün daha güvenli olduğu,
- N_1 ve N_{12} yükleri altında ise malzeme açılı katlı ise Tsai-Wu ölçütünün daha güvenli hasar zarfları oluştururken, malzeme çapraz katlı ise Puck ölçütünün daha güvenli hasar zarfları oluşturduğu,
- Çapraz katlı malzemenin N_1 ve N_{12} yüklemeleri altındaki dayanımının, aynı yük koşullarındaki açılı katlı malzemenin dayanımına göre ortam sıcaklığından daha az etkilendiği,
- S-cam lifi/epoksi kompozit malzemeye benzer şekilde ortam nemi karbon lifi/epoksi malzemenin de dayanımını azalttığı çıkarımları yapılmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Altair ESAComp yazılımını biz araştırmacıların kullanımına sunan Altair Engineering'e teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Abdul Majid, M.S., Assaleh, T.A., Gibson, A.G., Hale, J.M., Fahrer, A., Rookus, C.A.P., Hekman, M., 2011. Ultimate Elastic Wall Stress (UEWS) Test of Glass Fibre Reinforced Epoxy (GRE) Pipe. *Compos Part A Appl Sci Manuf* 42(10), 1500–1508. doi:10.1016/j.compositesa.2011.07.001.
2. Hawa, A., Abdul Majid, M.S., Afendi, M., Marzuki, H.F.A., Amin, N.A.M., Mat, F., Gibson, A.G., 2016. Burst Strength and Impact Behaviour of Hydrothermally Aged Glass Fibre/epoxy Composite Pipes. *Mater Des*, 89, 455–464. doi:10.1016/j.matdes.2015.09.082.
3. Yu, K., Morozov, E.V., Ashraf, M.A., Shankar, K., 2015. Numerical Analysis of the Mechanical Behaviour of Reinforced Thermoplastic Pipes Under Combined External Pressure and Bending. *Compos Struct*, 131, 453–61. doi:10.1016/j.compstruct.2015.05.033.
4. Quaresimin, M., Carraro, P.A., Maragoni, L., 2015. Influence of Load Ratio on the Biaxial Fatigue Behaviour and Damage Evolution in Glass/epoxy Tubes Under Tension-torsion Loading. *Compos Part A Appl Sci Manuf*, 78, 294–302. doi:10.1016/j.compositesa.2015.08.009.
5. Perillo, G., Vacher, R., Grytten, F., Sørbo, S., Delhaye, V., 2014. Material Characterisation and Failure Envelope Evaluation of Filament Wound GFRP and CFRP Composite Tubes. *Polym Test*, 40:54–62. doi:10.1016/j.polymertesting.2014.08.009.
6. Quaresimin, M., Carraro, P.A., 2013. On the Investigation of the Biaxial Fatigue Behaviour of Unidirectional Composites. *Compos Part B Eng*, 54, 200–208. doi:10.1016/j.compositesb.2013.05.014.
7. Reddy, P.S.K., Krishna, T.H., 2012. Optimum Design and Analysis of Filament Wound

- Composite Tubes in Pure and Combined Loading, 1, 1–4.
8. Bakaiyan, H., Hosseini, H., Ameri, E., 2009. Analysis of Multi-layered Filament-wound Composite Pipes Under Combined Internal Pressure and Thermomechanical Loading with Thermal Variations. *Compos Struct*, 88, 532-541. doi:10.1016/j.compstruct.2008.05.017.
 9. Çallioğlu, H., Ergun, E., Demirdag, O., 2008. Stress Analysis of Filament-wound Composite Cylinders Under Combined Internal Pressure and Thermal Loading. *Adv Compos Lett* 17, 13–21. doi:10.1177/096369350801700102.
 10. Li, Z.M., Shen, H.S., 2008. Postbuckling of 3D Braided Composite Cylindrical Shells Under Combined External Pressure and Axial Compression in Thermal Environments. *Int J Mech Sci*, 50, 719–731. doi:10.1016/j.ijmecsci.2007.12.001.
 11. Liu, W., Soden, P.D., Kaddour, A.S., 2005. Design of End Plugs and Specimen Reinforcement for Testing $\pm 55^\circ$ Glass/epoxy Composite Tubes Under Biaxial Compression. *Comput Struct*, 83, 976–988. doi:10.1016/j.compstruc.2004.11.004.
 12. Xia, M., Kemmochi, K., Takayanagi, H., 2001. Analysis of Filament-wound Fiber-reinforced Sandwich Pipe Under Combined Internal Pressure and Thermomechanical Loading. *Compos Struct*, 51, 273-283. doi:10.1016/S0263-8223(00)00137-9.
 13. Martens, M., Ellyin, F., 2000. Biaxial Monotonic Behavior of a Multidirectional Glass Fiber Epoxy Pipe. *Compos Part A Appl Sci Manuf*, 31, 1001–1014. doi:10.1016/S1359-835X(00)00041-5.
 14. Gargiulo, C., Marchetti, M., Rizzo, A., 1996. Prediction of Failure Envelopes of Composite Tubes Subjected to Biaxial Loadings. *Acta Astronaut*, 39, 355–368. doi:10.1016/S0094-5765(96)00081-1.
 15. Tomblin, J., Sherraden, J., Seneviratne, W., Raju, K.S., 2002. A-Basis and B-Basis Design Allowables for Epoxy Based Prepreg. Toray T700GC-12K-31E/#2510 Unidirectional Tape. AGATE-WP3.3-033051-132.
 16. Solvay. Technical Data Sheet Cycom® 381 Prepreg 2021. https://catalogservice.solvay.com/downloadDocument?fileId=MDkwMTY2OWM4MDU1YmZmNg==&fileName=CYCOM381_CM_EN.pdf&base=FAST.
 17. Puck, A., Schürmann, H., 2004. Failure Analysis of FRP Laminates by Means of Physically Based Phenomenological Models. Fail Criteria Fibre-Reinforced-Polymer Compos, 264–97. doi:10.1016/B978-008044475-8/50011-1.

Çetmi (Konya) Civarının Tektono-Stratigrafisi

Ulaş İnan SEVİMLİ*¹, Özkan AŞIK², Ulvi Can ÜNLÜGENÇ²

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

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

Geliş tarihi: 08.01.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Özet

İnceleme alanı, Orta Torosların jeolojik özelliklerini içermekle birlikte, Aladağ Birliği, Bolkar Dağı Birliği ve Bozkır Birliği adlarıyla bilinen ve yapısal, stratigrafi ve metamorfizma özellikleri bakımından birbirinden ayrı ortam koşullarını yansıtan kayaç birimi toplulukları aralarında tektonik dokanaklı olarak birbirleri üzerinde yer almaktadır. Bolkar Dağı ve Aladağ birlikleri, Geç Devoniyen-Geç Kretase yaş aralığında çökelmiş olan şelf tipi karbonat ile kırıntılı kaya birimlerini içermektedir. İçerisinde Senoniyen yaşlı olistolit ve olistostromal bloklar bulunmakla birlikte, tamamı inceleme alanında gözlemlenmeyen Geyik dağı birliğine ait olan Lütesiyen yaşlı denizel kırıntılıların üzerinde çok düşük açılı naplar halinde üzerlemektedir. Bu iki tektonik birlik, birbirleriyle benzerlik göstermekle birlikte hem stratigrafik hem yapısal hem de metamorfizma özellikleri açısından farklıdırlar. Yamaç, havza ve az oranda platform çökelleri ile temsil edilen Bozkır Birliği, Triyas-Kretase aralığında bazik deniz altı volkanitleri, tuf, vb. kayaların değişik boyutlarda blok ve dilimleri kapsayan büyük bir melanj şeklindedir. Geç Paleosen-Erken Eosen yaş aralığında, Aladağ ve Geyik Dağı birliklerinin arasında ofiyolit, spilitik volkanit arakatlı pelajik kireçtaşlarını kapsayan "Ofiyolitli Melanj" ile temsil edilen dar ve kısa ömürlü bir okyanus havzasının yer aldığı düşünülmektedir. Karışık, Geyik dağı birliği ile Aladağ ve Bolkar dağı birlikleri arasında, değişik kalınlıklarda naplar halinde bulunmaktadır. Birliklerin birbirleri ile stratigrafik, yapısal ve metamorfizma özellikleri dikkate alındığında; (a) Erken Triyas-Senoniyen aralığında, güneyden kuzeye doğru Geyik dağı, Aladağ, Bolkar dağı ve Bozkır birliği şeklinde bir dizilimle, platformdan okyanusa uzanan bir havzayı oluşturdukları; (b) Kuzey Tetis Okyanusu olarak adlandırılabilir olan bu havzanın Geç Senoniyen'de kapanmasına bağlı olarak, Bozkır birliğinin kendi içinde dilimlenip, Bolkar dağı ve Aladağ birliklerini üzerlediği; (c) İlerleyen sonunda Bolkar dağı ve Aladağ birliklerin kapanan havzanın ofiyolitleriyle birlikte, üzerinde Bozkır Birliğinin dilimlerini de bulundurarak göreceli otokton olan Geyik dağı birliği üzerine tektonik olarak taşındığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çetmi, Orta Toroslar, Tektonik birlikler, Geyik-Aladağ-Bozkır birlikleri

Tectono-Stratigraphical Investigation of Çetmi (Konya)

Abstract

In the study area, which presents the geological features of the Central Taurides, rock unit assemblages known as Aladağ Unit, Bolkar Mountain Unit and Bozkır Unit, which reflect different environmental conditions in terms of stratigraphy, structural and metamorphism, has tectonic contact with each other.

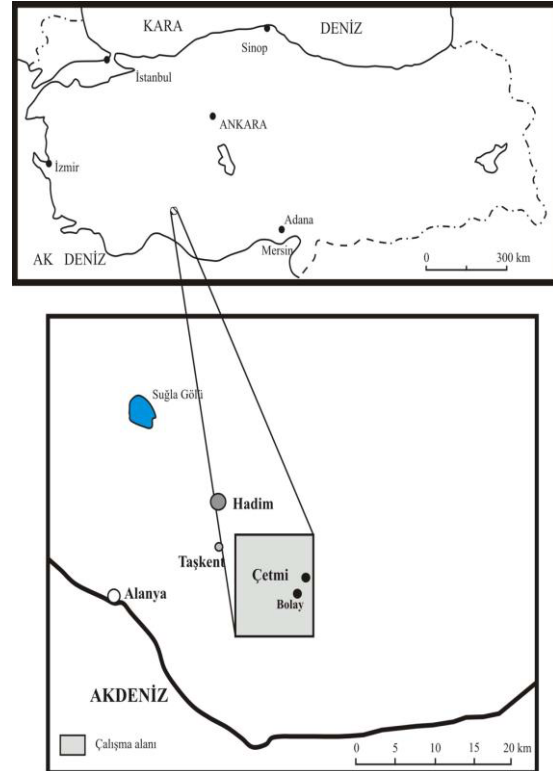
*Sorumlu Yazar (Corresponding author): Ulaş İnan SEVİMLİ, usevimli@gmail.com

Aladağ and Bolkar Mountain units consist of mainly shelf type carbonate and clastic rock units, Senonian aged olistolith and olistostromal marine clastics deposited in the Late Devonian-Late Cretaceous range, and are located as horizontally nappes on the Lutetian marine clastics of which belong to the Geyik Dağı association, that whole part of it can not be seen in the area. These two tectonic units which have similar aspects, shows difference each other with their stratigraphy, metamorphism and structural properties. The Bozkır unit looks like various size of tectonic slices of a mega mélangé comprising Triassic-Cretaceous age basin-slope and less platform sediments, basic submarine volcanics, tuff, diabase, serpentinite, etc. It has been thought that a narrow and short-lived oceanic basin were formed between Geyik dağı and Aladağ units represented by ophiolitic mélangé including ophiolites, pelagic carbonates interbedded with syphilitic volcanics during Late Paleocene-early Eocene period. The mélangé is seen as tectonic slices of varying different thicknesses between the Geyik dağı unit, the Bolkar dağı and the Aladağ tectonic units. Considering the structural, stratigraphic and metamorphism properties of the tectonic units with each other; (a) In the Early Triassic-Senonian range, from south to north, Geyik Mountain, Aladağ, Bolkar Mountain and Bozkır units formed a basin extending from the platform to the ocean; (b) related to the closing of the basin, which could be named as Northern Neo-Tethys ocean, during late Senonian, initially the Bozkır unit sliced and thrusts onto the Bolkardağı and Aladağ units; (c) It is thought that the Bolkar Mountain and Aladağ tectonic units were transported tectonically over the relatively autochthonous the Geyik Dağı unit, including the slices of the Bozkır Unit, together with the ophiolites of the basin that closed at the end of the İlerdian.

Keywords: Çetmi (Konya), Central Tauride Tectonic units, Geyik-Aladağ-Bozkır units

1. GİRİŞ

İnceleme alanı O28b2, O29a1, O29a2, O29a3 ve O29a4 topografik paftaları içerisinde yaklaşık 225 km²’lik bir alanı içermekle birlikte, Taşkent İlçesinin (Konya) yaklaşık 15 km GD’sunda yer alan Çetmi, Bolay ve Afşar Kasabaları civarını kapsamaktadır (Şekil 1). Bölge ilk olarak Blumenthall [1-3] tarafından incelenmiştir. Yapılan bu çalışmalarda “Hadim Napı veya Paleozoyik Hadim Zonu” olarak tanımlanan allokton birimler, “İç Zonlara ait Kalker Ekayları” olarak tanımlanan otoktonun Kratese-Eosen yaşlı birimlerinin üzerine büyük bir şariyaj ile oturduğunu belirtmişlerdir. Özgül[4,5], Demirtaşlı [6-7] Bozkır-Hadim-Alanya çevresinde yapmış olduğu çalışmalarda bölgenin temelinde göreceli otokton olan Geyikdağı Birliği, üstte yer alan alloktonları da Bolkardağı, Aladağ ve Bozkır Birliği şeklinde tanımlamışlardır. Uğuz [8], Demirtaşlı ve ark.[9], Uğuz [10], Özgül [11], Aşık [12], ise; bölgenin izafi bir otokton üzerinde Taşkent, Korualan, Dedemli, Hocalar, Sinatdağı ve Gevne napları şeklinde paketlenmiş tektono-stratigrafik birimleri detaylı bir şekilde ayırtlayarak jeolojik incelemesini yapmıştır.



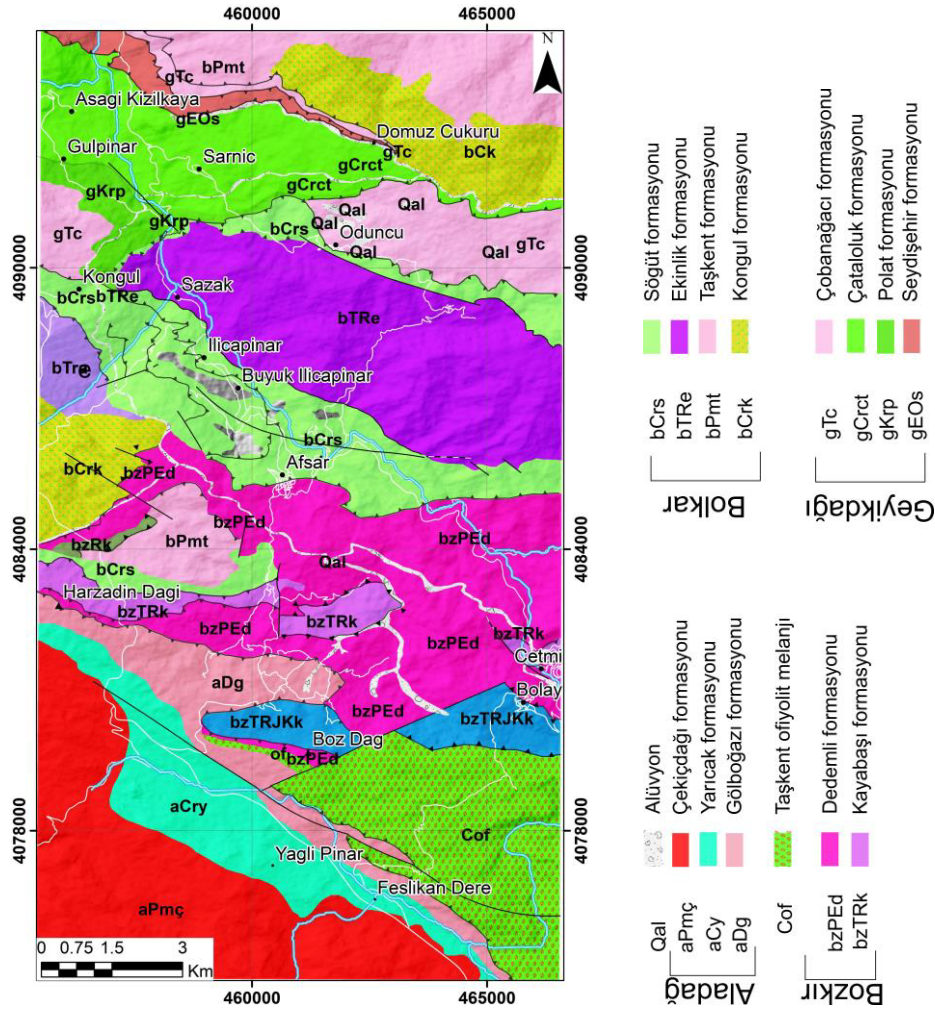
Şekil 1. Yer bulduru haritası

2. ARAŞTIRMA BULGULARI

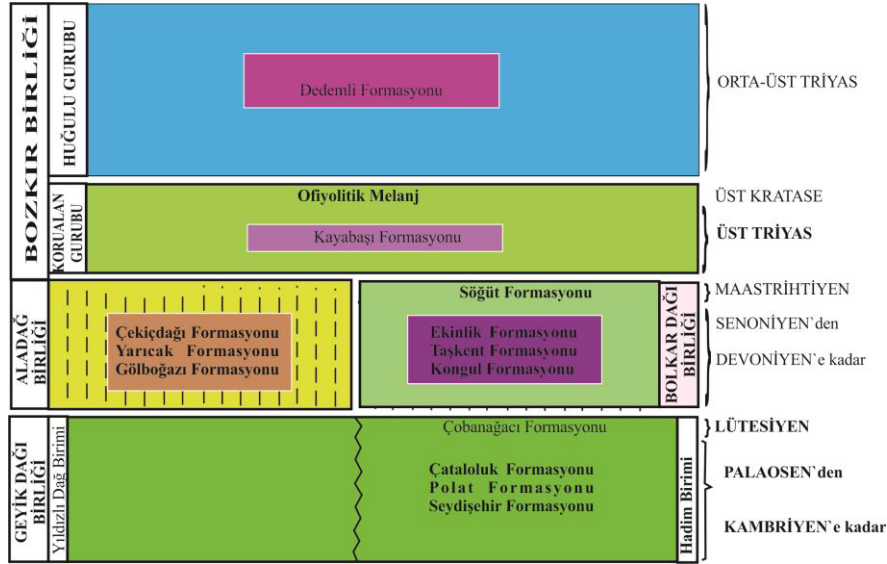
2.1. Stratigrafi

Bölgede yapılan jeolojik incelemeler sonucunda, Devoniyen'den Kuvaterner'e kadar Orta Toroslar'ın karakteristiğini içeren dört adet tektonik birlik ve bu birliklere bağlı 14 adet formasyon ayırt edilmiş ve haritalaması yapılmıştır (Şekil 2). Bu birlikler ve birliklere ait formasyonlar sırasıyla; Geyik Dağı Birliği'ne bağlı; Seydişehir Formasyonu (Üst Kambriyen-Ordovisiyen), Polat Formasyonu (Orta Jura-Kretase), Çataloluk Formasyonu (Üst Kretase-Orta Eosen),

Çobanağacı Formasyonu (Orta-Üst Eosen), Aladağ Birliği'ne bağlı; Gölboğazı Formasyonu (Üst Devoniyen), Yarıcak Formasyonu (Karbonifer), Çekiçdağı Formasyonu (Üst Karbonifer-Permiyen), Bolkardağı Birliğine bağlı; Kongul Formasyonu (Alt-Orta Karbonifer), Taşkent Formasyonu (Permiyen), Ekinlik Formasyonu (Triyas), Söğüt Formasyonu (Üst Kretase), Bozkır Birliği içerisinde ise; Korualan Grubu içerisindeki Kayabaşı Formasyonu (Triyas), Huğlu Grubu içerisinde yer alan Dedemli formasyonlarıdır (Paleosen-Eosen) (Şekil 2,3). Ayrıca, bu birimleri aşılal uyumsuzlukla üzerleyen Kuvaterner yaşlı alüvyonlarda haritalanmıştır.



Şekil 2. Bölgenin Jeoloji haritası



Şekil 3. Lejant ve tektonik birlikler

2.1.1. Geyik Dağı Birliği

Bölgede yer alan diğer birliklere göreceli otokton konumlu olan kayaçları “Geyik Dağı Birliği” adı altında incelenmiş, diğer bütün birliklerin altında ve onlara göre “görelî yerli” konumda bulunur [5]. Bu birliğe ait dört formasyon; Seydişehir Formasyonu (Üst Kambriyen–Ordovisiyen), Polat Formasyonu (Orta Jura–Kretase), Çataloluk Formasyonu (Üst Kretase–Orta Eosen), Çobanağacı Formasyonu (Orta–Üst Eosen)’dur.

2.1.1.1. Seydişehir Formasyonu (gOs)

Formasyon ilk kez Turan [13] tarafından Devonyen yaşı verilerek Seydişehir şistleri olarak adlandırılmıştır. Çobanağacı Formasyonu ve Çataloluk Formasyonu ile tektonik dokanaktır (Şekil 2). Birim inceleme alanının kuzeyinde, Kuzeybatısından–güneydoğusuna doğru bir şerit halinde gözlemlenmiş ve haritalanmıştır. Gülpınar kasabasının kuzey doğusunda yer alan göksü vadisi içerisinde yapılan ölçülerde yaklaşık kalınlığının 700 m olduğu belirlenmiştir. Formasyonun tip kesiti bu bölgede gözlemlenmiştir. İnceleme alanında formasyon, ardalanmalı olarak İnce–orta tabakalanmalı, yer yer laminalı, yeşilimsi gri, sarımsı ve açık kahverenkli kiltası, çamurtaşı, kumtaşı istifinden

oluşur. Özgül [4], formasyondan Üst Kambriyen–Ordovisiyen yaşını veren *Konodont*’lar elde etmişlerdir. Formasyon şelf ortamında, çökme ortamının hareketsiz olduğu yerlerde çökelmiş olduğu düşünülmektedir. Formasyon, Tufanbeyli–Sarız yöresinde yüzeyleyen Armutludere Formasyonu, Silifke–Ovacık yöresinde yüzeyleyen Ovacık formasyonu ile denetlenir.

2.1.1.2. Polat Formasyonu (gJKp)

Formasyon adını, Hadim ilçesinin (Konya) K-KB’ında yer alan Polat Köyü’nden almıştır [5]. Birim inceleme alanının K-KB’ında yaklaşık 5 km²’lik bir alanda gözlemlenmiş ve haritalanmıştır. Formasyon, inceleme alanında Balkar Dağı birliğine ait Sögüt Formasyonu (Maastrichtiyen) ile tektonik dokanaktır (Şekil 2). Formasyon, tabanda koyu gri renkli orta-kalın tabakalanmalı kiltası-marn ara tabakalı kireçtaşı ile başlamaktadır. Arazi çalışmaları sırasında üste doğru kireçtaşları üzerine yer yer dolomitik kireçtaşı ve dolomitlerin geldiği gözlemlenmiştir. Bu takaların üzerine orta-kalın tabakalanmalı, koyu gri renkli, kırıntılı kireçtaşı, çakıltaşı (çoğunlukla kireçtaşı kökenli) ve ince tabakalı yer yer laminalı, kireçtaşı ardalanması olarak gözlemlenmiştir. Formasyonun üst kısımlarında ise orta tabakalanmalı, gri renkli, bol fosil kavkılı,

gevşek dokulu, kırıntılı kireçtaşlarından oluştuğu belirlenmiştir. Formasyonun üst bölümünü oluşturan kaba kırıntılı çakıllardan alınan örneklerden Senomaniyen yaşını veren fosillere rastlanmıştır [5]. Formasyon içinde yer alan kireçtaşların sedimantolojik özellikleri dikkate alındığında, geniş bir şelf ortamında çökeldiği düşünülmektedir. Formasyonun üst kısımlarında yer alan mikritik kireçtaşı-kırıntılı kireçtaşı araldanmasından oluşan istif ise şelfin açık denize doğru olan olasılıkla derin kesiminde çökeltmiş olduğunu göstermektedir. Saimbeyli-Develi (Doğu Toroslar) bölgesinde tanımlanmış Köroğlu Tepe formasyonu [6], Silifke bölgesinde tanımlanmış Tokmar Formasyonu [7] ve Sekmekli Dere Formasyonu [8], Ermenek Batısında tanımlanmış Çakozdağı Formasyonu [9] ile denestirilebilir.

