



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Journal of Natural and Applied Sciences

nisan



Cilt: 28 Sayı: 01 Volume: 28 Issue: 01 e-ISSN: 1308 6529

2024
ISPARTA



SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Cilt 28, Sayı 1, Yıl 2024

SÜLEYMAN DEMİREL UNIVERSITY
Journal of Natural and Applied Sciences

Volume 28, Issue 1, Year 2024

e-ISSN: 1308-6529 | DOI: 10.19113/sdufenbed

DERGİ HAKKINDA

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (SDÜ Fen Bil Enst Der), 1995 yılında kurulmuş bir bilimsel araştırma dergisidir. SDÜ Fen Bil Enst Der, 2001 yılından itibaren mühendislik ve mimarlık bilimleri, tarım ve orman bilimleri ve temel bilimler alanlarında düzenli olarak Nisan, Ağustos ve Aralık aylarında yılda üç sayı yayımlanan ulusal ve uluslararası hakemli-indeksli bir dergidir. Yayımlanmak üzere gönderilen bütün makaleler; hakemler ve editörler tarafından değerlendirilir. Makaleleri değerlendiren hakemlerin isimleri yazarlara bildirilmez. Dergide, Türkçe veya İngilizce dillerinde yazılmış orijinal araştırma makaleleri yayımlanmakta olup; teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdimi ve derleme türünde bilimsel çalışmalar yayımlanmamaktadır. İngilizce dilinde yazılmış orijinal araştırma makaleleri yayımlanma önceliğine sahiptir. Dergiye yayımlanmak için gönderilen makalelerden herhangi bir değerlendirme ve başvuru ücreti alınmamaktadır.

ABOUT THE JOURNAL

Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences (SDU J Nat Appl Sci) is a scientific research journal founded in 1995. SDU J Nat Appl Sci is a national and international indexed journal with referees, which has been published in the areas of engineering and architecture sciences, agriculture and forestry sciences and fundamental sciences three times in a year including in April, August and December, regularly since 2001. Articles submitted to the journal for publication are evaluated by referees, editorial board and editor. Names of referees evaluating the articles aren't informed to the authors (Blind peer review). The full-length original research articles written in Turkish or English language are published, but technical notes, letters to the editors, expositions and surveys are not published in the journal. The full-length original scientific research articles written in English language have the priority of publication. The Journal of Natural and Applied Sciences does not charge any publication or processing fee.

İMTİYAZ SAHİBİ

Mehmet SALTAN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi Adına (Rektör)

BAS EDİTÖR

Mert ŞEKERCİ, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi (Enstitü Müdürü)

EDİTÖRLER

Tunahan TURHAN, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Yasemin COŞKUN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Cengiz GAZELOĞLU, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
(Enstitü Müdür Yardımcısı)
Banu ESENCAN TÜRKASLAN, Dr.
Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
(Enstitü Müdür Yardımcısı)

Ekinhan ERİŞKİN, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Hakan OĞUZ, Prof. Dr.
Kahramanmaraş Sütçü İmam
Üniversitesi
Oğuz YAYLA, Doç. Dr.
Hacettepe Üniversitesi
Rağbet Ezgi DURAN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Sedat AKLEYLEK, Doç. Dr.
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

İbrahim Arda ÇANKAYA,
Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Yalçın ERZURUMLU, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Faruk Süleyman BERBER,
Öğr. Gör. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

DANIŞMA KURULU

Ahmet Ali İŞILDAR, Prof. Dr.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.
Ayşegül ÖKSÜZ, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Bahri KARLI, Prof. Dr.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.
Erdoğan KÜÇÜKÖNER, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Ersan AKYILDIZ, Prof. Dr.
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ersin YÜCEL, Prof. Dr.
Anadolu Üniversitesi

Gerhard-Wilhelm WEBER, Prof. Dr.
Poznan Teknoloji Üniversitesi
Güven ÖNBİLGİN, Prof. Dr.
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Mehmet POLAT, Prof. Dr.
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Metin AYDOĞDU, Prof. Dr.
Trakya Üniversitesi
Muhsin KONUK, Prof. Dr.
Üsküdar Üniversitesi
M. Zakir KANBUR, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Osman ÇETİNKAYA, Prof. Dr.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.
Serdar CARUS, Prof. Dr.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.
Urfat NURİYEV, Prof. Dr.
Ege Üniversitesi
Şeref SAĞIROĞLU, Prof. Dr.
Gazi Üniversitesi
Tolga TAŞDİZEN, Doç. Dr.
Utah Üniversitesi

TEKNİK EDİTÖRLER

Sercan ÖNDER,
Arş. Gör.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.

Zübeyde ÇİÇEK,
Arş. Gör. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Muhammet Çağrı Gencer,
Arş. Gör.
Süleyman Demirel Üniversitesi

BÜRO İŞLERİ

Uğur KARATEPE, Memur
Süleyman Demirel Üniversitesi

KAPAK TASARIM

Mehmet ÖZKARTAL, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Mehmet Nuri KIVRAK

PRIVILEGE OWNER

Mehmet SALTAN, Prof. Dr.
On Behalf of Süleyman Demirel University (President)

EDITOR IN CHIEF

Mert ŞEKERCİ, Assoc. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University (Director of the Institute)

EDITORS

Tunahan TURHAN, Assoc. Prof. Dr.

Süleyman Demirel University

Yasemin COŞKUN, Prof. Dr.

Süleyman Demirel University

Cengiz GAZELOĞLU, Assoc. Prof. Dr.

Süleyman Demirel University

(Associate Director of the Institute)

Banu ESENCAN TÜRKASLAN,

Asst. Prof. Dr.

Süleyman Demirel University

(Associate Director of the Institute)

Ekinhan ERİŞKİN, Asst. Prof. Dr.

Süleyman Demirel University

Hakan OĞUZ, Prof. Dr.

Kahramanmaraş Sütçü İmam

University

Oğuz YAYLA, Assoc. Prof. Dr.

Hacettepe University

Rağbet Ezgi DURAN, Prof. Dr.

Süleyman Demirel University

Sedat AKLEYLEK, Assoc. Prof. Dr.

Ondokuz Mayıs University

İbrahim Arda ÇANKAYA,

Asst. Prof. Dr.

Süleyman Demirel University

Yalçın ERZURUMLU, Asst. Prof. Dr.

Süleyman Demirel University

Faruk Süleyman BERBER,

Teach. Asst. Dr.

Süleyman Demirel University

ADVISORY BOARD

Ahmet Ali İŞILDAR, Prof. Dr.

Isparta University of Applied Sciences

Ayşegül ÖKSÜZ, Prof. Dr.

Süleyman Demirel University

Bahri KARLI, Prof. Dr.

Isparta University of Applied Sciences

Erdoğan KÜÇÜKÖNER, Prof. Dr.

Süleyman Demirel University

Ersan AKYILDIZ, Prof. Dr.

Middle East Technical University

Ersin YÜCEL, Prof. Dr.

Anadolu University

Gerhard-Wilhelm WEBER, Prof. Dr.

Poznan University of Technology

Güven ÖNBİLGİN, Prof. Dr.

Ondokuz Mayıs University

Mehmet POLAT, Prof. Dr.

İzmir Institute of Technology

Metin AYDOĞDU, Prof. Dr.

Trakya University

Muhsin KONUK, Prof. Dr.

Üsküdar University

M. Zakir KANBUR, Assoc. Prof. Dr.

Süleyman Demirel University

Serdar CARUS, Prof. Dr.

Isparta University of Applied

Sciences

Osman ÇETİNKAYA, Prof. Dr.

Isparta University of Applied

Sciences

Şeref SAĞIROĞLU, Prof. Dr.

Gazi University

Tolga TAŞDİZEN, Assoc. Prof. Dr.

University of Utah

Urfat NURİYEYEV, Prof. Dr.

Ege University

TECHNICAL EDITORS

Sercan ÖNDER, Res. Asst.

Isparta University of Applied Sciences

Zübeyde ÇİÇEK, Res. Asst. Dr.

Süleyman Demirel University

Muhammet Çağrı Gencer, Res. Asst.

Süleyman Demirel University

OFFICE WORK

Uğur KARATEPE, Staff

Süleyman Demirel University

COVER DESIGN

Mehmet ÖZKARTAL, Prof. Dr.

Süleyman Demirel University

Mehmet Nuri KIVRAK

Araştırma Makaleleri / Research Articles

İzosiyanat İçermeyen Su Esaslı Poli (Hidroksi Üretan) Filmlerin Sentezi ve Kendini Onarma Özelliklerinin İncelenmesi	1-11
<i>Synthesis of Water-based Isocyanate-Free Poly (Hydroxy Urethane) Films and Investigation of Their Self-Healing Properties</i>	
Dilek DALGAKIRAN	
Sert Hammadde Tane Boyutu ve Pişirim Sıcaklığının Duvar Karosu Bünye Özelliklerine Etkisi	12-18
<i>Effect of Hard Raw Material Particle Size and Sintering Temperature on Properties of the Wall Tile Bodies</i>	
Belgin TANIŞAN, Gamze KARAKEDİ SAKARYA	
Dumanlı Dağları (Refahiye-Erzincan)'nın Endemik Bitki Çeşitliliği	19-26
<i>Endemic Plant Diversity and Conservation of The Dumanlı Mountains (Refahiye Erzincan)</i>	
Mustafa KORKMAZ, İbrahim ONKAŞ	
Hakkâri İlinde Gökkuşaağı Alabalığı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) Yetiştiriciliği Yapan İşletmelerin Yapısal Analizi.....	27-34
<i>Structural Analysis of Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss) Farms in Hakkâri Province</i>	
Fatih ÜNAL, Öznur ÖZİL	
Domateste Kök ur nematodu Kontrolünde Ticari Bionematisit ve Kitosan Kombinasyonları	35-41
<i>Combinations of Commercial Bionematicides and Chitosans for Root Knot nematode Control on Tomato</i>	
Fatma Gül GÖZE ÖZDEMİR	
Atık Mısır Koçanı Külünün Jeopolimer Harç Üretiminde Kullanımı	42-52
<i>Use of Waste Corn Cob Ash in Geopolymer Mortar Production</i>	
Kübra Ekiz BARIŞ	
Elastic, Electronic, Dynamic and Thermodynamic Properties of YbPdH ₃	53-59
<i>YbPdH₃'ün Elastik, Elektronik, Dinamik ve Termodinamik Özellikleri</i>	
Selgin AL	
Desenleştirilmiş Karma Verilerin Transfer Öğrenme Yöntemi Kullanılarak Evrişimli Sinir Ağlarıyla Sınıflandırılması.....	60-68
<i>Classification of Visualized Mixed Data with Convolutional Neural Networks Using Transfer Learning Method</i>	
Bahadır ELMAS, Elif Özge ÖZDAMAR	
Sismik ve boyutsal parametrelerin istinat duvarlarının maliyetine etkisi.....	69-80
<i>Effect of seismic and dimensional parameters on the cost of retaining walls</i>	
Münire FINDIK	

İzosiyanat İçermeyen Su Esaslı Poli (Hidroksi Üretan) Filmlerin Sentezi ve Kendini Onarma Özelliklerinin İncelenmesi

Dilek DALGAKIRAN*¹

¹Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Polimer Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye

(Alınış / Received: 26.10.2022, Kabul / Accepted: 17.07.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 27.04.2024)

Anahtar Kelimeler

Kendi kendini onaran,
İzosiyanat içermeyen,
Poli (Hidroksi üretan),
Su esaslı

Öz: Bu çalışmada, fosgen ve düşük uçucu organik bileşik (UOB), (volatile organic compounds, VOCs) emisyonuna sahip izosiyanat içermeyen su esaslı poli(hidroksil üretan) (WPHU) filmlerin hazırlanması ve kendi kendini onarma özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. WSPHU'ların kendi kendini onarma yeteneği polimer ana zincirine disülfür bağları eklenmesiyle sağlanmıştır. %30 katı içeriğe sahip WSPHU dispersiyonu herhangi bir yardımcı çözücü olmadan sadece su ile hazırlanmıştır. WSPHU'ların ağ yapısını oluşturmak için hexakis metoksimetil melamin (HMMM) kullanılmıştır. Şeffaf görünümde ve ısı olarak kararlı WSPHU filmler farklı oranlarda HMMM (ağırlıkça %2-8) kullanılarak hazırlanmıştır. 180 numara zımpara ile hasarlanan filmler etüvde 24 saat 80 °C'de bekletildikten sonra kendi kendini onarma özellikleri incelenmiştir. Optik mikroskopla yapılan gözlemler neticesinde hasarlı filmlerin kendi kendilerini farklı derecelerde onardığı görülmüştür. Deney sonuçlarına göre HMMM oranı ve hasarın büyüklüğü (çizik kalınlığı), WSPHU'ların kendi kendini onarma yetenekleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Filmdeki HMMM oranı %4'te çizik kalınlıkları da dikkate alındığında kendi kendini onarma performansı en iyidir. Mevcut çalışma, kendi kendini onaran izosiyanat içermeyen WSPHU'ların geliştirilmesi için öncü bir çalışma niteliğindedir.

Synthesis of Water-based Isocyanate-Free Poly (Hydroxy Urethane) Films and Investigation of Their Self-Healing Properties

Keywords

Self-healing,
Isocyanate-free,
Poly(hydroxy urethane),
Water-based

Abstract: This research aimed to develop water-soluble isocyanate-free poly(hydroxyl urethane) (PHUs) with phosgene-free, low-in-volatile organic compounds (VOCs) emission and analyze their self-healing properties. Disulfide bonds were introduced into the polymer backbone of PHUs to constitute the self-healing capability. With a solid content of 30%, WSPHU dispersion was prepared without co-solvent. To form the network structure of WSPHUs, different ratios of hexakis methoxymethyl melamine (HMMM) were used. Transparent and thermally stable WSPHUs were developed by using different ratios of HMMM (2-8% by weight). The films were damaged with 180 grit sandpaper and kept at 80 °C in an oven. By using an optical microscope, it was observed that damaged films repaired themselves to varying degrees. According to the experimental results, HMMM ratio and extent of the damage (scratch thickness) significantly impact the self-healing abilities of the WSPHUs. This is a pioneering study in identifying the development of self-healing isocyanate-free WSPHUs for the future.

1. Giriş

Poliüretanlar (PU) esas olarak bir diizosiyanat, bir poliöl ve bir zincir uzatıcının katalizör varlığında

reaksiyona girmesiyle sentezlenir [1]. İzosiyanat ile yapılan poliüretan sentezinin ana sınırlaması

*İlgili yazar: dilek.dalgakiran@yalova.edu.tr

toksisitedir; izosiyanatlar yüksek derecede toksik fosgen gazı kullanılarak üretilir [2]. Fosgen gazı renksiz, oldukça reaktif ve son derece zehirlidir [3]. Zehirli gazlara maruz kalmanın solunum problemlerine, göz tahrişine, cilt yanıklarına ve hatta ölüme neden olabileceği bilinmektedir. Bu endişeler açısından bakıldığında (izosiyanat içermeyen poliüretanları (NIPU) sentezlemenin birçok yöntemi olsa da) çok işlevli bisiklik karbonatların ve diaminlerin çoklu katılma reaksiyonu en umut verici NIPU sentez yöntemi olarak görülmektedir. Saflaştırma esnasında çözücünün uzaklaştırılmasıyla NIPU daha ekonomik bir halde sentezlenebilir. Literatüre göre, NIPU'lar çoğunlukla 5 üyeli bisiklik karbonatların (5-BCC) yüksek sıcaklıkta işlenmesiyle sentezlenir. Buna karşılık, 6 üyeli bisiklik karbonat (6-BCC) ile diamin daha ılımlı sıcaklıklarda reaksiyona girer, çünkü 6-BCC'lerin halka gerilim enerjisi 5-BCC'lerin halka gerilim enerjisinden daha büyüktür. Bununla birlikte, genellikle fosgen gazından sentezlendikleri için 6-BCC'lerin kullanımı önerilmez. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, fosgen gazı ve katalizör içermeyen 6-BCC'lerin sentezi başarıyla geliştirilmiştir [4]. Bu durum, NIPU sentezinde 6-BCC'lerin kullanımını destekleyecektir. Çalışmamızda da yukarıda kaynak gösterilen yöntemle 6-BCC sentezi yapılmıştır.

VOC kullanımına ilişkin yasal kısıtlamalar nedeniyle, tehlikeli çözücü içermeyen poliüretanlar endüstriyel uygulamalarda popülerlik kazanmaktadır [5]. Araştırmalar, son zamanlarda poliüretan ürünlerindeki VOC emisyonunu farklı sentez yöntemleri geliştirerek azaltmaya odaklanmıştır. Çok sayıda çalışma, WSPHU'nun geleneksel yöntemle hazırlanan poliüretanlara göre etkinliğini kıyaslamıştır [6-8]. Su esaslı poliüretanların çözücü esaslı poliüretanlara göre en önemli avantajı VOC emisyonunun ve sağlık risklerinin azalmış olmasıdır [5,9]. Bunlara ek olarak su esaslı poliüretanlar düşük viskozite, yüksek moleküler ağırlık ve kullanım kolaylığı gibi özelliklere de sahiptir.

PU, çok yönlü özelliklerinin bir sonucu olarak geniş bir uygulama alanına sahiptir ve bu uygulama alanlarından biri de kaplamalardır [10]. Çevresel koşulların (UV, çizik vb.) yüzeylere zarar verdiği durumlarda, malzemelerin estetik görünümünü ve fonksiyonel özelliklerini çevresel etkilerden korumak için poliüretan kaplamalardan yararlanır [11]. Kendi kendini onaran malzemelerin geliştirilmesi, bu uygulama alanı için çok önemli bir teknolojik ihtiyaç haline gelmiştir. Kendi kendini onaran malzemeler kullanılarak çatlak ve çiziklerin neden olduğu hasarı önlemek veya en aza indirmek mümkündür. Son on yılda birçok çalışma kendi kendini onaran poliüretan malzemelerin geliştirilmesine odaklanmıştır. Uzun vadeli uygulamalarda sürdürülebilir ekonomik katkılar elde etmek için yeni kendi kendini onaran sistemler ve stratejiler önerilmeye devam edilmektedir.

Kendi kendini onaran polimerler içsel ve dışsal kendi kendini onaran polimerler olarak ikiye ayrılırlar [12]. Dışsal kendi kendini onarma, mikro çatlakları onarabilen mikrovasküler ağlara ve mikrokapsüllere gömülü onarıcı ajanların polimerleşmesine dayanır. İçsel kendi kendini onaran polimerler ise, tersinir dinamik kimyasal bağları (kovalent veya kovalent olmayan bağlar) nedeniyle kendi kendini onarabilmektedir. Bunları üretmek için disülfür [10,13], imin [14], engellenmiş üre [15], boronik ester bağı [16], hidrojen bağı etkileşimleri [17-19], ve Diels-Alder siklo eklentisi [20] dahil olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılabilir. İçsel kendi kendini onarmayı çeşitli faktörler (nem, ısı, asitler, bazlar, UV vb.) ile tetiklemek mümkündür.

Özellikle disülfür bağları, zayıf bağlar olarak sınıflandırıldıkları ve bağlanma enerjileri C-C ve C-H bağlarından daha düşük olduğu için araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Mekanik stres, ısı ve UV ışınması gibi uyaranlar katalizör veya başlatıcı kullanılmadan yeni disülfür bağlarının oluşmasıyla sonuçlanan reaksiyonları başlatabilirler [18].

Disülfür kaynaklarının poliüretanın kendi kendini onarması için kullanıldığı çalışmalardan bir kısmı Tablo 1'de gösterilmiştir. Kendi kendini onaran polimer-yıldız jellerini kovalent çapraz bağlamak için disülfür bağlarının kullanılmasına ilişkin ilk çalışma, Kamada vd. (2010) tarafından yayınlanmıştır. Bu çalışma, polimer-yıldız jellerinin tiyol/disülfür redoks dinamik değişim reaksiyonları ile tersinir kovalent çapraz bağlanmasına odaklanmıştır [21]. Xu ve Chen (2016) ise yaptıkları çalışmada, disülfür bağları yardımıyla kendi kendini onaran poliüretanın kendi kendini onarma ve şekil hafıza özelliklerini incelemişlerdir [22]. Başka bir çalışmada araştırmacılar, aromatik disülfür bağlarını kullanarak PU elastomeri sentezleyip, hasarlanan malzemeyi 60 °C 'ye ısıtarak PU elastomerin kendi kendini onarabildiklerini deneysel olarak ispatlayabilmişlerdir [23].

Bununla birlikte, aromatik disülfür içeren polimerlerin yüzeyi zamanla sararır ve mekanik özellikleri de zayıftır. Bu durumda, mekanik dayanım sağlamak ve sararmayı azaltmak için polimer yapılarına alifatik disülfürler eklenebilmektedir [9,23]. Bir çalışmada, polisülfür esaslı çapraz bağlı poli(tiyüretan-üretan) elastomerler alifatik disülfür kullanılarak sentezlenmiştir. Bu çalışmada, hazırlanan elastomerin oda sıcaklığında, katalizör varlığında ve uyaran olmadan kendi kendini onarma yeteneği gösterdiği raporlanmıştır [14]. Gao vd. (2018), alifatik disülfür içeren kendi kendini onaran elastomerleri 75 ve 100 °C'de incelemiştir. Daha düşük çapraz bağlanma derecesinin ve daha yüksek iyileşme sıcaklığının daha güçlü bir kendi kendini onarma performansı ile sonuçlandığını ispatlamıştır [24]. Başka bir çalışmada ise araştırmacılar, polimer

Tablo 1. Farklı disülfür kaynakları (aromatik veya alifatik yapıda) ile hazırlanan kendi kendini onarabilen poliüretan örnekler

Disülfür kaynağı	Sıcaklık (°C)	Süre	Kendi kendini onarma etkinliği (%)	Referans
Sistamin hidroklorür	130.0	12 saat	29.0	[2]
Sistamin hidroklorür	110.0	12 saat	21.0	[2]
4-Aminofenil disülfür	25.0	24 saat	80.0	[25]
2-hidroksietil disülfür	65.0	10 dakika	90.5	[10]
Bis(4-aminofenil) disülfür	25.0	24 saat	97.0	[26]
2-hidroksietil disülfür	80.0	5 dakika	Belirtilmemiş	[22]
4,4'-ditiyodianilin	60.0	24 saat	97.4	[23]
Tiol sonlu polisülfür oligomer	75.0	24 saat	90.8	[24]
Dietil disülfür	50.0	24 saat	Belirtilmemiş	[27]
2-hidroksietil disülfür	50.0	24 saat	Belirtilmemiş	[27]

ana zincirine grafen oksit dahil ederek alifatik disülfür içeren lineer bir poli(üretan üre) hazırlamışlar ve kendi kendini onarma performansı üzerine sonuçları raporlamışlardır [10].

Bu çalışmada, VOC emisyonunun azaltılması amacıyla izosiyanat kullanmadan ve çözücü kullanımını kısıtlayarak su esaslı poliüretan formülasyonları geliştirmek ve elde edilen ürünlerin kendi kendini onarma özelliklerini kullanılan çapraz bağlayıcı yoğunluğu ve hasar sonucu oluşan çizgin büyüklüğüne bağlı olarak incelemek amaçlandı. WSPHU'ların sentezinde, kolaylıkla temin edilebildiğinden disülfür yapısına sahip bir diamin olan sistamin hidroklorür (Cys.2HCl) tercih edildi. Ayrıca, disülfür ile daha hızlı reaksiyona giren ve ısı olarak daha kararlı WSPHU'ların üretilmesine katkı sağlayan 6-BCC laboratuvarında sentezlenip kullanıldı. Toplam S-S bağı konsantrasyonu sabit tutulurken, HMMM:WSPHU oranı çapraz bağlanma yoğunluğunun WSPHU filmlerinin kendi kendini onarma yeteneği üzerindeki etkisini incelemek için değiştirildi. WSPHU-X (X=2, 4, 6, 8 %, HMMM dispersiyonu ile WSPHU dispersiyonu arasındaki mol orandır) filmleri tanımlamak için kullanılan kodlamadır. Poliüretanın yapısı, ısı özellikleri ve kendi kendini iyileştirme özelliklerine çapraz bağlayıcı ve hasarın büyüklüğünün etkisi araştırıldı. Hazırlanan poliüretan filmler çapraz bağ yoğunluklarına ve hasar büyüklüğüne göre farklılaşan iyileşme özellikleri sergilediler. Bu çalışma, su esaslı kendi kendini iyileştiren poliüretanlar için bazı temel bilgiler sağlayabilir.

2. Materyal ve Metot

Difenil karbonat (DPC), pentaeritritol (PE), sistamin dihidroklorür (Cys.2HCl), süksinik anhidrit, susuz piridin ve para-toluen sülfonik asit (p-TSA) Sigma-Aldrich 'ten satın alındı. Çözücüler ticari olarak temin edilip herhangi bir saflaştırma yapılmadan kullanıldı. HMMM'nin ticari olarak mevcut bir versiyonu Becker's Group'tan temin edildi.

2.1. Bisiklik karbonat (BCC) sentezi

Poliüretan sentezine BCC sentezi ile başlandı [4]. DPC (9 g, 42 mmol), 250 ml dimetil formamid (DMF)

içinde çözüldükten sonra 10 ml DMF içindeki pentaeritritol (0.57 g, 7 mmol) çözeltisi ile birleştirilip N₂ ortamında 100 °C 'de 24 saat karıştırıldı. DMF buharlaştırıldıktan sonra kalan katı madde, etil asetat (EtOAc)/n-hekzan ile yıkandıktan sonra DMF/dietil eter (Et₂O)'de yeniden kristallendirildi.

2.2. Sistamin Hazırlanması

50 ml distile suya, sistamin hidroklorür (Cys.2HCl; 4 g, 17.8 mmol) ve potasyum hidroksit (KOH; 3 g, 53.5 mmol) ilave edilip oda sıcaklığında yarım saat manyetik karıştırıcı ile iyice karıştırıldı. Nihai çözelti, diklorometan (4x75 ml CH₂Cl₂) ile ekstrakte edilip toplanan organik kısım magnezyum sülfat (MgSO₄) üzerinde kurutuldu, süzüldü ve çözücü buharlaştırıldı.

2.3. Karboksilatlı poli(hidroksi üretan) (CPHU) sentezi

1 ml DMF ile hazırlanan BCC çözeltisi (1 mmol), 1 ml DMF ile hazırlanan sistamin (1.05 mmol) çözeltisine ilave edildikten sonra 4 gün boyunca oda sıcaklığında manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. 4 günün sonunda, susuz piridin (6 mmol) ve süksinik anhidrit (6 mmol) reaksiyon balonuna eklendi. Yeni reaksiyon çözeltisi, 3 gün boyunca 60°C'de manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Çözücü buharlaştırıldıktan sonra kalan katı madde (CPHU), etil asetat (EtOAc) ile yıkandı ve asetonunda tekrar çöktürüldü.

2.4. Su esaslı poli(hidroksi üretan) (WSPHU) sentezi

CPHU (0.165 mmol), metanol (MeOH, 25 ml) içinde çözüldü ve 0°C 'ye soğutuldu. 2 ml su içindeki sodyum bikarbonat (NaHCO₃, 1.324 mmol), CPHU çözeltisi ile karıştırıldıktan sonra MeOH, döner buharlaştırıcı ile buharlaştırıldı. Kalan katı madde, MeOH/tetrahidrofuran (THF) çözücü karışımında çöktürüldü, aseton ile yıkandı ve 25°C'de 1 gün boyunca vakum altında kurutuldu.

2.5. Çapraz bağlı WSPHU dispersiyonlarının hazırlanması

WSPHU, kuvvetli karıştırma altında (2000-2500 rpm) ağırlıkça %30 katı içeriği olan bir dispersiyon elde etmek için suya yavaş yavaş eklendi. HMMM'nin suda dispersiyonu ultrasonik banyoda hazırlandıktan sonra katalizör (p-TSA) ile 50°C'deki WSPHU dispersiyonuna ilave edildi. Sulu dispersiyon, çapraz bağlı bir WSPHU filmi oluşturmak üzere bir alüminyum levha üzerine döküldü. Film (yaklaşık 0.5 mm kalınlığında) bir vakum etüvünde 50 °C 'de 1 saat, 60 °C 'de 1 saat ve 150 °C 'de 3 saat kurutulduktan sonra ortam sıcaklığında bir desikatörde muhafaza edildi. Tablo 2'de belirtilen oranlarla hazırlanan dispersiyonlar için herhangi bir yardımcı çözücü kullanılmadı.

Tablo 2. Hazırlanan filmlerin formülasyonları

	WSPHU dispersiyonu (%ağ.)	HMMM dispersiyonu (%ağ.)	p-TSA (%ağ.)
WSPHU-2	30	2	1
WSPHU-4	30	4	1
WSPHU-6	30	6	1
WSPHU-8	30	8	1

2.6. Malzeme karakterizasyonu

¹H Nükleer manyetik rezonans (NMR) analizi, dahili standart olarak dimetil sülfoksit (DMSO) kullanılarak 500 MHz'de çalışan bir Varian Inova 500 Spektrometresi kullanılarak gerçekleştirildi.

Fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR) analizi, ATR ünitesi ile donatılmış bir Perkin Elmer spektrometresi (Spectrum 100) üzerinde gerçekleştirildi. Spektrumlar 650 ila 4000 cm⁻¹ arasında kaydedildi.

Termogravimetrik analiz (TGA) filmlerin ısı özelliklerini belirlemek amacıyla Seiko TG/DTA 6300 cihazı kullanılarak yapıldı. Toplam 7-9 mg numune 25 °C'den 650 °C'ye 10 °C dk⁻¹ ısıtma hızı ile ısıtıldı.

Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri, Seiko DSC 7020 Enstrümanı kullanılarak bir ısıtma döngüsü ile gerçekleştirildi. Sıcaklık tarama programı, ilk tarama için 10°C'dak⁻¹ hızında 25°C'den 150°C'ye ısıtma ile başladı ve daha sonra 10°C'dak⁻¹ hızında 25°C'ye soğutuldu. İkinci taramada, 5°Cmin⁻¹ hızında 150°C'ye yeniden ısıtma yapıldı. Cam geçiş sıcaklıkları (Tg) ikinci taramadan elde edildi. DSC analizlerinde uygulanan maksimum sıcaklık TGA verilerinden tahmin edildi.

Jel geçirgenlik kromatografisi (GPC) ölçümleri, Agilent 1100 otomatik numune alıcısı, bir pompa, refraktometre, UV detektörü ve dört adet Waters Styragel kolonundan (HR 5E, HR 4E, HR 3, HR 2) oluşan bir cihaz üzerinde gerçekleştirildi. THF, 30 °C'de 0.3 mL/dk akış hızında eluent ve toluen bir iç standart olarak kullanıldı. Lineer polistiren standartlarına (Polymer Laboratories) dayalı GPC yöntemi, sayı ortalamalı moleküler ağırlığı (M_n) ve

molekül ağırlığı dağılımını (PDI) hesaplamak için kullanıldı.

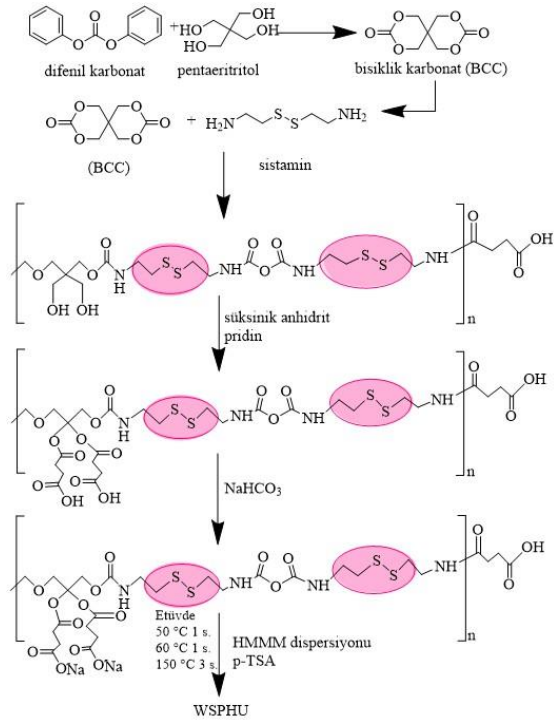
WSPHU filmlerinin sertliği ve çizilme direnci ASTM D3363 'e göre test edildi. Numunelerin sertliğini belirlemek için farklı dereceli kalemler (6B-6H) kullanıldı. Test, her numune için üç kez tekrarlandı.

Bu deneylerde, WSPHU filmlerinin çizikleri kendi kendine onarma özellikleri, 10x büyütme altında bir optik mikroskop kullanılarak izlendi. Çizikler, 180 numara zımpara ile oluşturuldu ve mikrograflar başlangıç anı ve 80 °C etüvde 24 saat bekletildikten sonra optik mikroskoptan alındı.

3. Bulgular

3.1. Kendi kendini iyileştiren, su esaslı ve izosiyanat içermeyen WSPHU'ların sentezi

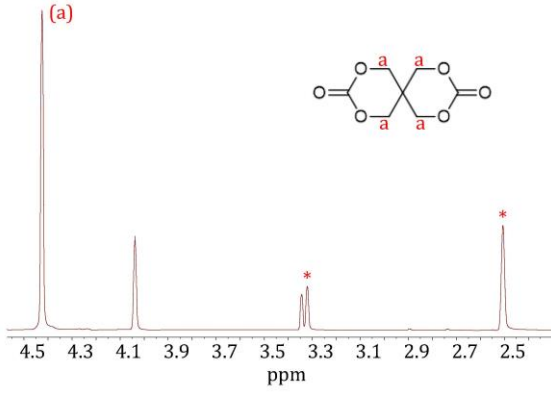
Çapraz bağlı WSPHU'ların sentezini özetleyen reaksiyon şeması Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Çapraz bağlı WSPHU'ların sentezini özetleyen reaksiyon şeması

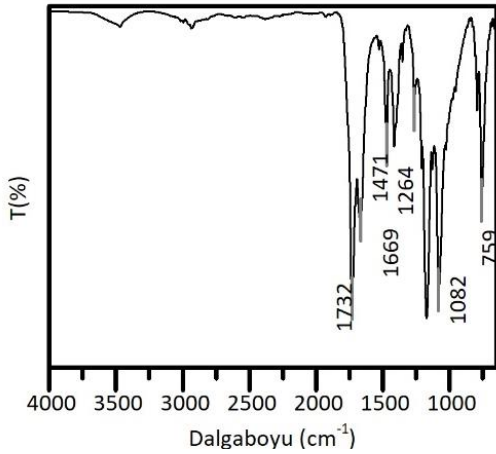
Şekil 2'deki BCC'ye ait ¹H NMR spektrumunda, 4.43 ppm'de keskin tekli sinyal, 6-BCC 'nin metilen protonlarını temsil etmektedir[4].

BCC verimi, metilen proton sinyalleri ile yan ürünlerinin proton sinyalleri arasındaki integral oranlanarak yaklaşık %90 hesaplandı.



Şekil 2. Bisiklik karbonatın kısmi ^1H NMR spektrumları (Yıldız işaretleri DMSO ve çözücü kalıntısını temsil eder.)