2.1.1.3. Çataloluk Formasyonu (gKPEct)

Polat Formasyonunun üzerinde rudistli kireçtaşı içeren formasyon, adını Çataloluk çeşmesinden alır [5]. Formasyon inceleme alanının kuzeyinde yaklaşık 25 km² yüzlek vermektedir. Arazi çalışmalarında ortama 60-70 m kalınlık sunan birimin tabanında açısız uyumsuzlukla Polat Formasyonu ile geçişli olarak gözlemlenmiştir. Arazi gözlemlerinde formasyon genellikle taban çakıltaşları ile başlamaktadır. Taban çakıltaşları Polat formasyonundan türediği belirlenmiştir. Üstüne ise açısız uyumsuzlukla Çobanağacı Formasyonu geçişli olarak örtüldüğü gözlemlenmiş ve haritalanmıştır. Polat Formasyonunu çoğunlukla taban çakıltaşı seviyesi ile açısız uyumsuzlukla örter. Taban çakıltaşlarının tümü Polat formasyonundan türemiştir. Çataloluk Formasyonu tektonik pencereler içindeki yüzeylemeleri Çobanağacı formasyonu tarafından açısız uyumsuzlukla örtülür. Formasyon tabanda, algli ve mercanlı, koyu gri renkli kireçtaşları ile başlar ve üstünde açık gri renkli, ince-orta tabakalı kireçtaşları ile, orta-kalın tabakalı, beyazımsı, açık gri renkli formasyon içi kaba kırıntılı içeren, breşik görümlü kireçtaşlarının araldanması şeklinde devam ettiği gözlemlenmiştir. Formasyonun yaşını Uğuz [10] tarafından Üst Kretase-Orta Eosen olarak belirtilmiştir. Çataloluk Formasyonu, stratigrafik

özellikleri, mevcut sedimantolojik yapıları ve fosil içeriğine göre hareketli ve sığ açık bir şelf ortamında çökeltmiş olduğunu göstermektedir. Birim, Doğu Toroslarda tanımlanan Demiroluk Formasyonu [12], Silifke yöresinde tanımlanan Kerzlik Formasyonu ve Mezarlıkgediği Formasyonu [8] ile denestirilebilir.

3.1.1.4 Çobanağacı Formasyonu (gEc)

Geyik Dağı Birliği'nin Hadim ve Bozkır ilçeleri dolayında yüzeyleyen en genç birimidir [5]. Formasyon inceleme alanının kuzeyinde Kongul Kasabası civarında gözlemlenmiş ve haritalanmıştır. Dokanak ilişkisi tektonik olduğundan gerçek kalınlığı inceleme alanında ölçülemez. İnceleme alanı içerisinde Formasyon, tabanda Çataloluk formasyonunun üzerine geçişli olarak gelmekle birlikte üst yüzeyi ise Bolcardağı Birliği üyesi Kongul Formasyonu tarafından tektonik olarak örtülmektedir. Formasyon, çoğunlukla kırıntılılardan oluşur. Bunlar genellikle volkanik tüf ara tabakalanmalı çakıltaşı ile kumtaşı, siltaşı ve marn araldanmasından oluşur. Birim, ayrıca çeşitli boylarda yabancı bloklar da içerdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca formasyonun, çeşitli düzeylerinde bloklar içeren moloz akması ileolistolitler belirlenmiştir. Turan [14] yapmış olduğu çalışmada, fosil bulguları ve stratigrafik konumlarına göre formasyonun Orta-Üst? Eosen yaşlı olduğunu belirtmiştir. Elde edilen sedimantolojik ve stratigrafik veriler ışığında formasyonun bölgede bir volkanizmanın etkili olduğu bir denizaltı yelpazesi ortamında çökeldiği düşünülmektedir.

2.1.2. Aladağ Birliği

Geç Devonyen-Geç Kretase aralığında çökeltmiş başlıca şelf tipi karbonat ve kırıntılı kaya birimlerini kapsayan birlik, Doğu Toroslar'da Aladağlar bölgesinde yaygın yüzeylemelerinin bulunması nedeniyle Aladağ Birliği olarak adlandırılmıştır [1]. Birlik Özgül [5] tarafından, Beyşehir, Bozkır ve Alanya kuzeyindeki yüzeylemeleri nedeniyle "Hadim Napı" adıyla incelenmiş ve Gölboğazı Formasyonu, Yarıcak Formasyonu, Çekiçdağı Formasyonu, Gevne

Formasyonu, Bozdağ Formasyonu ve Zekeriya Formasyonu olmak üzere altı formasyona ayrılmıştır. İnceleme alanında ise; Çekiçdağı Formasyonu, Yarıcak Formasyonu ve Gölboğazi Formasyonları (Şekil 3) ve bunlara ait dokanaklar belirlenmiş ve haritalanmıştır.

SİSTEM	FORMASYON	ULAMA KALINLIK m.	KALINLIK m.	KAYATÜRÜ	DİĞER AÇIKLAMALAR	
JURASİK-KRETASE	ZEKERİYA FORMASYONU	5900	200		Şeyl - Kumtaşı; Filyş görünümlü kırıntılılar egemen, Bozkır Birliğinden türeme olistolit ve olistostrom düzeylerini kapsamakta Kireçtaşı kül rengi, orta-kalın katmanlı bentonik foraminiferli, algli, çamurtaşı - vaketaşı egemen Dolomit; kül rengi, boz, orta-kalın katmanlı kaba kristalli; yer yer stramatolitli düzeyler kapsamakta Killi kireçtaşı; kiltası Şeyl , boz, yer yer alacalı,ince -orta katmanlı Çakıltaşı-Kumtaşı ; orta kalın katmanlı yer yer gösel kireçtaşı arakatlı çakıltaşı merceklerini kapsar, çakıllar çoğunlukla Permiyen yaşta kireçtaşı, daha az oranda kuvarsit çakılları türündedir Uyumsuzluk Kireçtaşı Şeyl, kül rengi- boz yer yer alacalı ince - orta katmanlı Stramatolitli kireçtaşı düzeyi ile başlamakta, oolittli kireçtaşı bol Lamellibranslı Gastropodalı Vermes izli ve Ammonitli düzeyler kapsamakta Formasyon içi çakıltaşı düzeyleri sık sık yenilenmekte	
	BOZDAĞ FORMASYONU	5700	400			
	TRİYAS	GEYVE FORMASYONU	4690			225
			3500			250
PERMİYEN	ÇEKİÇ DAĞI FORMASYONU	2410	145	240	Kireçtaşı, kül-rengi koyu kül rengi orta-kalın yer yer ince katmanlı, zengin alg topluluğu, foraminifer, gastropod, brakyopod kapsamakta Girvenella h kireçtaşı klavuz düzeyi ile başlamakta, üst yarısında şeyl arakatlı killi kireçtaşı - kireçtaşı düzeyini kapsar Uyumsuzluk Kuvarsit, kireçtaşı Şeyl ince kireçtaşı arakatlı, koyu renkli ve bol brakyopodlu şeyllerle başlamakta daha üstte koyu kül rengi orta-kalın katmanlı kireçtaşı ve en üstte kireçtaşı arakatlı kuvarsitleri kapsamakta, alt kesimlerde iri mercan klavuz düzeyini bulundurmakta	
			115	270		
			100	400		
			275	190		
KARBONİFER	YARICAK FORMASYONU	1500	110		Kuvarsit, Şeyl, Resifal kireçtaşı ardışı; kuvars arenit, kuvarsvake türü kum taşları ve koyu renkli şeyl aralanması egemen biyoklastli ve biyohermal kireçtaşı arakatlı, kireçtaşı bol mercan, brakyopoda ve krinoid kapsamakta üst düzeyinde kuvarsit ve çakıltaşı çakıllı, çakıltaşı mercekleri görülmekte Dolomit; açık kül rengi, boz, orta-kalın katmanlı, orta kristalli	
DEVONİYEN	GÖLBOĞAZI FORMASYONU	960	900			
			750			

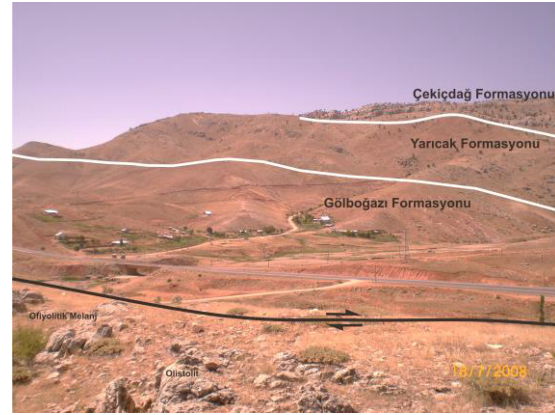
Şekil 3. Aladağ birliğinin geliştirilmiş stratigrafi kesiti [5]

2.1.2.1. Gölboğazı Formasyonu (aDg)

İsmi yüzeylendiği Hadim İlçesinin Gölboğazı yaylasından Özgül [5] alan formasyon, inceleme alanında Aladağ birliği içinde yer alan en yaşlı formasyondur. İnceleme alanının güneyinde uzun bir şerit halinde yüzeylenmektedir. İnceleme alanında Aladağ Birliği'ne ait en yaşlı formasyonu olan birimin tabanı tektonik dokanaklıdır. Üst dokanağı ise inceleme alanının G-GB'da Tozluca Yayla civarında Yarıcak formasyonu tarafından geçişli olarak üzerlenmektedir. Ayrıca Harzadın Dağı civarında ise Bozkır Birliği içerisinde değerlendirilen Dedemli Formasyonu tarafından da tektonik olarak örtülmektedir. Genellikle kumtaşı, kuvarsit ve şeyllerin düzensiz ardalanması şeklinde gözlenmiştir. Formasyonun tabanında gri renkli yer yer sarımsı, ince-orta tabakalanmalı, şeyl ile başlar, yer yer orta-kalın tabakalanmalı, gri-koyu gri renkli dolomit ve dolomitli kireçtaşları ile devam etmektedir. Formasyonun üst kısımlarında ise resifal kireçtaşı mercekleri gözlenmiştir. En üstte ise ince-orta tabakalı, açık kahve renkli, dayanımsız, iyi boylanmalı kumtaşı ile şeyl biriminin ardalanması şeklinde gözlenmiştir. Tabanı tektonik dokanaklı olduğundan gerçek kalınlığı belirlenemeyen formasyonun inceleme alanındaki ölçülen kalınlığı yaklaşık 300 m. dir. Turan [14] yapmış olduğu çalışmada formasyonun yaşının Orta-Üst Devonyen olarak belirtmiştir. Formasyonu oluşturan resifal kireçtaşı, kavkılı kireçtaşı arakatlı, iyi boylanmış ve yuvarlaklanmış, kalın kumtaşı (kuvarsarenit) seviyesi ile düşük enerjili ortamlarının özelliklerini yansıtan kuvarsit ve şeyl birimlerinin düşey ve yanal olarak ardalanması, ortamın değişken bir kıyı koşullarının varlığını göstermektedir. Formasyonun resifal kireçtaşı ara tabakalı kumtaşı, silttaşı, kiltası-marn ardalanmasından oluşan alt bölümü dalga tabanı üstünde, yüksek enerjili kum sığlığı ile resif gerisi-resif düzlüğü-resif önü bölümlerinde, üst düzeyleri oluşturan şeyl arakatlı kum taşları da şelfin yüksek enerjili bölümünün kum-çamur kuşağında çökmüştür [12]. Formasyonun Doğu Toroslar'da yer alan Tufanbeyli-Sarız Yöresinde yüzeyleyen Gümüşali Formasyonu [13], Silifke-Ovacık yöresinde yüzeyleyen Akdere Formasyonu [14] ve Kargidere Formasyonu [15] ile denestirilebilir.

2.1.2.2. Yarıcak Formasyonu (aCy)

Formasyon adını, tip kesitinin geçtiği Yarıcak yaylasından alınmıştır [5]. İnceleme alanının güneybatısında yer alan Harzadın dağı (Şekil 2, Şekil 4) civarından kısıtlı bir alanda yüzeyleyen birim, Gölboğazı Formasyonunun üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Çekiç Dağı Formasyonu ile de uyumlu olarak örtülmektedir. Yaklaşık 250 m. kalınlık ölçülmüştür. Formasyon, kuvarsit ara katlı şelf tipi kireçtaşı ile yer yer kiltası, Şeyl, marn, killi kireçtaşı ve kireçtaşı ardalanmasından meydana gelmektedir. Formasyonun marnlı, killi olan, alt düzeyi Alt Karboniferi temsil eden Zaphrentis ile Turneziyen yaşını veren brakyopodlar içermektedir [15]. Derlenen fosil bulguları ve stratigrafik konumuna göre formasyonun yaşının Karbonifer olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4. Çekiçdağı Formasyonunun alttaki Yarıcak Formasyonu ile olan dokanak ilişkisi ve Taşkent-Ermenek Fayının görünümü (KD'dan GB'ya bakış) [12]

Formasyonun alt bölümü şelfin yüksek enerjili çamur kuşağı ile resif gerisi-resif düzlüğü bölümünde çökmüş olmalıdır. Daha üstte yer alan kireçtaşları şelfin karbonat düzlüğünde ve birimin en üst bölümünü oluşturan kumlu, oolitle pizolitli düzeyler şelfin yüksek enerjili sığ su ortamında çökeceğini düşündürmektedir.

Formasyon Doğu Toroslar'da Develi-Saimbeyli yöresinde yüzeyleyen Gebzel Grubu [16]'nun

Turneziyen yaşlı altta Tuzludere Formasyonu, üstte Kuşkayası Formasyonu ve Vizeen yaşlı Ziyarettepe Formasyonu [17], Silifke-Ovacık yöresinde yüzeyleyen Korucuk Formasyonu [18] ile deneştirilebilir.

2.1.2.3. Çekiçdağı Formasyonu (aPmç)

Formasyon, Hadim ilçesinin (Konya) yaklaşık 15 km. güneyinde yer alan Çekiç dağının adıyla adlandırılmıştır [5]. Yarıcak formasyonunun üzerini aşılal uyumsuzlukla örtmektedir (Şekil 4). Formasyon inceleme alanının dışında ise Gevne formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Harzadın Dağı'nda gözlemlenen birimin kalınlığı yaklaşık 900 m'dir. Altta kuvarsitlerle başlayan formasyon, çoğunlukla algli, foraminiferli kireçtaşları ile temsil edilir. Altta kızıl renkli, orta-kalın ve çapraz tabakalı kumtaşı-kuvarslı kumtaşı, şeyl ve koyu sarımsı-kırmızı renkli, orta-kalın tabakalı, *Girvanellalı* kireçtaşı ardalanmasından oluşur. Girvanellaların yoğun olarak bulunduğu bu birim formasyonu tabanının kolaylıkla ayırt edilebilinmesini sağlayan kılavuz seviye olma özelliğini taşımaktadır [5]. İnceleme alanında bu birim üzerine şeyl ve kumtaşı ara bantları bulunan gri renkli, orta-kalın tabakalanmalı bir istif sunan kireçtaşı gözlemlenmiştir. Turan, Özgül [10,19] formasyonun yaşını Üst Karbonifer-Permiyen olarak belirtmişlerdir. Formasyonun taban kısımlarında yer alan çapraz tabakalanmalı fosilli (Girvanella) kireçtaşı-kumtaşı-şeyl ardalanmasının oluşturduğu istif kıtasal şelf ortamının yüksek enerjili olduğu bir ortamın ürünü olduğu düşünülmektedir. Formasyon; Saimbeyli-Feke yöresinde (Doğu Toros'lar) yüzeyleyen "Menteş Kuvarsiti" [16] ve Çamalan Formasyonu [8] ile deneştirilebilir.

2.1.3. Bolkar Dağı Birliğı

Orta Toroslar'ın kuzey kesimini oluşturan ve İç Anadolu metamorfilerini (Kırşehir-Niğde metamorfileri) güneyden kuşatan, değışik derecede metamorfizma gösteren kaya birimi topluluğı, Toroslar'ın yüksek dağlarından biri olan ve bu topluluğına ait kaya birimlerini kapsayan Bolkar dağının adıyla adlandırılmıştır [5]. Birlik,

Devoniyen'den Geç Kretase dönemine kadar geçen zaman içerisinde çökelmiş kayaları kapsamakla birlikte (Şekil 5) Aladağ ve Geyik dağı birliklerinden farklı olarak, etkisi yerden yere değışen metamorfizma gösterir [5]. İnceleme alanında Bolkar dağı birliğı; Taşkent formasyonu (Üst Permiyen), Kongul formasyonu (Alt-Orta Karbonifer), Ekinlik formasyonu (Triyas), ve Söğüt formasyonu (Senoniyen)'nu kapsamaktadır.

2.1.3.1. Kongul Formasyonu (bCk)

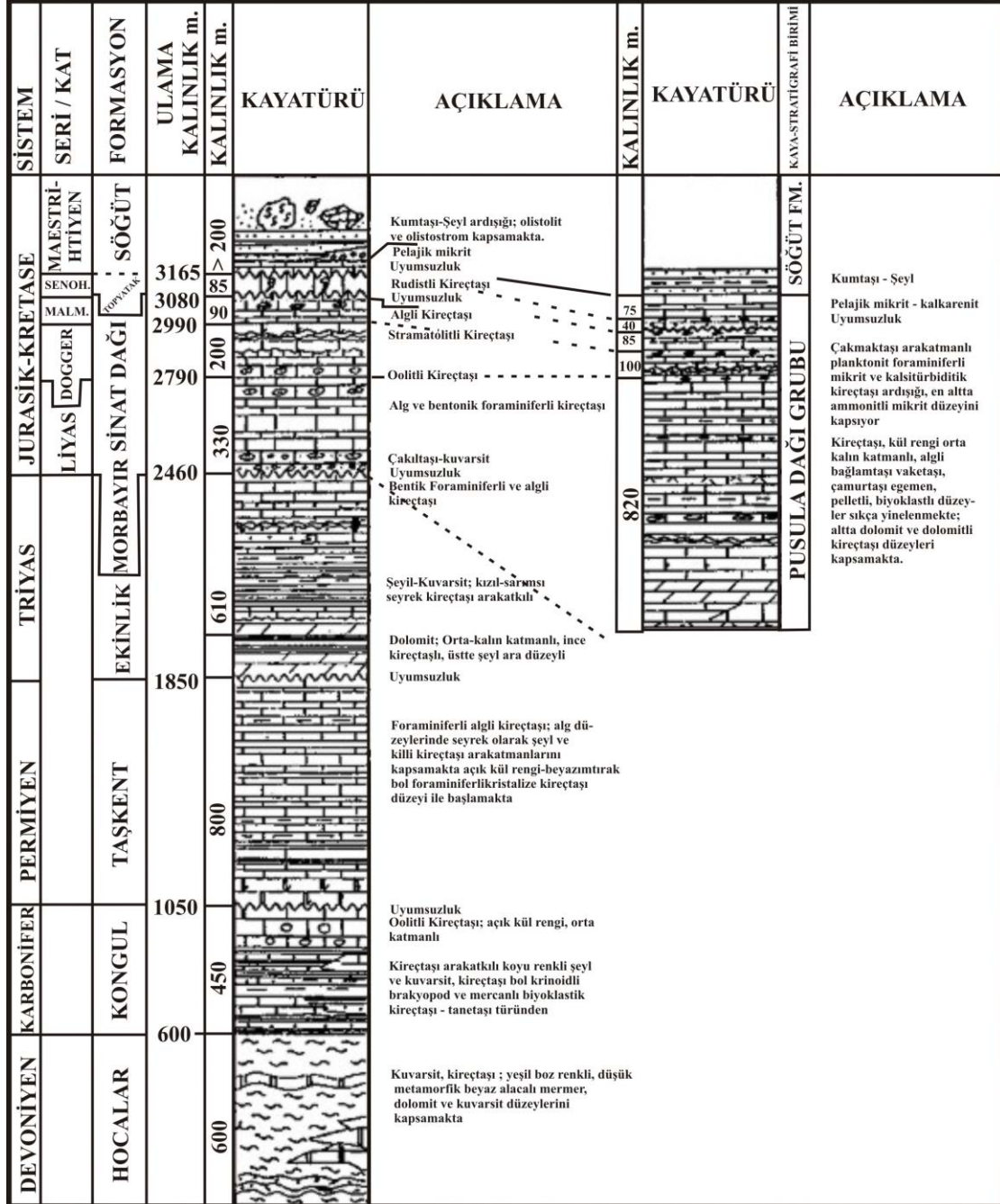
Şelf tipi kireçtaşlarından oluşan formasyon, adını inceleme alanın kuzeyinde yer alan Kongul Köyünden (Şekil 2) almaktadır [5]. Formasyon, Kongul Küyü civarında Dedemli formasyonu tarafından tektonik dokanakla, Taşkent formasyonu tarafından da uyumsuzlukla örtülür. Kongul formasyonu, Aladağ Birliğı içerisinde yer alan yaşıt Yarıcak formasyon ile benzerlik gösterir [5]. Formasyon sınırlarının genellikle faylı oluşu, aşırı deformasyon sonucu düzenli istiflenme göstermeyişi ve Permiyen öncesi derin aşınma nedenleriyle, yüzeylemelerinin kalınlığı sıkça değışmektedir. Yapılan bu çalışmada ölçülen kalınlık yaklaşık 1000 m. civarındadır. Formasyon, tabanda kireçtaşı ara katkılı ve ince taneli kırıntılardan oluşmakta olup, üstte oolitle kireçtaşı birimi bulunmaktadır.

Kongul Formasyonunun egemen kaya türünü oluşturan kırıntılılar az fosillidir. Buna karşılık, kireçtaşı ara düzeyleri foraminiferler, alg, broyozoa, krinoid, brakyopod ve mercan gibi mikro ve mikrofosil bakımından zengindir. Zindancık üyesinin kireçtaşı arakatıkları Vizeyen ve Serpukoviyen, Mantarbeleni kireçtaşı üyesi ise Vizeyen-Serpukoviyen, Başkiriyen ve Moskoviyen katlarının ayırtman foraminifer topluluklarını kapsamaktadır [5].

Kongul formasyonu Yarıcak formasyonundan farklı olarak ince taneli kırıntılı birimlerin egemen olduğu killi-milli şeyller ile temsil edilmiştir. Başkiriyen-Moskoviyen aralığında her iki formasyon da, genellikle yüksek enerjili ortam koşullarını yansıtan istifleri kapsarlar [5]. Kongul formasyonu, bu bilgilerin ışığında tabanında iç şelf

ortamında çökelmiş kayaç toplulukları hakim iken üstünde ise gel-git ortamında çökelmiş birimleri hakimdir. Kongul formasyonunda karadan

sediman girişinin az, karbonatça zengin birimler hakim iken, Yarıcak formasyonu ise, kıyı koşullarında çökelmiş olmalıdır.



Şekil 5. Bolkardağ Birliğinin geliştirilmiş stratigrafi kesiti [5]

2.1.3.2. Taşkent Formasyonu (bPmt)

Formasyon adını, birimin bol fosilli yüzeylemelerinden birinin bulunduğu inceleme alanının batısında yer alan Taşkent ilçesinden (Konya) almıştır [5]. Formasyonun taban ve tavan dokanak ilişkisi tektonik olup, inceleme alanında Kayabaşı formasyonu tektonik dokanak ile Taşkent formasyonunu üzerlemektedir (Şekil 6). Kireçtaşı-killi kireçtaşı düzeyi ile başlayan formasyon, çoğunlukla algli ve bol foraminiferli kireçtaşlarından meydana gelmektedir. Formasyon, genellikle beyazımsı-gri renkli kristalleşmiş kireçtaşı ile koyu gri renkli, algli kireçtaşlarıyla birlikte Kongul formasyonu ve inceleme alanı dışında yer alan Hocalar formasyonunun farklı düzeylerini uyumsuz olarak örtmektedir. Elde edilen veriler ışığında formasyon, sığ karbonat selfinde çökelmiş kayalardan oluşmuştur.

Formasyon Gazipaşa yöresinde yüzeyleyen Bıçkıcı Formasyonu [22], Doğu Toroslar'da yüzeyleyen Menteş Kuvarsiti [19] ve Yığılı Tepe Kireçtaşı [20], Silifke-Ovacık yöresinde yüzeyleyen Çamalan Formasyonu [17] ve Kırtıldağı Formasyonu [21,17] ile deneştirilebilir.