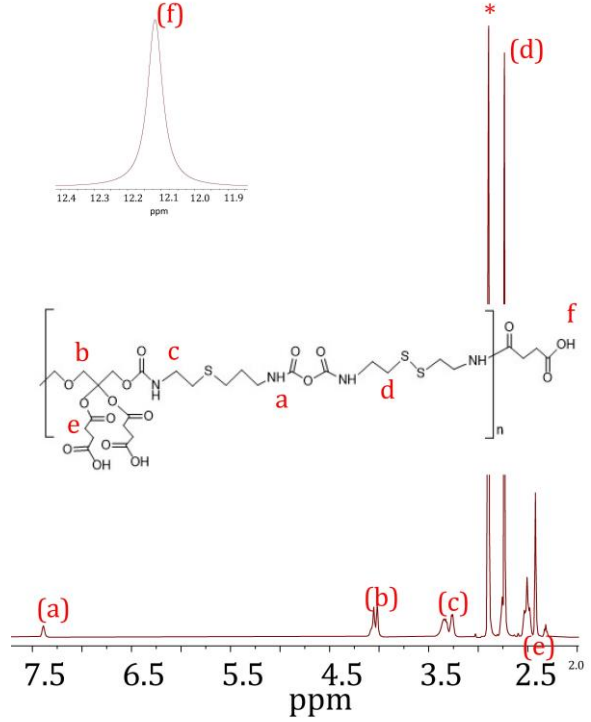
Sentez sonrasında elde edilen BCC katısına FTIR analizi yapıldı ve sonuçlar Şekil 3'te paylaşıldı. BCC'de iki karbonat halkası bulunmaktadır. 1732 cm^{-1} 'deki $\text{C}=\text{O}$ bandı, yapıdaki siklik karbonatların göstergesidir. Ayrıca, 1264 cm^{-1} 'de -C-O- , $1171\text{-}1082\text{ cm}^{-1}$ 'de -O-(C=O)-O- ve 759 cm^{-1} 'de karbonat halkasındaki -C-O bandlarının varlığı daha önceki çalışmalarda rapor edilenlerle uygun oldukları gözlemlendi [28,29].



Şekil 3. Bisiklik karbonatın FTIR spektrumu

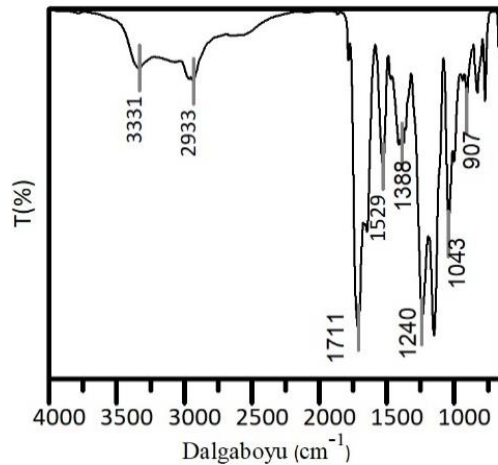
İkinci aşamada CPHU sentezlendi. Şekil 4'te CPHU'nun ^1H -NMR spektrumu görülmektedir. 12.17 ppm 'deki sinyal yapıdaki -COOH gruplarının varlığını ortaya koymaktadır (Düşük elektron yoğunluğu görmeyi zorlaştırmaktadır) [30]. Reaksiyona girmemiş -OH gruplarının göstergesi olan 3.4 ppm 'de -CH_2 protonlarına ait bir sinyal mevcut değildir [31]. İlave olarak, yaklaşık 2.5 ppm 'de süksinatın metilen protonlarından kaynaklanan sinyaller görülmektedir [31]. İlave olarak, ^1H -NMR analizinde 7.40 ppm 'de $\text{-C(O)-NH-CH}_2\text{-}$, $4.08\text{-}4.02\text{ ppm}$ $\text{-C(O)-O-CH}_2\text{-}$, $3.36\text{-}3.33\text{ ppm}$ 'de $\text{CH}_2\text{-NH-C(O)-}$, $2.77\text{-}2.74\text{ ppm}$ 'de $\text{-CH}_2\text{-S-}$ ve $2.55\text{-}2.40\text{ ppm}$ 'de $\text{-CH}_2\text{-C(O)-O-}$ gruplarına ait sinyallerin gözlenmesi PHU'daki -OH gruplarının süksinik anhidritten gelen -COOH grupları ile yer değiştirdiğini ve reaksiyonun tamamlandığını kanıtlamaktadır. Karboksillenmiş polihidroksi

üretanlarla ilgili benzer gözlemler rapor edilmiştir [29,32].



Şekil 4. DMSO'da CPHU'nun ^1H NMR spektrumu (Yıldız işaretleri artık DMSO'yu temsil eder)

CPHU'nun FTIR spektrumu incelendiğinde, 1732 cm^{-1} 'de $\text{C}=\text{O}$ gerilmesine ait bandın olmaması BCC'nin reaksiyonda tükendiği şeklinde yorumlandı (Şekil 5). 3331 cm^{-1} (N-H gerilme) ve 1531 cm^{-1} (N-H eğilme) civarındaki absorpsiyon bantları, 1711 cm^{-1} (üretan ve karboksilik grupların serbest $\text{C}=\text{O}$ gerilmesi) ve 1240 cm^{-1} 'deki (N-CO-O 'nun gerilme titreşimi) güçlü absorpsiyon bantları yapıdaki üretan bağlarının varlığını doğrulamaktadır.

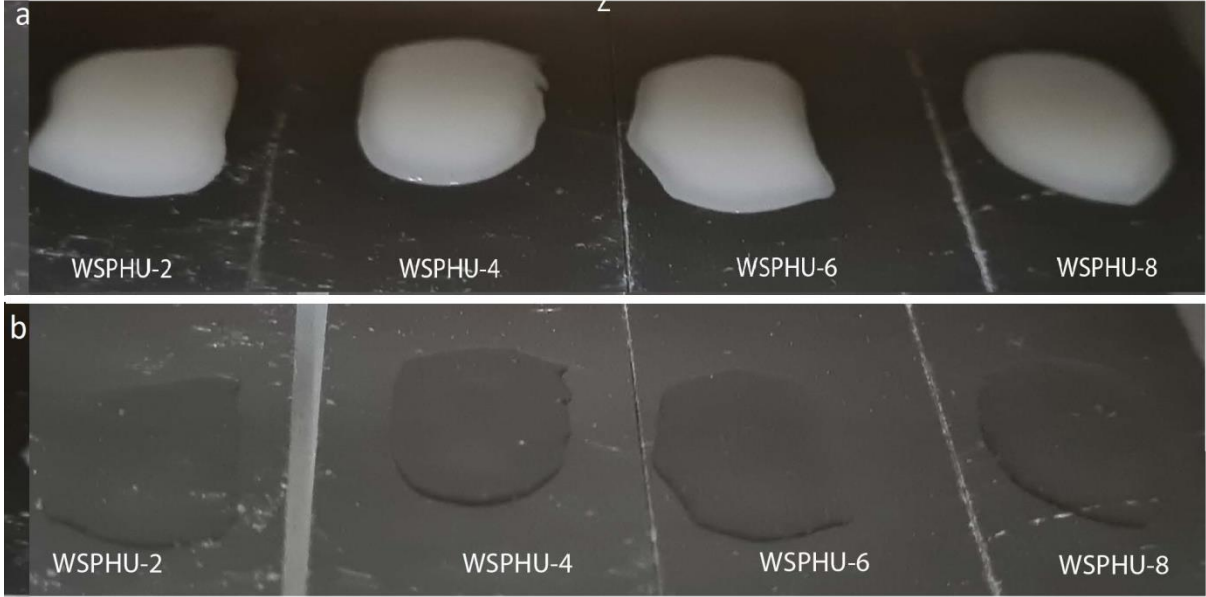


Şekil 5. CPHU'nun FTIR spektrumu

GPC sonuçlarından, CPHU'ya ait ortalama molekül ağırlığı (M_n) ve molekül ağırlığı dağılımı (M_w/M_n) sırasıyla 1128 g/mol ve 2.85 bulundu. Üçüncü aşamada, CPHU'daki karboksilik asit grupları NaHCO_3 ile nötrale edilip katı içeriği ağırlıkça %30 olacak

şekilde suda dispersiyonu hazırlandı. Çalışmada, CPHU dispersiyonlarını çapraz bağlamak için ticari heksakis(metoksi metil)melamin (HMMM) kullanıldı. HMMM kullanarak CPHU'ya bağlı katı içeriği ağırlıkça % 2-8 aralığında değişen dispersiyonlar hazırlandı ve

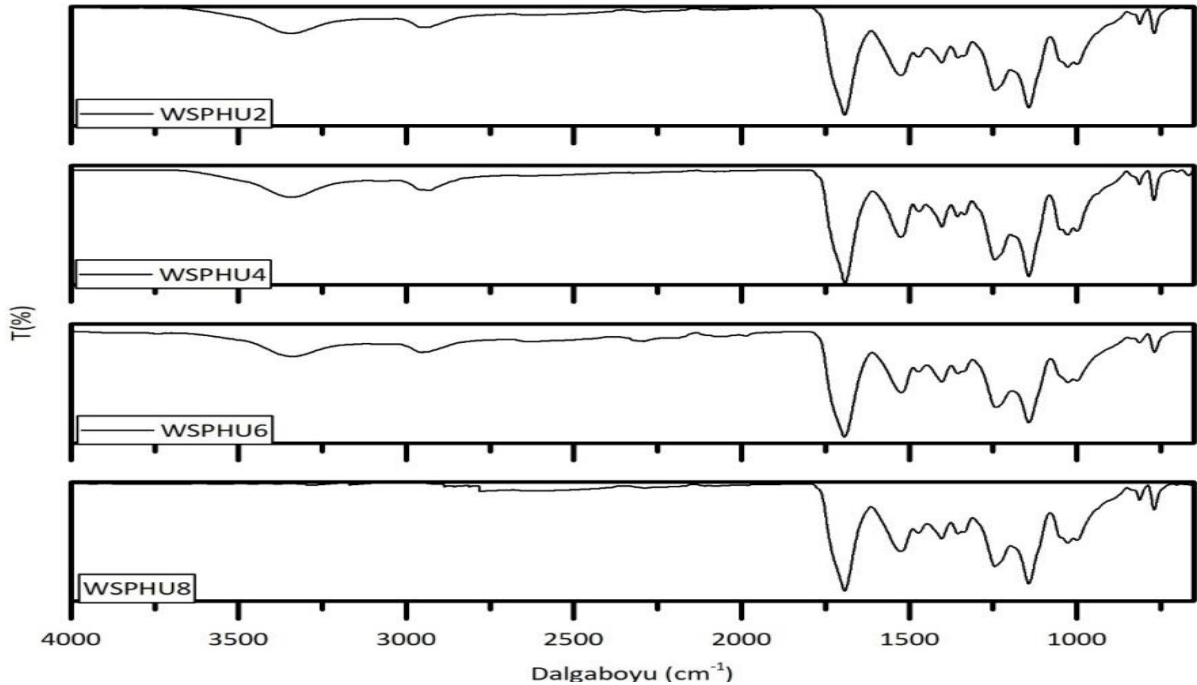
her bir dispersiyona %1 amin bloke p-TSA ile katalizör eklendi. Hazırlanan dispersiyonlara ait görseller Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6. Filmlerin çapraz bağlama işleminden (a) önce ve (b) sonra görüntüleri

Şekil 7'deki WSPHU filmlere ait FTIR spektrumlarında, 1500 cm⁻¹ ve 815 cm⁻¹'de HMMM 'nin aromatik yapısına karşılık gelen absorpsiyon bantları görülmektedir. Yaklaşık

1240 cm⁻¹'de güçlü bir absorpsiyon bandının varlığı yapıda -O-C=O bağlarının olduğunu desteklemektedir.



Şekil 7. Çapraz bağlı WSPHU filmlerinin FTIR spektrumları

Şekil 8, WSPHU filmlerinin TGA ve DTG eğrilerini göstermektedir. Eğrilerden, WSPHU filmlerinin iki adımda bozulduğu anlaşılmaktadır. 215 °C civarına kadar olan hafif ağırlık kaybının,

filmlerdeki kalan nemin buharlaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [34]. TGA eğrilerinden, WSPHU-2, WSPHU-4, WSPHU-6, WSPHU-8'in T_{5%} (%5 ağırlık kaybında sıcaklık)

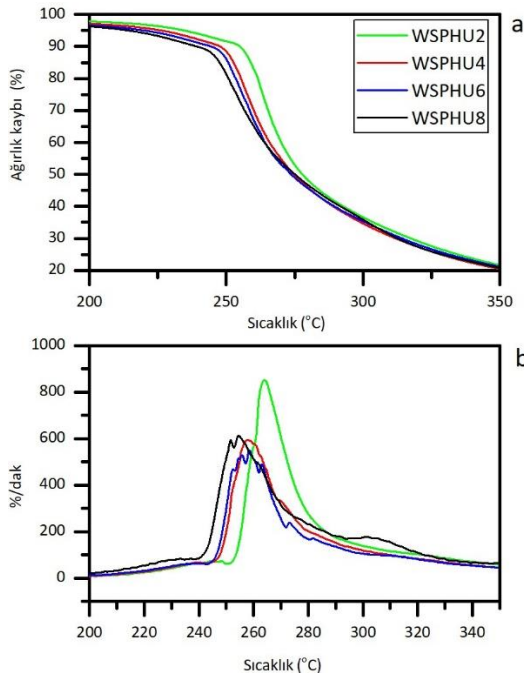
değerleri sırasıyla 214 °C, 220 °C, 226 °C ve 235 °C olarak hesaplanmıştır. 230 °C civarındaki birinci kütle kaybının, üretan bağlantılarının parçalanmasına karşılık gelmektedir. 250 °C'nin üzerindeki ikinci kütle kaybı, çapraz bağlı yapının parçalanmasından kaynaklanmaktadır.

Filmlere ait DTG eğrilerinden okunan maksimum bozunma (T_{max}) sıcaklıkları Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Çapraz bağlı WSPHU'ların ısıl özellikleri

	$T_{5\%}$	T_{max}	T_g	Kalem sertliği
WSPHU-2	214.31	251.9	64.3	6H
WSPHU-4	220.19	252.2	64.4	6H
WSPHU-6	226.33	254.9	65.7	6H
WSPHU-8	234.68	254.6	65.9	6H

Sonuçlar, WSPHU-8 'e kadar T_{max} değerinin az da olsa kademeli olarak arttığını ortaya koymaktadır. %8 HMMM oranında, T_{max} değerinde önemli bir değişiklik meydana gelmemektedir. Bu sonuç, literatürde bildirilen bazı çalışmalarından biraz farklı olarak çapraz bağlayıcı içeriğindeki artışla T_{max} değerinin daha düşük bir sıcaklığa kaydığını ortaya koymuştur.



Şekil 8. Çapraz bağlı WSPHU'ların (a)TGA (b) DTG eğrileri

WSPHU filmlere ait DSC-DDSC eğrileri EK A'da gösterilmektedir ve Tablo 2'de filmlerin T_g değerleri özetlenmektedir. Buna göre, WSPHU-2, WSPHU-4, WSPHU-6 ve WSPHU-8 için T_g değerleri sırasıyla 64.3 °C, 64.4 °C, 65.7 °C ve 65.9 °C civarındadır. Bu sonuç, WSPHU filmlerinin HMMM içeriği arttıkça T_g değerinin hafifçe arttığını öte yandan bu artışın önemsenmeyecek seviyede olduğunu ortaya koymaktadır. İlave

olarak, EK A'da gösterildiği gibi, yüksek HMMM oranı içeren WSPHU-8'e ait DDSC eğrisinde, ana pikin yanında daha yüksek sıcaklıkta bir küçük pik daha gözlenmektedir. WSPHU-8 aksine, diğer numunelerin DDSC eğrilerinde ikinci pik mevcut değildir. Bu durum büyük olasılıkla, WSPHU-8 numunesindeki çaprazbağ yoğunluğuna bağlı heterojen yapıdan kaynaklanmaktadır. Buna göre, kullanılan HMMM oranının artması matristeki çaprazbağ dağılımının kontrolünü zorlaştırabilir. Çaprazbağ oranının artmasıyla polimer yapıda heterojen çaprazbağ dağılımının meydana gelmesi bölgelere göre farklı geçiş sıcaklıklarının görülmesine neden olur. Konuyla ilgili farklı çalışmalara göre, iki bölge arasındaki esneklik/hareketlilik farkının artması faz ayırımına neden olabilir[35–37].

Rölatif sertlik ölçümü için sertlikleri en yumuşaktan en serte kadar değişen aynı marka kurşun kalemler ve 500/750/1000g yükleme ağırlıkları kullanıldı. Test sonucuna göre, çapraz bağlı WSPHU filmler tüm ağırlıklar için 6H olan aynı kalem sertlik derecesine sahiptir (Tablo 2). Filmlerin kalem sertliği artan HMMM içeriğinden etkilenmemektedir ve filmler günlük kullanım için uygundur.

3.2 Su esaslı, izosiyanat içermeyen ve çapraz bağlı WSPHU filmlerin kendi kendini onarma özelliklerinin optik mikroskopla incelenmesi

Hazırlanan WSPHU filmlerin yüzeylerinde 180 numara zımpara kâğıdı ile hasarlı bölgeler oluşturulduktan sonra kendi kendilerini onarmaları için 80 °C etüvde 24 saat bekletildi. Polimerin T_g değeri üzerindeki bu sıcaklık disülfür bağlarının değişim reaksiyonunu tetiklemektedir. Hasarlı filmler için ilk an ve etüvde 24 saat kendi kendilerini onardıktan sonra çekilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 9'da gösterilmektedir.

HMMM oranının değiştirilmesiyle hazırlanan 4 filmin (WSPHU-2, WSPHU-4, WSPHU-6 ve WSPHU-8) hasarlı yüzeyleri incelendiğinde farklı kalınlıklara sahip çizikler görülmektedir. Zımpara kâğıdı ile gelişigüzel oluşturulan bu çizikler gerçek durumlarda karşılaşılabilecek türde çizikler olup incelemenin çiziklerin yapıları dikkate alınarak yapılması gerektiğini ortaya koymuştur. Optik mikroskop görüntüleri dikkate alındığında filmlerin kendi kendini onarma özelliklerinin HMMM yoğunluğuna ve çizik kalınlığına bağlı değiştiği sonucuna varıldı. Optik mikroskop görüntülerinden 4 tip çizik tanımlanabildi (kalın çizik $w > 10 \mu m$, orta-kalın çizik $5 \leq w \leq 9 \mu m$, ince çizik $2 \leq w \leq 4 \mu m$, çok ince çizik $w < 2 \mu m$). 2 boyutlu optik mikroskop

görüntülerinde çiziklerin başlangıç anındaki ve 24 saat sonraki kalınlıkları işaretlendi. Filmlerin şeffaflığı nedeniyle alüminyum plaka üzerindeki çizgiler de net görülebilmektedir. Genel olarak, mikrograflar incelendiğinde çok ince çiziklerin ($w < 2 \mu\text{m}$) kendi kendini onarma performanslarının diğer çizik tiplerine göre daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

WSPHU-2'de başlangıçta kalın çizik kalınlığı (w) $12 \mu\text{m}$ iken kendi kendini onarma süresi sonunda yine $12 \mu\text{m}$ ölçüldü. Optik mikroskop görüntülerinden, WSPHU-2 film yüzeyindeki orta, ince ve çok ince çizgilerde de tam iyileşmenin meydana gelmediği görülmektedir. Sonuçlar, 24 saat sonra düşük çapraz bağlanma derecesine sahip WSPHU-2 filmde önemli bir kendi kendini onarma meydana gelmediğini ortaya koymaktadır.

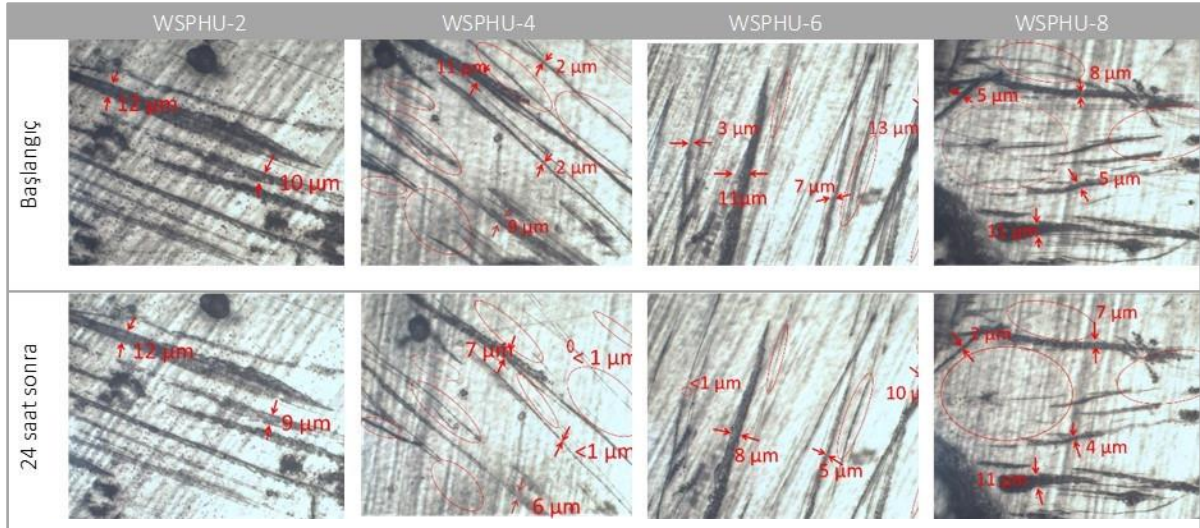
Ancak, optik mikroskop görüntülerinden WSPHU-4'te kullanılan HMMM oranının filmin kendi kendini onarma performansı üzerinde dramatik bir etkisi olduğu anlaşılmaktadır. WSPHU-4 filmdeki $11 \mu\text{m}$ kalınlığındaki çizik 24 saat sonunda $7 \mu\text{m}$ olarak ölçüldü. Orta kalınlıktaki bir çizik kalınlığı başlangıçta $9 \mu\text{m}$ iken kendi kendini onarma süresi sonunda $6 \mu\text{m}$ ölçüldü. Mikrograflardan $2 \mu\text{m}$ kalınlığındaki çiziklerin iyileşme çizgisi bırakarak kendi kendini onardığı, $1 \mu\text{m}$ ve daha ince çiziklerin iyileşme çizgisi kalmadan tamamen kendi kendini onardığı görüldü. Bu durum, polimerde ağ yapısını oluştururken %4 oranında HMMM kullanıldığında zincirler arası difüzyon ve disülfür bağ değişiminin filmin kendi kendini onarması konusunda daha iyi performans sergilemesine sebep olduğu şeklinde yorumlandı.

WSPHU-6 filmdeki kalın bir çizginin başlangıç kalınlığı $11 \mu\text{m}$, son kalınlığı ise $8 \mu\text{m}$ olarak ölçüldü. Orta kalınlık sayılan bir çizginin kalınlığı başlangıçta $7 \mu\text{m}$, 24 saat sonunda $5 \mu\text{m}$ ölçüldü. Optik mikroskop görüntülerinden, $2-3 \mu\text{m}$ kalınlığındaki ince çizgilerin $1 \mu\text{m}$ 'den ince bir iyileşme çizgisi bırakarak kendi kendini onarmayı tamamladığı, daha ince çizgilerin ise iz bırakmadan kendi kendini onardığı görüldü. Ancak, karşılaştırma yapıldığında WSPHU-6'nın kendi kendini onarma performansının WSPHU-

4'ünden daha düşük olduğu açıkça fark edilebilmektedir.

WSPHU-8'de başlangıçta $11 \mu\text{m}$ olan çizik kendi kendine onarma süresi sonunda yine $11 \mu\text{m}$ ölçüldü. $8 \mu\text{m}$ olan bir çizik kalınlığı 24 saat sonunda $7 \mu\text{m}$ ölçüldü. Kalınlığı $5 \mu\text{m}$ ölçülen bir çizik ise süre sonunda $4 \mu\text{m}$ kalınlığa gerileyecek kadar kendi kendini onarabildiği görüldü. Bunlara ilave olarak, WSPHU-8 filmdeki ince çiziklerin hafif bir iz bırakarak kendi kendini onardığı, çok ince çizgilerin ise çoğunlukla tamamen yok olarak kendi kendini onardığı görüldü.

Elde edilen veriler birlikte değerlendirildiğinde, filmlerin kendi kendini onarma özelliklerinin iki parametreye bağlı olduğu anlaşılmaktadır: Optimum kendi kendini onarma performansı çapraz bağlayıcı oranı ve yüzeydeki hasarın büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Çapraz bağlı yapıyı oluşturmada kullanılan HMMM miktarı, polimer zincirlerinin bir çizik boyunca difüzyonunu ve kırık çapraz bağların varlığını etkilemiştir. Esasında bu iki faktör rekabet halindedir: çapraz bağ oranının artması kırık çapraz bağların varlığını artırırken hasarlı yüzeydeki zincir difüzyonunu azaltır. Bu nedenle, bu iki rakip faktörün dengelendiği HMMM oranına (%4) sahip film maksimum kendi kendini onarma performansı sergilemiştir (Şekil 9). Optimum oranda HMMM'nin kullanılması, WSPHU filmlerinde moleküler esnekliği ve film yüzeyinin kendi kendini onarmasını teşvik etmiştir [38]. Belli bir oranın altında HMMM kullanılması durumunda ise kendi kendini onarma performansının çok düşük kaldığı görüntülendi (WSPHU-2). Optimum oranda HMMM'nin bulunduğu durumda ise $w > 12 \mu\text{m}$ olduğunda çiziklerin iyileşmesi mümkün olmadı. Bununla birlikte, orta ve ince ve çok ince kalınlıktaki çiziklerde ($w < 7 \mu\text{m}$) tatmin edici sonuçlar alınabildi (WSPHU-4). HMMM oranının optimum miktarın üstünde olması durumunda ise HMMM eksikliğinin olduğu duruma göre daha iyi sonuçlar elde edilse de kırık çapraz bağların varlığının artmasına karşın zincir difüzyonunun engellenmesi nedeniyle özellikle orta kalınlıktaki çiziklerin kendi kendini onarma performansında düşüş gözlemlendi (WSPHU-8).



Şekil 9. WSPHU'ların başlangıçta, 80 °C'de 24 saat kendi kendini onarmasından sonra optik mikroskop görüntüleri

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma, su esaslı, izosiyanat içermeyen, çapraz bağlı içsel kendi kendini onaran poli (hidroksi üretan) sentezi için yeni bir strateji ortaya koymaktadır. Elde edilen WSPHU'lar ana zincirde disülfür bağları kullanılarak hazırlanan, farklı yoğunluklarda çapraz bağlayıcıya sahip filmler olup kendi kendini onarma performansları bakımından birbirleriyle karşılaştırıldı. HMMM oranının artmasıyla polimer zincirleri arasındaki hareket direnci filmlerin kendi kendini onarma performansında etkili hale gelmiştir. Filmlerin kendi kendini onarma özellikleri, polimer zincirlerinin (ve dolayısıyla kırık çapraz bağların) bir çizik boyunca difüzyonundan (zincir difüzyonu) ve bir çapraz bağın yeniden oluşmasını sağlamak için kırık çapraz bağların var olmasından etkilenmiştir. Bahsedilen iki faktörün dengelendiği WSPHU-4 diğer filmler ile karşılaştırıldığında en iyi kendini onarma özelliklerine sahipti. Kalınlığı 7 µm'den daha az olan çiziklerin kendi kendini onarması WSPHU-2 hariç diğer filmlerde mümkün oldu ve optik mikroskop görüntüleriyle de izlendiği kadarıyla başarılı sonuçlar elde edildi.

Bahsedilen özelliklere sahip WSPHU'ların geliştirilmesi çevre dostu kimya alanı için çok önemlidir. Bahsedilen strateji ile sürdürülebilir kaplama malzemelerinin, özellikle de otomotiv malzemelerinin ve fırın kaplamalarının geliştirilmesi potansiyeli vardır. Gelecek çalışmalarda, bu güçlü malzemelerin kendi kendini onarma performansının, kaplamalarda olası uygulama gereksinimlerini karşılama durumu araştırılacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimleri tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2018/AP/0008).

Etik Beyan

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Bizet, B., Grau, E., Cramail, H., Asua, J.M. 2020. Water-Based Non-Isocyanate Polyurethane-Ureas. ACS ACS Applied Polymer Materials, 2, 4016–4025.
- [2] Lee, D. Il, Kim, S.H., Lee, D.S. 2019. Synthesis and Characterization of Healable Waterborne Polyurethanes with Cystamine Chain Extenders. Molecules, 24, 1–18.
- [3] Maisonneuve, L., Lamarzelle, O., Rix, E., Grau, E., Cramail, H. 2015. Isocyanate-Free Routes to Polyurethanes and Poly(Hydroxy Urethane)s. Chemical Reviews, 115, 12407–12439.
- [4] Ousaka, N., Endo, T. 2021. One-Pot Nonisocyanate Synthesis of Sequence-Controlled Poly(Hydroxy Urethane)s from a Bis(Six-Membered Cyclic Carbonate) and Two Different Diamines. Macromolecules, 54, 2059–2067.

- [5] Bizet, B., Grau, E., Cramail, H., Asua, J.M. 2020. Volatile Organic Compound-Free Synthesis of Waterborne Poly(Hydroxy Urethane)-(Meth)Acrylic Hybrids by Miniemulsion Polymerization. *ACS Applied Polymer Materials*, 2, 4016–4025.
- [6] Lu, Y., Larock, R.C. 2007. New Hybrid Latexes from a Soybean Oil-Based Waterborne Polyurethane and Acrylics via Emulsion Polymerization. *Biomacromolecules*, 8, 3108–3114.
- [7] Noble, K.L. 1997. Waterborne Polyurethanes. *Progress in Organic Coatings*, 32, 131–136.
- [8] Pérez-Limiñana, M.A., Arán-Aís, F., Torró-Palau, A.M., Orgilés-Barceló, A.C., Martín-Martínez, J.M. 2005. Characterization of Waterborne Polyurethane Adhesives Containing Different Amounts of Ionic Groups. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 25, 507–517.
- [9] Lee, D., Kim, S., Lee, D. 2019. Synthesis and characterization of healable waterborne polyurethanes with cystamine chain extenders. *Molecules*, 24(8), 1492.
- [10] Wan, T., Chen, D. 2017. Synthesis and Properties of Self-Healing Waterborne Polyurethanes Containing Disulfide Bonds in the Main Chain. *Journal of Materials Science*, 52, 197–207.
- [11] Subramani, S., Lee, J.M., Cheong, I.W., Kim, J.H. 2005. Synthesis and Characterization of Water-Borne Crosslinked Silylated Polyurethane Dispersions. *Journal Of Applied Polymer Science*, 98, 620–631.
- [12] Chang, K., Jia, H., Gu, S.Y. 2019. A Transparent, Highly Stretchable, Self-Healing Polyurethane Based on Disulfide Bonds. *European Polymer Journal*, 112, 822–831.
- [13] Li, T., Zheng, T., Han, J., Liu, Z., Guo, Z.X., Zhuang, Z., Xu, J., Guo, B.H. 2019. Effects of Diisocyanate Structure and Disulfide Chain Extender on Hard Segmental Packing and Self-Healing Property of Polyurea Elastomers. *Polymers*, 11, 1–18.
- [14] Liu, Q., Liu, Y., Zheng, H., Li, C., Zhang, Y., Zhang, Q. 2020. Design and Development of Self-Repairable and Recyclable Crosslinked Poly(Thiourethane-Urethane) via Enhanced Aliphatic Disulfide Chemistry. *Journal of Polymer Science*, 58, 1092–1104.
- [15] Zhang, J., Zhang, C., Song, F., Shang, Q., Hu, Y., Jia, P., Liu, C., Hu, L., Zhu, G., Huang, J. 2022. Castor-Oil-Based, Robust, Self-Healing, Shape Memory, and Reprocessable Polymers Enabled by Dynamic Hindered Urea Bonds and Hydrogen Bonds. *Chemical Engineering Journal*, 429, 131848.
- [16] Ma, J., Porath, L.E., Haque, M.F., Sett, S., Rabbi, K.F., Nam, S.W., Miljkovic, N., Evans, C.M. 2021. Ultra-Thin Self-Healing Vitrimers Coatings for Durable Hydrophobicity. *Nature Communications*, 12, 1–10.
- [17] Bingjie, Z., Lei, L., Jiawei, H., Hu, H., Honggang, M., Sixun, Z. 2022. Real Self-Healable and Reprocessable Networks Involving Diblock Copolymer and Hindered Urea Bonds. *Polymer*, 124591.
- [18] Gadwal, I. 2020. A Brief Overview on Preparation of Self-Healing Polymers and Coatings via Hydrogen Bonding Interactions. *Macromolecules*, 1, 18–36.
- [19] Wang, L., Wang, X., Zhang, H., Yang, B., Wang, L., Sun, H. 2020. A Colorless, Transparent and Self-Healing Polyurethane Elastomer Modulated by Dynamic Disulfide and Hydrogen Bonds. *New Journal of Chemistry*, 44, 5746–5754.
- [20] Wu, P., Cheng, H., Wang, X., Shi, R., Zhang, C., Arai, M., Zhao, F. 2021. A Self-Healing and Recyclable Polyurethane-Urea Diels-Alder Adduct Synthesized from Carbon Dioxide and Furfuryl Amine. *Green Chemistry*, 23, 552–560.
- [21] Kamada, J., Koynov, K., Corten, C., Juhari, A., Yoon, J., Urban, M., Balazs, A.C., Matyjaszewski, K. 2010. Redox Responsive Behavior of Thiol/Disulfide-Functionalized Star Polymers Synthesized via Atom Transfer Radical Polymerization. *Macromolecules*, 43, 4133–4139.
- [22] Xu, Y., Chen, D. 2016. A Novel Self-Healing Polyurethane Based on Disulfide Bonds. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 217, 1191–1196.
- [23] Yang, Y., Lu, X., Wang, W. 2017. A Tough Polyurethane Elastomer with Self-Healing Ability. *Materials & Design*, 127, 30–36.
- [24] Gao, W., Bie, M., Quan, Y., Zhu, J., Zhang, W. 2018. Self-Healing, Reprocessing and Sealing Abilities of Polysulfide-Based Polyurethane. *Polymer*, 151, 27–33.
- [25] Aguirresarobe, R.H., Martín, L., Fernández-Berridi, M.J., Irusta, L. 2017. Autonomic healable waterborne organic-inorganic polyurethane hybrids based on aromatic disulfide moieties. *Express Polym Letter*, 11, 266–277.

- [26] Rekondo, A., Martin, R., Ruiz De Luzuriaga, A., Cabañero, G., Grande, H.J., Odriozola, I. 2014. Catalyst-free room-temperature self-healing elastomers based on aromatic disulfide metathesis, *Materials Horizons*, 1, 237–240.
- [27] Li, T., Zhang, Z.P., Rong, M.Z., Zhang, M.Q. 2019. Self-healable and thiol-ene UV-curable waterborne polyurethane for anticorrosion coating, *Journal of Applied Polymer Science*, 136.
- [28] Mazurek-Budzyńska, M.M., Rokicki, G., Drzewicz, M., Guńka, P.A., Zachara, J. 2016. Bis(Cyclic Carbonate) Based on D-Mannitol, D-Sorbitol and Di(Trimethylolpropane) in the Synthesis of Non-Isocyanate Poly(Carbonate-Urethane)s. *European Polymer Journal*, 84, 799–811.
- [29] Matsukizono, H., Endo, T. 2016. Synthesis and Hydrolytic Properties of Water-Soluble Poly(Carbonate-Hydroxyurethane)s from Trimethylolpropane. *Polymer Chemistry*, 7, 958–969.
- [30] Gnanasekar, P., Chen, J., Goswami, S.R., Chen, H., Yan, N., 2020. Sustainable Shape-Memory Polyurethane from Abietic Acid: Superior Mechanical Properties and Shape Recovery with Tunable Transition Temperatures. *ChemSusChem*, 13, 5749–5761.
- [31] Matsukizono, H., Endo, T. 2017. Phosgene-Free Syntheses and Hydrolytic Properties of Water-Soluble Polyhydroxyurethanes with Ester–Carbonate–Ether Structures in Their Main Chains. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 218, 1–11.
- [32] Tryznowski, M., Świdarska, A. 2018. Novel high reactive bifunctional five and six-membered bicyclic dicarbonate synthesis and characterisation. *RSC Advances*, 8, 11749–11753.
- [33] Tramontano, V., Blank, W. 1995. Cross-Linking of Waterborne Polyurethane Dispersions. *Journal of Coatings Technology*, 67, 89–99.
- [34] Zhao, H., Hao, T.H., Hu, G.H., Shi, D., Huang, D., Jiang, T., Zhang, Q.C. 2017. Preparation and Characterization of Polyurethanes with Cross-Linked Siloxane in the Side Chain by Sol-Gel Reactions. *Materials*, 10, 1–15.
- [35] Chiang, W. Y., Shu, W. J. 1988. Preparation and properties of UV-curable poly(dimethylsiloxane) urethane acrylate. II. Property-structure/molecular weight relationships, *Journal of Applied Polymer Science*, 36, 1889–1907.
- [36] Ligon-Auer, S.C., Schwentenwein, M., Gorsche, C., Stampfl, J., Liska, R. 2015. Toughening of photo-curable polymer networks: a review, *Polymer Chemistry*, 7, 257–286.
- [37] Bakhshandeh, E., Sobhani, S., Croutxé-Barghorn, C., Allonas, X., Bastani, S. 2021. Siloxane-modified waterborne UV-curable polyurethane acrylate coatings: Chemorheology and viscoelastic analyses, *Progress in Organic Coatings*, 158, 106323.
- [38] Lollivier, G., Gressier, M., Ansart, F., Aufray, M., Menu, M.J. 2021. Influence of Hybrid Sol-Gel Crosslinker on Self-Healing Properties for Multifunctional Coatings. *Materials*, 14.

Ekler

Ek A: Çapraz bağlı WSPHU'lara ait DSC-DDSC eğrileri

Sert Hammadde Tane Boyutu ve Pişirim Sıcaklığının Duvar Karosu Bünye Özelliklerine Etkisi

Belgin TANIŞAN*¹, Gamze KARAKEDİ SAKARYA²

^{1,2}Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Bölümü, 26480, Eskişehir, Türkiye

(Alınış / Received: 27.12.2022, Kabul / Accepted: 25.09.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 27.04.2024)

Anahtar Kelimeler

Seramik duvar karosu,
Tane boyutu,
Sinterleme,
Fiziksel özellikler

Öz: Seramik karoların teknolojik özelliklerinin bünyede kullanılan hammadde karakteristikleri (tane boyut dağılımı, kimyasal bileşim, mineralojik yapı) ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, standart duvar karosu bünye reçetesinin yaklaşık %30'unu oluşturan kuvars ve pegmatit sert hammaddeleri 90 dakika öğütme işlemi sonrasında reçetede kullanılmış ve hazırlanan bünyeler farklı sıcaklıklarda (1110, 1120, 1127 ve 1147 °C) pişirilmiştir. Sinterleme sonrası bünyelerin; pişme küçülmesi (%), su emme (%), mukavemet ve L*, a* ve b* renk parametreleri belirlenmiş ve standart bünye ile kıyaslamaları yapılmıştır. Numunelerin içerdiği fazlar ve mikroyapı görüntüleri sırasıyla XRD ve SEM analizleri ile karakterize edilmiştir. Sonuç olarak, sert hammaddelerin öğütülmesiyle standarta göre daha düşük sıcaklıklarda, daha üstün fiziksel ve mekanik özelliklere sahip bünyeler elde edilebileceği görülmüştür.

Effect of Hard Raw Material Particle Size and Sintering Temperature on Properties of the Wall Tile Bodies

Keywords

Ceramic wall tile,
Particle size,
Sintering,
Physical properties

Abstract: It is known that the technological properties of ceramic tiles are related to the raw material characteristics (grain size distribution, chemical composition, mineralogical structure). In this study, quartz and pegmatite hard raw materials, which constitute approximately 30% of the standard wall tile body recipe, were used in the composition after 90 minutes grinding process and the prepared bodies were fired at different temperatures (1110, 1120, 1127 and 1147 °C). After sintering, firing shrinkage (%), water absorption (%), fired strength and L*a*b* color parameters were determined and compared with the standard tile body. The phases and microstructure images of the samples were characterized by XRD and SEM analyses respectively. As a result, it was seen that by grinding the hard raw materials, it is possible to obtain structures with superior physical and mechanical properties at lower temperatures compared to the standard.

1. Giriş

Seramik kaplama malzemeleri (yer ve duvar karosu, porselen karolar) geleneksel seramik ürünlerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Seramik duvar karoları kaplama malzemeleri içerisinde yüksek su emme ve porozite (≥ 10) özelliği nedeniyle iç mekân uygulamalarında tercih edilmektedir [1]. Duvar karosu üretimlerinde kullanılan hammaddeler plastik özelliğe sahip olanlar ve plastik özelliğe sahip olmayanlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Plastik özelliğe

sahip olan hammaddeler kil ve kaolenler, diğerleri ise feldspat ve kuvarstır. Killer, düşük tane boyutuna sahip hammaddeler olup, bünyeye plastiklik kazandırmak, yaş ve kuru mukavemetini arttırmak amacıyla kullanılırlar. Feldspatlar (pegmatit, albit, ortoklas) ise kil ve kuvarsa göre daha düşük sıcaklıklarda camlaşma sağlayarak sinterleme sıcaklıklarını düşürmek için kullanılan alkali oksit içeren ergiticilerdir [2].

Endüstriyel seramik karo üretimi genel olarak beş aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşama çamur

*İlgili yazar: btanisan@ogu.edu.tr

hazırlama olup, burada başlangıç hammaddeleri bilyalı değirmenlerde su ve elektrolit ilavesiyle karıştırılır. İkinci aşamada, hazırlanan çamur püskürtmeli kurutucuda sıcak hava yardımıyla kurutularak granül haline getirilir. Üçüncü aşama, hazırlanan tozların basınç yardımıyla nihai karo şeklini aldığı presleme aşamasıdır. Dördüncü aşama karo yüzeyinin sırt tabakası ile kaplanması ve son aşama ise sırlı karoların pişirilmesi. Günümüzde duvar karoları, rulolu fırınlarda hızlı tek pişirim tekniği ile 1120-1155 °C sıcaklıkta 35-55 dakika gibi sürelerde üretilmektedir. Seramik karo üretim maliyetinin önemli bir kısmını pişirme işlemi için harcanan enerji ihtiyacı olduğu göz önüne alındığında, sinterleme süresi ve/veya sıcaklığının düşürülmesi işletmelerin ulusal ve uluslararası pazarda rekabet gücünü arttıracaktır. Ayrıca, düşük pişirim sıcaklığı ile havaya salınan ve çevre kirliliğine neden olan CO₂ gazı emisyonu da azaltılmış olacaktır. Bu nedenle, seramik karoların pişirim sıcaklığını düşürmek günümüzde üzerinde durulan önemli konulardan biri olmuştur. Bu amaçla literatürde ağırlıklı olarak bünyede feldispatlara ilave olarak farklı özellikteki ergiticilerin kullanılmasına yönelik çalışmalar yer almaktadır. Borik asit [3-6] ve çeşitli bor türevleri [7,8] ile vollastonit [9-11], üleksit [12,13] ve spodumen [14] bu ergiticilere örnek olarak verilebilir.

Standart duvar karosu bünye reçetesinin yaklaşık %30'unu sert hammaddeler olarak tanımlanan kuvars ve feldispatik hammaddeler oluşturmaktadır. Sert hammaddelerin tane boyutunun azaltılması ile spesifik yüzey alanı artışı sağlanacağı için hem karıştırma hem de pişirme işlemi sırasındaki etkileşim hızlanacaktır. Yapılan literatür taramasında, kuvars tane boyutunun özellikle sağlık gereçleri ve porselen karoların farklı teknolojik özelliklerine etkisi üzerine çalışmalar yer almaktadır. Örneğin; Ochen vd. [15] kuvars tane boyutunun sağlık gereçleri porseleninin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmış ve en yüksek mukavemet değerinin 5-20 µm tane boyutunda kuvars içeren bünyede ulaşıldığını belirtmişlerdir. Bir diğer çalışmada ise, porselen karoların eğilme mukavemeti ve sinterlenme davranışına kuvars tane boyutunun etkisi araştırılmıştır. İnce, orta ve kaba tane boyutuna sahip kuvars ilavesiyle hazırlanan bünyeler aynı sinterleme sıcaklığında pişirilmiş ve çalışma sonucunda kuvars tane boyutunun azaltılması ile bünyelerin su emme değerinin azaldığı ve dolayısıyla da mukavemetlerinin arttığı görülmüştür [16].

Bu çalışmada, literatürden farklı olarak sert hammaddelerden olan kuvars ve pegmatit tane boyutunun duvar karosu bünyelerin sinterlenmesi ve nihai ürün özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, geleneksel bir duvar karosu bünye reçetesi ve hammadde tane boyut dağılımı standart olarak alınmıştır. Standart (öğütülmemiş) ve 90 dakika süreyle öğütülmüş sert hammadde ilavesiyle hazırlanan duvar karosu reçeteleri farklı

sıcaklıklarda pişirilerek, bünyelerin fiziksel/mechanik özellikleri ile sinterleme sıcaklığı arasındaki ilişki araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Deneylerde kullanılan standart duvar karosu bünyesi ağırlıkça %59 kil harmanı, %12 kuvars, %17 pegmatit ve %12 kalsit bileşimindedir. Reçetede kullanılan hammaddelerden; killer Şile ve Kemerburgaz bölgelerinden, pegmatit Söğüt bölgesinden, kalsit Eskişehir bölgesinden ve kuvars Bilecik bölgesinden temin edilmiştir. Hammaddelerin X-ışınları floresans tekniği (XRF, RIGAKU ZSX Primus) ile belirlenen kimyasal analizleri Tablo 1'de ve standart testler ile ölçülen fiziksel özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

2.2. Metot

2.2.1. Sert hammadde karışımının hazırlanması

Sert hammadde karışımı; reçeteye göre ağırlıkça %12 kuvars ve ağırlıkça %17 pegmatit olacak şekilde tartılarak hazırlanmış ve bilyalı değirmende 90 dakika süreyle yaş öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Sulu karışım 110 °C sıcaklıkta etüvde kurutma işlemi sonrasında bünyede kullanıma hazır hale gelmiştir. Standart (öğütülmemiş) ve 90 dakika öğütülmüş sert hammadde karışımının lazer difraksiyonlu tane boyut ölçüm cihazı ile belirlenen tane boyut dağılım grafikleri sırasıyla; Şekil 1 (a) ve (b)'de verilmiştir. Bu grafiklerden, standart karışımın ortalama tane boyut değeri (d₅₀) 42.047 µm, 90 dakika öğütülen karışımın ortalama tane boyut değeri (d₅₀) ise 6.81 µm olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu grafiklerden, öğütme işlemi uygulanmış karışımın diğerine göre daha dar tane boyut dağılım aralığı sergilediği görülmektedir.

2.2.2. Bünyelerin hazırlanması

Deneylerde kullanılan standart (öğütülmemiş) ve 90 dakika süreyle öğütülmüş kuvars ve pegmatit karışımına diğer hammaddelerin (kil ve kalsit) ilavesiyle iki farklı masse reçetesi hazırlanmıştır. Öğütülmemiş sert hammaddelerle hazırlanan masse reçetesi D-STD, 90 dakika öğütülen sert hammaddelerle hazırlanan masse reçetesi ise D-90 olarak kodlanmıştır.

Belirlenen reçetelere göre hazırlanan bünyeler, laboratuvar tipi jet değirmende su ve elektrolit ilavesi ile 30 dakika süreyle karıştırılarak önce çamur haline getirilmiştir. Hazırlanan çamurlar 1 gün süreyle etüvde kurutulduktan sonra, %5-6 nemlendirilip, 1 mm'lik elekten elenerek granül haline getirilmiştir. Elde edilen granül formundaki tozlar, 100mm×200mm×7mm boyutunda laboratuvar tipi presle 266 kg/cm² basınç altında şekillendirilerek deney numuneleri hazırlanmıştır. Etüvde 1 saat

süreyle bekletilerek nemi uzaklaştırılan karolar, son olarak laboratuvar tipi kamaralı fırında 1110-1147 °C

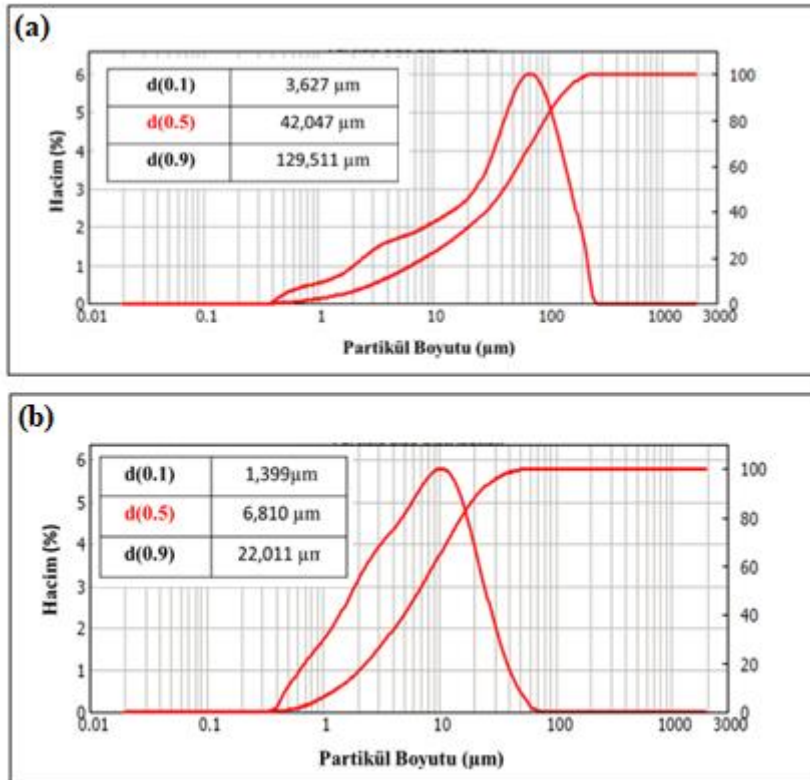
sıcaklık aralığında 20 dakika tepe sıcaklığında bekletilmek suretiyle pişirilmiştir.

Tablo 1. Hammaddelerin kimyasal analizleri (%)

Hammadde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	K.K
Kil Harmanı	58.4	25.1	3.2	1.5	0.5	0.6	-	0.8	8.9
Pegmatit	71.2	15.9	2.2	0.4	0.5	0.4	3.2	3.4	2.8
Kuvars	91.7	5.2	0.4	0.1	0.2	-	-	1.5	0.9
Kalsit	0.2	-	0.2	-	58.2	-	-	-	41.4

Tablo 2. Hammaddelerin fiziksel özellikleri

Özellik	Kil Harmanı	Pegmatit	Kalsit	Kuvars
Elek Bakiye 63 µm (%)	0.94	0.92	-	-
Rutubet (%)	6.3	7.5	-	-
Ham Dayanım (kg/cm ²)	7.5	1.7	-	-
Kuru Küçülme (%)	0.11	0.03	-	-
Kuru Mukavemet (kg/cm ²)	17.7	11.7	-	-
Pişme Küçülmesi (%)	4.5	5.0	-	-
Pişme Mukavemeti (kg/cm ²)	343	295	-	-
Su Emme (%)	10.2	11.5	-	-
Kızdırma Kaybı-KK (%)	9.3	3.8	-	-
Renk	L*	78.5	59.3	86.5
	a*	4.7	12.1	-0.3
	b*	13.2	12.1	0.7



Şekil 1. (a) Öğütülmemiş ve (b) 90 dakika öğütülen sert hammadde harmanının tane boyut dağılımı

2.3. Karakterizasyon

Deney numunelerine standart teknolojik testler uygulanmış ve her bir test için üç adet numune hazırlanarak ortalama değerleri alınmıştır.

Numunelerin su emme tayini TS EN ISO 1054-5 vakumlu test standardına göre yapılmıştır. Pişirilen karolar 10×10 cm² ebatlarında kesilerek tartılmış ve kuru ağırlıkları (W1) belirlenmiştir. Daha sonra su emme testine tabi tutularak yaş ağırlıkları (W2)

belirlenmiş ve Eşitlik 1 ile su emme miktarı (%) hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Su Emme} = [(W_2 - W_1) / W_2] \times 100 \quad (1)$$

Numunelerin lineer pişme küçülmesi değeri (%), 0,01 hassasiyetli kumpas yardımıyla ölçülerek pişmemiş numunenin boyu (L_1) ve pişmiş numunenin boyu (L_2) kullanılarak Eşitlik 2 ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Pişme Küçülmesi} = [(L_1 - L_2) / L_1] \times 100 \quad (2)$$

Pişirilen numunelerin eğilme mukavemeti değeri ISO 10545-4 standardına göre 3 nokta eğme testi ile belirlenmiştir. Numunelerin $L^*a^*b^*$ renk değerleri Konica Minolta marka CM-2600d model spektrofotometre cihazı ile 60°lik tarama açısı kullanılarak ölçülmüştür. Numunelerin sinterlenme davranışları Misura ODHT HSM 1600-80 marka ısı mikroskobuyla belirlenmiştir.

Pişmiş bünyelerin faz analizi X-ışınları difraktometresi (XRD, Rigaku, Miniflex 600) ile 20-70° tarama aralığında Cu $K\alpha$ ışınımı ($\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$) ile belirlenmiştir. Sinterleme sonrası kesilerek kesitleri parlatılmış numunelerin mikroyapı özellikleri taramalı elektron mikroskobunda (SEM, Zeiss SUPRA 50 VP) incelenmiş ve EDS tekniği ile kalitatif kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular

1110, 1120, 1127 ve 1147 °C olmak üzere farklı sıcaklıklarda pişirilen D-STD ve D-90 numunelerine ait fiziksel özellikler Tablo 3'de verilmiştir. Numunelerin %su emme (porozite) değerleri karşılaştırıldığında, D-90 numunesinde pişirim sıcaklığına bağlı olarak su emme değerlerinde değişim daha fazla olmuş ve D-STD numunesine benzer su emme değerlerine daha düşük sıcaklıklarda ulaşılmıştır. 1147 °C de pişirilen numunelerin su emme değerleri incelendiğinde D-90 numunesi ile %15.6 olarak belirlenen en düşük su emme değerine ulaşılmıştır (Tablo 3). Bu durumun, özellikle ergitici olarak kullanılan pegmatitin tane boyutunun azalmasıyla yüksek sıcaklıklarda artan vitrifikasyon sonucunda porların kapanmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Bilindiği üzere feldispatik hammaddeler düşük ergime sıcaklığına sahiptir ve sinterleme esnasında akışkanlaştırıcı rolü üstlenerek sıvı faz miktarını artırıp, porların dolmasını sağlar [17].

Beklenildiği gibi artan sinterleme sıcaklığı ile her iki numunenin de pişme mukavemeti artmıştır. Bu değişim D-90 numunesinde daha fazla olmuştur. Geleneksel duvar karosu pişirim sıcaklığı olan 1147 °C'de, standart bünyenin mukavemeti sert hammaddelerin öğütülmesiyle 188 kg/cm²'den 230 kg/cm² değerine ulaşmıştır (Tablo 3). Ayrıca D-90 numunesi ile 1147 °C'de pişirilen standart numuneye

göre yaklaşık 30 °C daha düşük sıcaklıklarda (1120 ve 1127 °C) daha yüksek mukavemet değerine ulaşılması, sert hammadde tane boyutunun bünyelerin sinterlenmesi üzerinde etkili olduğu söylenebilir.

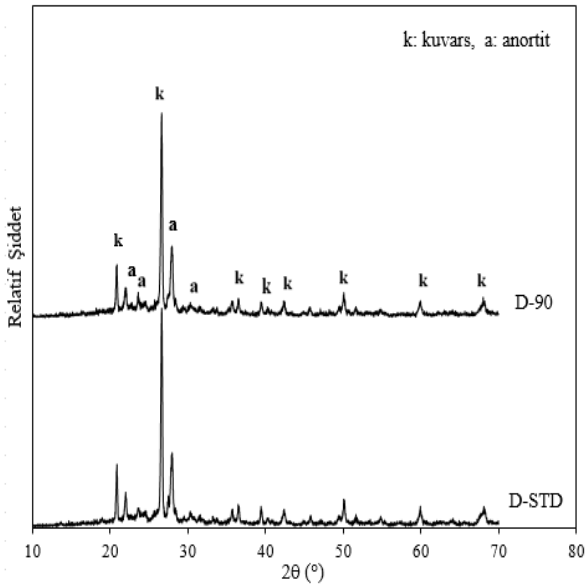
Tane boyutunun azalması tanelerin etkileşimini arttırmakta ve bu da sinterleme işleminin daha kolay gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. Sinterlemenin artması ile por boyut ve miktarı da azalacaktır. Porozite seramik bünyelerin mukavemetine etki eden en önemli parametrelerden biridir. Mikroyapıda porların artması çatlak oluşumu kolaylaştırır ve bu durum da bünyenin kırılma tokluğunu azaltır.

Sert hammadde tane boyutunun azaltılarak kullanıldığı D-90 numunesinde, sıcaklığa bağlı olarak bünyede pişme küçülmesinde azalma olduğu görülmüştür. Buna karşın D-STD numunesinde sıcaklığın azalmasıyla birlikte bünyede büyüme görülmüştür (Tablo 3). Ancak, tüm numunelerin hem % su emme, hem de % pişme küçülmesi değerlerinin endüstriyel standartlarda olduğu tespit edilmiştir [18]. Numunelerin sinterleme sonrası spektrofotometre ile belirlenen L^* (beyazlık), a^* (kırmızılık) ve b^* (sarılık) renk değerleri incelendiğinde, numunelerin artan pişirim sıcaklığı ile özellikle L^* değerinin azaldığı (rengin koyulaştığı) tespit edilmiştir. Hem pişirim sıcaklığı artışı, hem de tane boyutunun küçülmesi ile oluşan camsı faz miktarındaki artış, beyazlık değerinin azalmasına sebep olmuştur [19].

1127 °C' de pişirilen numunelerin XRD paternleri Şekil 2'de verilmiştir. Buradan her iki numunenin de benzer şekilde serbest kuvars ve anortit fazlarını içerdikleri tespit edilmiştir. Sinterleme sırasında reçete bileşiminde CaO kaynağı olarak kullanılan kalsit (CaCO₃), killerin parçalanması sonucunda oluşan alümina-silikat spineli ile reaksiyona girerek anortit (CaO.Al₂O₃.2SiO₂) fazını oluşturmuştur [20]. D-90 numunesinde öğütmenin etkisiyle anortit fazının miktarında artış beklenmektedir. Ancak, numunelerin XRD pik şiddetleri göreceli olarak kıyaslandığında anortit fazının miktarının değişmediği gözlenmiştir. Muhtemelen, sert hammaddelerin tane boyutunun azaltılması ile reaktivitenin artması özellikle sinterleme sıcaklığını düşürmede avantaj olduğunu göstermiştir.

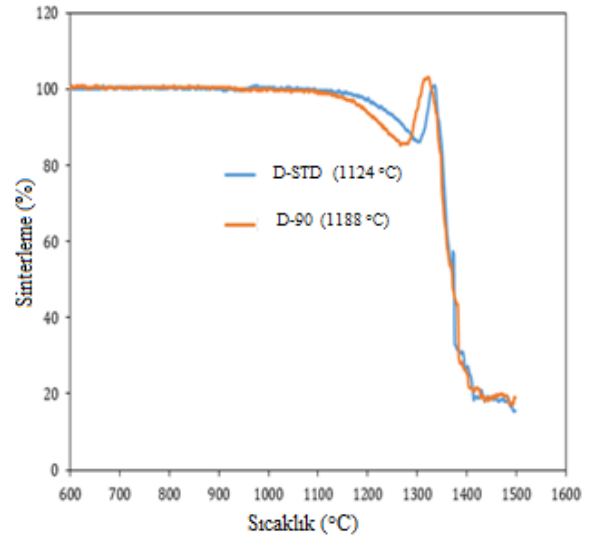
Tablo 3. Numunelerin fiziksel özellikleri

Özellik		D-STD				D-90			
Pişirim Sıcaklığı (°C)		1110	1120	1127	1147	1110	1120	1127	1147
Su Emme (%)		19.5	19.4	18.9	17.8	21.2	19.04	18.03	15.7
Pişme Mukavemeti (kg/cm ²)		143	161	177	188	153	184	217	230
Pişme Küçülmesi (%)		+0.43	+0.32	+0.20	-0.33	+0.15	-0.47	-0.80	-2.2
Renk	L*	74.8	74.2	73.2	70.2	76.1	74.7	73.0	68.5
	a*	8.6	8.6	8.4	8.4	8.5	8.7	8.9	9.1
	b*	17.9	18.3	18.5	19.7	17.2	18.0	18.4	19.3

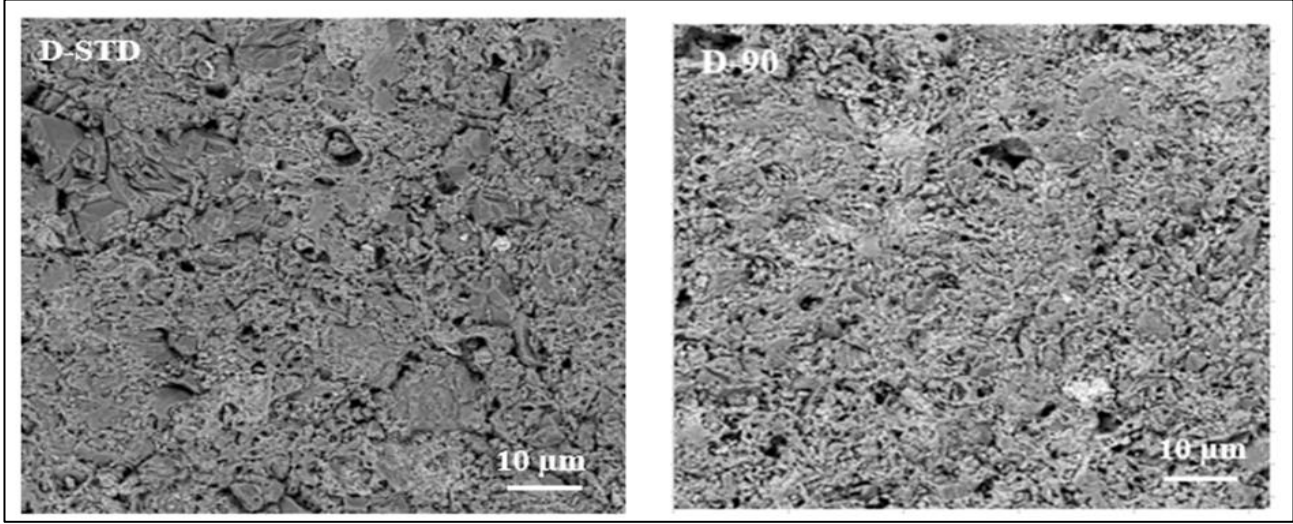
**Şekil 2.** 1127 °C'de pişirilen numunelerin XRD paternleri

Numunelerin ısı mikroskobu ile belirlenen sinterlenme grafiği Şekil 3'de verilmiştir. Burada D-STD ve D-90 numunelerinin sinterlenme sıcaklıkları sırasıyla 1224 ve 1188 °C olarak belirlenmiştir. Sert hammaddelerin tane boyutunun azaltılmasıyla sinterleme sıcaklığında yaklaşık 36 °C'lik bir azalma gerçekleşmiştir.

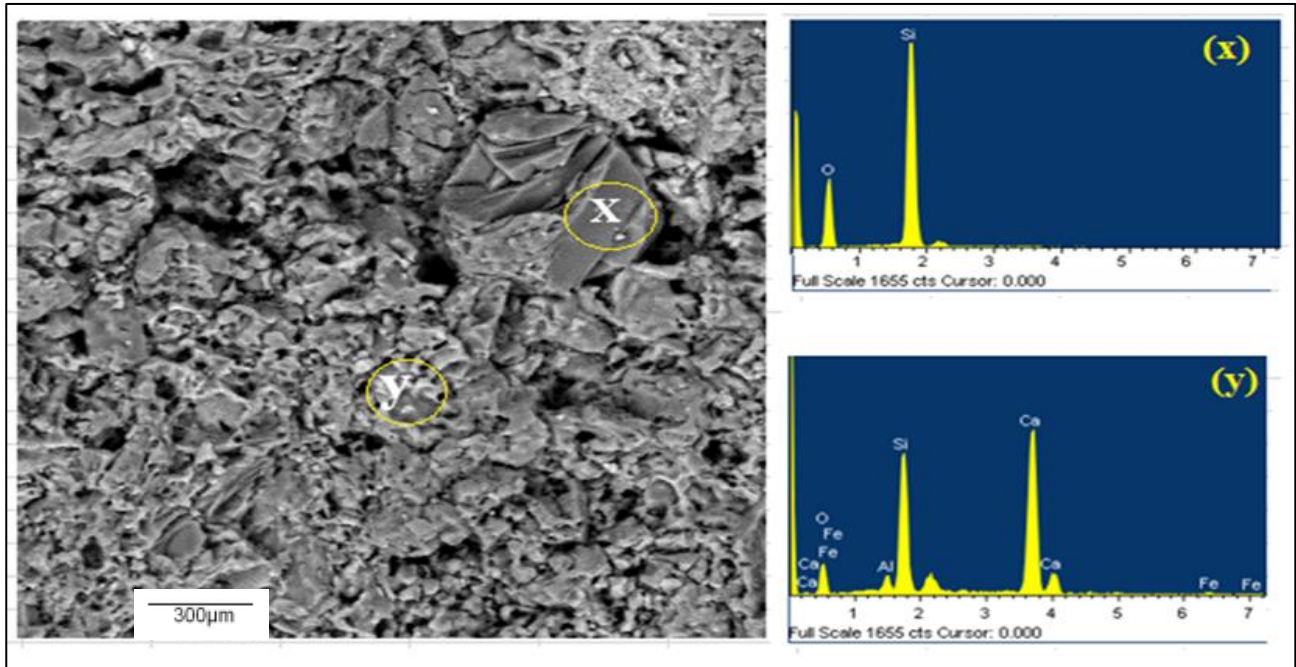
D-STD ve D-90 kodlu numunelerin mikroyapıları taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Genel olarak mikroyapıda yuvarlak ve köşeli taneler görülmektedir. Mikroyapıdaki siyah kısımlar ise gözenekleri göstermektedir (Şekil 4). Mikroyapıdaki kristallerin bileşiminin belirlenmesi için kimyasal dağılama işlemi uygulanan D-90 numunesine EDS analizi yapılmıştır.

**Şekil 3.** Numunelerin ısı mikroskobu grafiği

Burada, köşeli tanelerin (X bölgesi) EDS analizinde sadece silisyum piki (Si) görülmektedir, bu da bu tanelerin kuvars kristalleri olduğunu göstermektedir. Yuvarlak taneler (Y bölgesi) üzerinden alınan EDS analizinde ise; kalsiyum (Ca), alüminyum (Al) ve silisyum (Si) pikleri görülmektedir. Bu kristaller de anortit kristalleridir (Şekil 5). Bu veriler, XRD sonuçlarına benzer şekilde (Şekil 2) mikroyapıların serbest kuvars ve anortit kristalleri içerdiğini desteklemektedir.



Şekil 4. 1127 °C de pişirilen numunelerin SEM görüntüleri (250x)



Şekil 5. 1127 °C'de pişirilen D-90 numunesine ait EDS analizi (1000x)

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, duvar karosu kompozisyonunda sert hammaddeler olan kuvars ve pegmatit tane boyutunun bünyelerin sinterleme sıcaklığı ve nihai ürün özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla farklı sıcaklıklarda pişirilen numunelerin fiziksel özellikleri incelenmiştir. Sert hammadde tane boyutunun azalması ile standart duvar karosuna kıyasla daha düşük pişirim sıcaklıklarında, daha düşük su emme ve daha yüksek mukavemet değerlerine ulaşılmıştır. Sert hammaddelerin daha fazla öğütülmesi, taneler arasındaki etkileşimi artırarak pişme sırasındaki reaksiyonların hızlanmasına ve dolayısıyla da sinterlemenin daha kolay olmasına katkı sağlamıştır. Günümüzde seramik duvar karolarının yer karolarına kıyasla yüksek porozite ve düşük mukavemet değerlerine sahip olması bu ürünlerin büyük ebatlarda üretilmesini

kısıtlamaktadır. Dolayısıyla yapılan bu çalışma ile duvar karosu reçetesindeki sert hammaddelerin öğütme sürelerinin artırılarak kullanılmasının, kısmen daha büyük ebatlarda ve daha ince karoların üretimine olanak sağlayacağı söylenebilir.

Teşekkür

Laboratuvar çalışmalarının yürütülmesine katkı sağlayan Seranit Seramik Ar-Ge Merkezine teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Ozturk, Z.B., Gultekin, E.E. 2014. Determination of the Effect of the Addition of Pumice on the Technological Properties of Wall Tile Using the Factorial Design Method. Advances in Ceramic Science and Engineering (ACSE),3, 1–10.