Şekil 6. Taşkent KD'sunda gözlenen Taşkent Formasyonunun Kayabaşı formasyonu ile dokanak ilişkisi

2.1.3.3. Ekinlik Formasyonu (bTre)

Neritik karbonat (kireçtaşı, dolomit) ve kırıntılı kayaların (kilttaşları) değişen düzende ardalanmasından oluşan Ekinlik formasyonu ilk

kez tip kesit yeri yakınında bulunan Ekinlik yaylasından esinlenerek adlandırılmıştır [5]. Formasyon, inceleme alanında ise çok geniş bir alanda yüzeylemektedir. Tabanda orta - ince tabakalı, koyu gri oolitle kireçtaşı ile başlayan birim, üste doğru gri renkli, dolomitik kireçtaşı ve dolomitlere geçiş yapar. İnceleme alanı içerisinde yer alan bölümünde Ekinlik Formasyonu tabanda Permien yaşlı Taşkent formasyonunu açısız uyumsuzlukla örtmektedir (Şekil 2). Söğüt Formasyonu (Üst Kretase) tarafından da açısız uyumsuzlukla örtülmektedir. İnceleme alanı dışında bulunan Küplüce-Balcılar yolu üzerinde yer alan Akarca Yaylasındaki yüzeylemesinden, formasyonun üst düzeylerine denk gelen bir bölümünden alınan örneklere göre birimin yaşı Alt-Orta-Erken Üst Triyas yaşındadır [5]. Elde edilen ve derlenen veriler ışığında formasyonun taban düzeyleri şelf lagünü ile karbonat şelfinin sığ bölümünde, oolitle düzeyler ise sığ denizel ortamda çökeldiğini göstermektedir. Çapraz laminalı, killi birimler içeren dolomitli kayalar ise gelgit düzlüğü veya geçiş ortamında çökeldiğini göstermektedir. Formasyonun tavan kısımlarındaki birimler ise sığ deniz karakteristiğini göstermektedir.

Ekinlik Formasyonu, Silifke-Ovacık yöresinde yüzeyleyen Çevlikkaya Formasyonu [17] ve Kargıcak Formasyonu [21], Doğu Toroslar'ın batısında Saimbeyli Yöresinde yüzeyleyen Katarası Formasyonu [20] ve Gazipaşa dolayında yüzeyleyen Yöreme Formasyonu ile deneştirilebilir.

2.1.3.4. Söğüt Formasyonu (bCrs)

Genellikle pelajik kireçtaşı düzeyi ile başlayan, olistolit, ve moloz akmalarını yoğun olarak kapsayan kırıntılı birimlerden oluşan Söğüt formasyonunun adı, tip kesitinin yer aldığı Söğüt köyünden alınmıştır [5]. Formasyon, inceleme alanında Ekinlik formasyonu üzerine tektonik dokanak ile gelmektedir (Şekil 2). Birim, Dedemli Formasyonu (Bozkır Birliği) tarafından tektonik dokanakla üzerlenmektedir. Formasyon; kireçtaşı, radyolarit, çakmaktaşı, bazik volkanit ve serpantinlerden oluşmaktadır. İnceleme alanı dışında kuzeyde yer alan Pusula dağıının doğu

uzanımında, dağlık alanın güney yamacında Sinat dağı kireçtaşının Liyas yaşta kireçtaşı katmanlarını çökel ilişkili olarak doğrudan üstleyen kırmızı mikrit düzeyinin değişik yüzeylemelerinden, alınan örneklerde birimin yaşı Maastrichtiyen (olasılıkla Üst Maastrichtiyen) olarak belirlenmiştir [5].

2.1.4. Bozkır Birliği

Birlik, Triyas-Kretase aralığında çökelmiş pelajik ve neritik kireçtaşı, radyolarit, bazik deniz altı volkaniti, tüf, diyabaz, ultrabazit, serpantin vb. kayaların değişik boyutlarda blok ve dilimlerini kapsayan büyük bir “karışık-melanj” görünümündedir. Birliğin adı, incelenmeye elverişli yüzeylemelerine yaygın olduğu yerlerden biri olan Bozkır ilçesinden alınmıştır [5]. Bozkır birliği, “Koru Alan grubu”, “Huğlu grubu” “Boyalı Tepe Grubu” ve “Soğucak Kireçtaşı” olarak dört farklı dilim olarak ayrılanmıştır [5] (Şekil 8). İnceleme alanında yüzeyleyen birliğe ait iki adet formasyonun dokanakları belirlenmiş olup, bunlar Korulan Gurubuna ait Kayabaşı Formasyonu ve Huğlu Gurubuna ait Dedemli Formasyonlarıdır.

2.1.4.1. Kayabaşı Formasyonu (bzTRk)

Yoğun tektonik etki nedeniyle stratigrafik sürekliliği korunamamış, neritikten-pelajige uzanan özellikler sunan, Üst Triyas-Jura-Kretase yaşlı kayaçlar topluluğu olarak tanımlanabilir [4,5]. Formasyon, tabanda kırmızımsı gri renkli, orta-kalın tabakalı kireçtaşı-killi kireçtaşı ardalanmasıyla başlar, yaklaşık 30 m kalınlık sunan bu ardalanma üste doğru orta-kalın tabakalı, beyaz, kirli beyaz renkli dolomit-dolomitik kireçtaşlarına geçer. Formasyonun daha üst düzeyinde, Sarnıç Köyü dolayında iyi gözlemlendiği üzere formasyon içi çakıltı ve kızıl renkli, orta-kalın tabakalı, manganlı, krinoid sapı kırıntılı ve ammonitli kireçtaşı ardalanması yer almaktadır [5] (Şekil 8). Birimin alt düzeyleri için Çetmi civarında, üst düzeyleri için de Avşar Beldesi güneyi tipik litolojiler sunmaktadır. Birimin inceleme alanı içinde gözlenen yaklaşık kalınlığı 550 metre kadardır. Formasyonun yaşı, Üst Triyas Jura-Kretase yaşı olarak belirtilmiştir [5]. Fosil bulguları ve stratigrafik konuma göre formasyon;

tabanda tavana doğru kayaçlar dikkate alındığında şelften derin denize doğru gelişen geçişlerinin gözlemlendiği bir ortamda çökeldiği düşünülmektedir.

2.1.4.2. Dedemli Formasyonu (bzPEd)

Bozkır birliğinin ayırtman kaya birimlerinden biri olan Dedemli formasyonu, çok büyük bölümüyle tüf, tüfit ve daha az oranda bazik volkanitlerden oluşur (Şekil 7). Yer yer radyolarit, kireçtaşı ve kırıntılı ara katlıdır. Çetmi kuzeyinde yapılan incelemeler sonucu, birim başlıca yeşilimsi gri renkli, ince-orta tabakalı yada tabakalanmasız görünümlü çakıltı, kumtaşı, kıltaşı, çamurtaşı ve marn ardalanmasından oluşmaktadır. Bölgesel jeoloji yorumuna ve stratigrafik konumuna göre formasyonun yaşı Paleosen-Eosen olarak değerlendirilmiştir [5].



Şekil 7. Bozkır Birliği Koru Alan Gurubuna ait Kayabaşı Formasyonu (bzTRk) ile, Huğlu Gurubuna ait Dedemli Formasyonu (bzPEd) arasındaki dokanak ilişkisi (Çetmi civarı) [23]

2.1.4.3. Taşkent Ofiyolitik Melanjı

Ofiyolitik melanj birimini önceki çalışmalarda [5], birimi Bolkar Birliği'nde yer alan Söğüt formasyonu içerisinde değerlendirmiştir. Demirtaşlı [18] ise birimi Beyşehir Napları içerisinde bir dilim olarak değerlendirmiştir. Özgül [5] yapmış olduğu çalışmada inceleme alanı dışında bulunan ve aynı özelliklere sahip ofiyolitik melanjı “Dipsiz Göl Ofiyolitik Karışık” olarak adlandırmıştır. İnceleme alanında birimin özellikle serpantinleşmiş peridotit ve özellikle volkano-sedimenter kayaçlardan ve kireçtaşı olistolitlerinden oluştuğu gözlemlenmiştir. Birim, arazi çalışmaları sırasında elde edilen veriler ve

Kayabaşı ve Dedemli Formasyonları arasındaki dokanak ilişkisi göz önüne alındığında, Bozkır Birliği içerisinde Taşkent Ofiyolitik Karışığı olarak adlandırılması önerilmektedir. Önceki yapılan çalışmalara dayanarak birimin yaşı geç Kretase olarak verilmiştir [24-26].

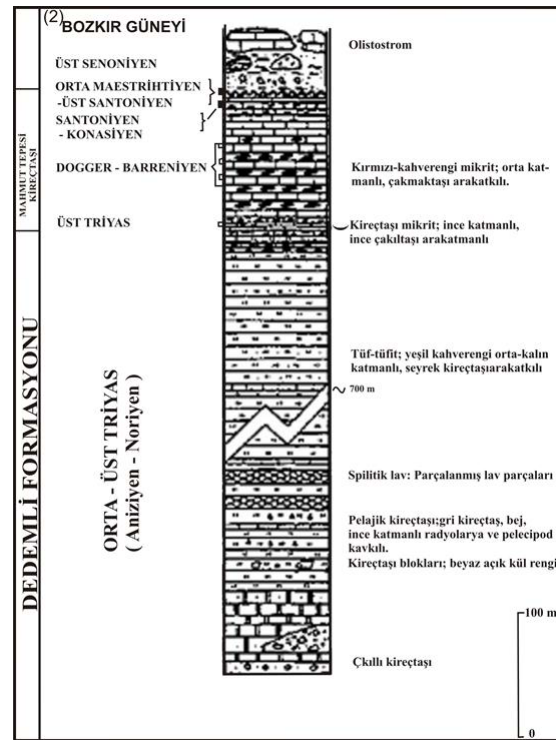
SİSTEM / KAT	GURUP	FORMASYON	ULAMA KALINLIK (m)	ÖRNEK NO	KAYATÜRÜ	DİĞER AÇIKLAMALAR
ORTA - ÜST TRIYAS	KORUALAN GURUBU	KAYABAŞI FORMASYONU	> 1000			Pelajik kireçtaşı, radyolarit denizaltı volkanit ve kırıntılı kayaların kaolitik kısmı Tektonik dokanak
			390			Çakıllı kireçtaşı radyolarit vaketası; kremrenge-pembe, ince-orta katmanlı, radyolarit, ostrakod, pelisipod kapsamakta
			315			Dolomit - Dolomitik kireçtaşı; külrenge, orta katmanlı, ince kristalli
			275	93-145		Şeyil - Kireçtaşı Alvolulina lı vaketası
			255	93-143		Çakmaktaşı yumrulu kireçtaşı
			240	93-144		Şeyil-kumtaşı ardışığı; boz açık kahverengi şeyil egemen, kireçtaşı külrenge-boz, ince orta katmanlı yada boyu birkaç metre olabilen bloklar halinde bulunmakta, blokların çatlaqları ve süreksizlik yüzeyleri sarımsı-kahve rengi kil sıvıklı bol kavkı kırıntılı (biyoklastik)
			90	93-141		Dolomitik kireçtaşı; ostrakod ve kristalleşmiş involulina (?) kapsamakta
			65			Dolomitik kireçtaşı
			5			Dolomit; külrenge, orta-kalın katmanlı orta-kaba kristalli dolomitli kireçtaşı ara katkılı, çok çatlaklı, ezik , yeniden kristalleşmiş
			0			Kireçtaşı ara katkılı Şeyil, boz yarılğan Tektonik dokanak

Şekil 8. Bozkır Birliği Korualan gurubuna ait Kayabaşı Formasyonunun (bzTRk) geliştirilmiş stratigrafik kesiti [5]

2.2. Yapısal Jeoloji

Çalışma alanındaki ana tektonik rejim kuzey güney yönlü sıkışma rejimiyle şekillenmiştir. Bölgedeki bindirme fayları genellikle KB-GD doğrultusunda gelişmiştir. Çalışma alanının orta kesimlerinde bulunan Triyas yaşlı Ekinlik Formasyonu bindirme fayının etkisi altında genellikle diğer formasyonlar ile sınırlanmıştır. En güney kesimde bulunan Üst Devonyen yaşlı Gölboğazı Formasyonu ile Paleosen yaşlı Dedemli Formasyonu bindirme fayı

ile (tektonik) dokanaktır. Triyas yaşlı Kayabaşı Formasyonu bindirme fayları etkisiyle bugünkü halini almıştır. Üst Kretase yaşlı Söğüt Formasyonu bölgede etkin olan bindirme fayları etkisiyle şekillenmiştir. İnceleme alanında Ekinlik ile Söğüt formasyonları birbirleri ile sağ yönlü doğrultu atımlı fay karakterinde olan ve bu çalışmada adlandırılan Oduncu Fayı ile yan yana gelmiştir. Ayrıca İnceleme alanında, devamlılığı inceleme alanının dışında da devam eden K55°B doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı ve yanal atım miktarı 1400 metre olan “Taşkent-Ermenek Fayı” haritalanmıştır.



Şekil 9. Bozkır Birliği Huğlu gurubuna ait Dedemli Formasyonunun (bzPED) geliştirilmiş stratigrafik kesiti [5]

3. SONUÇLAR

İnceleme alanı, tektonik açıdan göreceli otokton Geyikdağı Birliği, Allohton olan Bozkır ve Bolkardağı birlikleri ve güncel kaya topluluklarından oluşur. Allohtonlar Hadim napları kapsamındadır ve tektono-stratigrafik olarak,

Taşkent, Korualan, Dedemli napları (Bozkır Birliği) ile Hocalar ve Sinatdağı naplarından (Bolkardağı Birliği) oluşur. Çalışma alanındaki ana tektonik rejim kuzey güney yönlü sıkışma rejiminde şekillenen bölgedeki bindirme fayları genellikle KB–GD doğrultusunda gelişmiştir.

Bu çalışmada, yapısal unsurlar arazi çalışmaları sırasında tespit edilip haritalanmıştır. İnceleme alanında güneydoğudan kuzeybatıya doğru gelişen birden yer alan Aladağ Birliği, Bozkır Birliği, Bolkar Dağı Birliği ve Ofiyolitik melanj arasındaki bindirmelerin güneydoğudan kuzeybatıya doğru geliştiği sonucuna varılmıştır. Bozkır Birliği inceleme alanının güneydoğusunda yer alan Üst Kratese’de yerleşmiş olan Taşkent Ofiyolitik Melanjı olarak adlandırılan birim, bindirmiş olup haritalanmıştır. Çalışma bölgesinde Aladağ Birliğinin Bozkır Birliğine, Bozkır Birliğinin de çoklu dilimler şeklinde Bolkar Dağı Birliğine bindirdiği arazide gözlemlenmiş olup, haritalanmıştır. İnceleme alanında, devamlılığı inceleme alanının dışında da devam eden Sağ yanal doğrultu atımlı (K55B) ve yaklaşık atımı 1400 m olan doğrultu atımlı fay tespit edilmiş olup “Taşkent-Ermenek Fayı” olarak adlandırılmış, ayrıca Oduncu Fayı da adlandırılarak haritalanmıştır.

4. KAYNAKLAR

1. Blumenthall, M., 1944. Schichtfolge und Bauder Taurusketten im Hinterland Von Bozkır: Rev. Fak. Sc. Üniv., İstanbul, Serie B,t. IX, fasc., 2.
2. Blumenthall, M., 1951. Batı Toroslar’da Alanya Ark Ülkesinde Jeolojik Araştırmalar: M.T.A. Derg., S.D, No. 5, Ankara.
3. Blumenthal, M., Göksu, E., 1949. Akseki Civarındaki Dağlarda Boksit Zuhurati, Bunların Jeolojik Durumu ve Jenezi Hakkında İzahat (Die Bauxit-Vorkommen der Berge um Akseki Erörterungen Über İlire Geologische Position, Ausmasse und Genese): MTA yayınları, Ankara, Seri B, No: 14, 59.
4. Özgül, N., 1971. Orta Toroslar’ın Kuzey Kesiminin Yapısal Gelişiminde Blok Hareketleri’nin Önemi: T.J.K. Bült.c. XIV, Sayı: 1, Ankara.
5. Özgül, N., 1976. Torosların Bazı Temel Jeoloji Özellikleri T.J.K. Bült. Ankara, 19, 5-78.
6. Demirtaşlı, E., 1967. Pınarbaşı-Sarız-Mağara İlçeleri Arasındaki Sahanın Litostratigrafi Birimleri ve Petrol İmkanları: M.T.A. Der. Rap. No. 3489. Ankara.
7. Demirtaşlı, E., 1978. Carboniferous of the Area Between Pınarbaşı and Sarız (in) Guide Book of Field Excursions of the Carboniferous Stratigraphy of Turkey: Spec. Publ. M.T.A., Ankara.
8. Uğuz, M.F., 1989. Silifke-Ovacık Gülnar (İçel İli) Arasının Jeolojisi: İstanbul Üniv. Fen Bilimleri Enst. Jeoloji Müh., Genel Jeoloji Prog., Doktora Tezi, Doktora Tezi, İstanbul, 172.
9. Demirtaşlı, E., Turhan, N., Bilgin, A.Z. ve Selim, M., 1975. Bolkardağlarının Jeolojisi: Cumhuriyetin 50. Yılı Yer Bilimleri Kongresi tebliğleri, MTA Yayl., 42-47.
10. Uğuz, M.F., 1994. Karaman-Hadım Dolayının Jeolojisi: MTA Derl. Rap. No: 9722.
11. Özgül, N., Gedik, I., 1973. Orta Toroslar’da Alt Paleozoyik Yaşta Çaltepe Kireçtaşı ve Seydişehir Formasyonu’nun Stratigrafisi ve Konodont Faunası Hakkında Yeni Bilgiler: T.J.K. Bült., Ankara, 16, 2.
12. Aşık, Ö., 2009. Çetmi-Bolay Civarının (Taşkent D-GD’su-Konya) Tektono-Stratigrafisi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 50.
13. Turan, A., 1990. Korualan ve Bağbaşı (Hadim-Konya) Arasındaki Bölgenin Yapısal Özellikleri: DEÜ Müh. Fak. Fen ve Müh. Derg., Konya, 2(3), 51-65.
14. Turan, A., 1995. Bağbaşı-Korualan (Hadim-Konya) Kasabaları Arasındaki Otokton ve Allohton Serilerin Ayrıntılı Stratigrafisi ve Jeolojik Evrimi”, S.Ü. Araştırma Projesi, No: MMF-92-108, 60.
15. Turan, A., 1997. Bağbaşı-Korualan Kasabaları (Hadim-Konya) Arasındaki Otokton ve Allohton Birliklerin Stratigrafisi, S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg., 12(1), 46-62.
16. Metin, S., 1983. Doğu Toroslar’da Derebaşı (Develi), Armutalan ve Gedikli (Saimbeyli) Köyleri Arasının Jeolojisi, Doktora Tezi,

- İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
17. Demirtaşlı, E., 1967. Pınarbaşı-Sarız-Mağara İlçeleri Arasındaki Sahanın Litostratigrafi Birimleri ve Petrol İmkanları: M.T.A. Der. Rap. No. 3489. Ankara.
 18. Demirtaşlı, E., 1978. Carboniferous of the Area Between Pınarbaşı and Sarız (in) Guide Book of Field Excursions of the Carboniferous Stratigraphy of Turkey: Spec. Publ. M.T.A., Ankara, 25-29.
 19. Turan, A., 2000. Karaköy (Gündoğmuş)-Hadim Arasındaki Toroslar'ın Stratigrafisi, Dokuz Eylül Üniv. Müh. Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi, 4, 61-89.
 20. Özgül, N., 1984. Stratigraphy and Tectonic Evolution of The Central Taurides, Geology of the Taurides, Interna. Symp., Ankara, 77-90.
 21. Özgül, N., 1997. Bozkır-Hadim-Taşkent (Orta Toroslar'ın Kuzey Kesimi) Dolaylarında Yer Alan Tektono-Stratigrafik Birliklerin Stratigrafisi. MTA Enst. Derg. 119, 117-174.
 22. Turan, A., 1997b. Göksu Vadisi Boyunca Yüzleyen Miyosen Öncesi Tektono-stratigrafik Birliklerin Stratigrafisi, Silifke Batısı (İçel), Geosound Yerbilimleri Derg., 30/2, 855-874.
 23. Aksu, T., 2009, Gülpınar - Afşar (Taşkent K-Kd' Su, Konya) Tektono-Stratigrafisi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana, 86.
 24. Monod, O., 1977, Recherches Geologiques Dans le Taurus Occidental au Sud de Beyşehir (Turquie); Univ. Paris-Sud, C.d'Orsay, Docteur Essciens, 442.
 25. Mackintosh P.W., Robertson A.H.F., 2012, Sedimentary and Structural Evidence for Two-phase Upper Cretaceous and Eocene Emplacement of the Tauride Thrust Sheets in Central Southern Turkey, Geological Society, London, Special Publications, 372, 299-322.
 26. Andrew T., Robertson A.H.F., 2002, The Beyşehir-Hoyran-Hadim Nappes: Genesis and Emplacement of Mesozoic Marginal and Oceanic Units of the Northern Neotethys in Southern Turkey, Journal of the Geological Society, 159, 529-543.

PLC Kontrollü Kurutucu Konveyör Tasarımı

Orçun KÜÇÜKATAY^{*1}, Ercan KÖSE², Zehra YILDIZ³

¹Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Bölümü, Mersin

²Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin

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

Geliş tarihi: 05.03.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Öz

Güneşle kurutma yönteminin dezavantajların ortadan kaldırılması için endüstriyel ortamda kurutma sistemleri geliştirilmiştir. PLC kontrollü kurutucu konveyör tasarımı, hiçbir elektriksel kaynak kullanılmadan tamamen çevreci bir şekilde gıdaların doğal güneş ışığını kullanarak kurutulması amaçlanmış ve sistem tasarlanmıştır. PLC kontrollü kurutucu konveyör sistemi, şeffaf bir materyalle üzeri kapatılmış dikdörtgen prizma şeklinde bir kurutma kabinden oluşmaktadır. Sisteme nem ve sıcaklık sensörleri ile ağırlık ölçer eklenmiş ve sistemin PLC ile kontrolü sağlanmıştır. Sistemde 1 saniyelik periyotlarda sıcaklık, nem ve kurutulan maddedeki ağırlık değişimleri algılanarak PLC hafızasına kaydedilmektedir. Tüm kurutma parametreleri algılayıcılar vasıtasıyla izlenip kaydedilerek cihazın kurutma performansı ve çevresel faktörlerdeki değişim, PLC hafızasında depolanan sayısal datalar vasıtasıyla PLC üzerinden grafiksel olarak izlenebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: PLC, Gıda, Kurutma, Sistem tasarımı

PLC Controlled Dryer Conveyor Design

Abstract

Drying systems have been developed for industrial applications in order to eliminate the disadvantages of the sun drying method. In the PLC controlled dryer conveyor design, it is aimed to dry foods using natural sunlight in a completely environmentally friendly way without using any electrical sources. Dryer conveyor system with PLC controlled consists of a rectangular prism shaped drying cabinet covered with a transparent material. Humidity and temperature sensors and a weight meter were added to the system and thus the system was controlled by PLC. In the system, temperature, humidity and weight changes in the dried material are detected and recorded in the PLC memory in 1 second periods. All drying parameters are monitored and recorded by sensors and saved in PLC memory. Drying performance of the device and the change in environmental factors can be graphically monitored via PLC with the help of recorded numerical data.

Keywords: PLC, Food, Drying, System design

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Orçun KÜÇÜKATAY, okucukatay@gmail.com

1. GİRİŞ

Ürün kalitesinde bozulma olmadan meyvelerin, sebzelerin ve yiyeceklerin uzun süre saklanması çok önemlidir. Gıda ürünlerini korumak için endüstriyel ölçekte bazı proses teknolojileri kullanılmaktadır. Bu proseslerden en yaygın ve ekonomik olanı kurutma tekniğidir. Bu tekniğin tercih edilmesinde en önemli kistas; kurutma masrafları, kurutma süresi ve kurutulmuş ürünlere verilen zararı azaltabilecek enerji kullanımı ve üretilen gıda maddelerinin kalitesidir [1]. Kurutma işlemi, gıdadan suyun uzaklaştırılarak uzun süreli depolama için gıdanın uygun şartlara getirilmesi işlemidir. Kurutma ile gıda ürünlerinin dayanıklılığının artırılması sağlanır. Ayrıca kurutma işlemi sonucunda gıdalar, içeriğindeki nem miktarı düştüğünden depolama işlemi için gereken hacimsel büyüklük de azalmaktadır.