- [2] Ozturk Z.B. 2017. Effect of addition of Avanos's (Nevşehir) clays on the physical and microstructure properties of ceramic tile. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 53101–107.
- [3] Emrulloğlu, Ö.F., Özçelik F. 2002. Etibank Kırka Boraks Atığının Yer Karosu Bünye Özelliklerine Etkisi. 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, 213–218.
- [4] Cengiz, Ö., Kara, A. 2009. Tek Pişirim Duvar Karosu Bünyelerinde Borik Asit İlavesinin Sinterleme Davranışına Etkileri. *Afyon Kocatepe Üniv. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi*, 9(3), 29–35.
- [5] Elmas, S., Tarhan, İ. 2019. The Effect of Combination of Boric Acid and Lithium Carbonate on Sintering and Microstructure in Single Firing Wall Tile. *Journal of Scientific Perspectives*, 3(2), 85–98.
- [6] Moreno, A., Garcia-Ten, J., Bou, E., Gozalbo, A. 2000. Using Boron as an Auxiliary Flux in Porcelain Tile Compositions. In proceedings of 4th World Congress on Ceramic Tile Quality-QUALICER, Castellion, 77–91.
- [7] Ediz, N., Yurdakul, A. 2009. Characterization of Porcelain Tile Bodies with Colemanite Waste Added as a New Sintering Agent. *Journal of Ceramic Processing Research*, 10 (4), 414–422.
- [8] Yet, G. 2007. Yer karosu bünyelerinde farklı ergiticilerin çamur reolojisi ve sinterleme üzerine etkileri. *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 123s, Eskişehir.
- [9] Turkmen, O., Kucuk, A., Akpınar, S. 2015. Effect of Wollastonite Addition on Sintering of Hard Porcelain. *Ceramics International*, 41, 5505–5512.
- [10] Sánchez-Muñoz, L., Carda, J. B., Cerisuelo, E., Tuduri, F., Plaza, S. 2002. Elaboration of Porcelain Stoneware Tiles at 1170°C by Addition of Wollastonite. *Key Engineering Materials*, 206, 2205–2208.
- [11] Bragança, S. R., Lengler, H. C. M., Bergmann, C. P. 2012. Wollastonite as a Flux for Ceramics Bodies. *Materials Science Forum*, 727, 1016–1021.
- [12] Bayca, S. U. 2009. Effects of the Addition of Ulexite to the Sintering Behavior of a Ceramic Body. *Journal of Ceramic Processing Research*, 10(2), 162–166
- [13] Başaran, N., Tamsü, N. 2021. Üleksit ve Manyezit Karışım Komp. Porselen Karo Sinterlemesi Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *Seramik - Journal of the Turkish Ceramics Society*, 1(2) 26–32.
- [14] Gines, A., Orenge, A., Sheth, A., Thiery, D. 2004. Use of Spdumene for Manufacturing Porcelain Tile Bodies of High Whiteness. *Industrie Ceramique*, 996, 50–52.
- [15] Ochen, W., Oruru, B., Dujanga, F. 2019. Effect of Quartz Particle Size on Sintering Behavior and Flexural Strength of Porcelain Tiles Made from Raw Materials in Uganda. *Advances in Materials*, 8(1), 33–40.
- [16] Stathis, G., Ekonomakou, A., Stournaras, C. J., Ftikosa, C. 2004. Effect of Firing Conditions, Filler Grain Size and Quartz Content on Bending Strength and Physical Properties of Sanitaryware Porcelain. *Journal of the European Ceramic Society*, 24, 2357–2366.
- [17] Alves, H.J., Melchiades, F.G., Boschi A.O. 2012. Effect of Feldspar Particle Size on the Porous Microstructure and Stain Resistance of Polished porcelain tiles. *Journal of the Eur. Ceramic Soc.* 32(10), 2095–2102.
- [18] TS EN 14411/Grup BIII, Su Emmesi E> %10 olan Kuru Preslenmiş Seramik Karolar, Mart, 2006.
- [19] Z.Bayer Ozturk, N.Ay, “An investigation of the effect of alkaline oxides on porcelain tiles using factorial design”, *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 13, No. 5, pp. 635~640 (2012)
- [20] Aydın, T., Tarhan, M., Tarhan, B. 2019. Addition of Cement Kiln Dust in Ceramic Wall Tile Bodies. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136, 527–533.

Dumanlı Dağları (Refahiye-Erzincan)'nın Endemik Bitki Çeşitliliği

Mustafa KORKMAZ*¹, İbrahim ONKAŞ¹

¹Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 24100, Erzincan, Türkiye

(Alınış / Received: 02.01.2023, Kabul / Accepted: 10.04.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 27.04.2024)

Anahtar Kelimeler

Dumanlı dağları,
Doğu anadolu,
Endemik bitkiler,
Erzincan,
Refahiye

Öz: Bu çalışmada Refahiye (Erzincan) ilçesinde bulunan Dumanlı dağlarının endemik bitkileri belirlenmiştir. Çalışılan alan İran-Turan fitocoğrafik elementi ve B7 karesi içerisinde bulunmaktadır. Arazi çalışmaları sırasında toplanan bitki örneklerinin teşhis çalışmaları sonucunda, 60 familya ve 245 cins'e ait toplam 633 takson belirlenmiştir. Bunlardan 112 taksonun (% 17,69) endemik olduğu belirlenmiştir. Endemik taksonlardan 102'si Magnoliopsida (Dicotyledoneae) sınıfında, 10'u Liliopsida (Monocotyledoneae) sınıfında yer almaktadır. En çok endemik takson ihtiva eden familyalar sırasıyla; Asteraceae 20 (% 17,86), Caryophyllaceae 13 (% 11,61), Brassicaceae 11 (% 9,82), Lamiaceae 10 (% 8,93) ve Fabaceae 8 (% 7,14)'dir. En çok endemik takson içeren cinsler sırasıyla; *Silene* 5 (% 7,04), *Tanacetum* 4 (% 5,63), *Onosma* 4 (% 5,63), *Astaragalus* 4 (% 5,63), *Hypericum* 3 (% 4,23), *Allium* 3 (% 4,23), *Alyssum* 3 (% 4,23), *Centaurea* 3 (% 4,23) ve *Tripleurospermum* 3 (% 4,23)'dur. Çalışmada taksonların tehlike kategorileri de sunulmuştur.

Endemic Plant Diversity and Conservation of The Dumanlı Mountains (Refahiye-Erzincan)

Keywords

Dumanlı mountain,
East anatolia,
Endemic plants,
Erzincan,
Refahiye

Abstract: In this study, endemic plants of the Dumanlı mountains found in the Refahiye district (Erzincan) was detected. The studied area is found in Irano-Touranian phytogeographical region and in B7 square.. At the end of the identification studies of the plant samples collected during the field studies, a total of 633 plant taxa belonging to 60 families and 245 genera were identified. 112 taxa were determined to be endemic (17.69%). Of these endemic taxa, 102 are in Magnoliopsida (Dicotyledoneae) and 10 are in Liliopsida (Monocotyledoneae) classes. The families containing the biggest number of endemic taxa are as follows respectively; Asteraceae 20 (17,86%), Caryophyllaceae 13 (11,61%), Brassicaceae 11 (9,82%), Lamiaceae 10 (8,93%) and Fabaceae 8 (7,14%). The genera that contain the biggest number of endemic taxa are as follows respectively; *Silene* 5 (7,04%), *Tanacetum* 4 (5,63%), *Onosma* 4 (5,63%), *Astaragalus* 4 (5,63%), *Hypericum* 3 (4,23%), *Allium* 3 (4,23%), *Alyssum* 3 (4,23%), *Centaurea* 3 (4,23%) and *Tripleurospermum* 3 (4,23%). In the study, the threat categories of the taxa were also presented.

1. Giriş

Flora of Turkey and The East Aegean Islands [1- 3] adlı eserde Türkiye florasında toplam 9.222 tür ve 12.006 takson bulunduğu belirtilmektedir. Bu türlerden, 2981'si endemiktir. Endemik takson sayısı ise 3.778'dir. Son araştırmalar floramızda 3.963' ü endemik toplam 12.476 taksonun bulunduğunu göstermektedir [4-7]. Türkiye komşusu olan tüm ülkelerden ve Avrupa'daki her bir ülkeden daha zengin bir floraya sahiptir [1, 4-7, 9- 11, 14, 15].

Türkiye ve Doğu Ege Adaları Florası (Flora of Turkey and East Aegean Islands) [1- 3] adlı eser Erzincan florasında 87 familya, 342 cins ve bunlara ait toplam 795 türün doğal olarak yayılış gösterdiğini bildirmektedir. Eserde 276 bitki çeşidinin Erzincan'da yetişen endemik takson olduğu belirtilmektedir. Yapılan son çalışmalardan Erzincan'daki toplam endemik takson sayısının 437'ye ulaştığı anlaşılmaktadır. Bu bitkilerden 60'a yakını Dünyada sadece Erzincan'da yetişmektedir. Türkiye'deki toplam 13 endemik bitki merkezinden ikisi olan Munzur ve Keşiş dağları ile çok önemli bitki alanlarına

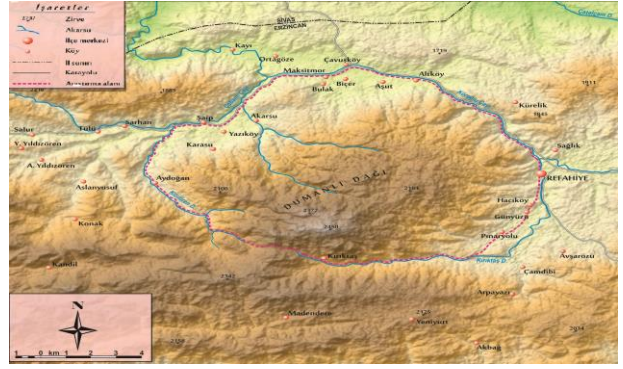
*İlgili yazar: mkorkmaz@erzincan.edu.tr

sahip olan Erzincan ili, bitki zenginliği bakımından ülkemizin çok önemli bir sahasıdır [8-14]. Floristik çeşitlilik ve endemik türler bakımından Doğu Anadolu Türkiye'de çok önemli bir bölgedir. Karadeniz, Doğu Anadolu ve İç Anadolu coğrafya bölgeleri arasında geçiş alanı özelliği taşıyan Erzincan yöresi, floristik zenginliği ile Türkiye'nin en önemli genetik çeşitlilik ve endemik merkezleri arasında bulunmaktadır. Erzincan ili; birçok mikro iklimi içermesi, dağların oluşma şekilleri, birbirinden çok farklı özellikler gösteren habitatlar barındırması vb. nedenlerden dolayı bitkisel çeşitlilik bakımından oldukça zengin bir yöredir. Avrupa-Sibirya ve İran-Turan bitki coğrafyası bölgelerinin kesişme noktasında ve Anadolu Diyagonalı'nın (Anadolu çaprazı) geçiş güzergahında bulunması alanın floristik çeşitlilik bakımından önemini bir kat daha arttırmakta ve Erzincan'ın çok sayıda nadir ve endemik tür için doğal yayılış alanı olmasına imkan sağlamaktadır [10, 11, 14, 15].

Bugüne kadar Erzincan çevresinde yapılan floristik kapsamlı çalışmalarda Munzur Dağları'nın [16], Tercan çevresi, Şengül (Erzincan) ve Bağırbaşa (Tunceli) dağlarının [17], Üzümlü ilçesi ile Sakaltutan geçidi (Erzincan-Gümüşhane) arasındaki dağların [8], Ergan (Erzincan) dağının [11], Çayırlı (Erzincan) ilçesinin [14], Kemaliye (Erzincan) ilçesinin [18] ve İliç-Kemah (Erzincan) arasındaki jipsli alanların [19] floraları belirlenmiştir. Erzincan şehir merkezinin batısında D-100 karayolu üzerinde yer alan Refahiye ilçesi Erzincan'a yaklaşık 70 km mesafede bulunmaktadır. Doğu Anadolu bölgesinde bulunmakla birlikte ilçe üç coğrafik bölgenin (Doğu Anadolu, Doğu Karadeniz ve İç Anadolu) kesişimi sayılabilecek bir konumda bulunmaktadır. İlçe ülkemizin en yüksek (1500-2000 m) yerleşim alanları arasındadır. İlçenin 121 köyü bulunmaktadır. Dumanlı dağları (2447 m) ilçenin en yüksek noktasıdır. Çalışma alanının konumu ve topoğrafya haritası Şekil 1a ve 1b'de verilmiştir. Bu çalışma ile Dumanlı Dağları'nın endemik bitki zenginliği ortaya çıkarılmıştır. Alanda yetişen endemik taksonların tehlike kategorileri de belirlenerek endemik türlerin korunmasına katkı sağlanması hedeflenmiştir.



Şekil 1a. Çalışma alanının konumu



Şekil 1b. Çalışma alanının topoğrafya haritası

2. Materyal ve Metot

Araştırma materyalini 2015 ve 2016 yılları vejetasyon döneminde Dumanlı dağlarından toplanan vasküler bitki örnekleri oluşturmaktadır. Farklı vejetasyon dönemlerinde çalışma alanında yer alan farklı lokalitelerden 1000 civarında bitki örneği toplanmıştır. Arazi çalışmaları esnasında bitkilerin ve bitkilerin yetiştiği doğal habitatlarının fotoğrafları çekilmiştir. Toplanan örnekler polietilen torbalara konularak herbaryuma getirilmiştir. Bu örnekler herbaryum kurallarına uygun şekilde preslenerek kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise herbaryum çalışmaları tamamlanan bitki örneklerinin Türkiye ve Doğu Ege Adaları Florası [1-3] adlı temel eserden yararlanılarak bilimsel adları teşhis edilmiştir. Endemik tasonların tehlike kategorileri Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı [20]'ndan yararlanılarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda belirlenen endemik taksonlar sistematik bir şekilde bulgular bölümünde verilmiştir. Burada önce familya üstü kategorileri, daha sonra familyalar ve familyaların Türkçe adları verilmiştir. Familyaların altında taksonların bilimsel adları alfabetik sırada verilmiştir. Taksonların bilimsel adlarını tabiren Türkçe adları parantez içinde verilmiştir. Bundan sonra taksonların fitocoğrafik bölgeleri belirtilmiştir. En son sırada ise endemik taksonlara ait tehlike kategorileri verilmiştir. Tüm familyalara ve taksonlara kendi içerisinde sıra numarası verilmiştir.

3. Bulgular

Araştırma alanında belirlenen endemik bitki taksonlarının listesi: Subdivisio; Angiospermae (Kapalı Tohumlular), Classis; Magnoliopsida (Dicotyledoneae-Çift Çenekliler)

1. Acanthaceae (Ayıpençesigiller)

1. *Acanthus dioscoroides* L. var. *laciniatus* Freyn. (Tosbağa kengeri), Onkaş ve Korkmaz: 431, 466, 479, 493, Endemik, CD.

2. Apiaceae (Maydanozgiller)

2. *Ferula longipedunculata* Peşmen (Hiltik), Onkaş ve Korkmaz: 602, 667, İran-Turan el., Endemik, EN.

3. *Ferulago macrosciadia* Boiss. & Balansa (Kedi kişnişi), Onkaş ve Korkmaz: 817, Akdeniz el., Endemik, LC.
4. *Heracleum crenatifolium* Boiss. (Sov öğrekotu), Onkaş ve Korkmaz: 626, Endemik, LR (nt).
5. *Prangos meliocarpoides* Boiss. var. *meliocarpoides* (-), Onkaş ve Korkmaz: 359, İran-Turan el., Endemik, LC.

3. Asteraceae (Papatyagiller)

6. *Anthemis armeniaca* Freyn & Sint. (Özge papapatya), Onkaş ve Korkmaz: 650, İran-Turan el., Endemik, LC.
7. *Carduus nutans* L. subsp. *nutans* (Eşekdikeni), Onkaş ve Korkmaz: 353, Endemik, CD.
8. *Centaurea armena* Boiss. (Yer sarıbaşı), Onkaş ve Korkmaz: 871, 929, 938, İran-Turan el., Endemik, LC.
9. *Centaurea drabifolia* Sibth. & Sm. subsp. *drabifolia* (Öbek sarıbaş), Onkaş ve Korkmaz: 705, 745, Endemik, LC.
10. *Centaurea oltensis* Sosn. (Eğrisarıbaş), Onkaş ve Korkmaz: 265, İran-Turan el., Endemik, LC.
11. *Crepis armena* DC. (Dağ kiskısı), Onkaş ve Korkmaz: 369, İran-Turan el., Endemik, LC.
12. *Cyanus matthiolifolius* (Boiss.) Wagenitz & Greuter (Kingözü), Onkaş ve Korkmaz: 368, İran-Turan el., Endemik, (-).
13. *Helichryssum chionophilum* P.H.Davis (Yaylahencaceliği), Onkaş ve Korkmaz: 931, 950, Endemik, LC.
14. *Helichryssum noeanum* Boiss. (Gülizar), Onkaş ve Korkmaz: 932, 947, İran-Turan el., Endemik, LC.
15. *Psephellus mucronifer* (DC.) Wagenitz (Tülübaş), Onkaş ve Korkmaz: 712, İran-Turan el., Endemik, (-).
16. *Psephellus pyrrhoblepharus* (Boiss.) Wagenitz (Deli tülübaş), Onkaş ve Korkmaz: 710, İran-Turan el., Endemik, (-).
17. *Scorzonera eriophora* DC. (Köksakızı), Onkaş ve Korkmaz: 762, Endemik, LC.
18. *Tanacetum albipannosum* Hub.-Mor. & Grierson (Keçeli pireotu), Onkaş ve Korkmaz: 123, 599, 849, 941, 946, İran-Turan el., Endemik, CD.
19. *Tanacetum argenteum* (Lam.) Willd. subsp. *argenteum* (Kaya pireotu), Onkaş ve Korkmaz: 724, İran-Turan el., Endemik, LC.
20. *Tanacetum cappadocicum* (DC.) Sch. Bib. (Peri pireotu), Onkaş ve Korkmaz: 700, İran-Turan el., Endemik, NT.
21. *Tanacetum nitens* (Boiss. & Noe) Grierson (Sağır pireotu), Onkaş ve Korkmaz: 873, Endemik, LC.
22. *Tripleurospermum coniclinium* (Boiss. & Balansa) Hayek (Akpapatya), Onkaş ve Korkmaz: 864, Endemik, LC.
23. *Tripleurospermum monticulum* (Boiss. & Huet) Bornm. (Kır papatyası), Onkaş ve Korkmaz: 29, Endemik, VU.
24. *Tripleurospermum rosellum* (Boiss. & Oroph.) Hayek var. *album* E.Hossain (-), Onkaş ve Korkmaz: 20, Endemik, LC.

25. *Turanecio cariensis* (Boiss.) Hamzaoğlu (Baş turanotu), Onkaş ve Korkmaz: 867, 943, Akdeniz el., Endemik, (-).
26. *Turanecio hypochionaeus* (Boiss.) Hamzaoğlu (Turanotu), Onkaş ve Korkmaz: 298, 701, Endemik, (-).

4. Boraginaceae (Hodangiller)

27. *Onosma argentata* Hub.-Mor. (Gümüş emcek), Onkaş ve Korkmaz: 210, 352, , İran-Turan el., Endemik, EN.
28. *Onosma bornmuelleri* Hausskn. & Bornm. (Amasya şincarı), Onkaş ve Korkmaz: 104, 446, İran-Turan el., Endemik, LC.
29. *Onosma mirabilis* A.P.Khokhr. (Hoşemzik), Onkaş ve Korkmaz: 898, 949, İran-Turan el., Endemik, EN.
30. *Onosma polioxantha* Rechf.f. (Yoz emzikotu), İran-Turan el., Endemik, LC.
31. *Paracaryum paphlagonicum* (Bornm.) R.R.Mill. (Çankırı çarşağı), Onkaş ve Korkmaz: 343, 693, İran-Turan el., Endemik, CD.

5. Brassicaceae (Turpgiller)

32. *Alyssum pateri* Nyar. subsp. *pateri* (Demet kekke), Onkaş ve Korkmaz: 747, İran-Turan el., Endemik LC.
33. *Alyssum peltarioides* Boiss. subsp. *peltarioides* (Köse kuduzotu), Onkaş ve Korkmaz: 410, Avrupa-Sibirya el., Endemik, LC.
34. *Alyssum peltarioides* Boiss. subsp. *virgatiforme* (Nyar.) T.R.Dudley (Spikor kuduzotu), Onkaş ve Korkmaz: 410-a, Endemik, LC.
35. *Barbarea auriculata* Hausskn. ex Bornm. var. *auriculata* (Kulaklinicarotu), Onkaş ve Korkmaz: 60, İran-Turan el., Endemik, CR.
36. *Erysimum kotschyanum* J.Gay (Teke zarifesi), Onkaş ve Korkmaz: 183, Endemik, LC.
37. *Hesperis bicuspidata* (Willd.) Poir. (Gecemenekşesi), Onkaş ve Korkmaz: 842, İran-Turan el., Endemik, LC.
38. *Hesperis breviscapa* Boiss. (Yayla akşamyıldızı), Onkaş ve Korkmaz: 824, İran-Turan el., Endemik, VU.
39. *Hesperis isatidea* (Boiss.) D.A.German & Al-Shehbaz (Allıgelin), Onkaş ve Korkmaz: 1, 8, 268, İran-Turan el., Endemik, VU.
40. *Pseudosempervivum aucheri* (Boiss.) Pobed. (Has kaşıkotu), Onkaş ve Korkmaz: 40, 271, İran-Turan el., Endemik, (-).
41. *Pseudosempervivum sempervivum* (Boiss. & Balansa) Pobd. (Kaşıkotu), Onkaş ve Korkmaz: 21, 199, Endemik, (-).
42. *Thlaspi jaubertii* Hedge (Köse dağarcık), Onkaş ve Korkmaz: 550, 880, Endemik, CD.

6. Caprifoliaceae (Hanmeligiller)

43. *Lonicera orientalis* Lam. (Has çakkana), Endemik, LC.

7. Caryophyllaceae (Karanfillgiller)

44. *Bolanthus frankenioides* (Boiss.) Barkoudah var. *frankenioides* (Hashavalotu), Onkaş ve Korkmaz: 728, Akdeniz el., Endemik, CD.
45. *Dianthus masmenaeus* Boiss. var. *masmenaeus* (Etek karanfili), Onkaş ve Korkmaz: 492, İran-Turan el., Endemik, LC.
46. *Eremogone acerosa* (Boiss.) Ikonn. (Sivri kumotu), Onkaş ve Korkmaz: 179, Endemik, LC.
47. *Eremogone ledebouriana* (Fenzl.) Ikonn. (İğne kumotu), Onkaş ve Korkmaz: 358, Endemik, NT.
48. *Gypsophila bitlisensis* Barkoudah (Bitlis Çöveni), Onkaş ve Korkmaz: 147, 378, 382, İran -Turan el., Endemik, CD.
49. *Minuartia corymbulosa* (Boiss. & Balansa) McNeill var. *corymbulosa* (Kırtıstısı), Onkaş ve Korkmaz: 281, İran-Turan el., Endemik, NT.
50. *Minuartia leucocephala* (Boiss.) Mattf. (Honaz tıstısı), Onkaş ve Korkmaz: 335, Akdeniz el., Endemik, LC.
51. *Saponaria kotschyi* Boiss. (Yar sabunotu), Onkaş ve Korkmaz: 500, Akdeniz el., Endemik, LC.
52. *Saponaria prostrata* Willd. subsp. *prostrata* (Ebem terliği), Onkaş ve Korkmaz: 94, 427, 451, 499, 639-a, İran-Turan el., Endemik, LC.
53. *Silene capillipes* Boiss. & Heldr. (İn nakılı), Onkaş ve Korkmaz: 925, Akdeniz el., Endemik, EN.
54. *Silene capitellata* Boiss. (Kavuklu nakıl), Onkaş ve Korkmaz: 232, 546, 559, İran-Turan el., Endemik, LC.
55. *Silene dumanii* Kandemir G.E.Genç & I.Genç (Mor kıyışak), Onkaş ve Korkmaz: 814, İran-Turan el., Endemik, CR.
56. *Silene nerimaniae* G.E.Genç, A.Kandemir & I.Genç (Sultan nakılı), Onkaş ve Korkmaz: 124, İran-Turan el., Endemik, VU.
57. *Silene ruscifolia* (Hub.-Mor. & Reese) Hub.-Mor. (Gizli nakıl), Onkaş ve Korkmaz: 152, 153, 202, İran-Turan el., Endemik, LC.

8. Fabaceae (Baklagiller)

58. *Astragalus condensatus* Ledeb. (Sıkgeven), Onkaş ve Korkmaz: 356, 383, İran-Turan el., Endemik, LC.
59. *Astragalus globosus* Vahl. (Top geven), Onkaş ve Korkmaz: 757, İran-Turan el., Endemik, LC.
60. *Astragalus karamasicus* Boiss. & Balansa (Korumaz geveni), Onkaş ve Korkmaz: 151, İran-Turan el., Endemik, LC.
61. *Astragalus mesogitanus* Boiss. (Aydın geveni), Onkaş ve Korkmaz: 248, İran-Turan el., Endemik, LC.
62. *Hedysarum nitidum* Willd. (Köse batalak), Onkaş ve Korkmaz: 449, 810, İran-Turan el., Endemik, LC.
63. *Lathyrus czeczottianus* Basler, (Çalı mürdümüğü), Onkaş ve Korkmaz: 583, 879, Avrupa-Sibirya el., Endemik, LC.
64. *Lotus gebelia* Vent. var. *anthylloides* Boiss. (-), Onkaş ve Korkmaz: 767, İran-Turan el., Endemik, NT.
65. *Onobrychis tournefortii* (Willd.) Desv. (Evliyaotu), İran-Turan el., Endemik, LC.

9. Geraniaceae (Turnagagasigiller)

66. *Erodium amanum* Boiss. & Kotschy (Hatay iğneliği), Onkaş ve Korkmaz: 726, İran-Turan el., Endemik, LC.
67. *Geranium ibericum* Cav. subsp. *jubatun* (Hand.-Mazz.) P.H.Davis (Kırmızı ıtır), Onkaş ve Korkmaz: 256, 573, Avrupa-Sibirya el., Endemik, LC.

10. Hypericaceae (Kantarongiller)

68. *Hypericum confertum* Choisy subsp. *confertum* (Kuzu kıran), Onkaş ve Korkmaz: 439, Endemik, LC.
69. *Hypericum heterophyllum* Vent. (Yara yaprağı), Endemik, LC.
70. *Hypericum rupestre* Jaub. & Spach (Ulaş kantaronu), Onkaş ve Korkmaz: 294, Akdeniz el., Endemik, EN.

11. Lamiaceae (Ballıbabagiller)

71. *Lamium galactophyllum* Boiss. & Reuter (Al balıcak), Onkaş ve Korkmaz: 113-a, 221, 261, İran-Turan el., Endemik, LC.
72. *Marrubium astracanicum* Jacq. subsp. *macrodon* (Bornm.) P.H.Davis (Koca yayaotu), Onkaş ve Korkmaz: 889, Endemik, LC.
73. *Nepeta cadmea* Boiss. (Honaz pisikotu), Onkaş ve Korkmaz: 497, Akdeniz el., Endemik, LC.
74. *Nepeta congesta* Fisch. & C.A.Mey. subsp. *congesta* (Bozkır pisiği), Onkaş ve Korkmaz: 541, İran-Turan el., Endemik, LC.
75. *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) Ietsw. (Zemul), Onkaş ve Korkmaz: 717, İran-Turan el., Endemik, LC.
76. *Origanum sipyleum* L. (Mor mercan), Akdeniz el., Endemik, LC.
77. *Salvia absconditiflora* (Montbret & Aucher ex Benth.) Greuter & Burdet (Kara şalba), Onkaş ve Korkmaz: 194, 846, İran-Turan el., Endemik, (-).
78. *Salvia euphratica* Montbret & Aucher. var. *euphratica* (Fıratşalbası), Onkaş ve Korkmaz: 195, 198, 429, İran-Turan el., Endemik, LC.
79. *Scutellaria salviifolia* Benth. (Has kaside), Onkaş ve Korkmaz: 495, 505, Endemik, LC.
80. *Stachys minor* (Boiss.) Akçiçek & Dirmenci (Çayçe), Onkaş ve Korkmaz: 691, 796, Akdeniz el., Endemik, DD.

12. Linaceae (Ketengiller)

81. *Linum triflorum* P.H. Davis (Üç keten), Onkaş ve Korkmaz: 140, 437, İran-Turan el., Endemik, VU.

13. Orobanchaceae (Canavarotugiller)

82. *Melampyrum arvense* L. var. *elatius* Boiss. (-), Onkaş ve Korkmaz: 457, 462, 709, Avrupa-Sibirya el., Endemik, NT.

14. Papaveraceae (Haşhaşgiller)

83. *Papaver persicum* Lindl. subsp. *fulvum* Kit Tan & Sorger (Kaşıklık), Onkaş ve Korkmaz: 771, Endemik, LC.

15. Plantaginaceae (Sinirotugiller)

84. *Globularia trichosantha* Fisch. & C.A.Mey. subsp. *longisepala* Contandr. & Quezel (Ahuotu), Onkaş ve Korkmaz: 182, 227, 247, Akdeniz el., Endemik, EN.
85. *Linaria corifolia* Desf. (Tarla nevrüzotu), Onkaş ve Korkmaz: 139, 372, 379, İran-Turan el., Endemik, LC.
86. *Veronica erciyasdağı* (M.A.Fisch.) C.Vural (Erciyes mavisı), Onkaş ve Korkmaz: 121, İran-Turan el., Endemik, (-).
87. *Veronica orientalis* Mill. subsp. *nimrodi* (Richt. ex Stapf) M.A.Fisch. (Nemrut mavişi), Onkaş ve Korkmaz: 219, 241, Endemik, LC.

16. Polygonaceae (Madımakgiller)

88. *Atraphaxis grandiflora* Willd. (Koca devekırın), Onkaş ve Korkmaz: 136, 351, 688, İran-Turan el., Endemik, LC.
89. *Rumex ponticus* E.H.L.Krause (Boçu), Onkaş ve Korkmaz: 385, İran -Turan el., Endemik, LC.

17. Primulaceae (Çuhaçiçeğigiller)

90. *Primula longipes* Freyn & Sint. (Zarif çuha), Onkaş ve Korkmaz: 7, Avrupa-Sibirya el., Endemik, NT.

18. Rosaceae (Gülgiller)

91. *Agrimonia procerrima* Fröhner (Boylu keltat), Onkaş ve Korkmaz: 62, 95, Endemik (-).
92. *Alchemilla sintenisii* Rothm. (Su pençesi), Avrupa-Sibirya el., Onkaş ve Korkmaz: 644, Endemik, NT.
93. *Amelanchier parviflora* Boiss. var. *parviflora* (Karagöz), Onkaş ve Korkmaz: 61, 72, Akdeniz el., Endemik, LC.
94. *Crataegus tanacetifolia* (Poir.) Pers. (Kotan alıcı), Onkaş ve Korkmaz: 133, 193, Endemik, LC.
95. *Potentilla cappadocica* Boiss. (Peri parmakotu), Onkaş ve Korkmaz: 494, İran-Turan el., Endemik, NT.
96. *Rosa dumalis* Bechst. subsp. *antalyensis* (Manden.) Ö.Nilson (İt gülü), Onkaş ve Korkmaz: 469, 514, 526, Endemik, VU.
97. *Rosa pisiformis* (Christ) Sosn. (Algül), İran-Turan el., Onkaş ve Korkmaz: 154-a, 155, 156, 287, Endemik, NT.

19. Rubiaceae (Kökboyagiller)

98. *Asperula stricta* Boiss. subsp. *latipracteata* (Boiss.) Ehrend. (Berit belumotu), Onkaş ve Korkmaz: 719, İran-Turan el., Endemik, LC.
99. *Asperula suavis* Fisch. (Pak belumotu), Onkaş ve Korkmaz: 476, İran-Turan el., Endemik, (-).
100. *Galium incanum* Sm. subsp. *pseudocornigerum* Ehrend. (Yalancı iplikçik), Onkaş ve Korkmaz: 783, İran-Turan el., Endemik, LC.
101. *Galium margaceum* Ehrend. & Schönb.-Tem. (Saman iplikçiği), Onkaş ve Korkmaz: 737, Endemik, LC.

20. Sapindaceae (Akçağaçgiller)

102. *Acer cappadocicum* Gleditsch subsp. *divergens* (K.Koch) Pax (Çoruh akçağacı), Onkaş ve Korkmaz: 577, Avrupa-Sibirya el., Endemik, VU.

Classis: Liliopsida (Monocotyledoneae-Tek çenekliler)

21. Amaryllidaceae (Nergisgiller)

103. *Allium balansae* Boiss. (Çakıl soğanı), Onkaş ve Korkmaz: 687, İran-Turan el., Endemik, CD.
104. *Allium sintenisii* Freyn. (Dikenli körmən), Onkaş ve Korkmaz: 344, İran-Turan el. Endemik, LC.
105. *Allium tchihatschewii* Boiss. (Saklı soğan), Onkaş ve Korkmaz: 365, 406, İran-Turan el. Endemik, LC.

22. Asparagaceae (Kuşkonmazgiller)

106. *Bellevalia crassa* Wendelbo (Başak sümbül), Onkaş ve Korkmaz: 103, 285, İran-Turan el. Endemik, CR.
107. *Ornithogalum alpigenum* Stapf (Akyıldız), Onkaş ve Korkmaz: 855, Akdeniz el. Endemik, NT.

23. Iridaceae (Süsengiller)

108. *Iris kerneriana* Asch. & Sint. ex Baker (Çalı süseni), Onkaş ve Korkmaz: 224, 420 Avrupa-Sibirya el., Endemik, LC.

23. Liliaceae (Zambakgiller)

109. *Fritillaria crassifolia* Boiss. & A.Huet subsp. *crassifolia* (Boynubükük), Onkaş ve Korkmaz: 114, İran-Turan el., Endemik, LC.
110. *Gagea bithynica* Posch. (Çam yıldızı), Onkaş ve Korkmaz: 16, Akdeniz elementi, Endemik, LC.

24. Orchidaceae (Salepgiller)

111. *Dactylorhiza osmanica* (Klinge) P.F.Hunt & Summerh. var. *anatolica* (Nelson) Renz & Taubenheim (-), Onkaş ve Korkmaz: 908, İran-Turan el., Endemik, NT.
112. *Dactylorhiza osmanica* (Klinge) P.F.Hunt. & Summerh. var. *osmanica* (Osmanlı salebi), Onkaş ve Korkmaz: 632, İran-Turan el., Endemik, LC.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu makalede, Refahiye (Erzincan) ilçesi sınırlarında bulunan Dumanlı Dağları'nın endemik bitki türleri araştırılmıştır. Çalışma alanı İran-Turan fitocoğrafya bölgesinde bulunmakla birlikte Avrupa-Sibirya fitocoğrafik bölgesinin de sınırında yer almaktadır. Bölge Erzincan ili sınırları içerisinde olmakla birlikte üç coğrafi bölgenin kesişim yerinde bulunur. Çalışma alanının topoğrafik yapısını, lokasyonunu ve sınırlarını gösteren harita Şekil 1'de verilmiştir. Alanda daha önce yapılmış floristik bir çalışma bulunmamaktadır. Araştırma alanında 2015 - 2016 yılları ilkbahar ve yaz aylarında yapılan arazi çalışmaları sonucunda 1000'e yakın damarlı bitki örneği toplanmıştır. Toplanan bu örnekler üzerinde gerçekleştirilen bitki tayini çalışmaları sonucunda 633 tür ve tür altı takson tespit edilmiştir. Bu taksonlardan 112'sinin endemik (% 17,69) olduğu belirlenmiştir.