Bu çalışmada, mevsimsel koşullardan dolayı erik meyvesi mevsiminde kurutulmuş ve değerler tespit edilmiştir. Sistemde güneş ışınlarının kapalı mekanizma içerisindeki gıda ürünlerine direkt olarak ulaşması ürünlerin daha kısa süre içerisinde neminin alınmasına olanak sağlamıştır. Kapalı kabin içerisi sıcaklığı, dış mekân sıcaklığının 10-15 °C üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca Kurutma ünitesine gıda ürünlerinin ilk yerleşimi ve kurutma işlemi sonrası tahliyesi için konveyör sistemi yerleştirilmiştir. Konveyör sistemi sayesinde kurutulan ürünlerin daha kısa süre içerisinde tahliye edilmesine olanak sağlanması hedeflenmiştir. Bu çalışmada kurutucu konveyör sistemi (KKS) tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. KKS, doğrudan (pasif) güneş enerjili kabin tipi kurutma sistemidir. Eksenel fan yerleştirilmiş sistemde, kurutma kabininin üzeri cam kaplı yalıtımlı olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Kabin içine hız kontrollü taşıyıcı konveyör bant yerleştirilmiştir. Konveyör bant vasıtasıyla otomatik olarak belli bir hızda ilerleme sağlanabilmekte ve ürünün yüklenmesi ve boşaltılması yapılabilmektedir. Bir kütle ölçer sayesinde ürünün ilk kütlesi, kurutma işlemi esnasında belli aralıklarla kütle takibinin yapılmasına izin vermektedir. Ayrıca kütle ölçümü, kurutma işlemleri için çok önemli olan takip işleminin gerçekleştirilmesini de sağlamıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

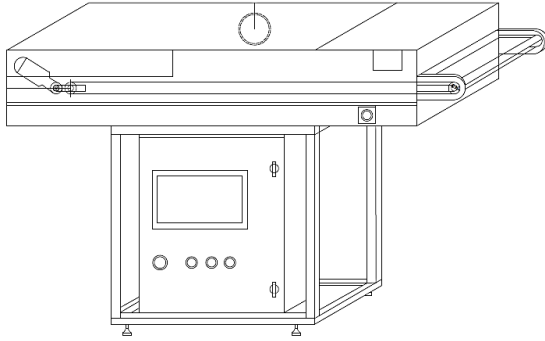
Bayhan (2004), 40 °C'den 70 °C'ye değişen sıcaklıkta 0,8-1,5 m/s hava hızlarında ızgara altından yapılan üfleme ve 60 °C sıcaklıkta aynı hava hızında ızgara üstünden üfleme olmak üzere iki farklı kabin tipi kurutucuda eşit miktardaki aynı cins nane numunelerini kurutma işlemine tabi tutarak kurutma sürecini etkileyen parametreleri karşılaştırmış ve grafiksel olarak incelemiştir [2]. Along ve Hammed (2007) kolektörün eğim açısı konuma ve mevsime göre değişebilecek doğrudan pasif bir güneş kurutucuyu mevcut yerel malzemeler kullanılarak tasarlamışlar ve test etmiştir. %62'lik (ıslak bazda) başlangıç nem içeriğinde 2,16 kg kütlesinde iplik yongası, yatayla 260°'lik bir açı yapacak şekilde yerleştirilen güneş kurutucusunda kurutularak, nem içeriği %11,11'e (ıslak bazda) düşürülmüştür [3]. Akdeniz (2011), sultani çekirdeksiz üzüm çeşidi için geleneksel yöntemlerle güneşte kurutma işlemi hakkında bilgiler vermiştir [4].

Yıldız ve Gökayaz (2019) çok raflı güneş enerjili kurutucu ile elma kurutmuşlar ve kurutma süresi, dilim kalınlığı ve tepsie yüklenen dilimlerin kütlesi gibi kurutma parametrelerini Yanıt Yüzey Yöntemi ile optimize etmişlerdir. En fazla nem kaybı ve büzülme oranı minimum kuruma hızı için kurutma süresi 159-274 dakika, tepsie yüklenen elma dilimlerinin kütlesi 92,86-105,72 g ve elma dilim kalınlığı 6,48-6,667 mm olarak bulmuşlardır [5].

Gürel ve arkadaşları (2016), kurutma öncesi işlemlerin ürünlerin hazırlanmasını, ön işlemleri, nem içeriklerinin belirlenmesi aşamalarını kapsadığını; kurutma sonrası analizlerin ise, ürünün renk, doku, büzülme, gözeneklilik, tat, su aktivitesi, rehidrasyon, raf ömrü, besin değerleri vb. değerlendirmeleri kapsadığını belirterek gıda kurutulması işlemleri sırasında uygulanan kurutma prosedürlerini incelemiştir [6]. Güngör (2013), kurutucu içinde sürekli bir iletim bandında hareket ettirilen gıda maddesine sıcak kurutma havası üflenerek kurutulmasını sağlamıştır [7].

3. MATERYAL VE METOT

Şekil 1’de Kurutma Sistemine ait perspektif resim verilmiştir. Sistem; kurutma kabini, şeffaf malzeme, konveyör ve bant, endüstriyel kontrol malzemeleri ve sensörler, tartım platformundan oluşur.

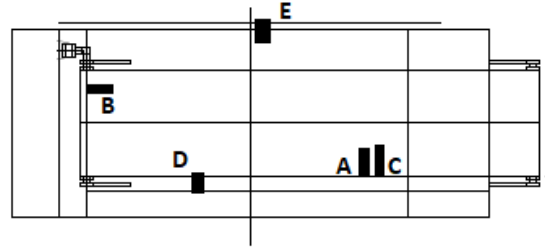


Şekil 1. Kurutma sisteminin perspektif resmi

Kurutma sistemi tasarımının en önemli parçası olan kurutma kabini, 2 mm sac levhalar kullanılarak imal edilmiştir. Üst tarafı kurutulacak gıdaların direkt güneş ışığına maruz kalması için şeffaf malzeme ile kaplanmıştır. Kurutma kabini ölçüleri 141 cm uzunluk, 55 cm genişlik, 15 cm yükselti olacak şekilde tasarlanmıştır. Kurutma ünitesi tabanına konveyör bant yerleştirilmiştir. Konveyör bant, gıdaları yerleştirmek ve kurutmakta sonunda da tahliye işlemini gerçekleştirmektedir. Ayrıca kurutma kabini içerisindeki sıcaklık ve nem değerlerinin algılanması için iki adet sıcaklık algılayıcı ve 1 adet nem algılayıcı kullanılmıştır.

Şekil 2’de kurutma kabininin üstten görünüşü verilmiştir. Resim üzerindeki A ve B: kabin içi sıcaklık algılayıcıları, C: kabin içi nem algılayıcısı, D: hava deliği E: emiş fanını temsil etmektedir.

Konveyör sistemi ve otomasyon üniteleri platform üzerine montajlanmıştır. Sistem üzerinde konveyör sisteminin yönüne göre sol taraftan meyveler yerleştirip sağ taraftan ise kurutulmuş meyveler tahliye edilecektir. Kurutma sisteminin ana kaidesinin imalatı için metal sac ve profiller kullanılmıştır.



Şekil 2. Kurutma kabininin üstten görünüşü

Şekil 3’te Tartım platformu ve ağırlık ölçerin montaj edilmiş görünümü verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ana kaidenin altında bulunan tartım ünitesinin merkezine bir adet ağırlık ölçer (loadcell ünitesi) yerleştirilmiştir. Kurutma süresi boyunca kurutulan numunelerin ağırlık verileri saniyelik olarak kaydetmektedir. Özel olarak tasarlanan bu tartım platformu 50 cm x 60 cm x 12 cm ölçülerindedir.



Şekil 3. Tartım platformu ve ağırlık ölçerin montaj edilmiş görünümü

Şekil 4’te görüldüğü gibi kurutma sisteminin arka kısmında ortam havasının nemini ölçen nemölçer ve emiş fanı bulunmaktadır. Kurutma ünitesindeki nem saniyelik olarak ölçülmekte ve PLC hafızasına kaydedilmiştir. Ayrıca PLC kontrollü kurutucu konveyör kurutma sisteminin imalatının yapılmış hali Şekil 5’te gösterilmiştir. Görüldüğü gibi kurutma işleminin kontrolü ve sayısal takibini yapmak için bir izleme ekranı sistem kaidesinin gövdesine monte edilmiştir.

Sistem içi sıcaklıkları ölçmek için, iç sıcaklık algılayıcılar kabin içine, dış ortam sıcaklığını ölçmek için dış sıcaklık algılayıcılar kabin üzerine

PLC Kontrollü Kurutucu Konveyör Tasarımı

yerleştirilmiştir. Kabin içi nemi algılamak için nem sensörü kabin içine yerleştirilmiştir. Kabin altına ağırlık ölçerler kullanılarak kurutma süresince kurutulan maddedeki ağırlık değişimleri algılanmıştır. Saniyelik olarak algılanan datalar PLC hafızasında kayıt altına alınmaktadır. Böylece kurutma işlemi boyunca iç ve dış sıcaklık ve nem değişimleri, kurutulan maddedeki ağırlık değerleri izlenerek kayıt altına alınabilmektedir. Ayrıca hafızadaki sayısal değerlerin değişimleri ve sistemin kurutma performansı zamana ve çevresel faktörlere göre değişimi grafiksel olarak izlenebilme imkânı vermektedir.



Şekil 4. Kurutma sisteminde nemölçer ve emiş fanı görünüşü



Şekil 5. PLC kontrollü kurutucu konveyör tasarımı

PLC kontrollü kurutucu konveyör sistemi kurutma deneyleri deniz seviyesinden 110 m yükseklikte, etrafı 0,9 m dış bir çatı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hava akımının rahat bir şekilde gerçekleşmesi için cihaz dış duvardan

0,7 m uzaklıkta bir noktaya konumlandırılmıştır. Cihazın geniş olan cephesi güneşten radyasyonla olan ısı transferini en üst seviyeye çıkartabilmek için güney yönüne doğru konumlandırılmıştır.

Şekil 6'da PLC operatör panelinde sensör ekranı gösterilmiştir. Sistemin kontrolü için kullanılan ve ekran görüntüsü verilen sensörlerden elde edilerek oluşturulan sayısal değerleri takip etmek için "Sensör Değerleri" sayfası bulunmaktadır. Bu sayfa aracılığıyla ölçülen anlık değerlerin sürekli olarak izlenmesi sağlanmıştır. Gözlemlenen veriler aynı zamanda sistem hafızasına kaydedilmektedir.

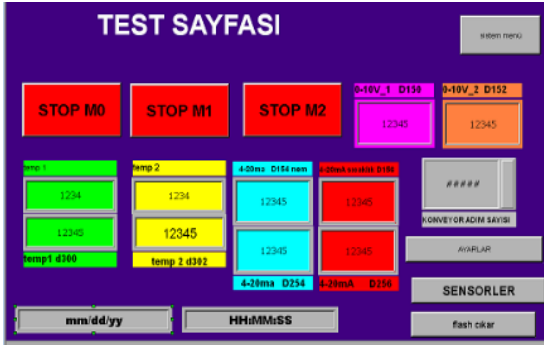


Şekil 6. PLC kontrollü kurutucu konveyör tasarımı

Operatör paneli üzerinde sıcaklık_1 ve sıcaklık_2 algılayıcıları kurutma ünitesi iç sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır. Ayrıca dış ortam sıcaklık algılayıcısı ile dış ortam sıcaklığı ölçülmüştür. Sistemde iki adet bağıl nemölçer kullanılmıştır. Bunlardan biri dış ortam, diğeri ise kabin içi bağıl nem değerini ölçmektedir. Kurutma işlemlerinin gerçekleştirildiği süre içerisinde eksenel fan sürekli çalıştırılmaktadır.

Yapılacak testin veri kayıtlarının tutabilmek için bir ara yüz yazılımı kullanılmıştır. Ara yüz yazılımı Şekil 6'da görünen test sayfası aracılığı ile sistemin ayarlanması ve kurutma işleminin izlenmesi için kullanılmıştır. Ekran üzerinde bulunan konveyör adım sayısı ekranında ise konveyör bant üzerinde bulunan encoderin adım sayısını belirlemek için kullanılır. Konveyör üzerindeki encoder meyvelerin yüklenmesi ya da kurutulan ürünlerin tahliyesinde konveyörün ileri

yönde hareket değerinin istenilen değerde hassas olarak ayarlanması amacı ile kullanılmaktadır. Şekil 7’de kurutma sisteminin izlenmesi ve kontrol edilmesi için test ekranı verilmiştir.



Şekil 7. PLC kontrollü kurutucu konveyör tasarımı

Su içeriği ve gerekse su aktivasyonu bakımından çok yüksek değerlere sahip erik meyvesinin kurutulması için hasat işleminin yapıldığı ilk günler olan Eylül ayında kurutma yapılmıştır. Kurutma işlemine başlamadan önce kabin içine yarım erik materyalleri Şekil 8’de görüldüğü gibi konveyör bant üzerine yerleştirilmiştir. Birbirine temas etmeksizin yerleştirilmiş erik materyali güneşin olduğu saatlerde kurutma işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 8. Kurulacak olan erik numunelerinin kabin içinde yerleşimi

Kurutma işlemi güneşin yoğun olduğu saatlerde yapılmıştır. Deneyler günlük ortalama 8 saat olmak üzere 7 gün sürmüştür. Erik numunelerinin kurutma işlemi sonundaki görünümü Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9. Numunelerin kurutma işlemi sonundaki görünümü

4. SİSTEM TASARIMINDA KULLANILAN ALGILAYICILAR VE EKİPMANLAR

4.1. Ağırlık Ölçer

Ağırlık ölçer olarak loadcell kullanılmıştır. Loadcell’in teknik özellikleri Çizelge 1’de listelenmiştir.

4.2. Kullanılan Algılayıcılar

Kurutma sisteminin sıcaklıklarının kabin içi ve dışı sıcaklık ölçümü için 3 adet sıcaklık algılayıcı sisteme yerleştirilmiştir. Algılayıcı olarak Şekil 10’da gösterilen bayonet j tipi termokupl seçilmiştir. Çizelge 2’de sıcaklık algılayıcılarının teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 10. Sıcaklık algılayıcısı [9]

Çizelge 1. Ağırlık ölçerin (loadcell) teknik özellikleri [8]

Özellik	Açıklama
Kapasite:	50 kg
Doğruluk sınıfı:	C3
Minimum yük:	0 kg
Maksimum bölüntü sayısı:	3000
Minimum ölçüm aralığı:	10000
Toplam hata:	0,02 % FS
Çıkış kazancı:	2,00 ± 0,01mV/V
Sıfır balansı:	±1 %FS
Giriş direnci:	400 Ω ± 20 Ω
Çıkış direnci:	352 Ω ± 3 Ω
İzolasyon direnci:	≤5000 MΩ (100VDC)
Çalışma sıcaklık aralığı:	-30~+70 °C
Tavsiye edilen uyarma gerilimi:	10 VDC
Maksimum uyarma gerilimi (u _{max}):	15 VDC
Aşırı yükleme kapasitesi:	120 % FS
Kırılma yükü:	200 % FS
Koruma sınıfı:	IP 65
Yük hücresi malzemesi:	Alüminyum
Kablo:	4x0,22 mm ²

Çizelge 2. Sıcaklık algılayıcıların teknik özellikleri [9]

Özellik	Açıklama
Maksimum çalışma sıcaklığı:	Çelik örgü kablo için 400 °C
Standart kablo türleri:	Cam elyaf + cam elyaf + çelik örgü, 2x 0,22 mm
Sensor tipi:	DIN/IEC-584 "J" FeCu-Ni E= J,
Koruyucu kılıf malzemesi:	Nikel kaplı pirinç
Konektörü:	1/4 x 19"

4.3. Nem Ölçerler

Sistem üzerinde monteli nem algılayıcılarından bir tanesi dış ortam, diğeri ise kabin içerisindeki kurutulacak gıdaların bulunduğu ortamın bağıl nem değerini analog sinyallere dönüştürüp PLC üzerinde sayısal değerler elde etmek için kullanılmıştır. Elektriksel çıkış olarak 0-10V ya da

4-20 mA çıkış verebilmektedirler. Şekil 9'da nem ölçerin cihaz üzerindeki görünümü verilmiştir. Şekil 11a'da Pronem nemölçer verilmiştir. Çizelge 3'te kullanılan nemölçerlerin teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 11. (a) Pronem nem ölçer [10] (b) Dixel nem ölçer [11]

Çizelge 3. Pronem nem ölçerin teknik bilgileri [10]

Özellik	Açıklama
Ölçüm aralığı (rh):	0...100 %RH
Ölçüm aralığı (t):	-20...+80 °C
Doğruluk (RH):	+/- 2 %RH (Typ) at 23 °C
Doğruluk (T):	+/- 0,3 °C (Typ) at 23 °C
Kararlılık (RH):	<0,5 %RH/yıl (Typ)
Kararlılık (T):	<0,04 °C /yıl (Typ)
Analog çıkış sinyali doğruluğu (gerilim):	+/- % 0,1
Analog çıkış sinyali doğruluğu (akım):	+/- %0,5
Çalışma sıcaklığı aralığı:	-40°C...+85°C

Şekil 11(b)'deki nemölçer, bulunduğu ortamdaki bağıl nem değerini 0-10V ya da 4-20 mA analog sinyallere dönüştürmektedir. Güç kaynağı olarak 9-18V DC veya 15-35V DC/ 12-24V AC kullanılabilir. Doğruluk değeri ±%3, çalışma sıcaklığı aralığı; 0-70 °C (32-158 °F)'dir. Bağıl nem ölçümü %0-99 aralığındadır [11].

4.4. Operatör Paneli

PLC kontrollü kurutucu konveyör sistemi üzerinde kullanılan dokunmatik operatör paneli, ekran üzerinden sistemin izlenmesi, konveyör bandın çalıştırılması, sıcaklık, nem değerleri ve kütle

bilgilerinin belirli periyodlar ile kayıt altına alınması için kullanılmaktadır. Operatör paneli sayesinde sistem üzerinde bulunan tüm algılayıcı değerleri, ekran üzerinden anlık olarak izlenebilmektedir. Çizelge 4'te dokunmatik panelin teknik özellikleri listelenmiştir.

Çizelge 4. Dokunmatik panelin teknik özellikleri [12]

Özellik	Açıklama
Ebat:	10,1" (1024 x 600 piksel) TFT LCD 65536 renk
Bağlantı noktası:	3 set COM bağlantı noktası, destek RS232 / RS422 / RS485
Koruma:	Dokunmatik ekran IP65 ile uyumludur
Besleme gerilimi:	24 V DC
Kullanım yönü:	Yatay / dikey ekranı destekler

4.5. PLC Cihazı



Şekil 12. PLC cihazı [13]

Sistemin kontrolü için kullanılan 16 giriş 12 çıkışlı PLC cihazı Şekil 12'de gösterilmiştir. PLC cihazı kurutma cihazı üzerinde bulunan konveyör bandın hareketini sağlamak, cihaza bağlanan algılayıcıların değerlerinin elektriksel olarak işlenmesi ve operatör bandına verilerin aktarılması amacıyla kullanılmıştır. Sistemde kullanılan PLC cihazının teknik özellikleri Çizelge 5'te listelenmiştir.

Çizelge 5. PLC cihazının teknik özellikleri [13]

Özellik	Açıklama
Çalışma kontrol metodu:	Saklı program, saykıl tarama sistemi
Giriş Sayısı:	16
Çıkış Sayısı:	12
Program Kapasitesi:	15872 Step
Besleme Voltajı:	24 VDC
Timer:	256
Sayıcı:	16 bit 256

4.6. Analog Giriş Modülü

PLC cihazları sıcaklık ve nemölçerlerden gelen elektriksel sinyalleri direkt olarak işleyemezler. Algılayıcıların değerlerinin elektriksel olarak işlenmesi için PLC cihazlarının analog sinyal işleyicilerine ihtiyacı vardır. Bunun için Şekil 13'te gösterilen 4 kanallı analog giriş modülü kullanılmıştır [14]. Analog giriş modülleri girişlerine bağlanan 0-10V ya da 4-20 mA çıkışlı algılayıcıların PLC ile iletişimini sağlayarak PLC cihazının algılayıcılarından gelen bilgileri okumasını sağlarlar.



Şekil 13. Analog giriş modülü [14]

4.7. Tartım İndikatörü

Şekil 14'te verilen tartım indikatörü, PLC cihazı ile tartım platformu arasındaki elektriksel ilişkiyi sağlamaktadır. Tartım platformları üzerinde bulunan loadcell cihazlarının ürettikleri sinyaller direkt olarak PLC cihazına bağlanamazlar. PLC cihazları ile tartım platformları arasındaki elektriksel uyumu sağlamak için tartım indikatörleri kullanılmıştır. Tartım indikatörü platformdan gelen sinyalleri işleyerek PLC'ye göndermektedir. Çizelge 6'da tartım indikatörünün teknik özellikleri listelenmiştir.



Şekil 14. Tartım indikatörü [15]

Çizelge 6. Tartım indikatörünün teknik özellikleri [15]

Özellikler	Açıklama
Doğruluk	0,0003
Statik tartım hassasiyeti	%0,2~%0,5
Gösterge	5 digit kırmızı led
Tartım kapasitesi aralığı	1~99,999
Ekran çözünürlüğü	1/50.000
Ekran yenileme hızı	0,01~1,00s
Seçilebilir yük hücresi sinyali	mV, V ve mA
Sinyal giriş aralığı	0~19,5mV
Örnekleme frekansı	1280 Hz
Çalışma gerilimi	DC24V±%20
Koruma	IP65

4.8. PID Kontrol Cihazı

Şekil 15'te sıcaklık kontrol cihazı olarak kullanılan kontrol ünitesi görülmektedir. Çizelge 7'de kontrol ünitesinin teknik özellikleri listelenmiştir. Kontrol ünitesinin besleme gerilimi 24VDC şeklinde olup sıcaklık algılama için J tipi termokupl kullanılmıştır.



Şekil 15. Kontrol cihazı [16]

Çizelge 7. Kontrol cihazının teknik özellikleri [16]

Özellikler	Açıklama
Sensor girişi:	Termokupl/PT100/0~5 V/ 0~10 V/0~20 mA/4~20 mA/ 0~50 mV
Kontrol çıkışı:	Röle+Röle/4~20 mA/0~10 V/ SSR (Voltaj Pulse)
Kontrol tipi:	ON-OFF/PID/Manuel/PID Program Kontrol
Haberleşme:	Dahili RS485 Modbus ASCII/RTU

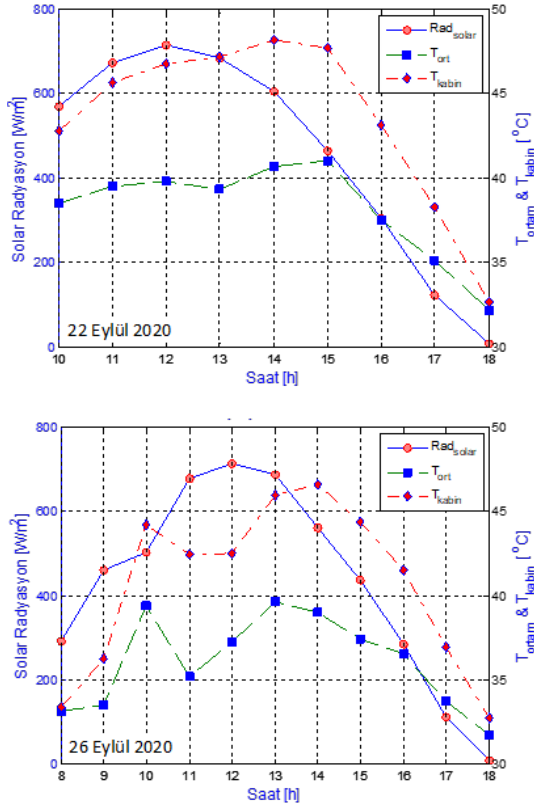
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sebze ve meyve kurutma amaçlı taşıyıcı konveyör bantlı kabin tipi direkt pasif güneş enerjili kurutma sistemi prototip olarak tasarlanarak, imalatı yapılmıştır. Tasarlanan sistemin kabin üstüne güneş uygulamalarına uygun cam kaplanmıştır. Hava sirkülasyonu için 100 m³/h kapasiteli eksenel fan eklenmiş ve emiş menfezi açılmıştır.

Kurutulacak numuneler ilk önce yıkanmış, tasnif edilmiş ve ikiye bölünerek çekirdekleri çıkarılmıştır. Çekirdekleri çıkarılan numuneler kuruma kabin içerisindeki konveyör bant üzerine düzgün aralıklarla yerleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar, havanın durumuna göre günün ilk ışıklarının etkin olduğu saatlerinde başlatılmış ve gün sonunda sonlandırılmıştır.