En çok endemik takson ihtiva eden familyalar sırasıyla; Asteraceae 20 (% 17,86), Caryophyllaceae 13 (% 11,61), Brassicaceae 11 (% 9,82), Lamiaceae 10 (% 8,93) ve Fabaceae 8 (% 7,14)'dir.

En çok endemik takson içeren cinsler sırasıyla; *Silene* 5 (% 7,04), *Tanacetum* 4 (% 5,63), *Onosma* 4 (% 5,63), *Astaragalus* 4 (% 5,63), *Hypericum* 3 (% 4,23), *Allium* (% 4,23), *Alyssum* (% 4,23), *Centaurea* (% 4,23) ve *Tripleurospermum* (% 4,23)'dur.

Endemik taksonların fitocoğrafik bölgelere dağılımlarına göre sayıları ve oranları; İran-Turan 62 (% 55.36), Akdeniz 14 (% 12.50), Avrupa-Sibirya 8 (% 7,14) ve bölgesi bilinmeyenler 28 (% 25.0) takson şeklinde bulunmuştur.

Bulgular bölümünde sistematik bir şekilde sunulan endemik taksonlara ve familyalarına ait Türkçe adlar Türkiye Bitkileri Listesi [20]'ne göre belirlenerek parantez içerisinde verilmiştir. Tüm familyaların Türkçe adları belirlenmiştir. 112 taksondan 107 taksonun Türkçe adları belirlenmesine karşın 5'inin Türkçe adları ilgili kaynaktan verilmemiştir. Bu taksonlar; (*Prangos meliocarpoides* var. *meliocarpoides* (Apiaceae); *Tripleurospermum rosellum* var. *album* (Asteraceae); *Lotus gebelia* var. *anthylloides* (Fabaceae); *Melampyrum arvense* var. *elatius* (Poaceae); *Dactylorhiza osmanica* var. *anatolica* (Orchidaceae)'dir. Çalışmada belirlenen toplam 112 endemik bitki taksonunun Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı [21]'ne göre belirlenen tehlike kategorilerine göre dağılımları Tablo 1'de, kategorilere göre dağılım oranları da Şekil 2'de verilmişlerdir.

Bu tabloda ve şekilde görüldüğü gibi toplam 3 takson (% 2,68) (*Barbarea auriculata* var. *auriculata*; *Bellevalia crassa* ve *Silene dumanii*) CR: Critically endangered (Çok tehlikede) kategorisinde yer alan taksonlardır. CR: Critically Endangered (Çok Tehlikede) kategorisinde yer alan bir takson doğada çok kısa sürede kaybolma tehlikesi altındadır. Son on yılda popülasyonu % 80 azalacağı öngörülmektedir. Bu kriter için aşağıdaki maddelere göre karar verilir. Popülasyon şu tehditler nedeniyle azalıyor ise: a) Habitat farklılaşması, b) Toplama tehdidi, c) hastalık, istila, kirlenme, melezleme, parazit, rekabetçi, tohum oluşturma, etkisi altında ve bitkinin toplam yayılış alanı 100 km² den ve tek yayılım alanı 10 km² den azsa, çok parçalanmış veya tek lokasyondan biliniyorsa [21].

Bir takson (% 0,89) (*Stachys minor*) DD: Data Deficient (Veri Yetersiz) kategorisinde yer almaktadır. DD aslında bir kategori değildir. Taksonun durumu bilinmemektedir. Yeni çalışmalarla taksonun kategorisinin belirlenmesi gerekmektedir.

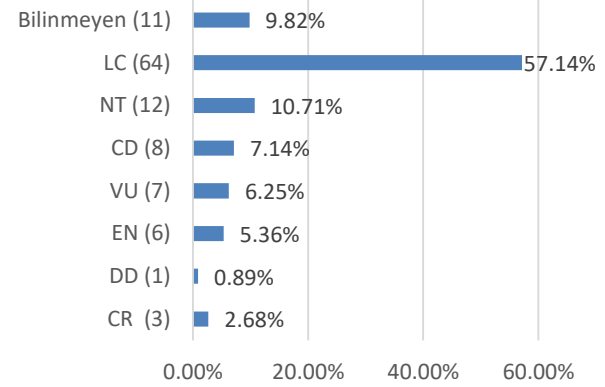
Toplam 6 takson (% 5,36) (*Ferula longipedunculata*, *Globularia trichosantha* subsp. *longisepala*, *Hypericum rupestre*, *Onosma argentata*, *Onosma mirabilis*, *Silene capillipes*) EN: Endangered (Tehlikede, Yüksek Risk Altında) kategorisinde yer alan bir taksonun popülasyonunun son on yılda % 50

azalacağı öngörülmekte ve mevcut birey sayısının 2500'ün altında olduğu belirtilmektedir.

Tablo 1. Endemik taksonların tehlike kategorilerine göre dağılımları

Kategori	Açıklama	Takson sayısı
CR: Critically Endangered	Çok Tehlikede	3
DD: Data Deficient	Veri Yetersiz	1
EN: Endangered	Tehlikede	6
VU: Vulnerable	Zarar görebilir	7
CD: Conservation Dependent	Koruma Önlemi Gerektiren	8
NT: Near Threatened	Tehdit Altına Girebilir	12
LC: Least Concern	En Az Endişe Verici (Düşük Riskli)	64
Kategorisi belirlenemeyen	-	11
Toplam	-	112

Tehlike Kategorisi



Şekil 2. Endemik taksonların tehlike kategorilerine göre dağılım oranları

Acer cappadocicum subsp. *divergens*, *Hesperis breviscapa*, *Linum triflorum*, *Rosa dumalis* subsp. *antalyensis*, *Silene nerimaniae*, *Hesperis isatidea* (Boiss.) D.A.German & Al-Shehbaz, *Tripleurospermum monticulum* olmak üzere toplam 7 takson (% 6,25) VU: Vulnerable (Zarar görebilir) kategorisinde yer almaktadır. Bu kategorideki bir taksonun son on yılda popülasyonunun % 20 azalacağı öngörülmektedir. Mevcut birey sayısı 10000'in altındadır [21].

CD: Koruma Önlemi Gerektiren kategorisinde 8 takson (%7,14), NT: Tehdit Altına Girebilir kategorisinde 12 takson (% 10,71) ve LC: En Az Endişe Verici kategorisinde 64 takson (% 57,14) bulunmaktadır. Toplam 11 taksonun (% 9,82) kategorileri ise belirlenememiştir. Bu taksonların durumu yapılacak yeni çalışmalarla ortaya konulmalıdır.

Çalışma alanı ile bölgede gerçekleştirilen diğer araştırmalar endemik taksonların sayıları ve oranları bakımından karşılaştırılmıştır (Tablo 2, Şekil 3).

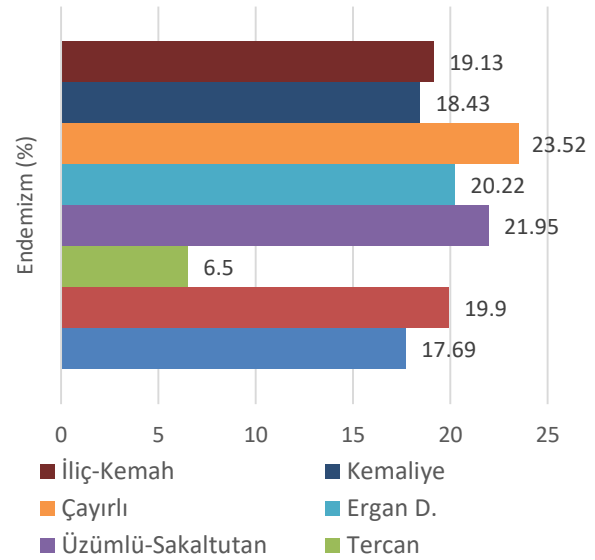
Araştırma alanımızda belirlenen toplam endemik takson sayısı 112'dir. Bunun çalışma alanında belirlenen tüm taksonlara oranı % 17,69 olarak bulunmuştur. Erzincan çevresinde gerçekleştirilen diğer çalışmalarla kıyaslandığında en yüksek endemik bitki oranı Çayırılı ilçesinin florasında (% 23,52), en düşük endemik bitki oranının ise Tercan, Şengül (Erzincan) ve Bağırbaşa (Tunceli) Dağları florasında [17] buldukları görülmektedir. Çalışmamızdaki endemizm oranı diğer çalışmalardan Kemaliye İlçesinin (Erzincan) florası [18]'ile hemen hemen aynı, orandadır. % 19 civarında olan Munzur Dağlarının Florası [16] ve İliç-Kemah (Erzincan) Jips Florası [19] adlı çalışmalarda çalışmamızdaki orana oldukça yakındır. Türkiye florasının sahip olduğu endemik bitkilerin tüm taksonlara oranı yaklaşık olarak % 32,2'dir. En fazla endemik bitki türü İran-Turan bitki coğrafyası bölgesinde mevcuttur. Onu sırasıyla Akdeniz ve İran-Turan bölgeleri takip etmektedir. En düşük endemik bitki oranı Avrupa-Sibirya bölgesindedir. Çalışma alanımızda da sıralama aynı şekilde bulunmuştur.

Tablo 2. Dumanlı Dağları ile bölgedeki diğer araştırmalarda belirlenen endemik tür sayılarının ve endemizm oranlarının karşılaştırılması

Araştırma Alanı	Toplam Takson sayısı	Endemik Takson Sayısı	Endemik Oranı (%)
Dumanlı Dağları (Refahiye-Erzincan) Florası	633	114	17,69
Munzur Dağlarının Florası [16]	-	275	19,90
Tercan civarı, Şengül dağları-Bağırbaşa dağları florası [17]	661	43	6,50
Üzümlü-Sakaltutan (Erzincan-Gümüşhane) arasının florası [8]	960	211	21,95
Ergan Dağı (Erzincan, Türkiye) Florası [11]	356	72	20,22
Çayırılı (Erzincan, Türkiye) ilçesinin florası[14]	591	139	23,52
Kemaliye ilçesinin (Erzincan) florası [18]	640	118	18,43
İliç-Kemah (Erzincan) Cips Florası [19]	549	106	19,3

Çalışma alanında bitkileri tehdit eden en önemli faktörlerin başında antropojenik etkiler gelmektedir. Çevreye büyük zarar veren yol yapımı veya sıklıkla yapılan yol genişletme çalışmaları özellikle kayalık ve akıntılı yamaçlarda yetişen *Barbarea auriculata* var. *auriculata*, *Silene dumanii*, *Bellevalia crassa*, *Hesperis breviscapa* ve *Onosma argentata* gibi çok tehlike

altında olan Erzincan iline özgü endemik taksonları tehdit etmektedir. Dumanlı dağlarının ilin genel bitki formasyonunun aksine yaygın olarak bulunan *Pinus sylvestris* L. var. *hamata* Steven, *Juniperus* spp., *Quercus cerris* L. taksonları yanında seyrek olarak bulunan *Colutea cilicica* Boiss. & Balansa, *Robinia pseudoacacia* L., *Cerasus microcarpa* (C.A.Mey.) Boiss., *Cotoneaster* spp., *Crataegus* spp., *Rosa* spp., *Sorbus* spp., *Populus* sp., *Salix* spp., *Acer cappadocicum* Gleditsch subsp. *divergens* (K.Koch) Pax (Endemik, VU), *Silene*, *Astragalus*, *Acantholimon caryophyllaceum* Boiss. gibi taksonlarından oluşan yoğun bir ormanlık alan olması nedeniyle Erzincan ilinin nadir alanları arasında gelmekte ve korunmasını gerektirmektedir. Bu taksonlardan *Acer cappadocicum* subsp. *divergens* (Çoruh akçağacı) endemik olup Zarar Görebilir (VU) kategorisinde bulunmaktadır. Ancak alanda son yıllarda periyodik olarak düzenlenen Dumanlı festivali ve şenlikleri önemli tehdit oluşturma potansiyeli taşımaktadır.



Şekil 3. Dumanlı Dağları ile bölgedeki diğer araştırmaların endemizm oranları bakımından karşılaştırılması

Alanda birçok yerde plansız olarak mesire alanları yapılmaktadır. Alanda dağınık ve küçük yerleşim yerleri de bitkiler için tehlike oluşturabilmektedir. Ayrıca alanda her yıl Orman işletmeleri tarafından yoğun şekilde yapılan ağaç kesim çalışmaları ve zengin bir vejetasyon yapısına sahip olması nedeniyle ormanlık alan açıklarında yoğun olarak gerçekleştirilen otlatma faaliyetleri alanın biyo-çeşitliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Sivas-Erzincan karayolunun Refahiye güzergahında yoğun şekilde toprak erozyonuna maruz kalan alanlar bulunmaktadır. Bu alanların birçoğunda koruma çalışması yapılmaması veya yapılan çalışmaların iyi planlanmaması habitatların tahribatına ve biyolojik çeşitliliğin zarar görmesine yol açmaktadır. Yapılan bu çalışma ile alanda doğal olarak yetişen nadir türler ve endemik bitkilerin bir listesi ortaya konulmuştur. Ayrıca bu taksonların tehlike kategorileri de belirlenmiştir. Çalışmanın Erzincan ilinin ve Türkiye

florasının zenginliğine katkı sağlaması yanında kritik durumda bulunan veya tehlike altında olan endemik taksonların tanıtılmasına ve korunmasına yönelik gelecekte gerçekleştirilecek bilimsel çalışmalara öncülük etmesi beklenmektedir.

Teşekkür

Bu makale Dumanlı Dağları (Refahiye-Erzincan) Florası adlı Yüksek Lisans tezinden hazırlanmıştır. Çalışmayı (Proje No: FEN-A-080715-0169) destekleyen Erzincan Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca arazi ve herbaryum çalışmalarımızda bizlere destek olan tüm kişilere ve kurumlara teşekkür ederiz.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Davis, P. H. 1965-1985. Flora of Turkey and The East Aegean Islands. Vol. 1-9, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh.
- [2] Davis, P. H., Mill, R. R., Tan, K. 1988. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 10, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh, 590s.
- [3] Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T., Baser, K. H. C. 2000. Flora of Turkey and The East Aegean Islands. Vol. 11, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh, 680s.
- [4] Özhatay, N., Kültür, Ş. 2006. Check-List of Additional Taxa to the Supplement Flora of Turkey III. Turkish Journal of Botany, 30(4), 281-316.
- [5] Özhatay, N., Kültür, Ş. Aksoy, N. 1999. Check-List of Additional Taxa to the Supplement Flora of Turkey II. Turkish Journal of Botany, 23(3), 151-169.
- [6] Özhatay, N., Kültür, Ş., Aslan S. 2009. Check-List of Additional Taxa to the Supplement Flora of Turkey IV., Turkish Journal of Botany, 33(3), 191-226.
- [7] Özhatay, F. N., Kültür, Ş., Gürdal, M. B. 2011. Check-List of Additional Taxa to the Supplement Flora of Turkey V. Turkish Journal of Botany, 35(5), 589-624.
- [8] Kandemir, A., Türkmen, Z. 2008. The Flora of Üzümlü-Sakaltutan (Erzincan-Gümüşhane). Turkish Journal of Botany, 32(4), 265-304.
- [9] Kandemir, A. 2012. Erzincan'ın Endemik Bitkileri ve Tehditleri. Biyolojik Çeşitlilik Sempozyumu, 22-23 Mayıs, Ankara, 108-109.
- [10] Kandemir, A., Sevindi C., Korkmaz M., Çelikoğlu Ş. 2015. Erzincan (Türkiye)'a özgü endemik bitki taksonlarının IUCN tehdit kategorileri. Bağbahçe Bilim Dergisi, 2(1), 43-65.
- [11] Korkmaz, M., Turgut, N. 2014. Ergan Dağı (Erzincan, Türkiye) Florası. Biological Diversity and Conservation, 7(3), 195-216.
- [12] Korkmaz, M., Kandemir, A., İlhan, V., Doğan Yıldırım, N. 2015. Tanacetum erzincanense (Asteraceae), a new species from Erzincan, Turkey. Turkish Journal of Botany, 39(1), 96-104.
- [13] Korkmaz, M., İlhan, V. 2015. Distribution, Traditional Use and Conservation of Geophyte Plants Growing Around Keşiş Mountain, Eastern Anatolia, Turkey. International Journal of Scientific Research in Knowledge, 3(7), 187-197.
- [14] Korkmaz, M. 2015. Floristical diversity and endemic plants of Çayırılı district (Erzincan/Turkey). Biological Diversity and Conservation, 8(3), 223-247.
- [15] Korkmaz, M., Özçelik, H., Kandemir, A., İlhan, V. 2013. Erzincan ve Çevresinde Yayılış Gösteren Doğal Gül (*Rosa L.*) Taksonları. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17(1), 49-59.
- [16] Yıldırım, Ş. 1995. Flora of Munzur Dağları (Erzincan-Tunceli). OT Sistematik Botanik Dergisi, 2(1), 1-78.
- [17] Kaya, Y. 1996. Tercan Çevresi ile Şengül (Erzincan) ve Bağırbaşa (Tunceli) Dağların Florası. Turkish Journal of Botany, 20(1), 75 - 98.
- [18] Özbek, M. U., Yüzbaşıoğlu, S., Altınözlü, H., Kandemir, A. 2018. Kemaliye İlçesinin (Erzincan) Florası. Hacettepe Journal of Biology and Chemistry, 46(4), 533-557.
- [19] Çakır-Dindar E. G., Duman, H. 2020. Kemah-İliç (Erzincan) Cips Florası. Bağbahçe Bilim Dergisi, 7(1), 16-46.
- [20] Güner, A. 2012. Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını. İstanbul, 1290 s.
- [21] Ekim, T., Koyuncu, M., Vural, M., Duman, H., Aytaç, Z., Adıgüzel, N. 2000. Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı. Türkiye Tabiatını Koruma Derneği ve Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Yayını, Ankara, 246s.

Hakkâri İlinde Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Yetiştiriciliği Yapan İşletmelerin Yapısal Analizi

Fatih ÜNAL¹, Öznur ÖZİL²

^{1,2}Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü,
32300, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 20.03.2023, Kabul / Accepted: 24.07.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 27.04.2024)

Anahtar Kelimeler

Gökkuşığı alabalığı,
Su ürünleri yetiştiriciliği,
Hakkâri,
Yapısal analiz

Öz: Bu çalışma, Hakkâri İlinde faaliyet gösteren beş adet gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) işletmesi ile yapılan anket sonuçlarını kapsamaktadır. İşletmelerin üretim kapasiteleri 50-200 ton/yıl arasında değiştiği ve tüm işletmelerin şahıs işletmesi yapısında faaliyet gösterdiği belirlenmiştir. Bu işletmelerin mülkiyetlerinin tamamı üreticilere aittir. Hakkâri'de ilk alabalık yetiştiriciliği işletmesi 2007 yılında kurulmuş ve diğer işletmelerin çoğunluğunun da 2016 yılından sonra kurulduğu belirlenmiştir. İşletmelerin ilçe merkezine ortalama uzaklıkları 20 km ve il merkezine olan uzaklıkları da 80 km olarak belirlenmiştir. İşletmelerin etrafında başka bir üretme çiftliğinin olmadığı ve genel olarak da yavru ihtiyaçlarını kendi ürettikleri yavrulardan karşılamaktadır. Hakkâri ilindeki tüm işletmeler içerisinde sadece bir tanesinin kuruluş aşamasında yatırım kredisi ve üretim aşamasında da işletme kredisi kullandığı tespit edilmiştir. Kredi faizlerinin yüksek ve miktarlarının düşük olması gibi nedenlerden dolayı kredi çekmenin zor olduğu da bildirilmiştir.

Structural Analysis of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Farms in Hakkâri Province

Keywords

Rainbow trout,
Aquaculture,
Hakkâri,
Structural analysis

Abstract: This study covers a survey conducted with five rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farms in the Hakkâri province. The farms' production capacity was found to vary between 50-200 tons/year, and all the farms were operating in the structure of sole proprietorship. It was determined that all of the farms' properties belonged to the producers, and the first farm was established in 2007, while most of the farms were established after 2016. When the distance of the farms to the settlement areas was examined, it was found that their average distance to the district center was 20 km and to the provincial center was 80 km. There were no other farms around the farms, and it was generally observed that the farms produced rainbow trout by breeding their offspring. In addition, it was determined that the examined trout farms were members of a union or cooperative. It was determined that only one of the farms used investment loans in the establishment stage of the business and operating loans in the production stage. It was reported that taking loans was difficult due to high-interest rates and low loan amounts.

1. Giriş

Su ürünleri yetiştiriciliği, dünya besin ihtiyacının büyük bir kısmının karşılandığı önemli bir faaliyettir [1]. Dünyada artan nüfusa paralel olarak üretim de artmakta ancak kullanılan kaynaklarda giderek

azalmaktadır. Son yıllarda bu azalma periyodu içerisinde giren doğal su ürünleri kaynaklarımız için çözüm bulunması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda sağlıklı ve dengeli beslenmedeki önemiyle su ürünlerinin yetiştiriciliğinin yapılması ve

kaynakların bu şekliyle desteklenmesi giderek önemini artırmaktadır.

Kültür balıkçılığında elde edilen üretim miktarının 1990'lı yıllarda 20 milyon ton iken, 2020 yılında 70 milyon tona, 2030 yılında 83 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir [2]. Ülkemizde, su ürünleri yetiştiriciliği, özellikle son 15 yılda oldukça hızlı bir gelişim göstermiştir. Resmi veriler doğrultusunda, yetiştiricilik yoluyla 2021 yılındaki üretimimizin 335 bin 644 tonu denizlerden, 136 bin 42 tonu da iç sulardan gerçekleşmiştir. Yetiştirilen en önemli balık türü iç sularda 135 bin 732 ton ile alabalık, denizlerde ise 155 bin 151 ton ile levrek ve 133 bin 476 ton ile çipura olmuştur [3]. İşletme sayısı ve üretimdeki payı açısından gökkuşuğu alabalığı ülkemizdeki su ürünleri yetiştiriciliğinin temelini oluşturmaktadır. Mevcut olan işletmelerin %68'i havuzlarda porsiyonluk gökkuşuğu alabalığı üretimi yapmaktadırlar. Aynı zamanda yetiştiricilik yoluyla elde edilen su ürünleri üretiminin %58'i porsiyonluk gökkuşuğu alabalığı üretiminden gelmektedir. Hakkâri ilinde su ürünleri yetiştiriciliği ise Zap Nehri üzerinde kurulu olan alabalık tesisleri ile faaliyetlerini sürdürmektedir. İlde balıkçılık, kurulu tesisler yoluyla yapılmaktadır ve avcılık yoluyla ise balıkçılık üretimi yoktur. Balık üretim tesisleri sadece alabalık üretimine odaklanmıştır [4]. Hakkâri ili coğrafi konumu gereği Türkiye'de denizlere en uzak olan illerden biridir. Bu nedenle balık arzının oldukça sınırlı olduğu ve balık tedarikinin daha çok Van'dan ve bölgede bulunan alabalık çiftliklerinden sağlandığı bilinmektedir. Hakkâri ilinin en kalabalık ilçesi olan Yüksekova'da yapılan bir çalışmada hane başına düşen aylık ortalama balık tüketim miktarının 3,39 kg olduğu bildirilmiştir [5].

Alabalık yetiştiriciliğindeki fiziki ve biyoteknik parametreler çiftliğin ekonomik performansını direk etkilediğinden işletmelerin fiziki unsurları (havuz, su, ulaşım vb.), tasarımı ve yönetimi sürdürülebilir ve ekonomik üretim açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle ülkemizdeki alabalık işletmelerinin yapısal özelliklerinin belirlenmesi gerek sektörün gelişiminin belirlenmesi gerekse bu yöndeki yayılım faaliyetlerinin şekillenmesi ve akademik çalışmaların planlanması açısından önem taşımaktadır.

Ülkemizde de gökkuşuğu alabalığı yetiştiriciliği yapan işletmelerin yapısal özelliklerinin belirlenmesine yönelik bölgesel düzeyde yapılmış pek çok araştırma bulunmaktadır [6, 7, 8, 9]. Bu çalışma ise, Hakkâri ilindeki gökkuşuğu alabalığı (*O. mykiss*) yetiştiricilik tesislerinin yapısal özelliklerinin belirlenmesi, üretimdeki sorunların tespit edilmesi, önerilerin oluşturulması ve gökkuşuğu alabalığı (*O. mykiss*) yetiştiricilik tesislerinde çalışan personelin sosyo-ekonomik durumlarının ortaya konulması amacıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Hakkâri İli genelinde 2022 yılında faaliyet gösteren 5 adet gökkuşuğu alabalığı yetiştiricilik tesisinin değerlendirilebilmesi için, ucu kapalı ve ucu açık soruların yer aldığı [10, 11] tesis yöneticisi ve çalışanları ile birebir görüşülerek cevaplanması sağlanacak olan anket formları hazırlanmıştır. Anketin uygulanabilmesi için Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu'ndan gerekli izinler alınmıştır. Araştırmada işletmelere ait çeşitli bilgilerin elde edilmesinde ve 2022 yılında yaptıkları üretim miktarının belirlenmesinde T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Hakkâri İl Tarım ve Orman Müdürlüğü kayıtlarından da faydalanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. İşletmelerin yapısal özellikleri

İşletmenin mülkiyet durumu, kuruluş yeri, işletmenin yerleşim birimine olan mesafesi ve kuruluş tarihleri incelenmiştir.

2.2.2. İşletmede kullanılan suyun özellikleri

İşletmede kullanılan suyun kaynağı, suyun alınıp ve kullanılış şekli incelenmiştir.

2.2.3. İşletmede kullanılan havuzların yapısı ve özellikleri

Havuzların şekli, havuzlardaki temizlik ve hastalık gibi konular incelenmiştir.

2.2.4. İşletmede kullanılan yem ile ilgili özellikler

İşletmelerde kullanılan yemin cinsi ve yem dönüşüm oranları (FCR) incelenmiştir.

2.2.5. Üretim ile ilgili özellikler

Üretim kapasitesi ve modeli, yatırım destekleri gibi bilgiler sorulmuştur.

2.2.6. Pazarlama durumları

İşletmelerin yetiştirdikleri balığı pazara sundukları satış yerleri ile ilgili sorunlar incelenmiştir.

2.2.7. Tesis çalışanlarının sosyo-ekonomik analizleri

Tesis çalışanlarının yaş, cinsiyet, eğitim durumu, sosyal güvenceleri, yetiştiricilik dışındaki faaliyet alanları ve tesisteki personel sayıları incelenmiştir.

2.3. Verilerin analizi

İşletmelerde uygulanan anketlere verilen cevapların güvenilir bir şekilde alınabilmesi amacıyla tam sayım yöntemi kullanılmış ve veriler MS Excel programı ile yüzde değişim oranları hesaplanarak yorumlanmıştır.

3. Bulgular

Bu çalışmada, Hakkâri Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü'nün resmi kayıtlarında ifade edildiği üzere Merkez ilçede 2 adet ve Şemdinli ilçesinde 3 adet olmak üzere toplam 5 adet Alabalık İşletmesi olduğu, bunlardan 5'inin de faal durumda olduğu belirlenmiştir. Araştırma kapsamında incelenen işletmelerin yüzey alanlarının 2500-6500 m² arasında değiştiği ve üretim kapasitesinin 20-200 ton/yıl arasında olduğu görülmüştür. Bölgedeki ilk işletmenin 2007 yılında kurulduğu, işletmelerin %75'inin ise 2016 yılından sonra kurulduğu ve tümünün kuruldukları yıl itibari ile üretime başladığı belirlenmiştir. Bu işletmelerin, tümünün şahıs işletmesi yapısında faaliyet gösterdiği ve mülkiyetlerinin tamamının üreticiye ait olduğu belirlenmiştir.

İşletmelerin %75'inin açık arazilerde kurulduğu, %25'inin ise dağ eteklerinde kurulduğu, ilçe merkezine ortalama uzaklıklarının 20 km ve il merkezine ortalama uzaklıklarının 80 km olduğu belirlenmiştir. Söz konusu işletmelerin üretim modellerine bakıldığında, damızlıklardan yumurta elde etme ve porsiyonluk boyuta kadar büyütme şeklinde olduğu görülmüştür. Kuruluş aşamasında işletmelerin %20'sinin yatırım kredisi ve işletme kredisi kullandığı görülmüştür.

Bölgedeki işletmelerin %50'sinin kaynak suyu, %50'sinin hem kaynak suyu hem dere suyunda üretim yaptığı görülmüştür. İşletmelerin su kaynağına olan uzaklığı ortalama 1,2 km olup kullanılan suların kalite değerleri incelendiğinde; çözünmüş oksijen 6,4 mg/lit, pH 8,2, sıcaklık 11,6°C civarında olduğu ve %50'sinin periyodik olarak su analizi yaptırdığı belirlenmiştir. İşletmelerin %50'sinde su havuzlarda bir kez kullanılmakta %50'sinde ise bitişik düzendeki havuzlarda birden fazla kez kullanılmaktadır. Suyun işletmelere ve havuzlara ulaştırılması %25'inde PVC kapalı boru sistemi ile %75'inde ise beton, toprak, yan duvarları toprak kanaletler ile sağlanmaktadır.

Çalışmada işletmelerin havuzları ile ilgili özelliklere bakıldığında, dikdörtgen şekilli beton havuzlarda alabalık üretimi yapan işletmelerin %100'ü yavru bakım geliştirme ve yetiştirme/büyütme; kare şekilli beton havuzlarda alabalık üretimi yapan işletmelerin %33,3'ü yetiştirme/büyütme, %66,6'sı yavru bakım geliştirme ve yetiştirme/büyütme bölümünden oluşmakta olduğu görülmüştür.

İşletmelerdeki balıkların hastalık durumları incelendiğinde renk koyulaşması ve mantarlaşmanın olduğu, tedavi olarak ilaç ve tuz uygulamasına ek olarak vitamin desteği, malzeme dezenfeksiyonu ve günlük havuz bakımlarının yapıldığı görülmüştür.

Çalışmada incelenen işletmelerin tamamında yem deposunun bulunduğu ve yavrularda ve büyütmede 2-6 öğün ve anaç ve damızlıkta ise 1-3 öğün olarak beslemenin yapıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca işletmelerin FCR değerinin 1,2 olduğu tespit edilmiştir.

İşletmelerin balık satışlarına bakıldığında, %50'sinde toptan olarak, %50'sinde ise hem toptan hem de perakende olarak yapıldığı belirlenmiştir. İşletmelerin %25'inin otel, restoran vb. işletmelere alabalık satışı yaptığı %75'inin ise balıklarını kendi işletmelerinde sattıkları görülmüştür. Pazarlama aşamasında işletmelerin %25'inin fiyatların düşük olduğunu, %25'inin talebin sınırlı arzın fazla olduğunu ve %50'sinin ise herhangi bir sorun olmadığını belirtmişlerdir. İşletmelerin yetiştirilen alabalıkların pazara sunuş şeklinin taze olarak gerçekleştirildiği görülmüştür.

İşletmelerde çalışan personelin %75'inin iş yeri sahibi, %25'inin ise işçi olduğu belirlenmiştir. İşletmelerde çalışan personelin erkek olduğu ve yaş aralıklarının 31-40 arasında olduğu görülmüştür. Personellerin eğitim düzeylerine bakıldığında ise, %50'sinin ortaöğretim, %25'inin ilköğretim ve %25'inin ise sadece okuryazar olduğu ve %75'inin sosyal güvencesi olduğu, %25'inin ise sosyal güvencesinin olmadığı belirlenmiştir. İşletme sahiplerinin yetiştiricilik yapmalarının yanında, %75'inin hayvancılık, %25'inin esnaflık yaptığı belirlenmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Hakkâri ili, geniş dağlık alanları ve yoğun karasal iklimi ile debisi güçlü akarsulara sahiptir ve bu özelliği ile gökkuşluğu alabalığı yetiştiriciliğine elverişlidir. Buna karşın, kentte yalnızca 5 adet gökkuşluğu alabalığı yetiştiricisi bulunmaktadır. Öte yandan bunlardan biri de yanlış altyapı inşaatı nedeni ile devre dışı kalmıştır. Ayrıca bu bölgedeki gökkuşluğu alabalığı işletmelerinin yapısal özelliklerinin incelenmesi konusunda daha önce yapılan bir çalışma bulunmamaktadır.

Hakkâri ilindeki işletmelerin genellikle şahıs işletmesi olmalarında üretim kapasitelerinin az olmasının belirleyici bir unsur olduğu görülmüştür. Hakkâri ilindeki işletmelerin hukuki yapısı ele alındığında da %100'ünün şahıs işletmesi olduğu ve mülkiyetlerinin tamamının üreticiye ait olduğu belirlenmiştir. Birinci vd. [12], Elazığ'daki alabalık işletmelerinin kendi mülk arazileri üzerinde faaliyet gösterdiklerini belirtmiştir. İmert Aydoğdu [13], Elazığ bölgesindeki alabalık çiftliklerinin %64,42'sinin şahıs veya aile işletmesi

oluşturduğunu belirtmiştir. Tunceli’de yapılan bir çalışmada işletmelerin %78,26’sı şahıs işletmesi, %21,74’ü ise şirket işletmesi olduğu belirlenmiştir [14]. Buruç ve Kızak [15], Bitlis ilindeki işletmelerin büyük çoğunluğunun şahıs işletmesi, diğerlerinin ise kamu işletmesi bünyesinde faaliyet gösterdiklerini bildirmiştir.

Bölgedeki işletmelerin, %75’inin açık arazilerde kurulduğu, %25’inin ise dağ eteklerinde kurulduğu belirlenmiştir. Buruç ve Kızak [15] Bitlis ilinde yaptıkları çalışmada, işletmelerin farklı bölgelerde (vadi arası, dağ eteği ve açık arazi) kurulduğu görülmüştür. Erzurum’da bulunan alabalık işletmelerinin ise tümüne yakınının (%85,7’si) vadiler arasında ve dağ eteklerinde yer aldığını, iki işletmenin (%14,3’ü) açık arazide kurulduğunu belirtmiştir [16]. Erzurum ilinde yapılan bir diğer çalışmada alabalık işletmelerinin 17’sinin (%81,0) vadi arasında, üçünün (%14,2) dağ eteğinde, bir işletmenin ise (%4,8) açık arazide yer aldığı belirtilmiştir [17]. Demir [18]’in Malatya ilinde yapmış olduğu çalışmada işletmelerin %40’i vadi arası, %10’u dağ eteği ve %50’si açık arazide alabalık yetiştiriciliği yaptığı belirlenmiştir. Araştırma sonuçları değerlendirildiğinde tesislerin kurulduğu arazilerin genel olarak su kaynaklarının potansiyeli, iklim ve arazi yapısı gibi etmenlere göre farklılaştığı, tarımın diğer kolları için uygun olmayan ancak su kaynaklarının verimli olduğu dağ eteği ve açık araziler arasından seçildiği görülmüştür.