Kurutma süresi en az 3 veya dört gün süreceği öngörülmüş olmakla birlikte havanın durumuna (güneşli, bulutlu, yağmur gibi) göre kurutma performansı değişiklik göstermiştir. Kurutulmuş eriğin, yemeye hazır gıda olarak tüketilmesi öngörüldüğü için $MC_{wb}=\%45$ olarak yeterli görülmüştür. İstenilen değer altında kurutma için güneş radyasyonunun Eylül ayı sonlarına doğru yeterli olmamasından dolayı, daha düşük MC_{wb} değerine ulaşılması pratikte de mümkün olmadığı görülmüştür. Uzun süreli ve yüksek sıcaklıkta kurutma erik için önerilmediğinden daha uzun kurutma deneyi uygun görülmemiştir.

Her gün yapılan kurutma deneyi esnasında elde edilen veriler ile çizilen grafiklerden de anlaşılacağı üzere güneş radyasyonu, ortam ve kabin sıcaklığı arasında anlamlı bir ilişki vardır (Şekil 16). Güneş radyasyonu etkisiyle ortam sıcaklığı ve kabin içi sıcaklığı değişmektedir.

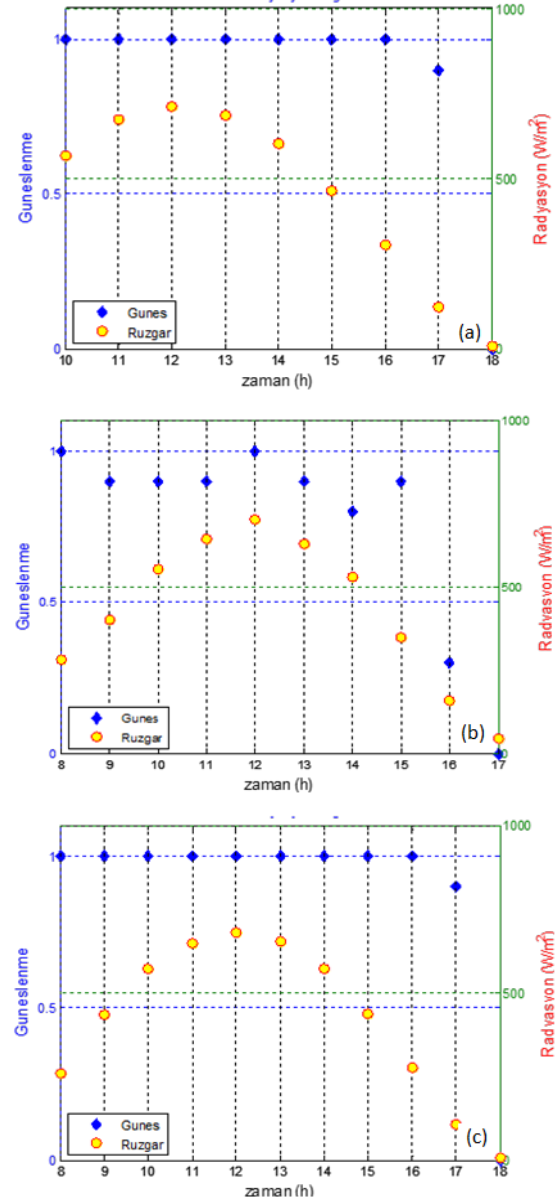


Şekil 16. 22 ve 20 Eylül günlerine ait güneş radyasyonu, ortam ve kabin sıcaklık değerleri

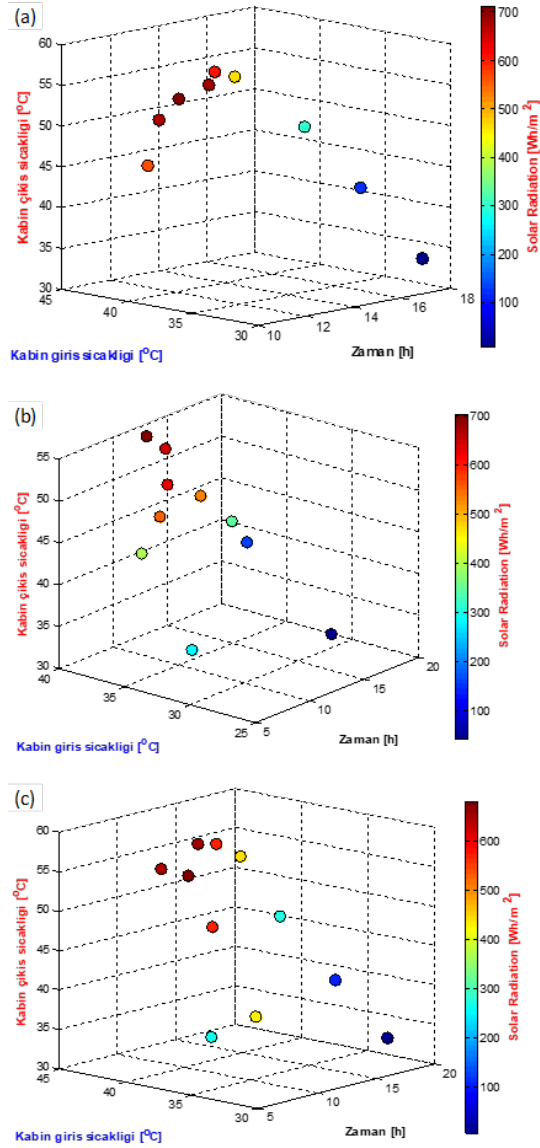
Şekil 17'de yeryüzünün güneşlenme oranı ile güneş radyasyonu arasındaki bağıntıyı görmek mümkündür. Her gün için ayrı ayrı çizilmiş grafiklerde bulutlanmanın artmasıyla yatay yüzeye gelen radyasyon oranının azaldığı anlamlı olarak görülmektedir.

Şekil 18'de dört boyutlu olarak bilinen radyasyonun şiddetini gösteren renkli dairesel çizim ve renkli dolgulu çizimlerde, kabin giriş, çıkış, zaman ve radyasyon arasındaki bağıntılar her

gün için gösterilmektedir. Güneş radyasyonu arttıkça, kabin giriş ve çıkış sıcaklığının artmasından da anlaşılacağı üzere kurutma sistemi, enerjiyi soğurma konusunda iyi tasarlanmış ve imalatı yeterli seviyede yapılmıştır.



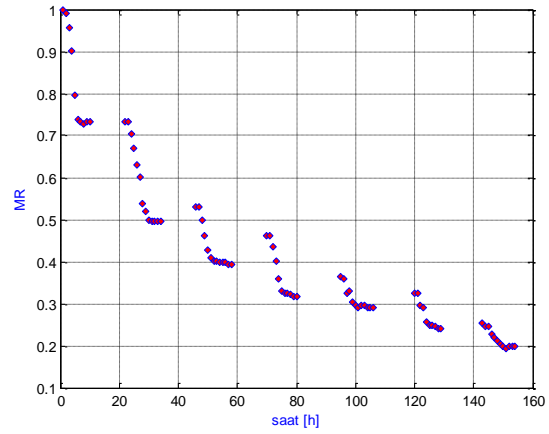
Şekil 17. Kurutma işleminin (a) 1., (b) 4. ve (c) 7. günlerinde, bulutlanma ile güneş radyasyonu arasındaki etkileşim



Şekil 18. Kurutma işleminin (a) 1., (b) 4. ve (c) 7. günlerinde, kabin giriş, çıkış, zaman ve radyasyon arasındaki bağıntılar

Kurutma sisteminin performansını değerlendirme ölçütlerinden biri olan kurutma oranları (MR) her gün için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kurutma için bir günlük sürenin yeterli olmamasından dolayı, sadece güneş enerjisinden faydalanılacağı için aralıklı (kesikli) kurutma yapmak bir

zorunluluktur. Ayrı ayrı grafiklerle kesikli kurutma oranlarını toplu olarak görmek fayda olacağı için Şekil 19'da her güne ait MR'lerin toplu olarak çizimi görünmektedir.



Şekil 19. Yedi günlük kurutma periyotlarının MR değerleri

Şekil 19'dan da anlaşılacağı üzere kurutma yapılan her günün sonunda kurutma hızı güneş radyasyonuna bağlı olarak anlamlı olarak azalmakta ve neredeyse hiç kurutma olmamaktadır. Eğer daha hassas bir ölçüm yapılabilsen, az miktar radyasyonun ve hava akımının sayesinde biraz daha kurutmanın olduğu görülecektir. Her güne ait kurutma periyodunun ardından yapılan ölçümlerde, yarı kurutulmuş materyalin kütlede farklı oranlarda artış gözlemlenmiştir. Bunun sebebi yarı kurutulmuş mamullerin, denge nem içeriğine gelene kadar nem alabilmeleridir. Bunu önlemek için kurutma proseslerinde kurutma kabini ile dış ortam hava izolasyonunun iyi olarak yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerek su içeriği ve gerekse su aktivasyonu bakımından çok yüksek değerlere sahip erik meyvesinin kurutulması için hasat işleminin yapıldığı ilk günler olan ağustos ayında kurutma yapılmasının daha iyi olacağı bu çalışmadan anlaşılmıştır. Aynı sistemin diğer meyve ve sebzelerde bazı değişiklikler ile yapılması

durumunda daha iyi sonuçlar elde edilebileceği bu çalışmadan anlaşılmaktadır.

Kurutma işlemi için en uygun çevresel koşullar daha kuru ortam ile daha yüksek rakımlı yerde kurutma yapılması kurutma sistemi performansını daha da artıracaktır. Bilindiği gibi nispeten bağıl nemi daha düşük olan yüksek rakımlı yerlerde bu kurutma işleminin yapılması durumunda sistem verimliliğinin anlamlı bir şekilde artacağı hesaplanan değerlerden anlaşılmaktadır. Bunun nedeni yüksek rakımlı yerlerde kurutma havasının nispi nemi daha düşük olmakla birlikte yatay yüzeye gelen güneş radyasyonunun daha fazla olmasıdır. Kurutma işlemlerinin özellikle nemin yüksek olduğu yaz aylarında, bağıl nemin nispeten daha düşük olduğu yüksek rakımlı yerlerde yapılmasının daha iyi sonuçlar vermesinden dolayı yüksek rakımlı, düşük nemli ve yüksek radyasyonlu yerler önerilmektedir.

Diğer yandan yapılan bu çalışmanın önemli özelliklerinden olan konveyör taşıyıcı bandın otomasyonu ile daha hijyenik koşullarda yükleme ve boşaltma yapılma imkânı sunulmaktadır. Ayrıca bant ilerleme hızının kontrolü sayesinde daha endüstriyel ölçekli harici enerji destekli hibrit kurutma sistemleri için daha iyi sonuç vereceği bilinen bir gerçektir. Önerdiğimiz gibi modüler bir sistemin tam otomasyonun yapılması durumunda profesyonel olmayan işgücü ile kurutma işleminin yapılması da mümkün olmaktadır.

Erik gibi yüksek nem içeriği olan ürünlerin daha kısa sürede ve orta sıcaklıkta kurutulması çeşitli çalışmalarda önerilmektedir. Bunun nedeni uzun süreli ve yüksek sıcaklıklarda kurutma işlemlerinde erik meyvesinin gıda içerikleri olumsuz yönde etkilenmesidir. Ayrıca sabit sıcaklıkta kurutma işlemlerinin daha iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bundan dolayı güneşlenmenin yeterli olmadığı saatlerde ve güneşin olamadığı saatlerde de kurutma imkânı sunan enerji depolayabilen materyaller ile güneş enerjisi gündüz gün ışığında depolanabilmekte ve güneşlenmenin olmadığı saatlerde bu enerji kullanılabilir. Sıcaklığın değişkenliğini önlemek için doğalgaz destekli kurutma sistemi veya harici başka enerji kaynaklarının kullanılması

durumunda stabil bir kurutma sıcaklığının elde edilmesi ile daha iyi sonuçlar alınacağı için hibrit kurutma sistemi önerilmektedir.

Son olarak kurutma işleminin direk güneş enerjisi ile yapılması yerine, sıcak hava sağlayıcı havalı güneş kolektörü gibi havanın kabine girmeden ısıtılması bu çalışmada önerilmektedir. Bunun nedeni ise; kurutma işlemini direkt güneş enerjisine maruz bırakırsak, hava sıcaklığını kontrol edemediğimiz için, önerilen sıcaklıkların üzerine çıktığında kurutulan materyalde olumsuz sonuçlar alınabilmektedir. Otomasyona uygun hava giriş sıcaklığı kontrolü için aktif dolaylı hibrit sistemlerin kullanılması bu çalışmada şiddetle önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Rahaman, A., Siddeeg, A., Manzoor, M.F., Zeng, X.A., Ali, S., Baloch, Z., Li, J., Wen, Q.H., 2019. Impact of Pulsed Electric Field Treatment on Drying Kinetics, Mass Transfer, Colour Parameters and Microstructure of Plum, *Journal of Food Sci Technol*, 56(5), 2670–78.
2. Bayhan, H.A., 2004. Kabin Tipi Bir Kurutucuda Kurutma Sürecini Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 116.
3. Alonge, A.F., Hamed, R.O., 2007. A Direct Passive Solar Dryer for Tropical Crops, *African Crop Science Conference Proceedings, El-Minia, Egypt, 27-31 October, 8*, 1643-1646.
4. Akdeniz, B., 2011. Geleneksel Usullerde Sultani Çekirdeksiz Üzüm çeşidinin Kurutulması, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 13-22.
5. Yıldız, Z., Gökayaz, L., 2019. Güneş Enerjili Kurutucuda Kurutulan Elma Dilimlerinin Kurutma Koşullarının RSM ile Optimizasyonu, *Çukurova J. Agric. Food Sci.*, 34(2), 100-108.
6. Gürel, A.E., Ceylan, İ., Aktaş, M., 2016. Meyve ve Sebzelerin Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part: C*, 4(4), 267-273.

7. Güngör, A., 2013. Sebze ve Meyve Kurutmada Kullanılan Kurutucular ve Kurutma Teknolojileri, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 17-20 Nisan, 43-63.
8. Kobastar Elektronik, Load cell, <https://kobastar.com/wp-content/uploads/2017/10/sp8tr.pdf>, Erişim Tarihi: 02.03.2021.
9. EMKO Elektronik, Thermocouples-(TC) Standart Bayonet Type “J” and “K” Type Thermocouples, <https://www.emkoelektronik.com.tr/en/product/s/tc-standart-bayonet-type>, Erişim Tarihi: 02.03.2021.
10. EMKO Elektronik, Humidity Sensors – Pronem Midi (Wall type) <https://www.emkoelektronik.com.tr/en/product/s/pronem-midi-wall-type>, Erişim Tarihi: 02.03.2021.
11. Dixell Asia Service Center, Humidity Probes, <https://www.dixellasia.com/Dixell-Humidity-Probes>, Erişim Tarihi: 05.03.2021.
12. Delta AC Drives, Delta DOP-B10S615 DOP-B Series HMI Touchscreen, <https://deltaacdrives.com/delta-dop-b10s615-human-machine-interface/>, Erişim Tarihi: 02.03.2021.
13. Delta AC Drives, DVP-SV2 Series PLC, <https://deltaacdrives.com/delta-dvp-sv2-series/>, Erişim Tarihi: 02.03.2021.
14. Delta Electronics, DVP04AD-S2 PLC Analog Modül, <https://www.deltaww.com/services/DownloadCenter2.aspx?secID=8&pid=3&tid=0&CID=06&typeID=3&dataType=&key=DVP04AD-S2&hl=en-US>, Erişim Tarihi: 02.03.2021.
15. Kobastar Elektronik, Kontrol Tartım İndikatörleri-B60 Tartım Kontrolörü, <https://kobastar.com/tr/product-details/b60vinc-asiri-yuk-indikatoru/>, Erişim Tarihi: 02.03.2021.
16. Delta Electronics, Industrial Automation – Temperature Controllers, <http://www.delta-emea.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060405&PID=1297&hl=en-GB&Name=DTC%20Series>, Erişim Tarihi: 23.12.2020.

A Dual-Band Patch Antenna with Improved Gain and Group Delay Characteristics for C-Band and X-Band Applications

Duygu Nazan GENÇOĞLAN¹, Şule ÇOLAK^{*1}

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

Geliş tarihi: 17.02.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Abstract

In this study, a dual-band patch antenna with improved gain and group delay characteristics is proposed for C-band and X-band applications in radar and satellite communications. In the study, conventional square patch antenna is modified by partially removing the ground plane and rounding the patch corners. The radius of the rounded patch corners is determined by parametric study to achieve the best antenna performance. According to this parametric study, the value of the radius is set to 2 mm. Antenna performance is analysed both in frequency and time domains. Return Loss, Voltage Standing Wave Ratio, gain, radiation pattern, and group delay are investigated via CST Microwave Studio program. Experimental study is also performed to verify the simulation results. The results show that the designed antenna with rounded patch corners and partial ground plane has dual band characteristic. The two resonance frequencies are 6.85 GHz and 9.1 GHz in the simulation results, and 6.56 GHz and 9.12 GHz in the measurement results. The antenna has maximum gain of 5.8 dB. Additionally, group delay variation is very small in the related frequency range. Thus, it is verified that, the proposed antenna has enhanced bandwidth, improved gain and more uniform group delay as compared to the conventional square patch antenna. The proposed dual-band antenna is a quite promising structure with its appropriate gain and uniform group delay characteristics for C-band and X-band applications in radar and satellite communications.

Keywords: Antenna design, Patch antenna, Gain, Group delay, C-band, X-band

C-Bant ve X-Bant Uygulamaları için İyileştirilmiş Kazanç ve Grup Gecikme Özelliklerine Sahip Çift Bantlı Yama Anteni

Öz

Bu çalışmada, radar ve uydu iletişimde C-bandı ve X-bandı uygulamaları için iyileştirilmiş kazanç ve grup gecikme özelliklerine sahip bir çift bantlı yama anten önerilmiştir. Çalışmada, geleneksel kare yama anten, zemin düzlemi kısmen kaldırılarak ve yama köşeleri yuvarlatılarak modifiye edilmiştir. Yuvarlatılmış yama köşelerinin yarıçapı, en iyi anten performansını elde etmek için parametrik çalışma ile belirlenmiştir. Bu parametrik çalışmaya göre yarıçapın değeri 2 mm olarak ayarlanmıştır. Anten performansı hem zaman hem de frekans alanlarında analiz edilmiştir. Geri Dönüş Kaybı, Duran Dalga Oranı, kazanç, ışınma örüntüsü ve grup gecikmesi CST Microwave Studio programı ile incelenmiştir. Simülasyon sonuçlarını doğrulamak için deneysel çalışma da yapılmıştır. Sonuçlar, köşesi yuvarlatılmış yaması ve kısmi zemin düzlemi olan antenin çift bant özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. İki rezonans frekansı, simülasyon sonuçlarında 6,85 GHz ve 9,1 GHz, ölçüm sonuçlarında ise 6,56 GHz ve

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Şule ÇOLAK, scolak@atu.edu.tr

9,12 GHz'dir. Antenin maksimum kazancı 5,8 dB'dir. Ayrıca, ilgili frekans aralığında grup gecikme değişimi çok küçüktür. Böylelikle, önerilen antenin geleneksel kare yama antenine kıyasla artırılmış bant genişliğine, iyileştirilmiş kazanç ve daha tekdüze grup gecikmesine sahip olduğu doğrulanmıştır. Önerilen çift bantlı anten, radar ve uydu iletişimde C-bandı ve X-bandı uygulamaları için uygun kazanç ve tekdüze grup gecikme özellikleri ile oldukça ümit verici bir yapıdır.

Anahtar Kelimeler: Anten tasarımı, Yama anten, Kazanç, Grup gecikmesi, C bant, X bant

1. INTRODUCTION

Microstrip patch antenna is composed of a radiating patch, dielectric substrate and ground plane [1]. Different forms are used for the radiating patch as rectangular, square, elliptic, circular, triangular, trapezoid, L-shaped, circular disc, and star shaped [1-10]. Several feeding techniques for these antennas are coaxial cable, microstrip line, aperture coupled feed and proximity coupled feed [11-14]. Transmission line model, cavity model and methods of moment are some approaches used for analysing these antennas [15,16].

Microstrip patch antennas have low profile, low cost, easily integration and mechanically robustness properties [1-20]. These features make them highly popular for many applications, such as microwave imaging, ground penetrating radar, radio frequency identification and global positioning systems. However, these types of antennas are lack of gain and they suffer from narrow bandwidth. Hence, various modifications are made in the antenna structures by many researchers to overcome these disadvantages [17-34]. These modifications include using electromagnetic bandgap structures [18,19], adding slit lines and metallic strips enclosing the radiating patch [20-22], slotting etches on patch or ground plane [23-25], rounding [26-30] or truncating [30-32] the corners of the patch and ground plane to improve the antenna behaviour. As a result of modification and improvement methods, numerous microstrip patch antennas are designed and analysed to enhance antenna behaviour by examining Return Loss (S_{11}), bandwidth, gain, and radiation pattern. Additionally, there are many studies conducted to improve antenna performance in C- and X-bands [33-43].

This paper presents the improvement of square patch antenna by enhancing the gain and group delay parameters in the C- and X- bands. For this purpose, the antenna is modified by using partial ground plane and rounded patch corners. Return Loss (S_{11}), Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), radiation pattern, gain and group delay are investigated over the range covering the C- and X-bands. The designed antennas are also examined experimentally to verify the simulation results. CST Microwave Studio is used to design and analyse the antennas.

2. THE SQUARE PATCH ANTENNA

2.1. Antenna Design

Figure 1 illustrates the antenna geometry. The antenna is designed by using FR4 substrate with relative permittivity of 4.3 and loss tangent of 0.025. Physical parameters of the antenna are given in Table 1. Gaussian pulse, which is the default excitation in CST Microwave Studio, is applied as the input signal. The Fourier Transform of this signal has also Gaussian shape in frequency domain. This signal facilitates analysis in time and frequency domains. S-parameters can easily be calculated accurately over the frequency range of interest.

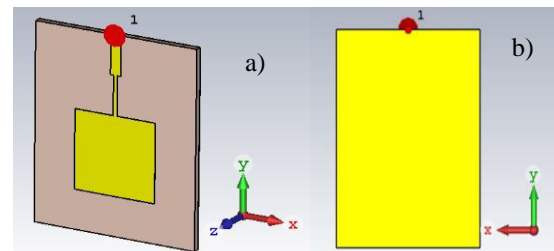


Figure 1. Designed antenna a) Perspective and b) Back views

Table 1. Physical parameters of the antenna

Patch length	L_p	20 mm
Patch width	W_p	20 mm
Matching line width	W_m	0.99 mm
Matching line length	L_m	10 mm
Feed line width	W_f	2.52 mm
Feed line length	L_f	10 mm
Substrate thickness	h	1.6 mm

2.2. Return Loss and VSWR

Figures 2a and 2b show the S_{11} and VSWR characteristics of the designed antenna, respectively. S_{11} is below -10 dB and VSWR is below 2 at six frequency intervals. Resonance frequencies are 3.48, 6.46, 7.28, 8.00, 9.75 and 10.76 GHz, respectively. Return Loss values at these frequencies are -14.21, -11.75, -16.07, -19.31, -12.21 and -16.95 dB. Similarly, VSWR values at these resonance frequencies are 1.50, 1.70, 1.37, 1.26, 1.65 and 1.33, respectively. As it's seen, this square patch antenna has some notches in the frequency range of interest.

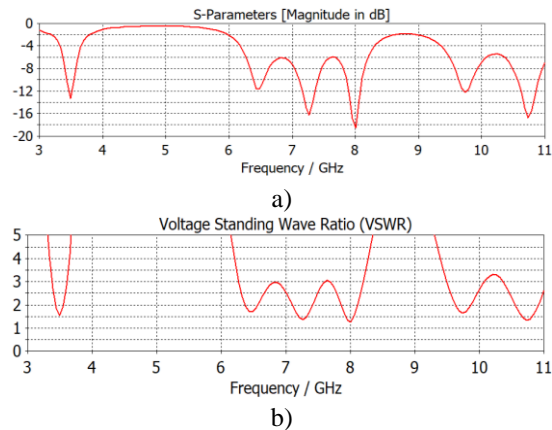


Figure 2. a) Return Loss and b) VSWR of the square patch antenna

3. IMPROVEMENT OF ANTENNA PERFORMANCE

3.1. Ground Plane Effect

In order to obtain the desired radiation performance, the first step is to modify the antenna

by partially removing the ground plane [18,26,44]. Figure 3 illustrates the perspective and back views of this antenna.

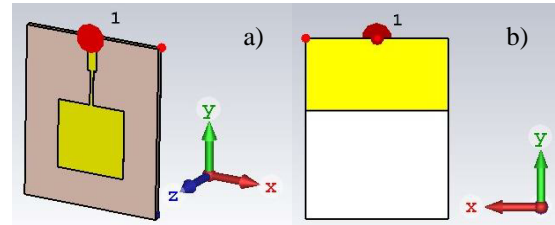


Figure 3. Modified antenna with partial ground plane a) Perspective view b) Back view

As seen from S_{11} and VSWR graphs in Figure 4, the designed antenna shows dual band characteristic. The first band is in the range from 6.38 to 7.61 GHz and the second one is in the range from 8.52 to 9.30 GHz. The two resonance frequencies are 6.69 GHz and 8.96 GHz with Return Loss values of -15.76 dB and -27.65 dB, respectively. VSWR is below 2 throughout the same ranges. VSWR values at two resonance frequencies are 1.39 and 1.09. Corresponding bandwidth for each band is 1.23 GHz and 780 MHz, respectively.

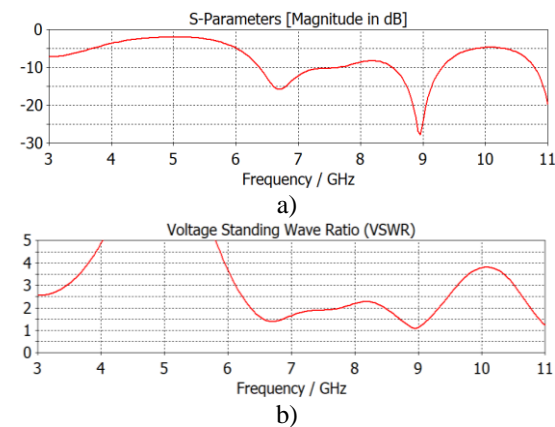


Figure 4. a) Return Loss and b) VSWR for square patch antenna with partial ground

3.2. Rounded Corner Effect

The patch corners are rounded to further improve antenna performance in C and X bands. Figure 5 shows the perspective and back views of the proposed antenna.

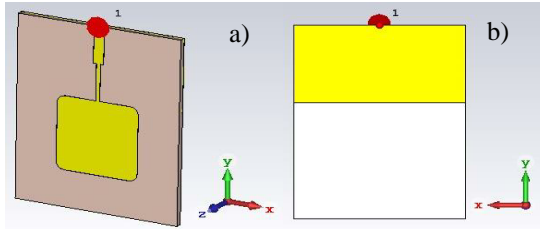


Figure 5. Rounded square patch antenna with partial ground a) perspective and b) back view

A parametric study is carried out to specify the radius of the rounded corners. Radius r is changed from 2 mm to 10 mm, iteratively. When r reaches to 10 mm, the patch shape starts to deteriorate. According to this parametric study, $r = 2$ mm gives the best Return Loss characteristics. Hence, the radius of the rounded corners is set to 2 mm in the design.

S_{11} and VSWR graphs are shown in Figures 6a and 6b, respectively. Again, the antenna has dual band characteristic. The first band is from 6.48 GHz to 7.84 GHz and the second is from 8.68 GHz to 9.47 GHz. The two resonance frequencies are 6.85 GHz and 9.1 GHz. Return Loss values for these resonance frequencies are -15.24 dB and -22.22 dB, respectively. Correspondingly, VSWR values at the resonance frequencies are 1.42 and 1.17. The first bandwidth is 1.36 GHz and the second bandwidth is 790 MHz. As seen, this antenna has broader bandwidth for each band as compared to the previous structure.

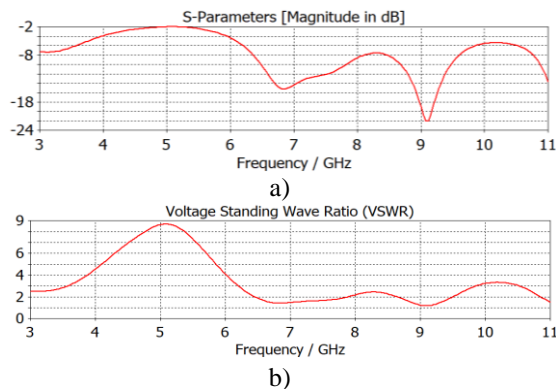


Figure 6. a) Return Loss and b) VSWR for rounded square patch antenna with partial ground plane

Figures 7a and 7b illustrate the S_{11} and VSWR comparison of three antenna types. The figures clearly show the improvement achieved by using partial ground plane and rounded patch corners.

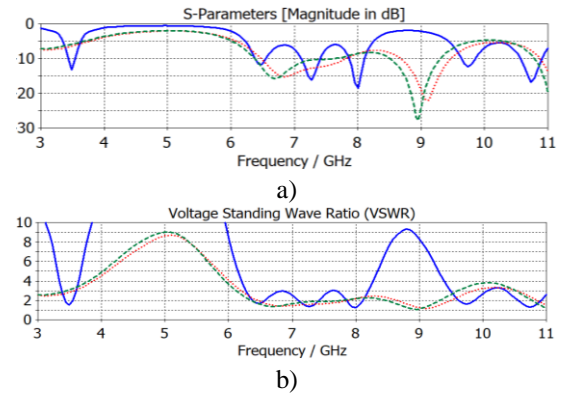


Figure 7. a) Return Loss and b) VSWR comparison of — ordinary square patch, ---- square patch with partial ground, rounded patch with partial ground

3.3. Antenna Gain

Maximum gains for the three antenna types are depicted in Figure 8. Among the three antenna types, the antenna with rounded patch corners and partial ground plane yields the highest gain in the related frequency range. The gains for this antenna are 4.1 and 5.8 dB at the resonance frequencies of 6.85 GHz and 9.1 GHz, respectively.

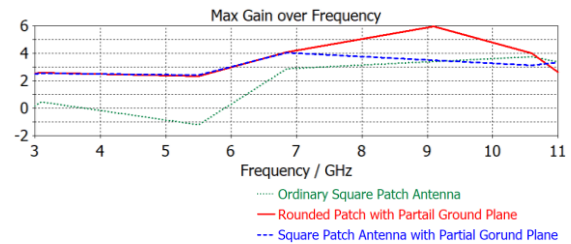


Figure 8. Maximum gains of the antennas with — rounded square patch with partial ground plane, ---- square patch with partial ground plane, ordinary square patch antenna

Apparently, rounded square patch antenna with partial ground plane has the best performance among the presented antennas. While partial ground plane provides enhanced bandwidth and gain, rounded patch corners further improve the gain.

3.4. Radiation Pattern

In the previous section, the antenna with rounded patch corners and partial ground plane is seen to be more suitable for dual band operation in C- and X-bands. Thus, in this section, radiation pattern is examined for this structure.

Radiation patterns for the proposed antenna are illustrated in Figures 9 and 10 at two resonance frequencies. As seen from these two figures, radiation pattern is directional at $\phi=90^\circ$ and $\theta=90^\circ$ planes. Main lobe magnitudes at 6.85 GHz are 5.47 V and 8.44 V for $\phi=90^\circ$ and $\theta=90^\circ$ planes, respectively. Likewise, main lobe magnitudes at 9.1 GHz are 4.63 V and 10.70 V for $\phi=90^\circ$ and $\theta=90^\circ$ planes, respectively.

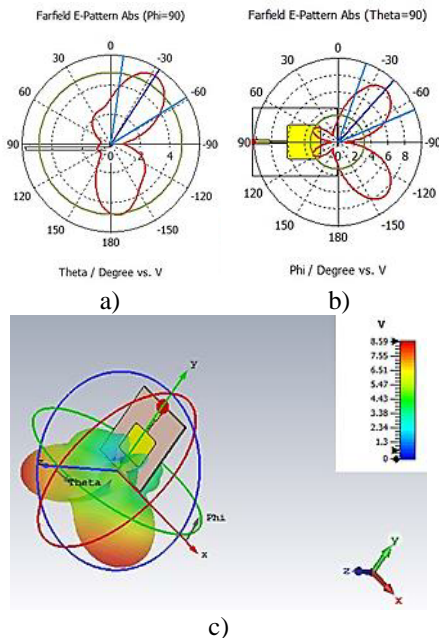


Figure 9. a) $\phi=90^\circ$, b) $\theta=90^\circ$ polar pattern and c) 3D radiation pattern of the proposed antenna at 6.85 GHz

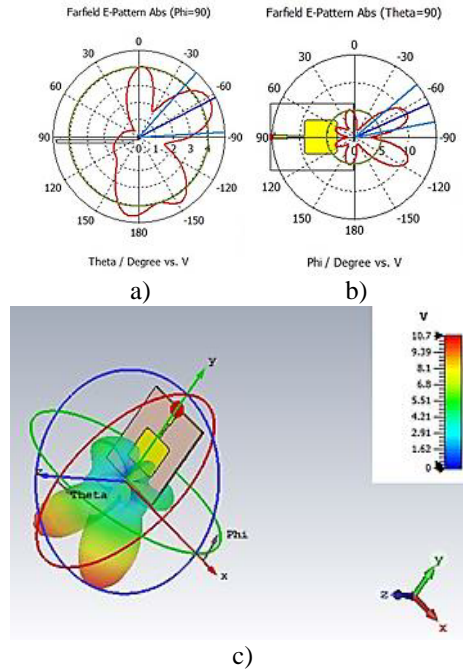


Figure 10. a) $\phi=90^\circ$, b) $\theta=90^\circ$ polar pattern and c) 3D radiation pattern of the proposed antenna at 9.1 GHz

4. TIME DOMAIN ANALYSIS

4.1. Group Delay

Group delay is significant for analysing time domain characteristics of an antenna. It does not only give idea about the phase but also signal distortion level of the structure [45,46]. For a non-distortion system, group delay should not vary significantly over the related frequency range. In fact, if the group delay fluctuates more than 1 ns, the condition for linear phase response is not satisfied, and degradations occur in the signal [46]. Henceforth, group delay is a crucial parameter in time domain analysis. In this section, transmission coefficient magnitude $|S_{21}|$ and group delay are examined for all configurations.

Thus, for group delay analysis, two identical antennas are placed in the far field region of each other as shown in Figure 11. Then, $|S_{21}|$ and group

delay parameters are simulated and their variations are illustrated in Figures 12-14.



Figure 11. Two identical antennas placed in the far field region of each other for group delay analysis

Figure 12 indicates transmission coefficient magnitude and group delay graphs for the square-shaped patch antenna with full ground. In the figure, $|S_{21}|$ has noticeable variations and group delay has many ripples in the related frequency range, thus deformations occur in the signal shape.

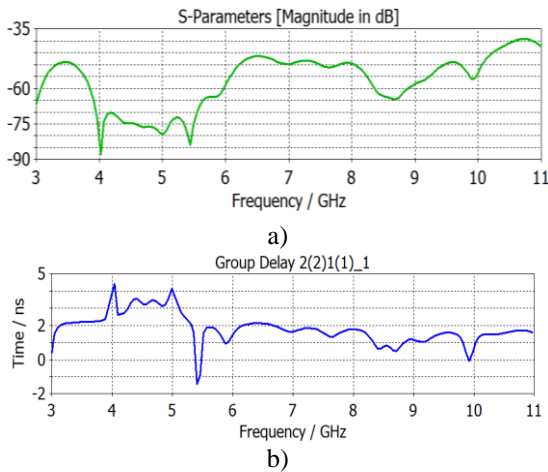


Figure 12. a) Transmission Coefficient and b) Group Delay of the square patch antenna with full ground plane

Next, the second structure, the antenna with square patch and partial ground plane, is analysed in terms of transmission coefficient and group delay characteristics in the C and X bands. As depicted in Figure 13, transmission coefficient and group delay for this antenna are more uniform and the variations are very small as compared to the previous structure.

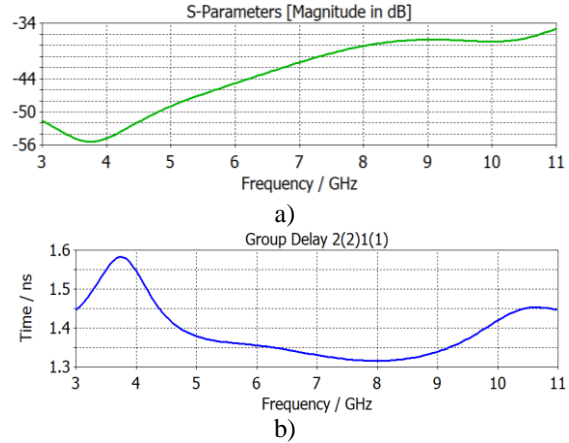


Figure 13. a) Transmission Coefficient and b) Group delay of the antenna with square patch and partial ground plane

The transmission coefficient and group delay of the rounded square patch antenna with partial ground plane are examined in Figure 14. It is obvious from the figure that the transmission coefficient and group delay are uniform and their variations are very small in the range. In pass band systems, less variation in the group delay indicates better linear phase response and less distortion in signal shape. Therefore, this antenna shows a good performance with its small variation in the group delay and less distortion in the waveform.

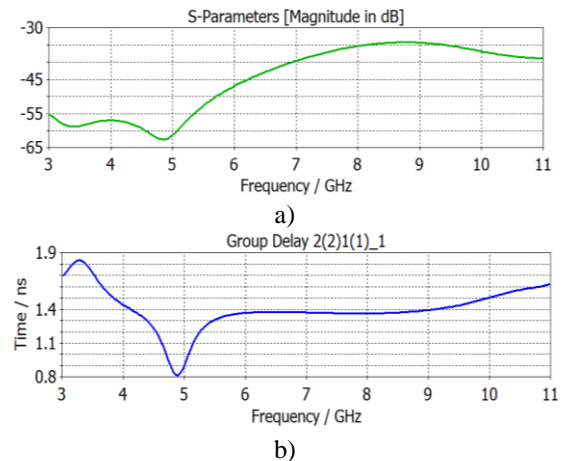


Figure 14. a) Transmission Coefficient and b) Group Delay of the rounded square patch antenna with partial ground

5. MEASUREMENT RESULTS

Antennas are fabricated with FR-4 substrate material ($\epsilon_r = 4.3$, $h = 1.6$ mm, $\tan\delta = 0.025$) by using PCB prototyping machine. The square patch antenna is shown in Figure 15 and the rounded patch antenna with partial ground plane is shown in Figure 16. The length of partial ground plane is 20 mm. SMA connector (50Ω) is used to feed the fabricated antennas. The reflection coefficient and VSWR characteristics of two fabricated antennas are measured via PNA-L Network Analyzer.

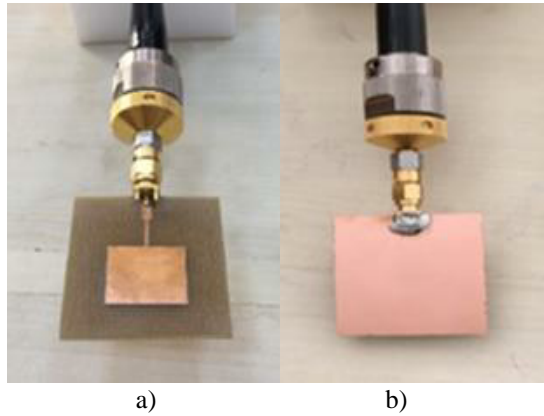


Figure 15. a) Front and b) back views of the fabricated square patch antenna with full ground plane

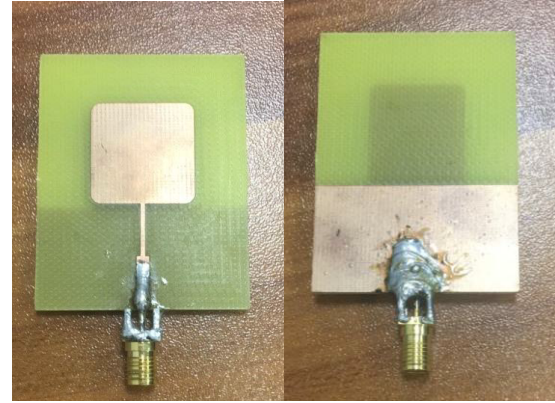


Figure 16. a) Front and b) back views of the fabricated rounded patch antenna with partial ground plane

The measured and simulated results for S_{11} and VSWR of the square patch antenna with full ground plane are illustrated in Figures 17 and 18, respectively. It is outlined from these figures that measurement results show good agreement with the simulation results. As expected, the square patch antenna with full ground plane results in multiple notches in the related frequency band. Table 2 depicts measurement results for the fabricated square patch antenna with full ground plane.

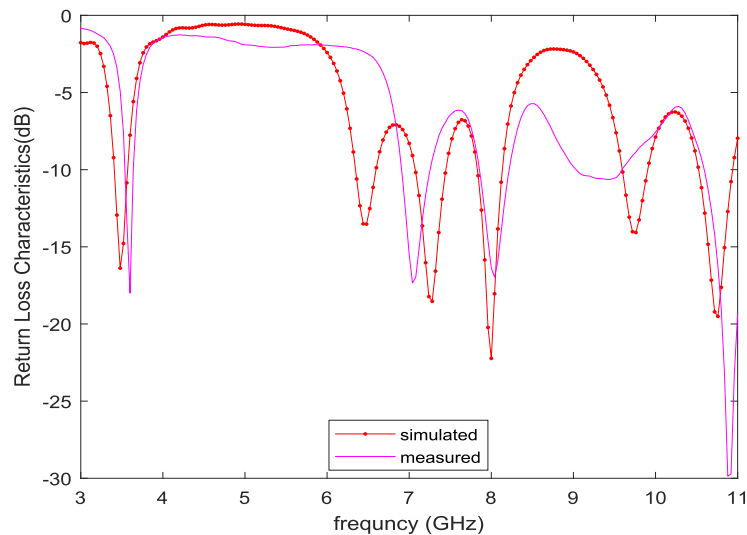


Figure 17. Return Loss characteristics of square patch antenna with full ground plane

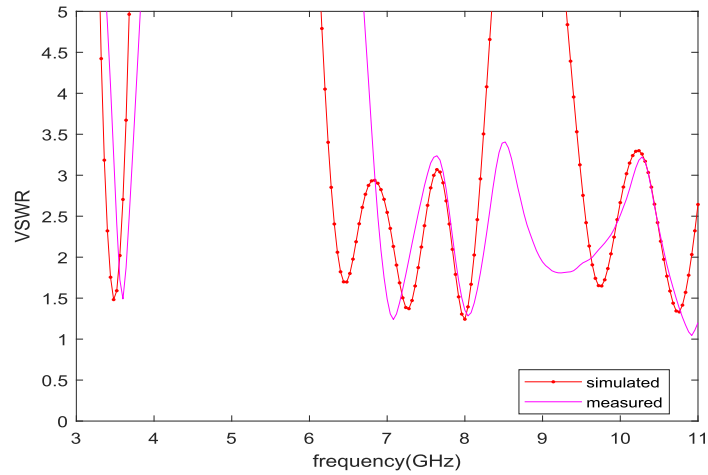


Figure 18. VSWR characteristics of square patch antenna with full ground plane

Table 2. Measurement results of the square patch antenna with full ground plane

Resonance frequency	Return loss	VSWR	Corresponding bandwidth
3.60 GHz	-14.79 dB	1.49	80 MHz (3.64-3.56 GHz)
7.08 GHz	-19.80 dB	1.24	280 MHz (6.96 -7.24 GHz)
8.04 GHz	-18.60 dB	1.24	360 MHz (7.88-8.24 GHz)
9.24 GHz	-11.05 dB	1.80	600 MHz (9-9.6 GHz)

The measured and simulated S_{11} and VSWR plots of the rounded square patch antenna with partial ground are illustrated in Figures 19 and 20. In these figures, there are some discrepancies between simulation and measurement results. These discrepancies arise from the SMA connector, which may lead to conductor loss when integrated into antenna. Furthermore, the resonance frequency shifts between measured and simulated results are due to soldering process and impedance mismatch at the antenna input. The measurement results for the fabricated antenna are given in Table 3.

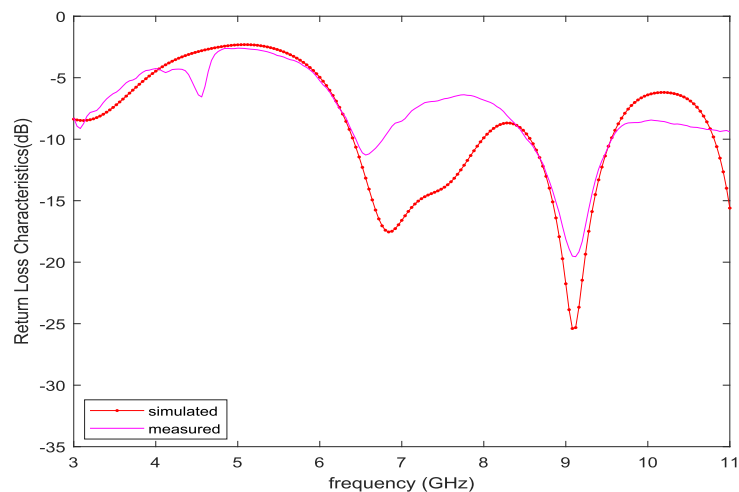


Figure 19. Return Loss characteristics of rounded patch antenna with partial ground plane

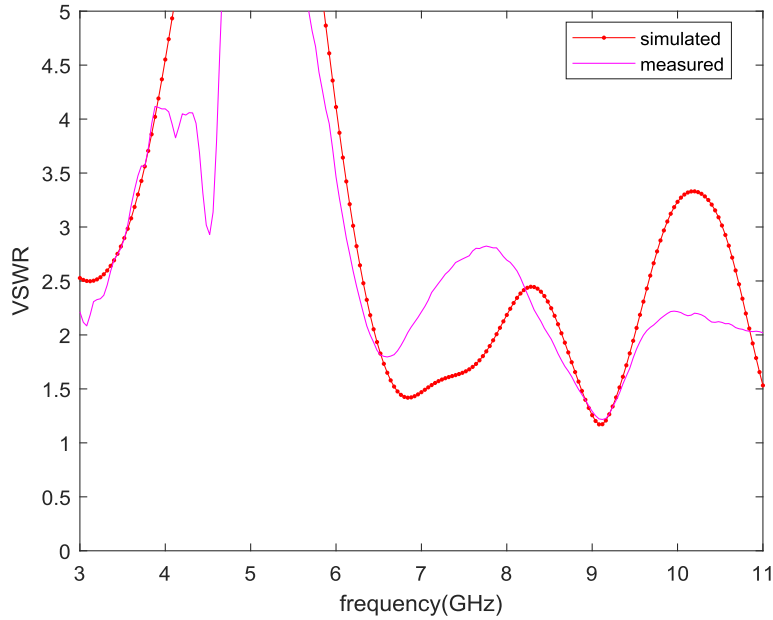


Figure 20. VSWR characteristics of rounded patch antenna with partial ground plane

Table 3. Measurement results of rounded patch antenna with partial ground plane

Resonance frequency	Return loss	VSWR	Corresponding bandwidth
6.56 GHz	-11.29 dB	1.80	28 MHz (6.48-6.76 GHz)
9.12 GHz	-19.55 dB	1.22	920 MHz (8.6 - 9.52 GHz)

Table 4 depicts the comparison of the proposed antenna in this research with similar studies in the literature in terms of Bandwidth, Gain, and Group Delay characteristics. It is seen that the proposed antenna has higher gain than most of the studies in the table. This work also analysis the time domain characteristics by examining group delay parameter. Thus, it is verified that the designed antenna in this paper transmits the signal with less distortion for C and X bands applications.

Table 4. Comparison of proposed antenna with similar studies

Ref.	Dim. (mm ³)/Material	Operating freq./Bandwidth	Gain	Group delay
[25]	25x24.5x0.76 Rogers	2.4-2.484 GHz (84 MHz) 3.3-3.69 GHz (39 MHz) 5.15-5.35 GHz (200 MHz)	4.8 dB	NA
[26]	30x35x1.6 FR-4	3.42-11.7 GHz (8.28 GHz)	6 dBi	NA
[27]	10x7.5x0.508 Rogers	9.85-10.15 GHz (300 MHz)	5.2 dB	NA
[28]	30x39x1.6 FR-4	3.28-12.44 GHz (9.16 GHz)	3.02 dBi	NA
[29]	12.7x15.2x1.6 FR-4	3.21-12.72 GHz (9.51 GHz)	2.87 dBi	NA
[32]	26x30x1.6 FR-4	3.1-14 GHz (10.9 GHz)	3.8 dB	NA
[35]	32x33.5x1.5 NA	6.71-7.18 GHz (470 MHz) 8.45-8.9 GHz (500 MHz)	2.91 dB	NA
This work	40x50x1.6 FR-4	6.48-7.84 GHz (1.36 GHz) 8.68-9.47 GHz (790 MHz)	5.8 dB	YES

6. CONCLUSION

In this study, a dual band patch antenna is proposed with improved gain and group delay characteristics in C and X bands for radar and satellite communications. The ordinary square patch antenna is narrowband by its nature and it does not perform well within the frequency range of interest. Thus, to improve the antenna performance, the patch antenna structure is modified by partially removing the ground plane and rounding the patch corners.