Hakkâri ilinin gökkuşluğu alabalığı yetiştiriciliği noktasında elverişli ve verimli bir alana sahip bir bölge olması sebebiyle işletmelerin yerleşim merkezine uzaklıkları 20 km, il merkezine uzaklıkları 80 km’dir. Benzer diğer çalışmalarda, İmert Aydoğdu [13], Elazığ bölgesindeki alabalık işletmelerinin %85,53’nün yerleşim merkezine uzaklığının 20 km’den daha az olduğunu, %14,47’sinin uzaklığının 20-50 km arasında olduğunu bildirmiştir. Elazığ bölgesinde yapılan bir başka çalışmada; en yakın ilçe merkezine işletmelerin %37,8’inin 1-10 km, %34,2’sinin 11-30 km, %8,1’inin 31-50 km ve %2,7’sinin ise 100 km mesafede olduğu belirtilmiştir [12]. Malatya’daki yavru gökkuşluğu alabalığı üreten işletmelerin %70’inin yerleşim merkezine uzaklığının 20 km’den az, %30’unun ise 20-50 km mesafede olduğu belirlenmiştir [19].

Çalışmada incelenen ilk tesisin 2007 yılında kurulduğu ve diğer işletmelerin %75’inin 2016 yılından sonra kurulduğu görülmüştür. Güçer [14] yaptığı çalışmada Tunceli ilindeki işletmelerin kuruluş yıllarını incelemiş ve ilkinin 1976 yılında üretim ve yetiştiricilik tesisi olarak açıldığını ve bu tesisin 22 sene sonra 1998 yılında özel sektöre ihale yoluyla devredildiğini belirtmiştir. İşletmelerin %95’inin ise 2004 yılından sonra kurulduğunu tespit etmiştir. Yaptığımız çalışma ve diğer yapılan çalışmaya bakıldığında, alabalık işletmelerinin özellikle 2000’li yıllardan sonra kurulmaya başladığı ve son 10 yılda

artış gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni ise kurulmuş olan tesislerin ekonomik gelirlerinin yüksek olmasına ek olarak Tarım ve Orman Bakanlığı’nın destek politikaları uygulamasının etkisinin olduğu söylenebilir.

İşletmelerin %50’sinin kaynak suyunda, %50’sinin de hem kaynak suyu hem dere suyunda üretim yaptıkları görülmüştür. Buruç ve Kızak [15], Bitlis ili için yaptıkları çalışmada işletmelerden %80’inin kaynak suyu %20’sinin ise göl üzerinde kurulduğu tespit edilmiştir. Güçer [14] Tunceli ilindeki işletmelerin %69,57’sinin baraj gölleri üzerinde kurulduğunu, %21,74’ünün kaynak suyu kullandığını ve %8,69’unun ise dere ve ırmak suyu kullandığını tespit etmiştir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde kaynak ve dere suları kullanılmakta olup farklı olarak tesislerin göller üzerinde kurulduğu da görülmüştür. Hakkâri ilindeki kaynak suları ve dere sularının alabalık yetiştiriciliğine daha uygun olması ve diğer çalışmalarda illerde ise dere ve kaynak sularına ek olarak göllerin de alabalık yetiştiriciliğine elverişli olmasından dolayı kullanıldığı belirlenmiştir.

Hakkâri ‘deki işletmelerde suyun havuza ulaştırılması %25’inde PVC kapalı boru sistemi ile %75’inde ise beton, toprak, yan duvarları toprak kanaletler ile sağlanmakta olduğu tesislerin su kaynağına ortalama uzaklığının 1,2 km olduğu görülmüştür. Yavuz vd. [16] Erzurum ilinde yaptıkları çalışmada işletmelerin tümünde havuzlara suyun PVC borularla getirildiği ve %66,7’sinde su getirme uzaklığı 101 ile 200 m arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Kocaman vd. [17] Erzurum’da faaliyet gösteren işletmelerin suyu havuzlara genellikle PVC borularla getirilmektedir. Demir [18], Malatya bölgesindeki işletmelerin %30’unda PVC boruları kullanarak, %70’inde ise beton kanal veya kanaletler yoluyla suyun havuzlara ulaştırıldığı bildirilmiştir. Suyun havuzlara ulaştırılmasında bölgelerin iklim, toprak, arazi yapısı ve işletmelerin ekonomik durumu gibi etmenlerin belirleyici olduğu görülmüştür.

Çalışmada dikdörtgen şekilli beton havuzlarda alabalık üretimi yapan işletmelerin %100’ü yavru bakım geliştirme ve yetiştirme/büyütme; kare şekilli beton havuzlarda alabalık üretimi yapan işletmelerin %33,3’ü yetiştirme/büyütme, %66,6’sı yavru bakım geliştirme ve yetiştirme/büyütme bölümünden oluşmakta olduğu görülmüştür. Birici vd. [12] Elazığ ili alabalık işletmelerinde yer alan havuzların %68,57’sinin kuluçkahane, %31,42’sinin büyütme ve 4 tanesinin ise anaç havuzdan oluştuğunu belirtmişlerdir. İmert Aydoğdu [13] yaptığı çalışmada ise Elazığ’ da faaliyet gösteren alabalık tesislerinden %3,14’ ünün kombine (yavru + besi), %96,86’sinin sadece büyütme işletmesi olduğunu tespit etmiştir. İşletmelerde havuz yapısının üretim şekline göre değiştiği görülmüş olup işletmelerin havuz özellikleri ve işletme tiplerinin benzer ve hem

yetiştirme/büyütme hem de kombine (yavru + besi) şeklinde üretim yaptıkları görülmüştür.

Çalışmada incelenen işletmelerde hastalık durumlarına bakıldığında larvalarda renk koyulaşması ve mantarlaşmanın görülmesine karşın tedavi olarak ilaç ve tuz uygulamasına ek olarak vitamin desteği, malzeme dezenfeksiyonu ve günlük havuz bakımlarının yapıldığı tespit edilmiştir. İmert Aydoğdu [13] yaptığı çalışmada Elazığ ilindeki gökkuşluğu alabalığı yetiştiriciliği yapan farklı kapasitelerdeki işletmelerde bazı zamanlarda balık hastalıklarının meydana geldiğini belirtmiştir. Balık hastalıklarının genel olarak mevsimsel su özelliklerinde meydana gelen değişikliklerden kaynaklandığını ama işletmelerde balık hastalıklarına karşı derhal koruyucu önlemler alındığını, ellerinde olan ilaçları kullandıklarını eğer ilaç yoksa bilirkişilere başvurarak bilgi aldıklarını ifade etmiştir. Yaptığımız çalışma ve benzer diğer çalışma sonucunda balık hastalık durumlarında işletmelerin benzer olarak derhal önleyici ve koruyucu önlemleri aldıkları ve ilaçlama tekniğini kullandıkları görülmüştür.

Çalışmada incelenen işletmelerin tamamında alabalık üretiminde hazır yemler kullandıkları ama yemlerin maliyetinin çok olmasından ötürü zorluk yaşadıkları belirlenmiştir. Bu işletmelerin tamamında yem deposunun bulunduğu ve yavrularda ve büyütmede 2-6 öğün ve anaç ve damızlıkta ise 1-3 öğün olarak beslemenin yapıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca işletmelerin tamamında yemlere katkı maddesi katılmadığı belirlenmiştir. Demir [18], Malatya ilinde yaptığı çalışmada işletmelerin alabalık beslenmesinde pelet ve eksture yani hazır yem kullandıkları, yavru geliştirme ve büyüme döneminde günde 5-6 kez yaş yem ve büyütme döneminde ise 2-3 kez besleme yaptıkları belirtilmiştir. Ayrıca, işletmecilerin yemlerin pahalılığından şikâyetçi olduklarını da tespit etmiştir. Buruç ve Kızak [15] Bitlis ilinde yaptıkları çalışmada işletmelerde hazır yem kullanıldığını, yavrularda günde ortalama 4-5 kez, büyütmede ise 2 kez yemleme yapıldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, işletmecilerin yem fiyatlarının yüksek olmasından dolayı zorluk yaşadıkları da dile getirilmiştir.

Hakkâri ilindeki gökkuşluğu alabalığı işletmelerinde FCR 1,2 olarak tespit edilmiştir. Kocaman [20] bu oranı 1,1 olarak belirlemişken, Yeşilayer ve Gören [8] karasal işletmelerde FCR'ın ortalama 1,1 olduğu, Uysal [21] 0.9-2 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Doğu Anadolu Bölgesindeki alabalık işletmelerinde yapılan çalışmalarda FCR ile ilgili herhangi bir veri bulunmamakla birlikte, diğer bölgelerde yapılan çalışmalarda görülen farklılığın sebebi olarak işletmelerde kullanılan yemin tipi, su kalite parametreleri, yemleme oranı ve öğün sayısı gibi etmenlerin değişikliğe neden olabileceği belirlenmiştir.

Hakkâri ilindeki işletmelerin üretim kapasiteleri 20-200 ton/yıl arasında değiştiği tespit edilmiştir. Birici vd. [12] yaptığı çalışmada, Elâzığ'da su ürünleri yetiştiricilik tesislerinin kapasitesinin 25-50 ton/yıl' a ulaştığını bildirmiştir. Tunceli ilinde yapılan bir araştırmada ise işletmelerin üretim kapasitelerinin 13-399 ton/yıl arasında değiştiği belirlenmiştir. İmert Aydoğdu [13], Elâzığ ilinde işletme kapasitesini 94,69 ton/yıl olarak tespit etmiştir. Buruç ve Kızak [15], Bitlis ilindeki işletmelerin 25-100 ton/yıl arasında değişen kapasitelere sahip oldukları belirtilmiştir. Doğu Anadolu Bölgesindeki alabalık işletmelerinin üretim kapasitelerinin benzer olduğu taranan çalışmalarda görülmüştür.

Hakkâri ilinde üretim yapan işletmelerin %100'ü damızlıklardan yumurta elde etmekte ve porsiyonluk boyuta kadar büyüterek üretim gerçekleştirmektedirler. İmert Aydoğdu [13], Elâzığ bölgesindeki işletmelerin ürün deseni ile ilgili yaptığı çalışmada %94,48'inde porsiyonluk balık üretildiği, %3,07'sinde porsiyonluk balık ve yavru, %2,45'inde sadece yavru balık üretildiği belirlenmiştir. Yavuz vd. [16] Erzurum bölgesindeki incelenen işletmelerin hiçbirinde damızlık balık bulunmadığı ve yavru balık teminini işletme dışından yaptığı, bir işletmenin ise yurtdışından yumurta ithal ettiği belirtilmiştir. Erzurum ilinde yapılan bir diğer çalışmada Kocaman vd. [17] işletmelerden dokuz adedinin yumurta ve yavru ürettiği, diğerlerinin ise bu ihtiyaçlarını komşu işletmeler ile Atatürk Üniversitesi Alabalık Üretim ve Araştırma Merkezi'nden karşıladığını belirtmişlerdir. Araştırma sonucunda, incelenen işletmelerin üretim modellerinin farklılık gösterdiği, su kaynaklarının, işletmelerin kuruluş amacı, piyasa koşulları vb. durumların bu farklılığa neden oldukları söylenebilir.

Çalışmada incelenen işletmeler içinde %20'sinin yatırım kredisi ve işletme kredisi kullandığı görülmüştür. Kredi faizlerinin yüksek ve miktarlarının ise düşük olmasından dolayı işletmecilerin kredi çekmenin zor olduğunu düşündükleri belirlenmiştir. Birici vd. [12] yaptıkları çalışmada Elazığ ilindeki işletmelerin %54,1'inin kredi kullandığını ve bunların hiçbirinde işletme kredisi kullanılmadığını; kullanılan kredinin ise sadece kuruluş aşamasında yatırım kredisi olarak alındığını belirlemiştir. Güçer [14] yaptığı çalışmada Tunceli ilindeki işletmelerin %52,17'sinin hiç kredi kullanmadıklarını, %47,83'ünün ise sadece işletme kredisinden yararlandıkları tespit etmiştir. Yaptığımız çalışma ve diğer çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde işletmecilerin yatırım ve işletme aşamalarında çok fazla kredi kullanmayı tercih etmediklerini, işletme sahiplerinin ekonomik gelirlerinin ortalamaya oranla daha iyi olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca işletmecilerin yüksek kredi faiz oranları ve kredi miktarlarının az olmasından dolayı kredi kullanmayı istemedikleri de düşünülebilir.

Çalışmada incelenen işletmelerin balık satışlarına bakıldığında, balık satışlarının işletmelerin %50' sinde toptan olarak, %50'sinde ise hem toptan hem de perakende olarak yapılmaktadır. İşletmelerin %25'i otel, restoran vb. işletmelere alabalık satışı yapmakta iken %75'i ise balıklarını kendi işletmelerinde sattıkları görülmüştür. İşletmelerin pazarlama aşamasında karşılaştıkları sorunlara bakıldığında, işletmelerin %25'i fiyatların düşük olduğu, %25'i talebin sınırlı arzın fazla olduğu ve %50'sinin ise herhangi bir sorun olmadığı tespit edilmiştir. Yetiştirilen alabalıkların pazara sunuş şekline bakıldığında, işletmelerin %100'ünün taze olarak gerçekleştirdiği görülmüştür. İmert Aydoğdu [13] yaptığı çalışmada Elazığ il genelinde işletmelerin büyük bir çoğunluğunun ürettikleri alabalıkları işleme tesisine verdiklerini tespit etmiştir. Ayrıca, üreticilerin çoğunluğunun balığı iç piyasaya daha düşük fiyata sattıkları ve bu durumdan şikâyetçi oldukları belirlenmiştir. Güçer [14] yaptığı çalışmasında Tunceli ilinde incelediği işletmelerde motel veya pansiyonu olan işletme bulunmadığını, sadece beş işletmenin restoranı olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, sadece iki işletmenin satış yeri olarak kullanılan bir yerinin mevcut olduğunu tespit etmiştir. İşletmelerin genel olarak satışlarını işletme içinde perakende ve işletmenin dışında toptan pazarladıklarını belirlemiştir. İlâveten, işletmecilerin neredeyse tamamına yakınının pazar sorunu yaşamadığını ancak üretim maliyetlerinin üzerinde ve istedikleri fiyata ürünlerini satamadıklarını, fiyatın yetersiz olduğunu düşündüklerini belirlemiştir. Kocaman vd. [17] Erzurum ili için gerçekleştirdikleri çalışmada işletmelerde balıkların genel olarak perakende ve toptan satış şeklinde pazarladıklarını tespit etmişlerdir. Ancak işletmelerden beş tanesinin ise balıkların bir kısmını kendilerine ait olan lokantalarda satışa sundukları görülmüştür. Yapılan çalışmalar ve kendi çalışmamızda görüldüğü üzere alabalık üretimi yapan işletmelerin genel olarak balıkları perakende ve toptan olarak pazarladıkları, az bir kısmının kendilerine ait işletmelerde balıkları taze olarak satışa sundukları görülmüştür. Ayrıca, işletmecilerin bazılarının pazarlama sorunu yaşamadıkları ancak büyük kısmının pazarlama sorunu yaşadıkları belirlenmiştir.

Su ürünleri yetiştiriciliği yoğun iş gücü gerektiren bir meslek dalı olduğundan, çalışan personel olarak genellikle erkekler tercih edilmektedir. Aynı zamanda işletmelerde çalışan personelin yaş aralığının geniş olması, bu meslek dalının genellikle her yaş grubu tarafından tercih edilebileceğini göstermektedir. Yaptığımız çalışmada da çalışan personelin %100'ünün erkek olduğu ve yaş aralıklarının 31-40 olduğu görülmüştür. Benzer çalışmalarda, İmert Aydoğdu ve Özdemir [22], Elazığ bölgesindeki işletmelerde çalışan personelin %94,66'sını erkeklerin, %5,34'ünü ise kadınların oluşturduğu, yaş dağılımlarının ise 19-50 arasında değiştiği belirlenmiştir. Birici vd. [12] Elazığ'da gökkuşluğu

alabalığı işletmelerinde çalışan personelin büyük çoğunluğunun (%63) erkek ve yaş aralığının ise 18-45 aralığında olduğunu bildirmiştir. Buruç ve Kızak [15], Bitlis ilinde gökkuşluğu alabalığı yetiştiriciliği yapan tesis personelinin 19'unun erkek (%86), 3'ünün de kadın (%14) olduğu belirtilmiştir. Malatya'da gökkuşluğu alabalığı yapan işletmelerde istihdam edilen personelden 63 kişinin erkek (%85), 11 kişinin ise kadın (%15) olduğu görülmüş olup yaş aralıkları 40-66 olarak belirlenmiştir [18].

Hakkâri'deki mevcut işletmelerde çalışan personelin eğitim düzeylerine bakıldığında, %50'sinin ortaöğretim, %25'inin ilköğretim ve %25'inin ise sadece okuryazar olduğu belirlenmiştir. İmert Aydoğdu ve Özdemir [22], Elazığ bölgesindeki işletmelerde çalışan personelin %46,36'sının ortaöğretim mezunu, %0,96'sinin okuma-yazma bilmeyen, %0,55'inin okuryazar olan, %21,07'sinin ise üniversite mezunu oldukları tespit edilmiştir. Bitlis ilindeki yapılan çalışmada personelin %50'si ilkökul mezunu, %27'si ortaokul mezunu ve %23'ü lise mezunu olduğu bildirilmiştir [15]. Demir [18], Malatya'da yetiştiricilik yapılan işletmelerde, 11 adet Üniversite veya Yüksek Okul mezunu (%15), 27 adet lise mezunu (%36), 36 adet ortaokul mezunu (%49) çalıştırdıkları tespit edilmiştir. Mevcut işletmelerde çalışan su ürünleri mühendisinin yanı sıra tecrübeli personel sayısının yeterli olmadığı görülmektedir. Sürdürülebilir bir su ürünleri üretimi için tesislerde daha fazla sayıda uzman personel çalıştırılması gerekmektedir.

Çalışmada incelenen işletmelerdeki çalışan personelin %75 oranla sosyal güvencesi olduğu, %25'inin ise sosyal güvencesinin olmadığı belirlenmiştir. İmert Aydoğdu [13] Elazığ ili için yaptığı çalışmada alabalık işletmelerinde çalışanlardan sosyal güvencesi olan çalışan oranının %96,17, sosyal güvencesi olmayan çalışan oranının ise %3,83 olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, alabalık işletmelerinde çalışanların çok büyük bir kısmının bir sosyal güvenceye sahip olduğu ama sosyal güvencesi olmayan çalışan oranının da yadsınamayacak kadar az olmadığı dikkati çekmektedir.

Araştırma bölgesindeki işletme sahiplerinin yetiştiricilik yapmalarının yanında farklı mesleklerle de uğraştığı, %75'inin hayvancılık, %25'inin ise esnaflık yaptığı belirlenmiştir. İmert Aydoğdu ve Özdemir [22] yaptıkları çalışmada Elazığ bölgesindeki işletme sahiplerinin balıkçılık yanında %44,79'unun ticaret, %23,31'inin kamu kuruluşunda işçi ya da memur olarak çalıştığını bildirmişlerdir. Demir [18], Malatya ilindeki işletme sahiplerinin %50'sinin kendilerine ait lokantasının bulunduğu ve mesleğinin esnaf olduğunu, alabalık üretimini kendi lokantalarında satmak için yetiştirdiklerini bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda işletme sahiplerinin genelde hizmet sektörü, tarım ve ticaret

gibi gelirlerinin yanı sıra balıkçılıktan da ek gelir elde ettikleri görülmüştür.

Hakkâri’de gökkuşluğu alabalığı işletmelerinde çalışan personelin %75’inin iş yeri sahibi, %25’inin ise işçi olduğu belirlenmiştir. İmert Aydoğdu ve Özdemir [22], Elazığ bölgesindeki işletmelerin çoğunda (%58,90) 1-3 kişi çalıştığı ve eğer tek personel çalıştırıyorsa onun da işletme sahibi ya da ailesinden biri olduğu belirtilmiştir. Elazığ bölgesinde yapılan bir başka çalışmada işletmelerin %52,3’ünde aile bireylerinin aktif olarak çalıştığı belirtilmiştir [12]. Bizim bulgularımız ile diğer çalışmaların bulguları karşılaştırıldığında, daha düşük kapasiteli işletmelerde personel sayısının az olduğu, üretim ölçeği arttıkça çalışan personel sayısının da arttığı belirlenmiştir.

Hakkâri ili coğrafi konumu nedeniyle Irak ve İran sınırına komşu bir kenttir. Bunun avantajını kullanmak için üretilen ürünlerin dış ticaretinin sağlanması için teşvik ve özendirme yapılması son derece önemlidir. Hazırlanan çalışma ile Hakkâri ilinde faaliyet gösteren gökkuşluğu alabalığı üretim çiftliklerinin yapısal olarak analizinin yapılması ve bu üretim çiftliklerinin karşılaştığı çevresel ve diğer sorunların ele alınarak çözümüne yönelik önerilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda sektörün karşılaştığı zorlukların tespit edilmesi noktasında, dünyadaki balık stoklarının korunması ve insanların su ürünleri taleplerinin karşılanması noktasında da çeşitli önlemlerin geliştirilmesi için, öncü olarak su ürünleri yetiştiricisi işletmelerin yapısal analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Buna göre hazırlanan çalışma, bu gerekliliği yerine getirme noktasında önem arz etmektedir.

Çalışmada incelenen Hakkâri ilindeki gökkuşluğu alabalığı işletmeleri ile ilgili olarak getirilebilecek öneriler:

1.Kullanılan yemin fiyatının yüksek olması işletmecileri zor duruma sokmaktadır. Buna bir çözüm olarak devlet destekli yem alımını sağlayacak adımların atılması önemlidir. Bu bağlamda, ülkede yem fabrikalarının kurulumunun desteklenmesi ve gerekli mevzuat düzenlemeleri yapılması önemli bir girişim olacaktır.

2.Ekonomik yem modellerinin geliştirilmesi için AR-GE çalışmaları yapılmalıdır. İlaveten büyüme performansını ve bağışıklık sistemini aktive eden yem katkı maddelerinin kullanımı hakkında, üniversitelerin işletmecileri bilgilendirmeleri önemlidir.

3.Üreticilerin ürettikleri alabalıkları üretim maliyetinin üzerinde ve istedikleri fiyata satamadıkları görülmüştür. Bunun önüne geçmek için ise üretilen ürünlerin piyasaya farklı şekillerde arzını gerçekleştirmek için yeni pazarlama modelleri

geliştirilmeli ve ilgili işletmelerin kurulumunun özendirilmesi sağlanmalıdır. Ayrıca balık tüketiminin teşvik edilmesi için çeşitli etkinlik ve tanıtımlar yapılmalıdır.

4.İşletmelerin zaman zaman krediye ihtiyaç duydukları ama yüksek kredi faiz oranları sebebiyle kredi çekmekte güçlük yaşadıkları görülmüştür. Bunun önüne geçmek için işletmelerin sosyo-ekonomik durumlarının tespit edilerek uygun faizli kredi verilmesi sağlanmalıdır.

5.Sektörün ihtiyacını karşılayacak olan etkin ve verimli bir örgütlenmenin olmadığı belirlenmiştir. Su ürünleri yetiştiriciliği son yıllarda hızla büyümektedir. Bu dinamiğin devamlılığının sağlanması adına yapısal sorunların ivedilikle çözülmesi önemlidir. Yetiştiriciler üretici birlikleri olarak bir araya gelmiş olsalar bile taşra teşkilatlarının olmaması ve yerel sorunların merkeze taşınmaması gibi sebeplerle sorunlar çözüme kavuşturulamamaktadır. Su ürünleri işletmecilerinin bir araya gelerek ayrı birer organizasyon oluşturmaları ve sorunlarını bu organizasyon aracılığıyla çözüme kavuşturmaları yarar sağlayacaktır.

6.İşletmecilerin teknolojiyi yakından takip ederek işletmelerine uygun olan profesyonel bir işletim modelini geliştirmeleri fayda sağlayacaktır.

7.İşletmelerde çalışan personellerin düzenli olarak balık hastalıkları, havuz bakımı, tedavi, yemleme gibi konularda eğitim almaları bilinçsiz yapılacak işler yüzünden işletmenin uğrayacağı zararı önleyecektir.

Teşekkür

Bu çalışma Fatih ÜNAL’ın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Demir, O. 2011. Türkiye Su Ürünleri Yetiştiriciliği ve Yem Sektörüne Genel Bakış - II. Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 7(1), 39-49.
- [2] Atar, P. D., Ataman, T. G. 2016. İklim Değişikliğinin Su Ürünleri Yetiştiriciliği Üzerindeki Etkileri. Ziraat Mühendisleri Dergisi, 363, 17-22.

- [3] TÜİK 2022. Türkiye Su Ürünleri İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/Getkategori?P=Tarim-111&Dil=1> (Erişim Tarihi: 12.04.2022).
- [4] Hakkâri İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü 2015. Tarım ve Hayvancılık. <https://hakkari.ktb.gov.tr/TR-160259/tarim-ve-hayvancilik.html> (Erişim Tarihi: 12.06.2022).
- [5] Terin, M., İnaç, S. 2023. Hakkâri İli Yüksekova İlçesinde Balık Tüketim Yapısı ve Tercihleri Üzerine Bir Araştırma. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 10(2), 398-409.
- [6] Rad, F., Köksal, G. 2001. Türkiye'deki Gökkuşluğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) İşletmelerinin Yapısal ve Biyo-Teknik Analizi. Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences, 25, 567-575.
- [7] Orhan, H., Yüksel, O. 2012. Burdur İli Gökkuşluğu Alabalığı İşletmelerinin Yetiştiricilik ve Yapısal Durumlarının Survey Çalışması ile Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16(3), 327-332.
- [8] Yeşilayer, N., Gören, H. 2013. Tokat'ta Alabalık Yetiştiriciliği Yapan Karasal İşletmelerin Yapısal ve Biyo-Teknik. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 30(1), 41-51.
- [9] Erman, E., Küçük, F. 2016. Korkuteli (Antalya)'deki Alabalık İşletmelerinin Yapısal Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 12(1), 58-74.
- [10] Ertümen, T. 2015. Bayburt ilinde gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) işletmelerinin yapısal ve ekonomik analizi. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 120s, Ordu.
- [11] Ataman, L. 2019. İstanbul ili su ürünleri işleme tesisleri çalışanlarının sosyo-ekonomik özelliklerinin incelenmesi ve işleme tesislerinin genel yapısı. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81s, Rize.
- [12] Birici, N., Şeker, T., Balcı, M., Çelik, B., Kılıç, A. 2014. Elazığ İlinde Gökkuşluğu Alabalığı Yetiştiriciliği Yapan İşletmelerin Yapısal ve Ekonomik Analizi. Aquaculture Studies, 14(2), 23-48.
- [13] İmert Aydoğdu, S. 2015. Elazığ yöresi'nde gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) yetiştiriciliği yapan farklı kapasitedeki işletmelerin yapısal, teknolojik, verimlilik ve çalışanlarının sosyo-ekonomik analizleri. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 152s, Elazığ.
- [14] Güçer, Ş. 2014. Tunceli (Türkiye) ilindeki su ürünleri yetiştiricilik tesislerinin sosyo-ekonomik analizi. Tunceli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 48s, Tunceli.
- [15] Buruç, O., Kızak, V. 2018. Bitlis İlinde Su Ürünleri Yetiştiriciliği Yapan İşletmecilerin Sosyo-Ekonomik Analizi. Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 4(2), 1-6.
- [16] Yavuz, O., Kocaman, M., Ayık, Ö. 1995. Erzurum'da Alabalık Yetiştiriciliği Yapan İşletmelerin Yapısal ve Ekonomik Analizi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 26(1), 64-75.
- [17] Kocaman, E., Aydın, A., Ayık, Ö. 2002. Erzurum'da Faaliyet Gösteren Alabalık İşletmelerinin Yapısal ve Ekonomik Analizi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 19(3-4), 319-327.
- [18] Demir, T. 2017. Malatya ilinde havuzlarda alabalık yetiştiriciliği yapan işletmecilerin sosyo-ekonomik analizi. Munzur Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Tunceli.
- [19] Karabulut, M., Köprücü, K. 2019. Malatya'daki Gökkuşluğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Kuluçkahanelerinin Yapısal, Biyolojik ve Teknik Yönden İncelenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 8(1), 1-10.
- [20] Kocaman, E. 2011. Gümüşhane ilinde gökkuşluğu alabalık işletmelerinin ekonomik analizi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66s, Tokat.
- [21] Uysal, A. T. 2014. Balıkesir ili su ürünleri yetiştiricilik işletmeleri üzerine bir araştırma. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, İzmir.
- [22] İmert Aydoğdu, S., Özdemir, Y. 2019. Elazığ Yöresi'nde Gökkuşluğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Yetiştiriciliği Yapan Farklı Kapasitedeki İşletme Çalışanlarının Sosyo-Ekonomik Yapısı. Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research, 5(2), 104-115.

Domateste Kök ur nematodu Kontrolünde Ticari Biyonematisit ve Kitosan Kombinasyonları

Fatma Gül GÖZE ÖZDEMİR*¹

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 3200, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 17.04.2023, Kabul / Accepted: 15.11.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 27.04.2024)

Anahtar Kelimeler

Biyokontrol,
Biyonematisit,
Kitosan,
Kök ur nematodu

Öz: Bu çalışmada *Burkholderia rinojensis* A396 suşu (Majestene®), *Paecilomyces lilacinus* 251 suşu (Bio nematon®) ve *Quillaja saponaria* (QL-Agri®)'dan oluşan üç ticari biyonematisitin kitosan ile kombinasyonlarının kontrollü koşullar altında domateste kök ur nematodu *Meloidogyne incognita*'nın oluşturduğu gal ve yumurta paketi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma plastik saksılarda biyonematisitlerin tekli ve kitosan ile birlikte olacak şekilde 9 uygulaması ile yürütülmüştür. Nematod inokulumu olarak 1000 *M. incognita* L2/1ml kullanılmış ve nematod inokulasyonu ile birlikte biyonematisit uygulamalarının araziye tavsiye edilen dozları saksı toprağına (Majestene® 0.4 ml/l, Bio nematon® 5 ml/l, Velum Prime® 0.16 ml/L, QL-Agri® 0.8 ml/L) uygulanmıştır. Kitosan uygulaması ise her saksı toprağına %1 'lik sıvı süspansiyonundan 5 ml gelecek şekilde yapılmıştır. Altmış gün sonra köklerde 1-9 gal ve yumurta paketi indeks değerine göre değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Sadece kitosan uygulamasında gal ve yumurta paketi indeksi sırasıyla 4.2 ve 3.8 saptanmıştır. Sadece biyonematisit uygulamalarında ise gal indeks değeri 3.0-4.8 arasında değişirken, kitosan ile kombinasyonlarında 2.6-3.8 arasında değişim göstermiştir. Sonuçta biyonematisitlerin kitosan ile birlikte uygulamalarının köklerde gallenme ve yumurta paketi sayısını önemli oranda azalttığı ve kök ur nematodu ile mücadelede başarıyı artırabileceği saptanmıştır.

Combinations of Commercial Bionematicides and Chitosans for Root Knot nematode Control on Tomato

Keywords

Biocontrol,
Bionematicide,
Chitosan,
Root knot nematode

Abstract: In this study, the effect of combination of three commercial bionematicides, *Burkholderia rinojensis* A396 strain (Majestene®), *Paecilomyces lilacinus* 251 strain (Bio nematon®) and *Quillaja saponaria* (QL-Agri®), with chitosan on gall and egg masses formed by root knot nematode *Meloidogyne incognita* was investigated on tomato under controlled conditions. The study was carried out in plastic pots with 9 applications of bionematicides alone and together with chitosan. A thousand *Meloidogyne incognita* second stage juvenile (L2)/1ml was used as nematode inoculum and the recommended doses of bionematicide applications to the field (Majestene® 0.4 ml/l, Bio nematon® 5 ml/l, Velum Prime® 0.16 ml/L, QL-Agri® 0.8 ml/L) with nematode inoculation were applied to the potting soil. Chitosan application was made 5 ml of 1% liquid suspension required for each potting soil. After sixty days, the roots were evaluated according to the index value of 1-9 gall and egg mass. The gall and egg mass index were found to be 4.2 and 3.8, respectively in only chitosan application. While the gall index changed between 3.0-4.8 in only bionematicide applications, it changed between 2.6-3.8 in combination with chitosan. As a result, the application of bionematicides together with chitosan significantly reduced the number of galls and egg masses in the roots of tomato and increased the success in the control against *M. incognita*.

1. Giriş

Kök-ur nematodları 98'den fazla türü olan *Meloidogyne* cinsine aittir [1]. Bunlar arasında

Meloidogyne incognita, *M. javanica*, *M. arenaria* ve *M. hapla*, tüm kök ur nematodu türlerinin popülasyonlarının %95'ini temsil etmektedir [2].

Zarar oluşturdıkları bitkilerin köklerinde açmış oldukları yaralar nedeniyle bitkileri diğer patojenlere ve stres faktörlerine karşı duyarlı hale getirmektedirler [3]. Sabit endoparazitik yapıları, geniş konukçu dizisi, yüksek üreme oranları ve kısa yaşam döngüleri nedeniyle kök- ur nematodları ile mücadele diğer bitki patojenlerinden daha zordur [4]. Kök ur nematodu mücadelesinde ilk akla gelen fumigant ve nematisit kullanımıdır. Ancak bunların yanlış ve yoğun kullanımı, toprakta ve yeraltı sularında uzun süre kalıcı olmaları nedeniyle tüm besin zincirlerini olumsuz etkileyebilecek şekilde hem çevre hem de insan sağlığı için ciddi bir risk oluşturmaktadır [5]. Son yıllarda yapılan çalışmalar hedeflenmeyen organizmalara zarar vermeden kök- ur nematodu mücadelesine yardımcı olabilecek çevre dostu alternatif araçlara odaklanmaktadır [6]. Biyolojik mücadele kök- ur nematodunun kontrolünde etkili alternatif mücadele yöntemlerindedir [7]. Biyolojik kontrol ajanları konakçıya özgüdür ve entegre zararlı yönetimi için potansiyel oluşturmaktadırlar [8]. *Burkholderia rinojensis* A396 suşu ve *Purpleocillium lilacinum* 251 suşu (syn: *Paecilomyces lilacinus*) gibi antagonistik mikroorganizmalardan oluşturulan biyolojik nematisitler, bitki paraziti nematodları ekolojik olarak sürdürülebilir bir şekilde baskılayabilmektedir [9].

Paecilomyces lilacinus önemli bitki paraziti nematod türlerine karşı geniş bir aktivite yelpazesine sahip, toprakta yaşayan ve yumurta aşamasında doğrudan enfeksiyon yapan bir fungustur [10,11]. Bunun yanında *P. lilacinus*'un enfeksiyonu teşvik etmek için lösinotoksinler, kitinazlar, proteazlar ve asetik asit ürettiği de gözlemlenmiştir [12, 13]. Bu enzimlerin sentezini düzenleyen genlerin aşırı ekspresyonu, *P. lilacinus*'un virülansını ve *M. incognita*, *Panagrellus redivivus* ve *Caenorhabditis elegans*'a karşı parazitlenme yeteneğini artırmaktadır [14]. *Paecilomyces lilacinus* uygulamasından sonra *M. arenaria* yumurta kabuklarının vitellin membranlarının ayrışması sonucu kitin ve lipit tabakasının parçalandığı gözlemlenmiştir [15]. Bazı *Burkholderia* bakteri türlerinin toprak kaynaklı, yaprak ve hasat sonrası bitki patojenlerine karşı biyokontrol ürünleri olma potansiyeline sahip olduğu veya kirli toprak veya yeraltı sularını arıtmak için biyoremediasyonda etkili bir şekilde kullanıldığı bildirilmiştir [16]. Bununla birlikte, bazı *Burkholderia* türlerinin de proteolitik, lipolitik ve hemolitik aktivitelere sahip çeşitli hücre dışı enzimlerin yanı sıra toksinler, antibiyotikler ve sideroforlar salgıladığı bulunmuştur [17]. Bununla birlikte, çoğu *Burkholderia* türü, sistemik kazanılmış dayanıklılık gibi konukçu savunmalarıyla ilişkili olduğundan, sınırlı nematisit mekanizmalarına sahiptir. Ayrıca diğer mekanizmaları henüz tanımlanmamıştır. Liu ve ark. [18], *B. vietnamiensis* B418'in, toprak bakterisi

topluluğunun bileşimindeki değişikliklere dayanarak rizosfer mikrobiyal topluluğunu modüle ederek kök ur nematodlarını önemli ölçüde baskıladığını belirtmişlerdir. Kim ve ark. [19], in vitroda *Burkholderia* sp. JB-2'nin filtratları ile uygulama yapıldıktan sonra *M. incognita* L2'leri üzerinde 24 saat boyunca oksidatif strese karşı savunma tepkilerinin aktivasyonunun gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca, bazı biyonematisitlerin bitkilerin yaprak, tohum gibi kısımlarından ekstrakte edildiği ve bitki paraziti nematodların kontrolü için yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir [20]. Şili'deki And Dağları bölgesinin yerli bir ağacı olan *Quillaja saponaria*'dan elde edilen bitkisel ekstraktların saponinler, polifenoller, tuzlar ve şekerler içerdiği bulunmuştur [21]. *Quillaja saponaria*'dan elde edilen triterpen saponinler böcek ve nematodları kontrol etmek için kullanılmaktadır [20, 21]. *Quillaja saponaria*'nın farklı ekstraktlarının serada nematod popülasyonunu 15-31 l/ha oranında azaltmanın yanı sıra domates verimini de önemli ölçüde artırdığı rapor edilmiştir [22].

Kitosan, karides, kabuklu deniz ürünleri, istakoz veya yengeçlerin dış kabuğunda ve mantarların hücre duvarlarında bulunan kitin deasetilasyonu ile oluşan doğal bir biyopolimerdir [23]. Kitosan parçacıklarının, hücre zarlarındaki veya hücrelerdeki spesifik reseptörler tarafından tanındığında, antinematod enzimlerinin salgılanması, antinematod bileşiklerinin üretimi, hücre duvarı takviyesi ve aşırı duyarlı yanıt (HR) aracılı hücre ölümü dahil olmak üzere bir dizi fizyolojik yanıt sağlayan çoklu sinyal yollarını aktive ettiği bildirilmiştir [24, 25]. Bu durum nematodun beslenmesini engelleyerek ölümüne neden olmaktadır [26]. Kitin ve kitosanın toprak uygulamalarının kök ur nematodlarının gal, yumurta paketi ve topraktaki 2. Dönem larva (L2) yoğunluğunu azalttığına dair çalışmalar bulunmaktadır [27, 28, 29].

Kitosan ile ilgili biyoteknolojik çalışmaların gittikçe artması ve birçok alanda kimyasal, fiziksel özellikleri gereği kolayca kullanılabilmesi, gelecek için umut verici bir uygulama alanı sunmaktadır. Biyonematisitlerin etkinliklerinin artırılması yada muhafaza süresi gibi bazı şartların değiştirilmesinde kitosanın etkili olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle ilk aşamada bu çalışmada kitosan ve biyonematisitlerin beraber kullanımının kök ur nematodu üzerindeki etkisinin araştırılması yapılmıştır. Bu amaçla biyokontrol ajanı (*Burkholderia rinojensis* A396 suşu ve *Paecilomyces lilacinus* 251 suşu) ve bitkisel ekstraktan (*Quillaja saponaria*) oluşan üç ticari biyonematisitin kitosan ile kombinasyonlarının domateste *Meloidogyne incognita*'nın oluşturduğu gal ve yumurta paketi üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada kök-ur nematodu olarak morfolojik ve moleküler olarak tanımlanan ve iklim odası koşullarında (24 ± 1 °C, $\%60 \pm 5$ nem) kitle üretimi devam eden *M. incognita* ISP izolatı kullanılmıştır [30]. Çalışma, kök ur nematoduna duyarlı olduğu bilinen Gülizar F1 domates çeşidi üzerinde yapılmıştır. Ticari biyonematisit Bio nematon® (% 1,5 *P. lilacinus* strain PL1, 5 ml/l, Agrobest), Majestene® (954.05 g/L *B. rinojensis* strain A396, 1 l/da, AMC-TR), QL Agri® (350 g/l *Q. saponaria* ekstraktı, 2000 ml/da, BASF) ve kimyasal nematisit Velum Prime® (Fluopyram, 60 ml/da, Bayer) satın alınmıştır. Çalışmada kullanılan kitosan, Kitinsan Tarım Ürünleri SAN. TİC. A.Ş firmasından temin edilmiştir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Nematod inokulumu'nun hazırlanması

Nematod inokulasyonunda 1000 ikinci dönem larva (L2) kullanılmıştır. Kitle üretimin yapıldığı Tueza F1 domates çeşidinin kökleri musluk suyunda yıkandıktan sonra stereo mikroskop altında köklerden yumurta paketleri alınarak bir petri kabında 25 ± 2 °C'deki suda üç gün inkübe edilmiştir. Üç gün sonra yumurtalardan çıkan L2'ler ışık mikroskobu altında sayılmış ve denemelerde kullanılacak sayıya ayarlanarak 1 ml'lik tüplere yerleştirilmiştir [31].

2.2.2. Biyonematisitlerin Kitosan ile kombinasyon uygulamalarının domates kökünde *Meloidogyne incognita* gelişimine etkisi

Çalışma 2022 yılının Eylül-Aralık ayları arasında kontrollü koşullar altında (24 ± 1 °C, $\%60 \pm 5$ nem) plastik saksılarda ve her bir uygulama için tesadüf parselleri deneme desenine göre 5 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Her tekerrürde 1 domates bitkisi bulunmaktadır. Pozitif kontrol olarak Velum Prime®, negatif kontrol olarak saf su kullanılmıştır. Çalışma 9 uygulamadan oluşmaktadır; 1: Majestene®, 2: Bio nematon®, 3: QL-Agri®, 4: Kitosan, 5: Majestene®+Kitosan, 6: Bio nematon®+Kitosan, 7: QL-Agri®+Kitosan, 8: Saf su (Negatif kontrol), 9: Velum Prime® (Pozitif kontrol).

Üç haftalık domates fideleri, yaklaşık 1500 g steril toprak ($\%68$ kum, $\%21$ silt ve $\%11$ kil) içeren 14 cm çapında plastik saksılara şaşırtılmıştır. Şaşırtmadan bir hafta sonra saksı başına 1000 *M. incognita* L2/1ml inokulasyon gerçekleştirilmiştir. Nematod inokulasyonu ile birlikte biyonematisit uygulamaları toprağa yapılmıştır [32]. Biyonematisitlerin

uygulamalarında araziye tavsiye edilen dozları kullanılmıştır. Saksı başına Majestene® 0.4 ml/l, Bio nematon® 5 ml/l, Velum Prime® 0.16 ml/l, QL-Agri® 0.8 ml/L uygulanmıştır. Kitosan ise her saksı toprağına $\%1$ 'lik sıvı süspansiyonundan 5 ml uygulanmıştır [33].

Çalışma nematod inokulasyonundan 60 gün sonra sonlandırılmıştır. Her uygulamaya ait domates bitkileri topraktan dikkatlice çıkarılmış ve musluk suyu ile yıkanmıştır. Değerlendirmede 1-9 gal (1: gal yok, 2: 5% kök gallenmesi, 3: 6-10%, 4: 11-18%, 5:19-25%, 6: 26-50%, 7: 51-65%, 8: 66-75%, 9: 76-100%) ve 1-9 yumurta paketi skalası (1: yumurta paketi yok, 2: 1 yada 2 yumurta paketi, 3: 3-6 yumurta paketi, 4: 7-10 yumurta paketi, 5: 11-20 yumurta paketi, 6: 21-30 yumurta paketi, 7: 31-60 yumurta paketi, 8: 61-100 yumurta paketi, 9:100'den fazla yumurta paketi) kullanılmıştır [31, 34].

Deneme sonucu elde edilen verilerin istatistiksel analizi için SPSS (versiyon 20.0) programı kullanılmış ve ortalamalar arasındaki farkları test etmek için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Ortalamalar, $P \leq 0.05$ 'te Tukey HSD testi ile karşılaştırılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada en yüksek gal ve yumurta paketi indeks değeri negatif kontrolde tespit edilmiştir. Uygulamaların gal ve yumurta paketi indeks değerlerinin 1.6-4.8 arasında değiştiği ve negatif kontrole göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sadece biyonematisit uygulamalarında gal ve yumurta paketi indeks değerleri 3.0-4.8 arasında değişirken, kitosan ile kombinasyonlarında 2.2-3.8 arasında değişim olduğu bulunmuştur. Biyonematisitler içerisinde en yüksek gal (4.8) ve yumurta paketi (4.4) indeksinin QL-Agri®'de olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, kitosan ve QL-Agri®'nin gal ve yumurta paketi indeks değerleri benzer görülmüş ve aralarında istatistiki olarak fark bulunamamıştır ($P \geq 0.05$). Sadece biyonematisit uygulamalarında Majestene® uygulanan bitkilerde gal ve yumurta paketi indeks değerinin Bio nematon® uygulamasına göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Ancak kitosan+Majestene® ve kitosan+Bio nematon® uygulamalarının gal ve yumurta paketi indeks değerleri birbirine yakın bulunmuş ve aralarında istatistiki olarak fark görülmemiştir ($P \geq 0.05$). Biyonematisitlerin kitosan ile uygulamalarında gal ve yumurta paketi indeks değerlerinin tek başına uygulamalarına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada en düşük gal ve yumurta paketi indeks değeri pozitif kontrolde belirlenmesine rağmen kitosan+Majestene® ve kitosan+Bio nematon® uygulamaları ile arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır ($P \geq 0.05$) (Tablo 1).

Tablo 1. Biyonebatisitlerin kitosan ile kombinasyon uygulamalarının domates kökünde *Meloidogyne incognita*'nın oluşturduğu gal ve yumurta paketine etkisi

Uygulama	Gal indeks ortalaması± Standart hata*	Yumurta paketi indeks ortalaması± Standart hata
Majestene®	3.2±0.3 abc	3.0±0.3 abc
Bio nematon®	4.0±0.4 bc	3.6±0.5 bc
QL-Agri®	4.8±0.3 c	4.4±0.5 c
Kitosan	4.2±0.3 bc	3.8±0.2 bc
Kitosan+Majestene®	2.6±0.2 ab	2.2±0.3 ab
Kitosan+Bio nematon®	2.8±0.3 ab	2.6±0.2 ab
Kitosan+OL-Agri®	3.8±0.3 bc	3.8±0.3 bc
Negatif kontrol (Saf su)	7.4±0.4 d	6.6±0.2 d
Pozitif kontrol (Velum Prime®)	2.0±0.3 a	1.6±0.2 a

* Aynı sütunda gösterilen küçük harfler uygulamalar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir (P≤0.05).

Bu çalışmada biyonebatisitlerin kitosan ile birlikte uygulamalarının kök ur nematodu ile mücadelede başarıyı artırdığı saptanmıştır. Kitosan ile olan kombinasyonlarında Majestene® ve Bionematon'un nematisidal etkileri benzer bulunurken, OL-Agri'nin etkisi 2 kombinasyondan düşük saptanmıştır. Bu sonuçlar biyolojik kontrol ajanlarının nematisidal etkinliğinin bitkisel ekstraktan daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu nematod üzerindeki kontrol mekanizmalarının farklılığından kaynaklanabilir [11, 17, 20]. Birçok araştırmacı da kök ur nematodunun biyolojik kontrolü için en etkili fungusu *P. lilacinus* olarak bildirmiştir [11, 34, 35, 36, 37]. Hem sera hem de tarla deneylerinde *B. rinojensis* A396 suşu içeren Majestene® biyonebatisitinin bitki paraziti nematod popülasyonlarını azalttığı daha önce yürütülen çalışmalarda bulunmuştur [14, 38]. Tütün rizosfer topraklarından izole edilen *B. arboris* J211'in kültür filtratının *M. incognita* ile mücadelede kullanılabilirliği rapor edilmiştir [39]. Kim et al. [19], in vitroda *Burkholderia* sp. JB-2 suşunun filtratının uygulamasından 2 gün sonra, *M. incognita*'nın L2'lerinde %87,5 ölüm oranı tespit etmiştir.

Argentieri ve ark. [38] *Q. saponaria*'nın nematisidal aktivitesinin saponinler ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Giannakou [20], Kök ur nematodu ile bulaşık hıyar yetiştirme alanında *Q. saponaria*'nın kimyasal Cadusafos (Rugby®) ve Oksamyl (Vydate®) ile benzer etki gösterdiğini tespit etmiştir. Bu çalışmada *Q. saponaria* ekstraktı QL-Agri®'nin nematisidal etkisi kimyasal Velum Prime®'dan daha düşük bulunmuş, kitosanla birlikte uygulandığında nematisidal aktivite artmasına rağmen yine benzer etki belirlenmemiştir. Ayrıca kimyasal nematisit Velum Prime® ile Kitosan+Majestene® ve Kitosan+Bio Nematon® uygulamalarının gal ve yumurta paketi indeks değerlerinin benzer bulunması çalışmanın önemli sonuçlarından birisidir. Bu çalışma biyonebatisitlerin etkinliğinin

artırılmasında kitosanın kullanılabilirliğini göstermiştir. Entegre mücadelede pestisitlerin karıştırılması yada beraber uygulanması yaygın bir kontrol stratejisidir. Birbiri ile karışabilir pestisitlerin beraber uygulanması, kontrol etkisini artırma, dozajı azaltma, ilaç direncinin ortaya çıkmasını geciktirme, farklı hastalık ve böcekleri aynı anda tedavi etme, zamandan ve emekten tasarruf etme gibi faydalar sağlamaktadır [39]. Pestisitlerle kombinasyon, kitosanın antibakteriyel, antifungal ve antiinsektisidal potansiyelini artırmıştır [40]. Benzer şekilde, nematofag organizmalarla birlikte kitosan kullanılması, nematodlara karşı biyokontrol etkisini geliştirmektedir [41, 42]. Kokalis-Burelle ve ark. [43] ise benzaldehit ile kitini kombinasyon halinde kullandığında domateste enfeksiyonunun baskılandığını bildirmiştir. Kalaiarasan ve ark. [27], kitin ve kitinolitik biyokontrol ajanlarının (*Pseudomonas fluorescens* ve *Tirichoderma viride*) eşzamanlı uygulanmasının, kök ur nematodlarında etkinliğini yüksek bulmuşlardır. Mittal ve ark. [44], *P. lilacinus* ve kitin kombinasyonunun, *M. incognita*'nın baskılanmasını tekli uygulamasından daha fazla artırdığını göstermiştir. Bir toprak ıslahı veya bitki düzenleyicisi olarak kitosan, zararlıların ve hastalıkların neden olduğu hasarı azaltabilir, ancak etkinliği tarımsal yönetim ihtiyaçlarını karşılamak için tek başına yetersizdir. Bu nedenle, kitosanın nematisitlerle kullanımının daha akılcı ve pratik bir çözüm olabileceği düşünülmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada kök ur nematodu mücadelesinde *B. rinojensis* A396 suşu (Majestene®) ve *P. lilacinum* 251 suşu (Bio nematon®)'nın bitkisel ekstrakt *Q. saponaria* (QL-Agri®,BASF)'dan daha başarılı olduğu bulunmuştur. Kitosan ile kombinasyon uygulamalarda gal ve yumurta paketi sayısının daha da azaldığı belirlenmiştir. Biyokontrol ajanlarını veya ürünlerini içeren biyonebatisitlerin etkinliklerinin artırılmasında kitosanın potansiyel teşkil ettiği görülmüştür.

Teşekkür

Çalışma materyalleri biyolojik ve kimyasal nematisitleri sağlayan Ziraat Müh. Hasan ILGAR (AMC Tarım, Türkiye) ve Ziraat Yük. Müh. Harun Burak GÖZE (Beylerbeyi Tarım, Antalya, Türkiye)'ye teşekkür ederim. Nematod kitle üretimi ve denemede kullanılan domates materyallerinin teminini sağlayan Ziraat Müh. Tuğçe OKUMUŞ EROL (Olympos fide, Kumluca/Antalya, Türkiye)'a teşekkür ederim.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine

Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederim.

Kaynakça

- [1] Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G., Perry, R. N. 2013. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular plant pathology*, 14(9), 946-961.
- [2] Dong, L., Huang, C., Huang, L., Li, X., Zuo, Y. 2012. Screening plants resistant against *Meloidogyne incognita* and integrated management of plant resources for nematode control. *Crop Protection*, 33, 34-39.
- [3] Kyndt, T., Vieira, P., Gheysen, G., de Almeida-Engler, J. 2013. Nematode feeding sites: unique organs in plant roots. *Planta*, 238, 807-818.
- [4] Quentin, M., Abad, P., Favery, B. 2013. Plant parasitic nematode effectors target host defense and nuclear functions to establish feeding cells. *Frontiers in plant science*, 4:53.
- [5] Azlay, L., El Boukhari, M. E. M., Mayad, E. H., Barakate, M. 2022. Biological management of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.): a review. *Organic Agriculture*, 1-19.
- [6] Degenkolb, T., Vilcinskas, A. 2016. Metabolites from nematophagous fungi and nematicidal natural products from fungi as an alternative for biological control. Part I: metabolites from nematophagous ascomycetes. *Applied microbiology and biotechnology*, 100, 3799-3812.
- [7] Kumar, K. K., Arthurs, S. 2021. Recent advances in the biological control of citrus nematodes: a review. *Biological Control*, 157, 104593.
- [8] Arora, R., Battu, G. S., Ramakrishnan, N. 2000. *Microbial pesticides: current status and future outlook*. Pesticides and Environment. Commonwealth Publishers, New Delhi, 344-395.
- [9] Ruiu, L. 2018. Microbial biopesticides in agroecosystems. *Agronomy*, 8(11), 235.
- [10] Brand, D., Soccol, C. R., Sabu, A., Roussos, S. 2010. Production of fungal biological control agents through solid state fermentation: a case study on *Paecilomyces lilacinus* against root-knot nematodes. *Micologia Aplicada International*, 22(1), 31-48.
- [11] Sivakumar, T., Renganathan, P. B. P., Sanjeevkumar, K. 2020. Bio efficacy of bio-nematode (*Paecilomyces lilacinus* 1.15% wp) against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in cucumber crop. *Plant Arch*, 20(2), 3805-3810.
- [12] Khan, A., Williams, K. L., Nevalainen, H. K. 2004. Effects of *Paecilomyces lilacinus* protease and chitinase on the eggshell structures and hatching of *Meloidogyne javanica* juveniles. *Biological control*, 31(3), 346-352.
- [13] Park, J. O., Hargreaves, J. R., McConville, E. J., Stirling, G. R., Ghisalberti, E. L., Sivasithamparam, K. 2004. Production of leucinostatins and nematicidal activity of Australian isolates of *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson. *Letters in Applied Microbiology*, 38(4), 271-276.
- [14] Yang, J., Zhao, X., Liang, L., Xia, Z., Lei, L., Niu, X., Zhang, K. Q. 2011. Overexpression of a cuticle-degrading protease Ver112 increases the nematicidal activity of *Paecilomyces lilacinus*. *Applied microbiology and biotechnology*, 89, 1895-1903.
- [15] Morgan-Jones, G., White, J. F., Rodriguez-Kabana, R. 1984. Phytonematode pathology: Ultrastructural studies. II. Parasitism of *Meloidogyne arenaria* eggs and larvae by *Paecilomyces lilacinus*. *Nematropica*, 57-71.
- [16] Cordova-Kreylos, A. L., Fernandez, L. E., Koivunen, M., Yang, A., Flor-Weiler, L., Marrone, P. G. 2013. Isolation and characterization of *Burkholderia rinojensis* sp. nov., a non-*Burkholderia cepacia* complex soil bacterium with insecticidal and mitocidal activities. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(24), 7669-7678.
- [17] Vial, L., Groleau, M. C., Dekimpe, V. and Deziel, E. 2007. *Burkholderia* diversity and versatility: an inventory of the extracellular products. *Journal of microbiology and biotechnology*, 17(9), 1407-1429.
- [18] Liu, M., Philp, J., Wang, Y., Hu, J., Wei, Y., Li, J., Yang, H. 2022. Plant growth-promoting rhizobacteria *Burkholderia vietnamiensis* B418 inhibits root-knot nematode on watermelon by modifying the rhizosphere microbial community. *Scientific Reports*, 12(1), 8381.
- [19] Kim, J. H., Lee, B. M., Kang, M. K., Park, D. J., Choi, I. S., Park, H. Y., Son, K. H. 2023. Assessment of nematicidal and plant growth-promoting effects of *Burkholderia* sp. JB-2 in root-knot nematode-infested soil. *Frontiers in Plant Science*, 14.
- [20] Giannakou, I. O. 2011. Efficacy of a formulated product containing *Quillaja saponaria* plant extracts for the control of root-knot nematodes. *European Journal of Plant Pathology*, 130, 587-596.
- [21] San Martín, R., Magunacelaya, J. C. 2005. Control of plant-parasitic nematodes with extracts of *Quillaja saponaria*. *Nematology*, 7(4), 577-585.

- [22] D'Addabbo, T., Curto, G., Greco, P., DiSilvestro, D., Coiro, M. I., Lamberti, F. 2005. Prove preliminari di Lotta contro nematodi galligeni mediante estradi *Quillaja saponaria* Molina. *Nematologia Mediterranea*, 33, 29-34.
- [23] Chakraborty, M., Hasanuzzaman, M., Rahman, M., Khan, M. A. R., Bhowmik, P., Mahmud, N. U., Islam, T. 2020. Mechanism of plant growth promotion and disease suppression by chitosan biopolymer. *Agriculture*, 10(12), 624.
- [24] Hirano, S., Nakahira, T.; Nakagawa, M., Kim, S.K. 1999. The preparation and applications of functional fibres from crab shell chitin. *Journal of Biotechnology*, 70, 373-377.
- [25] Mouniga, R., Anita, B., Shanthi, A., Lakshmanan, A., Karthikeyan, G. 2022. Phenol and antioxidant enzymatic activity in root knot nematode, *Meloidogyne incognita* infected tomato plants treated with chitosan nanoparticles. *The Pharma Innovation Journal*, 11(4), 241-245.
- [26] Kulikov, S.N., Chirkov, S.N., Il'ina, A.V., Lopatin, S.A., Varlamov, V.P. 2006. Effect of the molecular weight of chitosan on its antiviral activity in plants. *Prik. Biokhim. Mikrobiology*, 42 (2), 224-228.
- [27] Kalaiarasan, P., Lakshmanan, P., Rajendran, G., Samiyappan, R. 2006. Chitin and chitinolytic biocontrol agents for the management of root knot nematode, *Meloidogyne arenaria* in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cv. Co3. *Indian Journal of Nematology*, 36(2), 181-186.
- [28] Ladner, D. C., Tchounwou, P. B., Lawrence, G. W. 2008. Evaluation of the effect of ecologic on root knot nematode, *Meloidogyne incognita*, and tomato plant, *Lycopersicon esculenum*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 5(2), 104-110.
- [29] El-Sayed, S.M., Mahdy, M.E. 2015. Effect of chitosan on root-knot nematode, *Meloidogyne javanica* on tomato plants. *International Journal of ChemTech Research*, 7 (4), 1985-1992.
- [30] Göze Özdemir, F. G., Tosun, B., Şanlı, A., Karadoğan, T. 2022a. Bazı Apiaceae uçucu yağlarının *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 (Nematoda: Meloidogynidae)'ya karşı nematoksik etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 59(3), 529-539.
- [31] Göze Özdemir, F. G. 2022. Management of disease complex of *Meloidogyne incognita* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* on tomato using some essential oils. *Plant Protection Bulletin*, 62(4), 27-36.
- [32] Kepenekci, I., Oksal, E. 2015. Evaluation of entomopathogenic fungi, *Purpureocillium lilacinum* TR1 for the control of the root-knot nematodes (*Meloidogyne javanica*, *M. incognita* and *M. arenaria*). *Turkish Journal of Entomology*, 39(3), 311-318.
- [33] Göze Özdemir, F. G., Çevik, H., Ndayiragije, J. C., Özek, T., Karaca, İ. 2022b. Nematicidal effect of chitosan on *Meloidogyne incognita* in vitro and on tomato in a pot experiment. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 6(3), 410-416.
- [34] Mullin, B. A., Abawi, G. S., & Pastor-Corrales, M. A. 1991. Modification of resistance expression of *Phaseolus vulgaris* to *Meloidogyne incognita* by elevated soil temperatures. *Journal of Nematology*, 23(2), 182.
- [35] Anastasiadis, I. A., Giannakou, I. O., Prophetou-Athanasiadou, D. A., Gowen, S. R. 2008. The combined effect of the application of a biocontrol agent *Paecilomyces lilacinus*, with various practices for the control of root-knot nematodes. *Crop Protection*, 27(3-5), 352-361.
- [36] Isaac, G. S., El-Deriny, M. M. and Taha, R. G. 2021. Efficacy of *Purpureocillium lilacinum* AUMC 10149 as biocontrol agent against root-knot nematode *Meloidogyne incognita* infecting tomato plant. *Brazilian Journal of Biology*, 84.
- [37] Santos B.M. 2017. Performance of the bionematicide Majestene™ against parasitic nematodes in tomato and strawberries in Florida. *Journal of Nematology*, 49 (4), 477-541.
- [38] Argentieri, M. P., D'Addabbo, T., Tava, A., Agostinelli, A., Jurzysta, M., Avato, P. 2008. Evaluation of nematicidal properties of saponins from *Medicago* spp. *European Journal of Plant Pathology*, 120, 189-197.
- [39] Fan, Z., Wang, L., Qin, Y., Li, P. 2023. Activity of chitin/chitosan/chitosan oligosaccharide against plant pathogenic nematodes and potential modes of application in agriculture: A review. *Carbohydrate Polymers*, 120592.
- [40] Palazzini, J., Reynoso, A., Yerkovich, N., Zachetti, V., Ramirez, M., Chulze, S. 2022. Combination of *Bacillus velezensis* RC218 and chitosan to control fusarium head blight on bread and durum wheat under greenhouse and field conditions. *Toxins (Basel)*, 14(7), 499.
- [41] Escudero, N., Ferreira, S. R., Lopez-Moya, F., Naranjo-Ortiz, M. A., Marin-Ortiz, A. I., Thornton, C. R., Lopez-Llorca, L. V. 2016. Chitosan enhances parasitism of *Meloidogyne javanica* eggs by the nematophagous fungus *Pochonia chlamydosporia*. *Fungal Biology*, 120(4), 572-585.
- [42] Zhan, J., Qin, Y., Gao, K., Fan, Z., Wang, L., Xing, R., Li, P. 2021. Efficacy of a chitinbased water-soluble derivative in inducing *Purpureocillium lilacinum* against nematode disease (*Meloidogyne incognita*). *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13), 6870.

- [43] Kokalis-Burelle, N., Martinez-Ochoa, N., Rodríguez-Ka'bana, R., Kloepper, J. W. 2002. Development of multi-component transplant mixes for suppression of *Meloidogyne incognita* on tomato (*Lycopersicon esculentum*). Journal of Nematology, 34(2), 362-369.
- [44] Mittal, N., Saxena, G., Mukerji, K. G. 1995. Integrated control of root-knot disease in three crop plants using chitin and *Paecilomyces lilacinus*. Crop Protection, 14(8), 647-651.

Atık Mısır Koçanı Külünün Jeopolimer Harç Üretiminde Kullanımı

Kübra Ekiz BARIŞ*¹

¹Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 41300, Kocaeli, Türkiye

(Alınış / Received: 14.09.2023, Kabul / Accepted: 04.03.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 27.04.2024)

Anahtar Kelimeler

Mısır koçanı külü,
Atık değerlendirme,
Jeopolimer harç

Öz: Mısır koçanı, mısır hasatı sırasında oluşan tarımsal bir atıktır. Bu atığın depolanması çeşitli teknik, sosyal ve çevresel sorunlar oluşturmaktadır. Mısır koçanının yakılmasıyla üretilen atık külden alternatif bağlayıcı malzemeler üretilmektedir. Bu araştırmanın amacı, atık mısır koçanı külü içeren metakaolin esaslı jeopolimer harcın fiziksel, mekanik ve ısıl özellikleri üzerinde mısır koçanı külü oranının etkilerini ve üretilen malzemenin yapı sektöründe kullanım olanaklarını belirlemektir. Alkali aktivatör olarak 10 molar sodyum hidroksit ve sodyum silikat çözeltileri kullanılmıştır. Metakaolin:mısır koçanı külü oranı ağırlıkça 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 ve 0:100 olarak hazırlanan karışımlar, 24±2°C ve %60±5 bağıl nemli ortam koşullarında 28 gün kürlenmiştir. Çalışma sonucunda, en düşük porozite (%14.24), su emme oranı (%5.56) ve en yüksek birim hacim ağırlık (1.99 g/cm³), ultrases hızı (2.71 km/s), elastiklik modülü (14.61 GPa), eğilmede çekme (3.87 MPa) ve basınç dayanımı (18.76 MPa) %70 metakaolin ve %30 mısır koçanı külü içeren harçta elde edilmiştir. Harcın ısı iletkenlik katsayısı 0.21-1.22 W/mK aralığındadır ve atık kül oranı arttıkça bu değer azalmaktadır. Yani, ısıl performans kriterlerinin önemli olduğu uygulamalarda atık kül oranı daha yüksek malzeme üretilmektedir. Üretilen jeopolimer harçlar, yapı sektöründeki geleneksel harç ve sıvaların gereksinimlerini karşıladığından, bu malzemelere alternatif olarak kullanılma potansiyeline sahiptir.

Use of Waste Corn Cob Ash in Geopolymer Mortar Production

Keywords

Corn cob ash,
Waste utilization,
Geopolymer mortar

Abstract: Corn cob is an agricultural waste generated during the corn harvest. Storage of this waste creates various technical, social, and environmental problems. Alternative binder materials can be produced from the waste ash produced by burning corn cobs. The aim of this research is to determine the effects of the corn cob ash ratio on the physical, mechanical, and thermal properties of metakaolin-based geopolymer mortar containing waste corn cob ash and the usage possibilities of the produced material in the construction sector. 10 molar sodium hydroxide and sodium silicate solutions were used as alkaline activators. The mixtures prepared with metakaolin:corn cob ash ratios of 100:0, 70:30, 50:50, 30:70, and 0:100 by weight were cured for 28 days under environmental conditions of 24±2°C and 60±5% relative humidity. As a result of the study, the lowest porosity (14.24%), water absorption ratio (5.56%), and the highest unit weight (1.99 g/cm³), ultrasound velocity (2.71 km/s), modulus of elasticity (14.61 GPa), flexural strength (3.87 MPa), and compressive strength (18.76 MPa) were obtained in the mortar containing 70% metakaolin and 30% corn cob ash. The thermal conductivity coefficient of the mortar is in the range of 0.21-1.22 W/mK, and this value decreases as the waste ash ratio increases. In other words, in applications where thermal performance criteria are important, materials with a higher waste ash content can be produced. Since the produced geopolymer mortars meet the requirements of traditional mortars and plasters in the construction industry, they have the potential to be used as an alternative to these materials.

1. Giriş

Gelişmekte olan ülkelerde artan şehirleşme faaliyetleri sırasında yoğun olarak kullanılan Portland çimentosunun (PÇ) 2050 yılına kadar 226 milyar ton CO₂ salımına yol açacağı öngörülmektedir [1] Hızla artan PÇ kullanımı sera gazı emisyonunu kayda değer bir biçimde attırmaktadır [2]. Sera gazının olumsuz etkileri küresel ısınma ve çevresel zararlardır [3]. Bu olumsuz etkiler, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'nın "sağlık ve refah" ilkeleriyle çelişmektedir [4, 5]. PÇ üretiminden kaynaklanan sera gazının olumsuz etkileri elimine etmek amacıyla geliştirilmeye çalışılan potansiyel çözümlerden biri, çimentonun alternatif bağlayıcı malzemelerle kısmen ya da tamamen ikame edilmesidir. Çimentoyu ikame etmek amacıyla kullanılan hammaddeler çoğunlukla uçucu kül, kömür külü, volkanik kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve metakaolin gibi endüstriyel atıklar ya da pirinç kabuğu külü, kaju fıstığı kabuğu külü, palmiye yağı yakıt külü, küspe külü ve mısır koçanı külü gibi tarımsal atıklardır [6, 7]. Bu hammaddelerin kullanımı, yalnızca PÇ üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda inşaat sektöründe ihtiyaç duyulan PÇ esaslı malzeme hacmini de azaltır [8].

Kalsiyum silikat ve alüminosilikat içeren çeşitli hammaddelerin alkali aktivatörle karıştırılmasıyla üretilen jeopolimer bağlayıcılar, çimentoya sürdürülebilir bir alternatif malzeme grubudur. Davidovits, cüruf yan ürünüyle jeopolimer bağlayıcı üretmek için gereken toplam enerjinin (1965 MJ/ton), Portland çimento üretimi için gereken enerjiye (4700 MJ/ton) nazaran %59 daha düşük olduğunu tespit etmiştir [9]. Yukarıda sözü edilen endüstriyel ve tarımsal atıklar, jeopolimer bağlayıcı üretiminde alüminosilikat hammadde kaynağı olarak kullanılabilir. Kalsiyum silikat ve alüminosilikat içeren çeşitli hammaddelerin alkali aktivatörle karıştırılmasıyla üretilen jeopolimer bağlayıcılar, çimentoya sürdürülebilir bir alternatif malzeme grubudur. Davidovits, cüruf yan ürünüyle jeopolimer bağlayıcı üretmek için gereken toplam enerjinin (1965 MJ/ton), Portland çimento üretimi için gereken enerjiye (4700 MJ/ton) nazaran %59 daha düşük olduğunu tespit etmiştir [9]. Yukarıda sözü edilen endüstriyel ve tarımsal atıklar, jeopolimer bağlayıcı üretiminde alüminosilikat hammadde kaynağı olarak kullanılabilir.