The proposed antenna is analysed both in frequency and time domain by examining Return Loss, gain, radiation pattern, and group delay characteristics. According to obtained results, rounded square patch antenna with partial ground plane performs well in the related frequency range. The structure has enhanced bandwidth, improved gain, and uniform group delay in C-band and X-band. For verification purposes, the designed antennas are also analysed experimentally. The measurement results are in good agreement with the simulation results. Consequently, the proposed dual-band patch antenna is a quite promising structure for C-band and X-band applications in radar and satellite communications.

7. ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Scientific Research Projects Unit (BAP) in Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University. Project No: Mühdbf. Eem. 2015-18, Project Title: Investigation and Improvement of Ultra-Wideband Antenna Characteristics.

8. REFERENCES

1. Saidulu, V., Rao, K.S., Rao, P.S., 2013. The Characteristics of Rectangular and Square Patch Antennas with Superstrates, *International Journal of Engineering Sciences and Emerging Technologies*, 6(3), 298-307.
2. Gençoğlan, D.N., Arslan, M.T., Çolak, Ş., Yildirim, E., 2020. Ultra-Wideband (UWB) Characteristic Estimation of Elliptic Patch Antenna Based on Machine Learning Techniques, *Frequenz*, 74(9-10), 351-358.
3. Cai, Y., Qian, Z.P., Cao, W.Q., Zhang, Y.S., Guan, D.F., 2014. Dual Polarized Notch-etched Circular Patch Antenna Loaded with Metamaterial Structure, *Frequenz*, 68(5-6), 211-216.
4. Shaw, M., Mandal, N., Gangopadhyay, M., 2020. A Low Profile Miniaturized Circular Microstrip Patch Antenna for Dual-band Application, *Frequenz*, 74(9-10), 333-349.
5. Gouda, M., Yousef, M.Y., 2012. Bandwidth Enhancement Techniques Comparison for Ultra-wideband Microstrip Antennas for Wireless Application, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 35(2), 184-193.
6. Cao, X., Wang, D.F., Gu, Z., Liu, Y., Liu, Y., Tian, X.J., 2018. A Printable Trapezoid-structured UWB Micro-strip Antenna Applicable to MEMS Wireless Sensor Networks, *Microsystem Technologies*, 24(6), 2499-2506.
7. Yang, X., Liu, X., Song, C., 2015. A Triple-band Monopole Planar Antenna for WLAN and WiMAX Applications, *Frequenz*, 69(7-8), 305-309.
8. Rao, G.S., Kumar, S.S., Pillalamarri, R., 2015. Analysis and Review on Usage of Broadband Techniques in Design of Printed Antennas for UWB Communications, *Microsystem Technologies*, 21(7), 1423-1426.
9. Rao, G.S., Kumar, S.S., Pillalamarri, R., 2015. Small Modified Printed Planar Ultrawide Band Disc Antennas with Etched Ground Plane, *Microsystem Technologies*, 21(5), 1081-1086.
10. Nasr, M.A., Ouda, M.K., Ouda, S.O., 2013. Design of Star-shaped Microstrip Patch Antenna for Ultra-wideband (UWB) Applications, *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, 5(4), 65-73.
11. Gupta, M., Mathur, V., Kumar, A., Saxena, V., Bhatnagar, D., 2019. Microstrip Hexagonal Fractal Antenna for Military Applications, *Frequenz*, 73(9-10), 321-330.
12. Malaisamy, K., Santhi, M., Robinson, S., Wasim, M., Murugapandiyam, P., 2020. Design and Development of Cross Dipole Antenna for

- Satellite Applications, *Frequenz*, 74(7-8), 229-237.
13. Raghavendra, C., Suma, M., Krishna, A.A., 2016. Design and Analysis of Circular Patch Antenna for UWB Applications, *Indian Journal of Science and Technology*, 9(1-5).
 14. Balanis, C.A., 2005. *Antenna Theory: Analysis and Design*, New Jersey John Wiley and Sons.
 15. Bernard, V., Iloh, J.P.I., 2013. Microstrip Antenna Design Using Transmission Line Model, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(11), 410-415.
 16. Banerjee, P., Bezboruah, T., 2015. Comparative Study of Transmission Line and Cavity Model of Rectangular Microstrip Antenna, *International Journal of Natural Sciences Research*, 3(6), 76-82.
 17. Punitharaj, D., Kalaimani, S., 2013. Design and Fabrication of Microstrip Antenna for UWB Applications, *International Journal of Emerging Trends in Electrical and Electronics*, 3(2), 60-63.
 18. Karamzadeh, S., Rafiei, V., 2020. Dual-band Antenna Modification by Using Dual Bad EBG Structure for WLAN/WiMAX Applications, *Journal of Instrumentation*, 15, (4).
 19. Mouhouche, F., Azrar, A., Dehmas, M., Djafri, K., 2018. Design a Compact UWB Monopole Antenna with Triple Band-notched Characteristics Using EBG Structures, *Frequenz*, 72(11-12), 479-487.
 20. Jaglan, N., Kanaujia, B.K., Gupta, S.D., Srivastava, S., 2017. Dual Band Notched EBG Structure Based UWB MIMO/diversity Antenna with Reduced Wide Band Electromagnetic Coupling, *Frequenz*, 71,(11-12), 555-565.
 21. Verma, M.K., Kanaujia, B.K., Saini, J.P., Saini P.S., 2020. A Broadband Circularly Polarized Cross-slotted Patch Antenna with Horizontal Meandered Strip (HMS), *Frequenz*, 74(5-6), 191-199.
 22. Pan, C.Y., Su, C.C., Yang, W.L., 2018. CPW-fed Circularly Polarized Slot Antenna with Small Gap and Stick-shaped Shorted Strip for UHF FRID Readers, *Frequenz*, 72(5-6), 181-188.
 23. Mishra, B., Singh, V., Singh, R., 2017. Dual and Wide-band Slot Loaded Stacked Microstrip Patch Antenna for WLAN/WiMAX Applications, *Microsystem Technologies*, 23(8), 3467-3475.
 24. Patil, S., Singh, A.K., Kanaujia, B.K., Yadava R.L., 2018. Design of Dual Band Dual Sense Circularly Polarized Wide Slot Antenna with C-shaped Radiator for Wireless Applications, *Frequenz*, 72(7-8), 343-351.
 25. Wang, Z., Peng, Y., Ran, Y., Qin, W., Yang, H., 2016. Small Printed Tri-band Antenna with Reduced Ground-plane Effect, *Frequenz*, 70 (5-6), 219-224.
 26. Awad, N.M., Abdelazeez, M.K., 2015. UWB Antenna with Round Steps, *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, 1954-1955.
 27. Farahbakhsh, A., D., Zarifi, 2020. Miniaturization of Patch Antennas by Curved Edges, *AEU-international Journal of Electronics and Communications*, 117.
 28. Ahire, D.D., Kharate, G.K., 2017. Corner Rounded UWB Monopole Rectangular Microstrip Patch Antenna, *IEEE Applied Electromagnetics Conference (AEMC)*, 1-2.
 29. Ahire, D.D., Kharate, G.K., 2018. Defective Ground Corner Rounded Ultra-wideband Microstrip Patch Antenna for Bio-medical Applications, *ICTAC Journal on Microelectronics*, 3(4), 462-466.
 30. Mandal, K. 2016. A Review on Printed Monopole Antenna for UWB Applications, *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 4(2), 508-510.
 31. Krishna, T.R., Madhav, B.T.P., Geetanjali, S., Parnika, B., Bhargavi, M.L., Tanmai, A.S., Anilkumar, T., 2016. Design and Study of a CPW Fed Truncated Circular Patch Switchable Band-notched UWB Antenna, *Int. J. Recent Technol. Eng. IJRTE*, 8(1), 3037-3043.
 32. Elajoumi, S., Tajmouati, A., Errkik, A., Sanchez, A., Latrach, M., 2017. Microstrip Rectangular Monopole Antennas with Defected Ground for UWB Applications, *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7(4), 2027-2035.

33. Majeed, M.W., Khan, A., Rehman, A.U., Rashid, K., 2011. Microstrip Patch Antennas for Microwave S-band, C-band and X-band Applications, *Bahria University Journal of Information & Communication Technology*, 4(1), 36.
34. Majeed, A.H., Sayidmarie, K.H., 2018. Extended Bandwidth Microstrip Circular Patch Antenna for Dual Band Applications, *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 8(2), 1056.
35. Joshi, A., Singhal, R., 2019. Coaxially Fed Hexagonal Patch Antenna for C- and X-band Applications with Reduced-ground Plane, *ECTI Transactions on Electrical Engineering, Electronics, and Communications*, 17(2), 136-143.
36. Bhavani, K.V.L., Khan, H., Madhav, B.T.P., 2015. Multiband Slotted Aperture Antenna with Defected Ground Structure for C and X-band Communication Applications, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 82(3), 454.
37. Prema, N., 2016. Design of Multiband Microstrip Patch Antenna for C and X-band, *Optik*, 127(20), 8812-8818.
38. Sharma, S., Kumar, G., 2016. A Dual Wideband Stair Shape Microstrip Patch Antenna for C & X Band, *International Journal of Electronics and Communication Engineering (IJECE)*, 5(4), 1-8.
39. Djengomemgogo, G., Altunok, R., Karabacak, C., İmeci, Ş.T., Durak, T., 2017. Dual-band gemini-shaped Microstrip Patch Antenna for C- Band and X- Band Applications, *International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES)*, 1-2.
40. Kiruthika, R., Shanmugantham, T., 2017. A Canadian Leaf Shaped Triple Band Patch Antenna with DGS for X and C-band Applications, *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, 11(4), 502-508.
41. Meloui, M., Essaaidi, M., 2014. A Dual Ultra-wide Band Slotted Antenna for C and X-bands Application, *Progress in Electromagnetics Research*, 47, 91-96.
42. Saini, H., Kaur, A., Thakur, A., Kumar, R., Kumar, N.N, 2016. A Parametric Analysis of Ground Slotted Patch Antenna for X-band Applications, *3rd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, 549-552.
43. Salamin, M.A., Ali, W.A.E., Das, S., Zugari, A., 2020. A Novel Etched-substrate Mechanism for Characteristics Improvement of X-band Broadband Printed Monopole Antenna, *Microsystem Technologies*, 26, 3773-3782.
44. Viswanadha, K., Raghava, N.S., 2020. Design and Analysis of a Multi-band Flower Shaped Patch Antenna for WLAN/WiMAX/ISM Band Applications, *Wireless Personal Communications*, 1-25.
45. Kasi, B., Ping, L.C., Chakrabarty, K.C., 2011. A Compact Microstrip Antenna for Ultra-wideband Applications, *European Journal of Scientific Research*, 67(1), 45-51.
46. Mazhar, W.M., Tarar, M.A., Tahir, F.A., Ullah, S., Bhatti, F.A., 2013. Compact Microstrip Patch Antenna for Ultra-wideband Applications. *PIERS Proceedings, Stockholm, Sweden*, 12-15.

Asidik/Bazik Ortamlarda ve Farklı Miktarlarda Çapraz Bağlayıcı ile Elde Edilen Silika Kaplamaların Pamuklu Denim Kumaşlara Etkilerinin İncelenmesi

Sabiha SEZGİN BOZOK*¹, R. Tuğrul OĞULATA¹

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

Geliş tarihi: 15.02.2021

Kabul tarihi: 31.03.2021

Öz

Tekstil ürünlerinin özelliklerinin geliştirilebilmesi ve ürünlere yeni özellikler kazandırılabilmesi açısından fonksiyonel kaplama işlemleri üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada da fonksiyonel bitim işlemleri arasında tekstil alanı için önemli bir yeri olan sol-jel tekniği ile günlük hayatta kullanımı en yaygın tekstil ürünlerinden birisi olan denim kumaşlara kaplama işlemi uygulanmıştır. Bu doğrultuda çapraz bağlayıcının farklı hacimsel oranlarda sol kompozisyonuna eklenmesinin ve başlatıcı maddelerin asidik ve bazik katalize edilmiş hidrolizin pamuklu denim kumaşlara etkisini incelemek amaçlanmıştır. Numunelerin SEM analizi görüntülerinde kaplama sonrası yüzey yapılarının değiştiği, sol oluşumu asidik ortamda gerçekleştiğinde ve sol bileşenlerinden çapraz bağlayıcı maddenin miktarı arttıkça numunelerin ağırlığının arttığı tespit edilmiştir. Numunelerin kaplama sonrası sertleştiği, hava geçirgenliklerinin arttığı ve bazı numunelerin aşınma dayanımlarının bir miktar arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Denim kumaş, Sol-jel işlemi, Sertlik, Hava geçirgenliği, Aşınma dayanımı

Investigation of the Effects of Silica Coatings Obtained in Acidic/Basic Environments and with Different Amounts of Crosslinkers on Cotton Denim Fabrics

Abstract

Many studies are carried out on functional coating processes in order to improve the properties of textile products and to gain new features. In this study, the coating process was applied to denim fabrics, which is one of the most common textile products used in daily life, with the sol-gel technique, which has an important place among the functional finishing processes for the textile field. Accordingly, it is aimed to examine the effect of adding crosslinker to sol composition in different volumetric proportions and catalyzed hydrolysis in acidic and alkaline environment of precursors on cotton denim fabrics. In the SEM analysis images of the samples, it was determined that the surface structures of the samples changed after coating, the weight of the samples increased when sol composition occurred in an acidic environment and the amount of crosslinker from the sol components increased. It was observed that the samples stiffened after coating, their air permeability increased and the abrasion resistance of some samples increased a little.

Keywords: Denim fabric, Sol-gel process, Stiffness, Air permeability, Abrasion strength

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

1. GİRİŞ

Denim, genel olarak sıkı yapısıyla bilinmekte olup çözgü ipliği indigo boyalı, atkı ipliği boyasız ve 3/1 Z dimi dokuma kumaş olarak üretilmektedir.

Günlük hayatta ve geniş yaş aralığında kullanımı oldukça yaygın olan denim kumaşın piyasa değeri 2019 yılında 90 milyar ABD doları olarak kaydedilmiştir ve bu rakamın 2023 yılına kadar 105 milyar dolara çıkması beklenmektedir [1].

Denim kumaşların temel üretim adımları sırasıyla; iplik eğirme, çözgü hazırlama, iplik boyama, haşılama işlemi, dokuma, terbiye, kontrol ve katlama, paketleme ve sevkiyat şeklindedir [2].

Çoğu tekstil ürününde olduğu gibi denim kumaşlar içinde farklı bitim işlemi teknikleri uygulanmaktadır. Literatürde boyama özelliklerini geliştirmek ve farklı renk efektleri elde edebilmek, mekaniksel dayanımı, konfor özellikleri iyileştirmek, güç tutuşurluk, kendi kendine temizleyebilme gibi farklı özellikler kazandırmak amacıyla denim kumaşlarla ilgili farklı çalışmalar bulunmaktadır.

Hidrofilik poliüretan ile denim kumaş üzerine kaplama uygulayan Güneşoğlu (2015), bu işlem ile denim kumaşlara su iticilik özelliği kazandırıldığını, su buharı geçirgenliğinin düştüğünü, fazla miktarda poliüretan ile kaplanan denim kumaşların aşınma dayanımlarının iyileştirilmiş olduğunu tespit etmiştir [3].

Denim kumaşlara şardonlama ve laminasyon uygulayan Sabır ve Kadem (2016), bu işlemlerin kumaşların ısı dirençlerini iyileştirdiğini, şardonlama işleminin hava geçirgenliğini arttırdığını, laminasyon işleminin denim kumaşları sertleştirdiğini tespit etmişlerdir [4]. Uğur ve Sarıışık (2015), denim kumaşların mekaniksel dayanımını arttırabilmek amacıyla kumaşlara Al_2O_3 nanopartikülleri çok katmanlı film biriktirme yöntemiyle uygulamışlardır. Sonuçlarda bu yöntem ile denim kumaşların atkı ve çözgü yönünde gerilme mukavemetlerinin arttırıldığını ve mekaniksel stabilitelelerinin iyileştirilebildiğini tespit etmişlerdir [5].

Tek yüze bıçakla kaplama metodu uygulayarak denim kumaşlara kaplama işlemi uygulayan Tölek ve Kadem (2016) kumaşların işlemler sonrası ağırlıklarının arttığını, zemin kumaş kalınlığının azaldığını ve kopma mukavemetinin arttığını, su buharı geçirgenliğinin azaldığını, kumaş sertliğinin arttığını, boncuklanma dayanımının arttığını tespit etmişlerdir [6].

Bu çalışmada da modern kaplama yöntemlerinden olan sol-jel tekniği uygulanarak denim kumaşlara kaplama işlemi uygulanmıştır.

Sol-jel tekniği inorganik ya da organik fonksiyonel kaplamalar elde edilebilen, etkili, çevre dostu bir kimyasal teknolojidir [7]. Sol, sıvı içerisindeki koloidal katı partiküllerin stabil süspansiyonlarına, jel ise birbirine üç boyutlu şekilde bağlanmış katı ağlara denilmektedir [8].

İşlem, reaktif alkoksit grup içeren (-OR) metal alkoksit maddenin/maddelerin hidrolizasyonu ve kondenzasyon reaksiyonları ile başlamaktadır [9]. Bu başlatıcı maddeler ortamda katalizör olarak asit ya da baz minerali kullanıldığında su, etanol gibi çözücü içerisinde kolaylıkla reaksiyona girebilmektedirler. Katalizör olarak asit kullanıldığında ve pH 2-7 arasındayken partikül boyutları 2-4 nm aralığında olurken; baz kullanıldığında ve ortam pH 7'den yüksekken daha büyük parçacıklar elde edilebilmektedir [8]. Sol elde edildikten sonra malzemeyi kaplama işlemi gerçekleştirilir ve ardından kurutma ve kürleme işlemi yapılır [10].

Sol elde edilirken ya da edildikten sonra farklı katkı maddeleri eklenerek kimyasal veya fiziksel modifikasyon yapılabilmektedir. Bu maddeler ile malzemenin renk haslıkları, mekaniksel dayanımları iyileştirilebilmekte, antibakteriyel, güç tutuşurluk, kendi kendini temizleyebilme, elektriksel iletkenlik gibi farklı fonksiyonel özellikler kazandırılabilir [11].

Çalışma kapsamında herhangi bir katkı maddesi olmadan farklı oranlarda çapraz bağlayıcı içeren, düşük ve yüksek pH seviyelerinde ayrı ayrı elde edilen sol kompozisyonlarının denim kumaşlara etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

Deneysel çalışmada çözgü ipliği sentetik indigo boyalı (Open-end, Ne 8,25), atkı ipliği boyasız (Open-end, Ne 12), %100 pamuk içerikli ticari denim kumaş kullanılmıştır. Kumaş 3/1 Z dimi dokunmuş, atkı sıklığı 16 iplik/cm; çözgü sıklığı 25 iplik/cm olup gramajı 277,4 gr/m²'dir. Kumaşın üretim sonrası haşlı sökülüş ve bitim işlemine hazır hale getirilmiştir.

Sol-jel tekniği ile bitim işlemi uygulamak için kullanılan kimyasallar TEOS (Tetraetilortosilikat, ≥%99, Sigma-Aldrich), GPTS ((3-glisidiloksipropil) trimetoksisilan, %98, Sigma Aldrich), HCl (Hidroklorik asit, %37, Sigma Aldrich), NaOH (Sodyum hidroksit, ≥%97, Tekkim), etanol (%96, Tekkim) şeklindedir.

2.2. Metod

Sol-jel tekniği kullanılarak çalışmada altı farklı numune elde edilmiştir. Değişken parametrelerden birisi TEOS ve çapraz bağlayıcı olan GPTS'nin farklı hacimsel oranları, diğeri ise hidroliz katalizör olarak HCl veya NaOH eklenerek farklı pH seviyelerinde sol elde edilmesi şeklinde belirlenmiştir. İşlem görmemiş numuneler değerlendirmeler için "Referans" olarak adlandırılmıştır. İşlem gören numunelerin kodları ve uygulanan işlem özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur [12,13].

Sol elde edilebilmesi için ilk adımda TEOS ve istenilen duruma göre GPTS bir beher içine başlatıcı madde olarak koyulmuştur. Ardından behere bir miktar distile su ve etanol ilave edilmiştir. 24±2 °C'de sürekli karıştırılan çözeltiliye asidik veya bazik karışımlar elde edilmek üzere 0,01 M HCl veya 0,1 M NaOH eklenmiştir. Karışım saydam hale gelince karıştırma işlemine son verilmiştir.

Hazırlanan karışımlar küçük bir tekne içerisine alınmıştır. Belirli boyutlarda kesilen denim

numuneler tek tek bu teknelerdeki solüsyonlara 60 sn süre boyunca daldırılmıştır. Ardından %85 pick-up ile laboratuvar tipi fulard makinesinden geçirilmiştir. Islak numuneler bekletilmeden 85 °C'de etüv içerisinde kurutulmuş ve ardından 120 °C'de 120 saniye boyunca fikse işlemine tabii tutulmuştur. Tüm bu işlemler iki kez tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Numune kodları ve işlem özellikleri

Numune	TEOS ve GPTS hacimsel oran (TEOS:GPTS)	Ortam şartı	pH
D1	11:0	Bazik	9-9,5
D2	11:0	Asidik	3-3,5
D3	11:4	Bazik	9-9,5
D4	11:4	Asidik	3-3,5
D5	11:8	Bazik	9-9,5
D6	11:8	Asidik	3-3,5

Uygulanan kimyasal işlemin lif yüzeyindeki etkisini görebilmek için FEI Quanta 650 Field Emission marka SEM (Scanning Electronic Microscope) analizi ile işlem görmüş ve görmemiş tüm numunelerin x5000 büyütme ile görüntüleri elde edilmiştir. Tüm kimyasal işlemlerin numunelerin kütle değişimine etkisini tespit edebilmek için aşağıdaki Eşitlik 1 kullanılmıştır. Bu eşitlikte "M₁" numunenin işlem sonrası ağırlığını, "M₂" numunenin işlem öncesi ağırlığını temsil etmektedir.

$$\text{Kütle Değişimi (\%)} = (M_1 - M_2) / M_1 \quad (1)$$

Farklı hacimsel oranlardaki TEOS ve GPTS'nin ve farklı pH seviyelerinin kaplanan denim numunelere etkisini incelemek için sertlik tayini, hava geçirgenliği ve aşınma dayanımı tayini analizleri uygulanmıştır. Gerçekleştirilmiş testlerin standart ve diğer analiz bilgileri Çizelge 2'de sunulmuştur [14-16].

Çizelge 2. Numunelere uygulanan testler, standartları ve analiz detayları

Test adı	Standart	Cihaz	Analiz detayları
Sertlik	ASTM D 4032-94	A&T Stiffness	Dairesel eğilme metodu, 3 bar basınçta
Hava geçirgenliği	ISO 9237:1995	Prowhite EP08M	10 dm ³ hava basıncı, 20 cm ² numune test alanı
Aşınma dayanımı	ISO 12947-3	James Heal-Martin Dale	Kütle kaybı metoduna göre, 15000 devir, 9 kPa ağırlık

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. SEM Analizi

İşlem görmüş ve işlem görmemiş referans numunenin x5000 büyütme ile elde edilmiş görüntüleri Şekil 1’de verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde işlem görmüş tüm numunelerin lif yüzey yapılarının değişmiş olduğu görülmektedir. Referans numunenin lif yüzeyi düzgünken işlem görmüş numunelerin lif yüzeyindeki kserojel yapının homojen olmadığı görülmüştür. Uygulanan kaplamanın lif yüzeyini pürüzlü hale getirdiği, yüzeyin bazı kısımlarının dalgalı bir görünüme sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sol oluşumunda değişen hacimsel oranlarda TEOS ve GPTS’nin ve farklı pH seviyelerinin kserojel yapının görünümünde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Üst üste yerleşmiş görünen kaplamanın denim numunelerin lif çapını kalınlaştırdığı düşünülmektedir.

3.2. Numunelerin İşlemler Sonrası Kütle Değişimleri

Şekil 2’de kaplama işlemleri sonrası numunelerin ilk ağırlığına göre yüzde (%) olarak kütle değişimleri görülmektedir. Sol-jel tekniği ile uygulanan kaplama işlemi tüm denim numunelerde kütle artışına sebep olmuştur.

Sol oluşumunda asidik ve bazik ortamların numunelerin kütle değişimine etkisi açısından kıyaslandığında; D2>D1, D4>D3, D6>D5 şeklinde bir sonuç alınmıştır. Bu sonuç asidik ortamda meydana gelen silika solün selüloz içerikli

numuneye daha fazla miktarda bağlandığını göstermiştir.

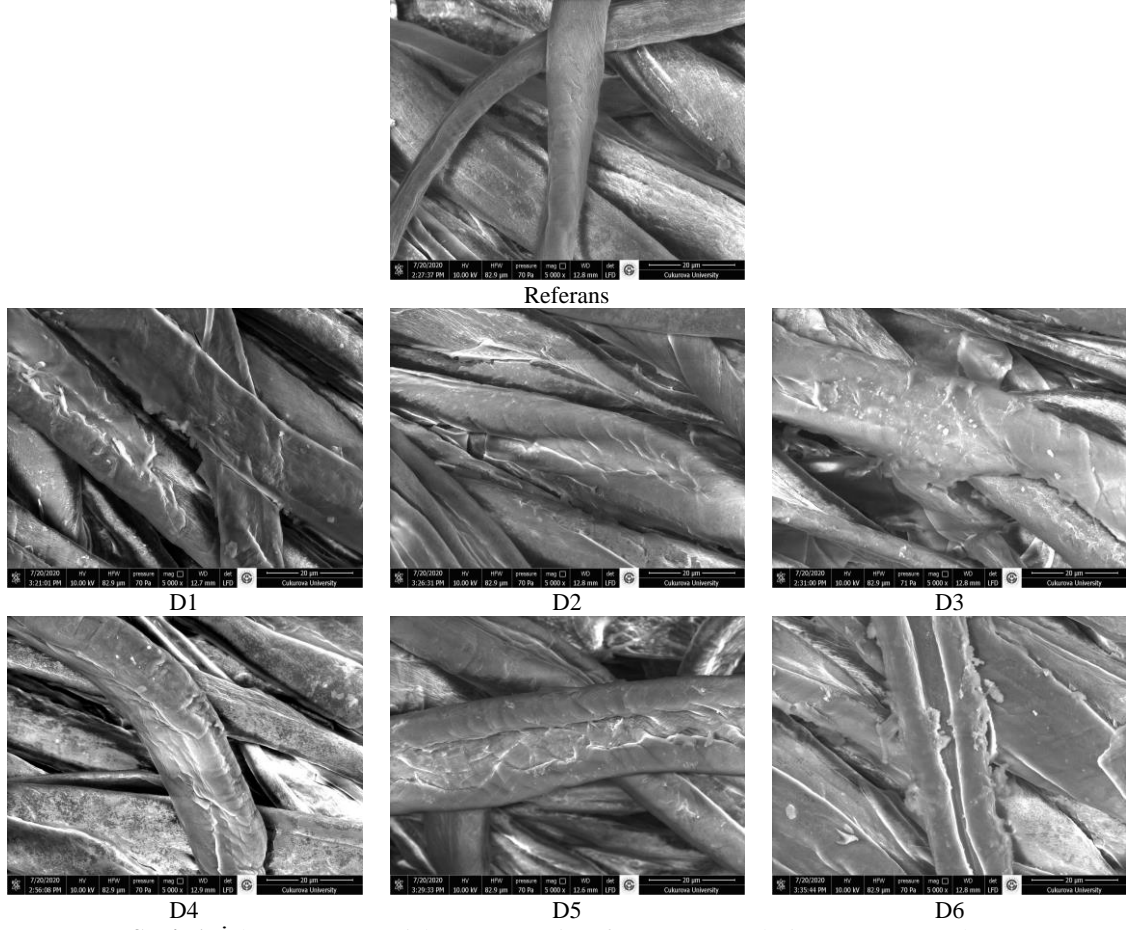
Sol kompozisyonundaki TEOS ve GPTS hacimsel oranların kütle değişim yüzdelere etkisi incelendiğinde ortalama olarak en fazla kütle artışının D5 ve D6 numunelerinde olduğu, yani TEOS:GPTS 11:8 hacimsel oranda kaplama ile numune arasındaki bağın diğer oranlardaki sollere göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum çapraz bağlayıcı maddenin (GPTS) malzeme yüzeyi ile silika sol kaplama arasındaki adhezyon kuvvetini arttırdığı bilgisini desteklemektedir [10].

3.3. Sertlik Tayini

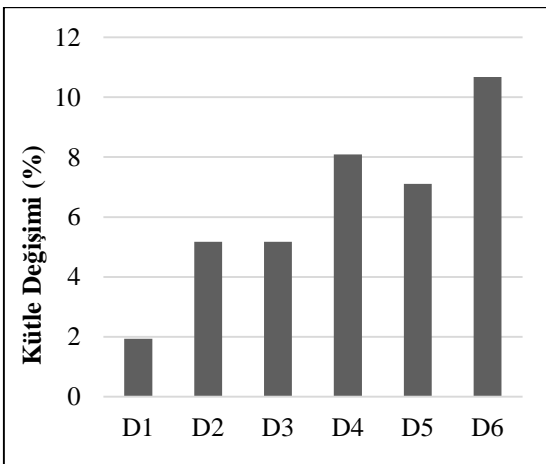
Şekil 3’de işlem görmüş ve işlem görmemiş referans denim numunelerin ‘kg’ cinsinden sertlik değerleri sunulmuştur. Sol-jel tekniği ile uygulanan tüm işlemler denim numunelerin sertliğini arttırmıştır. İnorganik madde içeren kaplamaların ve esnek olmayan kserojel kaplamaların malzemenin yumuşaklığını düşürmesi beklenen bir durumdur [10,17].

Kütle değişimi sonuçları ile doğru orantılı olarak numunelerin sertlik oranları; D2>D1, D4>D3, D6>D5 şeklindedir. Bu da asidik ortamdaki sol ile hazırlanan kaplamanın bazik ortama göre rijitliğinin daha da fazla olduğu ve malzeme esnekliğini daha fazla düşürdüğü sonucunu göstermiştir.

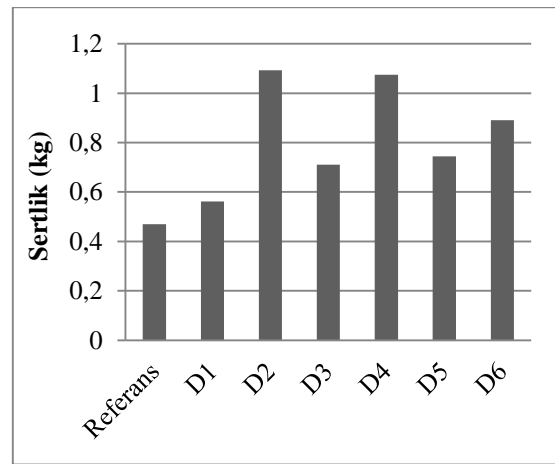
Sol kompozisyonuna eklenen farklı yumuşatıcı maddeler ile bu rijitliği önleyebilmek mümkündür [10].



Şekil 1. İşlem görmüş ve işlem görmemiş referans numunelerin SEM görüntüleri



Şekil 2. Numunelerin işlem sonrası kütle değişimlerinin yüzde değerleri

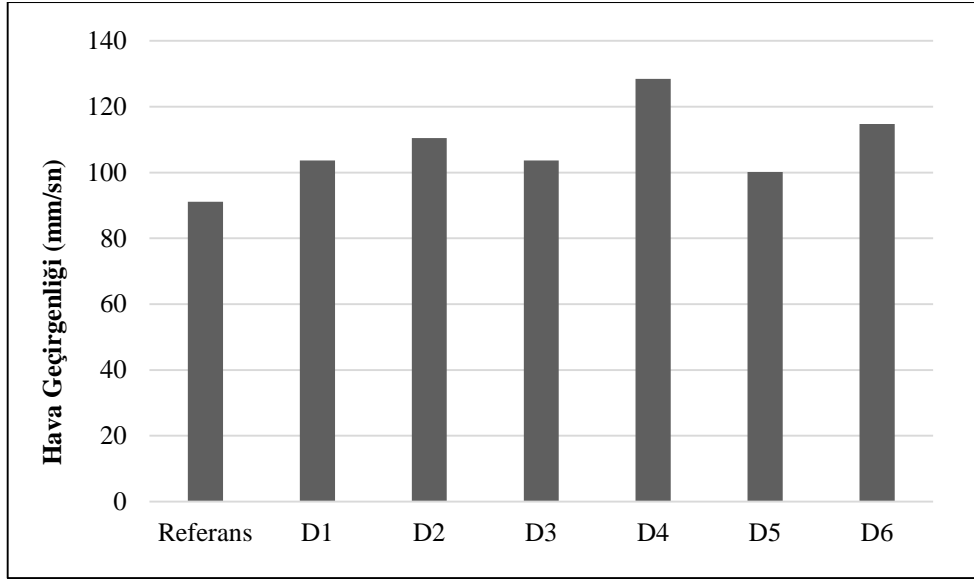


Şekil 3. Numunelerin sertlik değerleri

3.4. Hava Geçirgenlik Tayini

Çalışmada hazırlanan denim numunelerin hava geçirgenlik sonuçları Şekil 4’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde işlemler sonrası tüm numunelerin hava geçirgenlik değerlerinin artmış olduğu

görülmektedir. Sol-jel tekniği ile hazırlanan kaplamalar kumaşın iplikler arasındaki boşlukları kapatmadığı için malzeme içinden geçebilecek hava akışının azalmaması beklenen bir durumdur.



Şekil 4. Denim numunelerin hava geçirgenlik değerleri

Yine numunelerin işlem sonrası kütle değişimi (Şekil 2) sonuçları ile doğru orantılı olarak asidik ortamda hazırlanan solün bazik ortama göre numunelerin hava geçirgenliğini daha da arttırdığı ortaya çıkmıştır. Sol bileşimindeki TEOS ve GPTS hacimsel oranının ise bu veriler üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur.

Uygulanan işlemler sonrasında hava geçirgenliği artışının işlem sonrası kumaş gözeneklerinin açılması ile açıklanabilmektedir. Sol içeriğindeki katı konsantrasyon arttıkça tekstil yüzeylerinin hava geçirgenliği artabilmektedir [10].

3.5. Aşınma Dayanımı Tayini

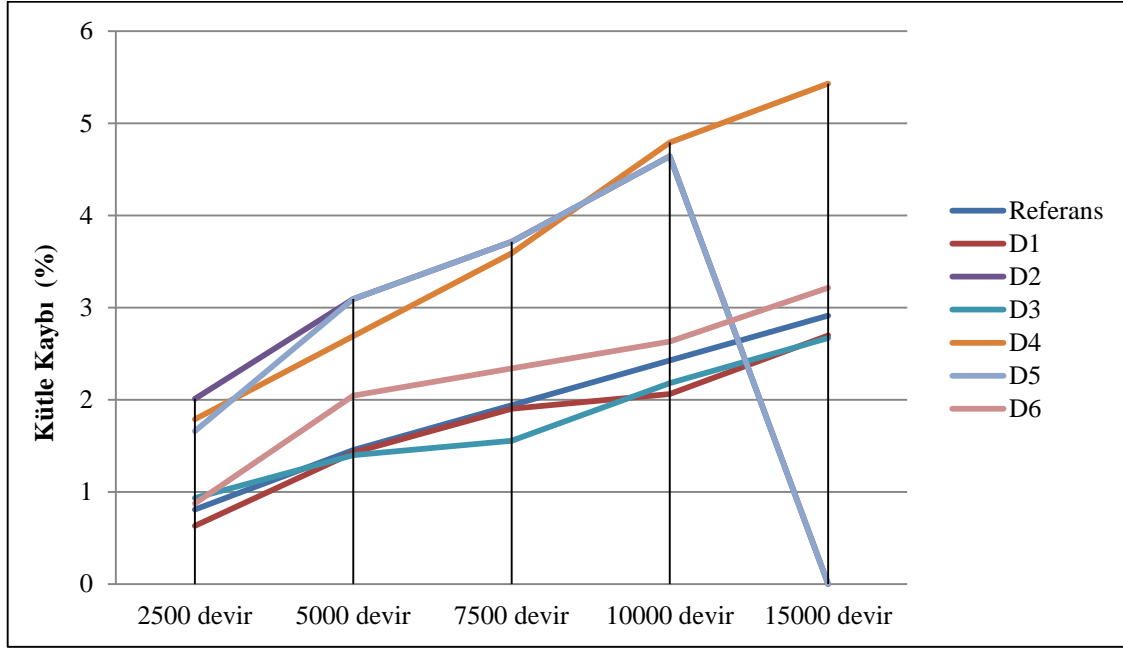
Şekil 5’deki grafikte tüm denim numunelerin 2500, 5000, 7500, 10000 ve 15000 devir aşındırma işlemi sonrası kütle kayıpları (%) görülmektedir. Grafikteki verilere göre 15000 devir sonrasında D1

ve D3 numunelerinin aşınma dayanımları referans numuneye göre daha iyi çıkmıştır. Çapraz bağlayıcı içermeyen bazik ortamda hazırlanan sol ve TEOS:GPTS’nin 11:4 oranında bazik ortamda hazırlanan sollar denim kumaşların aşınma dayanımını ortalama %0,3 arttırabilmiştir.

D4, D5 ve D6 numunelerinin ise kütle kayıpları referans numuneye göre daha fazla olup, 10000 devir aşındırma sonunda D5 numunelerinde yırtılma görülmüştür. Sol kompozisyonunda çapraz bağlayıcı oranının en yüksek olduğu bu grupta numunelerin üzerindeki fazla miktarda kaplama, malzemenin dayanımını düşürmüştür. Özellikle aşınma sırasında kaplama malzemesinden kopan tozların/parçacıklarının bu aşındırıcı etkiyi daha da arttırdığı varsayıldığında D5 grubundaki numunelerde görülen yırtılmalar bu şekilde açıklanabilmektedir [18].

Tüm değerlendirmelere ek olarak bu sonuç; asidik solüsyonla işlem gören pamuklu denim numunelerin aşınma sırasında oluşan ısıyla liflerinin zarar görüp kumaş yapısından uzaklaşmasıyla da açıklanabilmektedir.

Sonuç olarak pamuk içerikli denim numunelerin dayanımının bir miktar arttırılabilmesi açısından sol oluşumunda TEOS:GPTS hacimsel oranının 11:0 ya da 11:4 olması ve başlatıcı maddelerinin yüksek pH aralığında (alkali) katalize edilmiş hidrolizinin uygun olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. Denim numunelerin aşındırma devri sonrası yüzde olarak kütle kayıpları

4. SONUÇLAR

Günlük hayatta yaygın olarak kullanılan giysilik kumaşlara yeni özellikler kazandırabilmek, boyama özellikleri ve renk haslıklarını geliştirebilmek, kullanım ömrünü uzatmak gibi amaçlar doğrultusunda fonksiyonel bitim işlemleri üzerinde yapılan çalışmalar giderek artmakta ve önem kazanmaktadır. Sol-jel tekniği de bir kaplama işlemi olarak tekstil alanında birçok araştırmada yer almaktadır.

Bu çalışmada da tekstil endüstrisinde en önemli ürünlerden birisi olan pamuk içerikli denim kumaşlara sol-jel tekniği ile kaplama uygulanarak bazı performans özelliklerinin ölçülüp, analiz edilmesi amaçlanmıştır. Başlatıcı madde olarak TEOS ve değişen hacim oranlarında GPTS

kullanılmış ve bu şekilde asidik ve bazik ortamda ayrı ayrı sollar elde edilmiştir.

SEM analizleri ile denim kumaşların lif yüzeyindeki kaplamalar doğrulanmıştır. Kütle değişim grafiklerine göre başlatıcı maddelerin asidik katalize edilmiş hidrolizi, bazik ortama göre numunelere daha fazla miktarda kaplama malzemesinin bağlanmasına yol açmıştır. Sol bileşiminde lif ve kaplama arasındaki adhezyon kuvvetinin artmasını sağlayan çapraz bağlayıcı madde oranı arttıkça numunelerin işlem sonrası kütledeki artış yükselmiştir.

İnorganik bir kaplama malzemesi olması nedeniyle tüm silika bazlı kaplama işlemleri, özellikle asidik ortamda hazırlanan solüsyonlar, denim numunelerde sertliğe neden olmuştur. Kaplama

işlemi denim numunelerin gözeneklerinin açılmasına ve lif-iplik arasından geçen hava akışının artmasına sebep olmuştur. Bu sonuç özellikle sıcak havalarda tercih edilen denim kumaşlar için konfor özelliği açısından avantajlı bir durum oluşturmuştur.

Çalışmada denim numunelerde uygulanan işlemler arasında en iyi aşınma dayanımının sol kompozisyonunda TEOS:GPTS hacimsel oranının 11:0 ve 11:4 olduğunda ve bazik ortam ile elde edilebileceği görülmüştür. Bu oran 11:8 olduğunda ve asidik ortamda sol oluşumu gerçekleştiğinde; işlemlerin numunenin dayanımını düşürdüğü, aşınma sonrası bazı numunelerde yırtılmalar olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; sol-jel tekniği ile denim kumaşların kullanım ömrünün daha da arttırılabilmesi, yumuşak tuşe elde edilebilmesi ve farklı fonksiyonel özellikler kazandırılması açısından sol kompozisyonuna yumuşatıcı, lotus özellik kazandırabilen ve antibakteriyel madde gibi farklı katkı maddelerinin eklenmesi, aynı zamanda tekrarlı yıkamalar sonucunda kaplamanın kalıcılığı sağlanarak geleneksel denim bitim işlemlerine alternatif olarak bu tekniğin uygulanması sonraki çalışmalar için ön görülebilmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, FDK-2015-3368 no'lu proje kapsamında yapılmış olup Çukurova Üniversitesi Rektörlüğü BAP Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Ayrıca çalışmada denim kumaş teminini sağlayan BOSSA Ticaret ve Sanayi İşletmeleri firmasına teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Shahbandeh, M., 2020. Global Denim Market- Statistics&Facts. <https://www.statista.com/topics/5959/denim-market-worldwide/>.
2. Annapoorani, S.G., 2017. Introduction to Denim: Sustainability in Denim, Duxford, UK: Woodhead Publishing, 765.
3. Güneşoğlu, S., 2015. The Statistical Investigation of the Effect of Hydrophilic

- Polyurethane Coating on Various Properties of Denim Fabric, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 25(3), 256–262.
4. Sabır, E.C., Doba Kadem, F., 2016. Comfort and Performance Properties of Raised and Laminated Denim Fabrics, *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 245(119), 88–94. <http://dx.doi.org/10.5604/12303666.1198064>
5. Uğur, Ş.S., Sarıışık, A.M., 2015. Deposition of Nanoparticle Multilayers to Improve Mechanical Properties of Denim Fabrics, *The Journal of the Textile Institute*, 106(7), 718-724.
6. Tölek, Ş., Kadem, F.D., 2016. Kaplamalı Denim Kumaşlarda Performans Özellikleri Üzerine Deneysel Bir Çalışma, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 307-316.
7. Cirimina, R., Fidalgo, A., Palmisano, G., Ilharco, L.M., Pagliaro, M., 2016. Silica-based Sol-gel Coatings: A Critical Perspective from a Practical Viewpoint. In: Tiwari A, Galanis A, Soucek MD, eds. *Biobased and Environmental Benign Coatings*. Beverly: Scrivener Publishing LLC.
8. Brinker, C.J., Scherer, G., 1990. *Sol-gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. San Diego, CA: Academic Press, 908.
9. Ismail, W.N.W., 2016. Sol-gel Technology for Innovative Fabric Finishing-A Review, *Journal of Sol-Gel Science Technology*, 78, 698-707.
10. Mahltig, B., Textor, T., 2008. *Nanosols and Textiles*, Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 33-53.
11. Mahltig, B., Haufe H., Böttcher, H., 2005. Functionalization of Textiles by Inorganic Sol-gel Coatings, *Journal of Materials Chemistry*, 15(41), 4385-4398.
12. Mahltig, B., Böttcher, H., Knittel, D., Schollmeyer, E., 2004. Light Fading and Wash Fastness of Dyed Nanosol-Coated Textiles, *Textile Research Journal*, 74(6), 521–527.
13. Sezgin Bozok, S., Ogulata, R.T., 2021. Effect of Silica Based Sols on the Optical Properties and Colour Fastness of Synthetic Indigo Dyed Denim Fabrics, *Coloration Technology*, 00, 1–8. <https://doi.org/10.1111/cote.12521>.

14. ASTM D4032–94 Standard Test Method for Stiffness of Fabric by the Circular Bend Procedure, 2008.
15. TS EN ISO 9237, Tekstil Kumaşlarda Hava Geçirgenliğinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1995.
16. TS EN ISO 12947-3, Martindale Metoduyla Kumaşların Aşınmaya Karşı Dayanımının Tayini-Bölüm 3: Kütle Kaybının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1998.
17. Textor, T., 2009. Modification of Textile Surfaces Using the Sol-gel Technique. Surface Modification of Textiles. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 337.
18. Brzeziński, S., Kowalczyk, D., Borak, B., Jasiorski, M., Tracz, A., 2012. Applying the Sol-Gel Method to the Deposition of Nanocoats on Textiles to Improve Their Abrasion Resistance. Journal of Applied Polymer Science, 125, 3058–3067.

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Yazım Kuralları

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi mühendislik bilimlerindeki güncel bilimsel ve teknik gelişmeleri araştırmacılara ve mühendislere ulaştırmayı hedeflemektedir. Tüm mühendislik alanları ile ilgili teorik/deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar Dergi'nin ilgi alanındadır. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi daha önce başka hiçbir yerde yayımlanmamış, özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları içeren makale ve kısa bildirileri ile Dergi'de daha önce yayımlanmış makalelerle ilgili tartışmaları kabul etmektedir. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmemektedir. Makaleler Türkçe veya İngilizce olabilir. Dergi'ye gönderilen yazılar yayınlansın veya yayınlansın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Makalenin tamamı bilgisayar ortamında hazırlanmalı baskıya hazır biçimde iki adet (birisinde yazar adları ve adresleri olmamak üzere) **Dergi web sayfasında verilen örnek şablona uygun hazırlanmış olarak elektronik ortamda veya e-posta ekinde gönderilmelidir.**

Makale, A4 (210x297 mm) boyutlu kağıda, Windows uyumlu Word ortamında, Times New Roman font kullanılarak, birer aralıkla yazılmalı, ana başlıklar 12 Punto (koyu), yazar adları 12 Punto (koyu), alt başlıklar ve metin 10 punto olmalıdır.

Çizimler ve çizelgelerle birlikte, makaleler 15 sayfadan, kısa bildiriler 4 sayfadan daha uzun olmamalıdır. **Makale Türkçe ise: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Öz, Anahtar Kelimeler, Abstract** (İngilizce öz), **Keywords, Metin, Semboller** (gerekliyse), **Teşekkür** (gerekliyse) ve **Kaynaklar**,

Makale İngilizce ise: İngilizce Başlık, Türkçe Başlık, Abstract, Keywords, Öz (Türkçe öz), **Anahtar Kelimeler, Text, Notations** (gerekliyse), **Acknowledgments** (gerekliyse) ve **References** sırası içinde düzenlenmelidir.

Başlık kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtılabilmelidir. **Öz** (ve **Abstract**) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 150 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç, en fazla beş tane anahtar kelime verilmelidir. Başlık, Öz ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır. **Metin** yalnız bir dil ve anlatımla yazılmalı, makale Türkçe ise Türkçe, makale İngilizce ise İngilizce yazım kurallarına uygun olmalıdır.

Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır. Denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalıdır. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir. Çizelgeler, çizimler ve fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli, her birine numara ve başlık verilmeli ve başlıklar çizim ve fotoğrafların altına, çizelgelerin üstüne yazılmalıdır.

Kaynaklar metinde köşeli parantez içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Etik kuralları gereğince, alıntılar tırnak içinde verilmeli ve bir referans numarası ile kaynak belirtilmelidir. Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir:

Makale ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, yıl, makalenin tam başlığı, derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları.

Kitap ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, yıl, kitabın tam adı, cilt numarası, varsa editörü, yayınlandığı yer, son sayfa no.

Bildiri ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, yıl, bildirinin tam başlığı, konferansın adı, yapıldığı yer.

Elektronik ortamdan alınmış ise: Bildiri sadece CD/DVD'de yayınlanış ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, yıl, 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, yıl, tezin adı, derecesi, sunulduğu kurum, son sayfa no.

Rapor ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, yıl, raporun adı, türü, numarası, kuruluşun adı, yayınlandığı yer.

Web Sitesi ise: Yazar(lar) belli ise; yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, varsa yayınlandığı yıl, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), Erişim Tarihi: gün, ay, yıl.

Kurum/Kuruluşlara ait ise: Kurum adı, varsa yayınlandığı yıl, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), Erişim Tarihi: gün, ay, yıl.

Elektronik kitap/rapor ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi veya kitap/raporu yayımlayan kurum veya kuruluşun adı, varsa yayınlandığı yıl, konunun tam adı, Erişim Tarihi: gün, ay, yıl.