Mısır koçanı (MK), mısır hasadı sırasında oluşan tarımsal bir atıktır. 100 kg mısır üretiminde yaklaşık 18 kg MK elde edildiğinden her yıl dünya genelinde önemli miktarda MK atığı oluşmaktadır [10]. Bu atıkların düzenli depolama alanlarında depolanması bir dizi teknik, sosyal ve çevresel sorun yaratmaktadır [11]. MK'nın yakılması sonucunda ortaya çıkan atık haldeki kül mısır koçanı külüdür (MKK). MKK, bileşiminde yüksek oranda reaktif silis ve %10-20 CaO içerdiğinden dolayı puzolanik özeliğe sahip bir atık olarak tanımlanmakta [12] ve çimento esaslı bağlayıcı, harç ve beton üretiminde değerlendirilmektedir [13-17]. Ayrıca, MKK'nün çimentoya enerji etkin bir alternatif olan jeopolimer bağlayıcı, harç ve beton üretiminde değerlendirilmesine yönelik araştırmalar da bulunmaktadır [18-27].

Oyebisi ve diğ. jeopolimer beton üretiminde alüminosilikat kaynağı olarak MKK ve yüksek fırın cürufu (YFC) kullanım olanaklarını araştırdığı

çalışmada, üretilen malzemenin yoğunluk ve basınç dayanımı özelliklerinin geleneksel PÇ esaslı betonla karşılaştırmıştır. Araştırma sonuçları, jeopolimer beton numunelerin PÇ esaslı betona nazaran daha yüksek basınç dayanımı sağladığını, MKK ve YFC'nun jeopolimer beton üretiminde kullanılabilirliğini gözler önüne sermiştir [19]. Aynı araştırmacılar bir diğer araştırmasında, YFC esaslı jeopolimer beton içerisindeki YFC miktarını %20, 40, 60, 80 ve 100 oranında MKK ile ikame ederek özelliklerdeki değişimi incelemiştir. Çalışma sonuçlarına göre, cüruf esaslı jeopolimer betona MKK eklemek gerek taze haldeki gerekse sertleşmiş betonun özelliklerini geliştirmiştir. İdeal MKK ikame oranı %40 olarak belirlenmiştir [20]. Bir diğer araştırmada ise, aynı karışım oranına sahip malzemenin mekanik özellikleri, mikroyapı davranışı ve mineralojik fazları araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, deneylerden elde edilen veriler ile önerilen model denklemleri arasında iyi bir ilişki bulunduğu ve önerilen modellerin, tarımsal ya da endüstriyel atık içeren jeopolimer betonların mukavemet tasarımının geliştirilmesinde kullanılabilirliği vurgulanmıştır [21]. Bir diğer araştırmada, aynı karışım oranına sahip jeopolimer betonun durabilite özellikleri incelenmiştir. MKK ve YFC katkısının jeopolimer betonun sülfat atağına karşı dayanıklılığını geliştirdiği ve geleneksel betona nazaran daha yüksek sülfat direncine sahip olduğu tespit edilmiştir [22]. Ayrıca, aynı karışım oranına sahip jeopolimer beton kirşlerin eğilmede çekme dayanımları hem deneysel olarak hem de geliştirilen modellerle tespit edilmiştir. Deneysel ve modellerle hesaplanan dayanımlar arasında yüksek korelasyon tespit edilmiştir [23]. Bir diğer araştırmada ise, aynı malzemenin ısı performansı tespit edilmiştir. Jeopolimer beton, PÇ esaslı betona nazaran daha düşük ısı iletkenlik katsayısı, ısı yayılımı ve daha yüksek özgül ısı kapasitesi sergilemekte ve daha iyi ısı yalıtımı sağlamaktadır [24].

Murthi ve diğ. sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum silikat (Na₂SiO₃) ve ile aktive edilen uçucu kül esaslı jeopolimer harcı, YFC ve MKK ile ikame ettikleri deneysel araştırmada, YFC ve MKK içeren jeopolimer harcın basınç dayanımı gelişiminin kontrol harcına nazaran daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Bundan dolayı, söz konusu puzolanik hammaddelerin jeopolimer karışımında güvenle kullanılabilirliği vurgulanmıştır [25]. Saloni ve diğ. pirinç kabuğu külü ve ultra ince cüruf esaslı jeopolimer betonun taze haldeki, sertleşmiş haldeki ve durabilite özellikleri üzerinde farklı MKK oranının (%0, 3, 6, 9 ve 12) etkilerini araştırmıştır. Aktivatör olarak 8 M NaOH ve Na₂SiO₃ kullanılmıştır. MKK, jeopolimer betonun dayanım ve durabilite özelliklerini geliştirmiştir. %6 MKK ikamesi, sürdürülebilir bir jeopolimer beton üretimi için ideal oran olarak tespit edilmiş ve yaklaşık 48 MPa basınç dayanımına sahip malzeme üretimine olanak sağlamıştır [26]. Arif ve diğ. tek kısmı (sadece su eklenen) jeopolimer harç üretiminde farklı MKK ve

boksit (B) atık oranlarının (MKK:B ağırlıkça 10:90, 20:80, 30:70) etkinliğini araştırmıştır. Alkali aktivatör olarak Na_2SiO_3 kullanılmıştır. 7 ve 28 günlük en yüksek basınç dayanımları sırasıyla 18.1 ve 20.76 MPa olan jeopolimer harç, %20 MKK ve %80 B karışımından üretilmiştir. Söz konusu karışımın basınç dayanımı geleneksel PÇ esaslı harcın basınç dayanımına nazaran daha yüksektir. Çalışma sonucunda, MKK ve B içeren tek kısımlı jeopolimerin PÇ yerine kullanım potansiyelinin yüksek olduğu vurgulanmıştır [27].

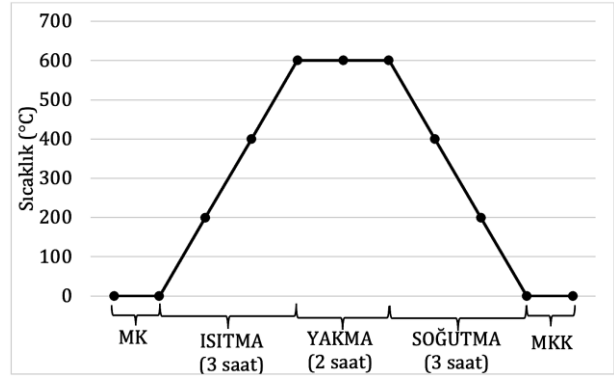
Literatür verileri, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, pirinç kabuğu külü ve boksit gibi çeşitli alüminosilikat hammadde kaynaklarıyla üretilen jeopolimer hammaddelerin, farklı oranlarda MKK ile ikame edilmesine yönelik bilgiler sunmaktadır. Ancak, jeopolimer üretiminde yaygın olarak kullanılan hammadde kaynaklarından biri olan "metakaolinin" MKK ile ikame edilmesinin malzeme özellikleri üzerindeki etkinliği herhangi bir araştırmada değerlendirilmemiştir. Bundan dolayı, bu araştırmanın amacı, farklı oranlarda MKK içeren metakaolin esaslı jeopolimer harcın gerek taze halde gerekse sertleşmiş haldeki özellikleri ve ısıl performansı üzerinde MKK oranının etkilerinin araştırılmasıdır. Elde edilen deneysel verilerin optimize edilmesiyle, ideal jeopolimer harç karışım oranları belirlenmekte ve geliştirilen malzemenin yapı sektöründe kullanılan geleneksel yapı malzemeleri arasındaki yeri tespit edilmeye çalışılmaktadır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Hammaddeler

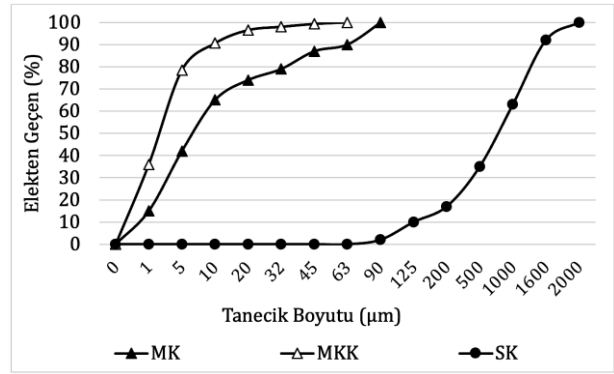
Jeopolimer bağlayıcı üretimi için gereken alüminosilikat kaynağı, metakaolin (MK), ticari bir firmadan temin edilmiştir. MK'nin özgül ağırlığı 2.54 g/cm³ olup TS EN 196-6 [28]'ya uygun olarak Blaine yöntemiyle tespit edilen özgül yüzey alanı 8647 cm²/g'dır.

Karadeniz Bölgesinden (Ordu) temin edilen mısır koçanının 600°C'de 2 saat yakılması sonucunda mısır koçanı külü (MKK) üretilmiştir. Yakma işlemi sırasında, kül fırınının sıcaklığı saatte 200°C artırılarak toplam 3 saatte 600°C'ye ulaşılmış, 600°C'de 2 saatlik yanma süresi boyunca sıcaklık sabit tutulmuş ve yine saatte 200°C azaltılarak kademeli olarak soğutulmuştur. MKK üretimi için uygulanan ısıtma, yakma ve soğutma döngüsü Şekil 1'de verilmiştir. MKK'nün özgül ağırlığı 2.14 g/cm³ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 1. MK'dan MKK üretimine yönelik ısıtma, yakma ve soğutma döngüsü

Jeopolimer harç üretimi için TS EN 196-1 [29]'e uygun, 2.56 g/cm³ özgül ağırlığa sahip CEN Standart Kumu (SK) kullanılmıştır. MK, MKK ve SK'un tanecik boyutu dağılımları Şekil 2'de verilmiştir. Buna göre, MKK en ince hammadde ve %100'ü 63 µm elekten geçmektedir. MK ve SK'un en büyük tanecik boyutları ise sırasıyla 90 µm ve 2 mm'dir.



Şekil 2. MK, MKK ve SK'un tanecik boyutu dağılımları

MK ve MKK'nün yarı kantitatif element (X-ışını Floresan spektrometre=XRF) analizi Philips 71 PW-2404 model XRF cihazı ile gerçekleştirilmiş olup elde edilen bulgular Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre, MK ve MKK, TS 25 [30], BS EN 8615-2 [31] ve ASTM C 618 [32]'e göre doğal puzolan olarak tanımlanabilmek için gereken minimum silikon dioksit (SiO_2) + alüminyum oksit (Al_2O_3) + demir oksit (Fe_2O_3) oranını (%70) karşılayabilmektedir. Ayrıca, maksimum sülfür oksit (SO_3), magnezyum oksit (MgO), and sodyum oksit (Na_2O) oranlarının sırasıyla %3, %4 ve %5'in altında olması, hammaddelerin söz konusu standartların gereksinimlerini karşıladığını göstermektedir. Yani, MK ve MKK her üç standardın gereksinimlerine uygun bir puzolan olarak nitelendirilebilmektedir. Bu bulguyu kanıtlamak amacıyla, TS 25 [30]'e uygun olarak puzolanik aktivite deneyi gerçekleştirilmiştir. MK ve MKK'nün puzolanik aktivite deneyi sonucunda elde edilen eğilmede çekme (sırasıyla 2.86 ve 2.31 MPa) ve basınç dayanımları (sırasıyla 6.79 ve 5.93 MPa) standartta belirtilen minimum 1.0 MPa ve 4.0 MPa kriterini karşıladığından, MK ve MKK puzolanik hammaddelerdir.

Tablo 1. MK ve MKK'nün kimyasal bileşimi

Bileşen	MK	MKK
SiO ₂	55.50	65.61
Al ₂ O ₃	41.00	8.92
Fe ₂ O ₃	0.71	4.20
CaO	0.16	17.20
MgO	0.17	0.18
SO ₃	-	0.20
K ₂ O	1.06	1.02
Na ₂ O	0.13	0.33
KK	1.27	2.34

Alkali aktivatör olarak 10 molar konsantrasyona (M) ve %99 saflığa sahip sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ve silis modülü (SiO₂/Na₂O) 3.2 olan sıvı sodyum silikat (SS) kullanılmıştır. NaOH çözeltisi harç karışımına eklenmeden 24 saat önce deiyonize su ile karıştırılarak hazırlanmış ve çözelti suyunun buharlaşmaması için kapalı bir cam kap içerisinde ortam sıcaklığına kadar soğutulmuştur. NaOH çözeltisi ortam sıcaklığına ulaştıktan sonra, daha iyi bir harç performansı elde edebilmek amacıyla [33], SS ile SS:NaOH oranı ağırlıkça 2.5:1 olacak şekilde karıştırılmış ve alkali aktivatörler kullanıma hazır hale gelmiştir.

Tablo 2. MKK içeren jeopolimer harçların karışım oranları

Numune	MK (g)	MKK (g)	SK (g)	NaOH (g)	SS (g)	SS: NaOH	SK: Bağlayıcı	Alkali: Bağlayıcı	Su: Bağlayıcı
100MK:0MKK (Kontrol)	450	0	1350	38.57	96.43	2.5:1	3:1	0.3:1	0.5:1
70MK:30MKK	315	135	1350	38.57	96.43	2.5:1	3:1	0.3:1	0.5:1
50MK:50MKK	225	225	1350	38.57	96.43	2.5:1	3:1	0.3:1	0.5:1
30MK:70MKK	135	315	1350	38.57	96.43	2.5:1	3:1	0.3:1	0.5:1
0MK:100MKK	0	450	1350	38.57	96.43	2.5:1	3:1	0.3:1	0.5:1

2.3. Karışım hazırlama, döküm ve kür koşulları

Karışımlar TS EN 196-1 [29]'de belirtilen gereksinimlere uygun olarak 24±2°C ve %60±5 bağıl nemli laboratuvar koşullarında hazırlanmış, karıştırılmış ve dökülmüştür. İlk olarak, kuru hammaddeler homojen bir karışım elde edilinceye kadar harç mikseriyle düşük hızda (140±5 dk⁻¹) 2 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra, bu karışıma su ve alkali aktivatörler eklenerek yüksek hızda (285±5 dk⁻¹) 1 dakika daha karıştırılmıştır. Taze haldeki harç karışımı 40x40x160 mm prizmatik kalıplara yerleştirilmiş, harç bünyesindeki suyun hızlı bir şekilde buharlaşmaması için polietilen kaplanarak 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonra kalıplar sökülüp ve numuneler, 24±2°C ve %60±5 bağıl nemli ortam koşullarında 28 gün kürlenmiştir. Her bir deney sonucu üç adet numuneden elde edilen sonucun aritmetik ortalaması hesaplanarak belirlenmiştir.

2.4. Uygulanan deneyler

Taze haldeki jeopolimer harç karışımlarının işlenebilirliği TS EN 12350-5 [38]'e uygun olarak gerçekleştirilen yayılma tablası deneyiyle belirlenmiştir. Priz başlangıç ve bitiş süreleri TS EN 196-3 [39] uyarınca Vicat aleti kullanılarak tespit

2.2. Karışım oranları

Jeopolimer harç tasarımı özel bir standart ya da yönetmeliğe sahip değildir. Bundan dolayı, TS EN 196-1 [29] harç karışım oranlarını belirlemede bir kılavuz olarak kullanılmıştır. Malzemeler ağırlık oranlarına göre karıştırılmıştır. Kum:bağlayıcı oranı 3:1, su:bağlayıcı oranı 0.5:1 ve alkali aktivatör:bağlayıcı oranı 0.3:1 olarak sabit tutulmuştur. MKK içeren harç ve betonların strüktürel uygulamalarda kullanılabilmesi için ideal MKK oranının %20 ila %30 arasında olması gerektiği literatürde belirtilmektedir [13, 34-37]. Ancak, amaçlanan malzemenin taşıyıcı malzeme olması kriteri bulunmadığından, MK:MKK oranı 100:0, 70:30, 50:50, 30:70 ve 0:100 olacak şekilde karışımlar hazırlanmıştır. MKK oranının malzeme özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla %100 MK ile üretilen numune kontrol numunesi olarak belirlenmiştir. Hazırlanan bütün karışım oranları Tablo 2'de verilmektedir.

edilmiştir. Sertleşmiş harç numunelerinin birim hacim ağırlığı TS EN 1015-10 [40] ve kütlece su emme oranı TS EN 13755 [41]'e uygun olarak tespit edilmiştir. Özgül ağırlık kurutulmuş numunenin boşluksuz haldeki birim hacminin kütesidir ve TS 699 [42]'a uygun olarak tespit edilmiştir. Porozite, Denklem 1 uyarınca hesaplanmıştır:

$$P = [1 - (\Delta / \rho)] \times 100 \quad (1)$$

" Δ " birim hacim ağırlık ve " ρ " özgül ağırlıktır (g/cm³).

Sertleşmiş harç numunelerinin ultrases hızı (V) TS EN 14579 [43]'e uygun olarak ultrases cihazı kullanılarak Denklem 2 uyarınca tespit edilmiştir:

$$V = (l / t) \quad (2)$$

"l" numunenin uzunluğu (m) ve "t" sesin numunenin uzunluğu boyunca geçtiği süredir (μ s).

Birim hacim ağırlığı ve ultrases hızı belirlenen numunelerin dinamik elastiklik modülü (MoE) Denklem 3 uyarınca hesaplanmıştır:

$$MoE = (10^5 \times V^2 \times \Delta) / g \quad (3)$$

“V” ultrases hızı (km/s) ve “g” yer çekimi ivmesidir (9.81 m/s).

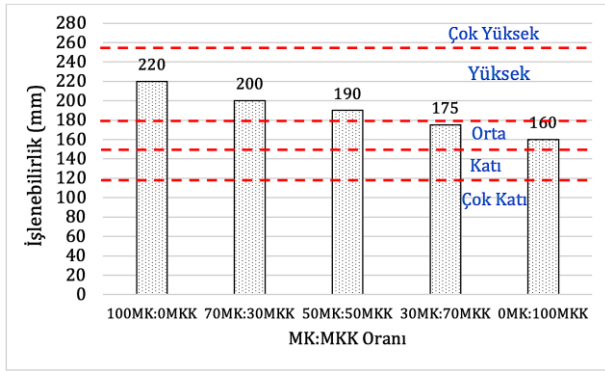
Numunelerin eğilmede çekme ve basınç dayanımı deneyleri TS EN 196-1 [29]’e uygun olarak Universal marka eğilmede çekme ve basınç dayanımı deney cihazları kullanılarak belirlenmiştir. Isı iletkenlik katsayısı ASTM C518-17 [44]’e uygun olarak kararlı durum koşullarında ısı akış ölçer cihazı kullanılarak tespit edilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Taze harcın özellikleri

İşlenebilirlik

Farklı MK:MKK oranlarına sahip taze haldeki jeopolimer harçların işlenebilirlik değerleri Şekil 3’te verilmiştir.



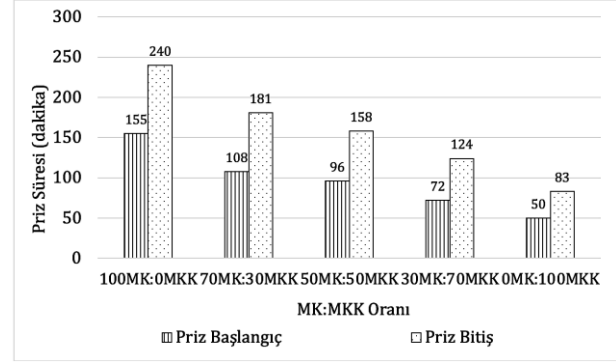
Şekil 3. MK:MKK oranının jeopolimer harçların işlenebilirliği üzerindeki etkisi

En yüksek işlenebilirlik (220 mm) %100 MK içeren (100MK:0MKK) kontrol numunesinde elde edilmiştir. Karışıma MKK eklenmesi ve MKK oranının kademeli olarak artırılması jeopolimer harcın işlenebilirliğini azaltmıştır. Bu azalışın temel nedeni, tarımsal bir hammadde olan MKK’nün su emme eğiliminin yüksek olması ve böylece karışım suyunu emmesidir. Elde edilen bu bulgu, diğer tarımsal kül içeren harçların işlenebilirliğinde tespit edilen azalmayla uyumlu olması bakımından önemlidir [26, 45-46]. Ayrıca, kullanılan hammaddeler arasında en yüksek silis oranına sahip olan MKK (%65.61) karışımın toplam silis oranını arttırmaktadır. Artan bu silis iyonları ile MKK’den gelen yüksek orandaki Ca iyonları (%17.20) arasında, jeopolimerleşmeye ek olarak, Portland çimentosundakine benzer bir reaksiyon gerçekleşmekte ve bunun sonucunda jeopolimer matris içerisinde kalsiyum-silikat-alüminat-hidrat (C-S-A-H) jeli oluşmaktadır. Bu reaksiyon daha ileriki bölümlerde açıklanmaktadır. C-S-A-H jeli oluşumu su tüketen bir reaksiyon olduğundan, karışım suyu daha fazla azalmakta ve işlenebilirliği düşmektedir. Ghosh ve diğ. tarafından yapılan işlenebilirlik sınıflandırmasına göre [47], 100MK:0MKK, 70MK:30MKK, 50MK:50MKK numunelerinin işlenebilirlik değerleri (sırasıyla 220, 200 ve 190 mm)

“yüksek işlenebilirlik” aralığında yer almaktadır. 30MK:70MKK ve 0MK:100MKK numunelerin işlenebilirlik değeri (sırasıyla 175 ve 160 mm) ise “orta işlenebilirlik” aralığındadır. Daha yüksek işlenebilirliğin amaçlandığı koşullarda MKK, harç karışımına eklemenden önce suya doygun hale getirilerek kullanılabilir.

Priz süresi

Farklı MK:MKK oranlarına sahip taze haldeki jeopolimer harçların priz başlangıç ve bitiş süreleri Şekil 4’te verilmiştir.



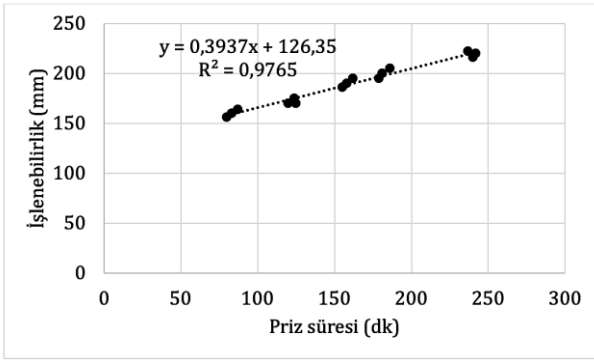
Şekil 4. MK:MKK oranının jeopolimer harçların priz başlangıç ve bitiş süreleri üzerindeki etkisi

Üretilen jeopolimer harçların priz başlangıcı 50-155 dakika ve priz bitişi 83-240 dakika arasında değişmektedir. En geç priz başlangıcı ve en uzun priz süresi %100 MK içeren (100MK:0MKK) numunede tespit edilmiştir. Jeopolimer harca MKK eklenmesiyle priz başlangıcı ve toplam priz süresi kademeli olarak kısalmıştır. Alüminosilikat kaynağının kimyasal bileşiminin harcın priz süresini değiştirdiği [48] ve özellikle yüksek SiO₂/Al₂O₃ oranına ve CaO içeriğine sahip malzemelerin prizi hızlandırdığı yönündeki bulgular literatürde mevcuttur [49]. Bu bağlamda, priz süresinin en kısa 0MK:100MKK numunesinde olması MKK’nün SiO₂/Al₂O₃ oranının (7.35) ve CaO (%17.20) miktarının MK’e nazaran (sırasıyla SiO₂/Al₂O₃=1.35 ve CaO=%0.16) çok daha yüksek olmasından kaynaklanabilmektedir.

Jeopolimer bir harcın daha uzun priz süresi harcın yüksek akışkanlıkta, yani işlenebilirlikte, olmasıyla yakından ilişkilidir [50-52]. Şekil 5, üretilen jeopolimer harçların işlenebilirlik ve priz bitiş süresi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu çalışmada üretilen jeopolimer harçların işlenebilirliği ve priz bitiş süresi arasındaki bağıntı Denklem 4’te verilmiştir:

$$\hat{I} = 0.3937 x (Ps) + 126.35 \quad (2)$$

“İ” işlenebilirliği ve “Ps” priz bitiş süresini sembolize etmektedir. Bu bağıntıdaki R² değerinin %97 olması, harcın işlenebilirlik ve priz süresi arasında yüksek bir korelasyon olduğunu doğrulamaktadır.

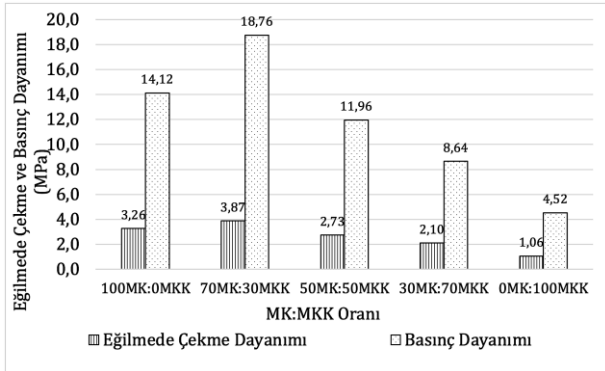


Şekil 5. MKK içeren jeopolimer harçların işlenebilirlik ve priz bitiş süresi ilişkisi

3.2. Sertleşmiş harcın özellikleri

Eğilmede çekme ve basınç dayanımı

Farklı MK:MKK oranlarına sahip sertleşmiş haldeki jeopolimer harçların eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri Şekil 6'da verilmiştir.



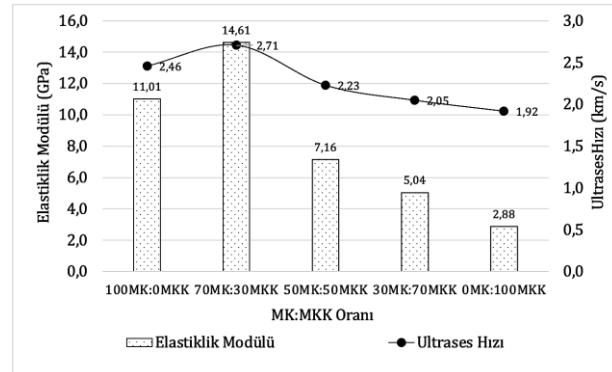
Şekil 6. MK:MKK oranının jeopolimer harçların eğilmede çekme ve basınç dayanımı üzerindeki etkisi

%100 MK içeren (100MK:0MKK) kontrol numunesinin eğilmede çekme ve basınç dayanımları sırasıyla 3.26 ve 14.12 MPa'dır. Karışıma %30'a kadar MKK eklenmesi (70MK:30MKK) dayanım özelliklerini artırırken, %50 ve daha fazla MKK oranı (50MK:50MKK, 30MK:70MKK ve 0MK:100MKK) özellikleri olumsuz yönde etkilemiştir. Özelliklerde tespit edilen bu değişimin temel nedeni alüminosilikat kaynağındaki CaO içeriğinin değişmesidir. Kalsiyum içeriğine göre jeopolimerler iki kategoriye ayrılmaktadır: (i) düşük kalsiyumlu bağlayıcılar, (ii) yüksek kalsiyumlu bağlayıcılar. Düşük kalsiyum içeren bağlayıcıların reaksiyon ürünü üç boyutlu inorganik alkali polimer ya da alkali alüminosilikat hidrat olarak adlandırılan N-A-S-H jelidir ve zeolit öncüsü olarak kabul edilmektedir. Yüksek kalsiyum içeren bağlayıcıların reaksiyon ürünü, Portland çimentosunun reaksiyon ürününe benzer olarak, bileşiminde alüminyum içeren kalsiyum silikat hidrat (C-A-S-H) jelidir. Ancak, bunların dışında, günümüzde üçüncü bir aktivasyon modeli tanımlanmaktadır. "Hibrit alkali bağlayıcı" olarak adlandırılan bu bağlayıcıda SiO₂, Al₂O₃ ve CaO bileşenleri bir arada bulunmakta ve temel reaksiyon ürünü N-A-S-H ve C-A-S-H jelinden oluşmaktadır [53]. Bu çalışmada,

reaksiyon ortamındaki SiO₂ ve Al₂O₃ MK ve MKK'den, CaO ise %17.20 oranıyla yalnızca MKK'den sağlanmaktadır (Tablo 1). Yani, reaksiyonlar sırasında bir yandan puzolanik hammaddelerden gelen SiO₂ ve Al₂O₃ ile alkali aktivatörler arasında N-A-S-H jeli oluşurken, diğer yandan ortamdaki yüksek CaO oranının sayesinde C-A-S-H jeli üretilmektedir. Her iki jelin jeopolimer yapıda eşzamanlı oluşumu malzeme bünyesinde bulunan boşlukların dolmasını, yani malzeme porozitesinin azalmasını sağlamıştır. Daha dolu bir bünyeye ulaşan malzeme, mekanik etkiler altında daha yüksek performans sergilemektedir. Bundan dolayı, ideal MK:MKK oranında (30MK:70MKK) mekanik özellikler en yüksektir. Ayrıca MKK'nün daha küçük tanecik boyutu, harç içerisindeki boşlukların daha fazla dolmasını sağlayarak yüksek mekanik özelliklerin elde edilmesine katkı sağlayabilmektedir. Ancak, %50'den daha fazla MKK oranı eğilmede çekme ve basınç dayanımlarında kademeli bir azalmaya yol açmıştır. Özellikle, en düşük mekanik özelliklerin (1.06 MPa eğilmede çekme dayanımı ve 4.52 MPa basınç dayanımı) %100 MKK içeren numunede tespit edilmesi, MKK'nün toplam SiO₂ ve Al₂O₃ oranının (%74.5) MK'ine nazaran (%96.5) daha düşük olması nedeniyle, ortamda MK yokken, reaksiyon için gerekli olan toplam SiO₂ ve Al₂O₃ oranının yeterli olmamasından kaynaklanabilmektedir.

Ultrases hızı ve elastiklik modülü

Farklı MK:MKK oranlarına sahip sertleşmiş haldeki jeopolimer harçların ultrases hızı ve elastiklik modülü değerleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. MK:MKK oranının jeopolimer harçların ultrases hızı ve elastiklik modülü üzerindeki etkisi

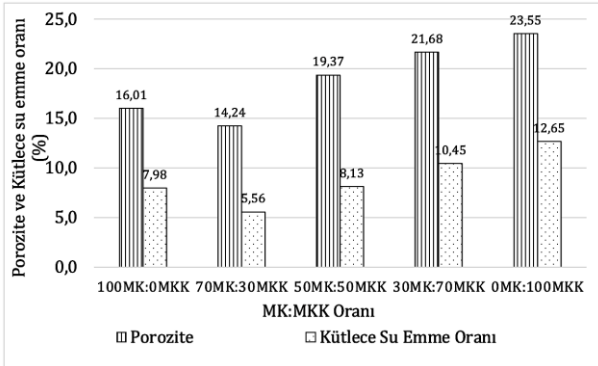
Jeopolimer harç numunelerinin ultrases hızı 1.92-2.71 km/s aralığında değişmektedir. %100 MK içeren (100MK:0MKK) kontrol numunesinin ultrases hızı 2.46 km/s'tir. En yüksek ultrases hızının (2.71 km/s) 70MK:30MKK numunesinde tespit edilmesi mekanik özelliklerde elde edilen sonuçla örtüşmektedir. Alüminosilikat hammaddelerin ideal oranda karıştırılması sonucunda harç içerisindeki boşluklar hem jeopolimerik jel hem de kalsiyum silikat hidrat jeli tarafından doldurulmaktadır. Böylece matris içerisinde ultrasesin geçişine engel teşkil ederek ses geçiş hızını azaltan boşluk, oyuk ya da çatlak oluşumu

engellenmektedir. Ayrıca MKK'nün inceliğinin (özgül yüzey alanı) yüksek olması, malzeme içerisindeki boşlukların daha iyi dolmasını sağlayarak ultrases geçişini kolaylaştırıcı bir faktör haline gelmektedir. Bu bulgular, porozite ve su emme deney sonuçlarıyla da örtüşmektedir.

%100 MK içeren kontrol numunesinin elastiklik modülü 11.01 GPa'dır. En yüksek elastiklik modülü (14.61 GPa) 70MK:30MKK numunesinde tespit edildiğinden bu numunenin yük altında deformasyona karşı en yüksek mertebede direnç gösterdiği, yani daha rijit olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, %50'den daha fazla MKK oranı (50MK:50MKK, 30MK:70MKK, 0MK:100MKK) bu özelliği kademeli olarak azaltmıştır. Çünkü, daha yüksek MKK oranlarında daha boşluklu bir yapı ortaya çıkmakta ve harcın yoğunluğu azalmaktadır. Üretilen jeopolimer harçların elastiklik modülündeki değişim trendinin mekanik özelliklerdeki değişim trendine paralel olması, jeopolimerlerin elastiklik modülünün jeopolimerik mikro yapıya bağlı olduğu [54] bilgisıyla örtüşmesi bakımından önemlidir.

Porozite, birim hacim ağırlık ve kütlece su emme oranı

Farklı MK:MKK oranlarına sahip sertleşmiş haldeki jeopolimer harçların porozite ve kütlece su emme oranları Şekil 8'de ve birim hacim ağırlıkları Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 8. MK:MKK oranının jeopolimer harçların porozite ve kütlece su emme oranı üzerindeki etkisi

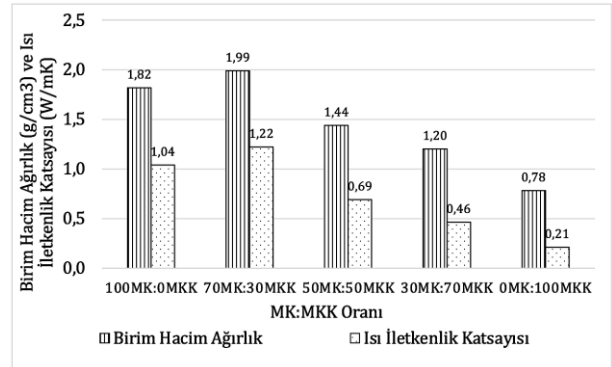
%100 MK içeren (100MK:0MKK) kontrol numunesinin porozite, birim hacim ağırlık ve su emme oranı sırasıyla %16,01, 1,82 g/cm³ ve %7,98'dir. Karışıma %30 MKK eklenmesi (70MK:30MKK) sonucunda porozite ve su emme oranında tespit edilen %11 ve %30 azalış ve birim hacim ağırlıkta tespit edilen %9 artış jeopolimerleşme reaksiyonları sırasında reaksiyon ürünlerinin üç boyutlu inorganik bir ağ yapısı oluşturması ve harç içerisindeki boşlukları en iyi şekilde doldurmasıyla açıklanabilmektedir. Diğer yandan, %50'den daha fazla MKK oranına sahip numunelerin (50MK:50MKK, 30MK:70MKK, 0MK:100MKK) daha düşük yoğunluklu, daha fazla boşluklu ve daha fazla su emme eğiliminde olması nedeniyle söz konusu fiziksel özellikler olumsuz

yönde etkilenmiştir. Ayrıca MKK'nün özgül ağırlığının (2.14 g/cm³) MK'kine nazaran (2.54 g/cm³) daha düşük olması, yüksek oranda MKK içeren numunelerin daha düşük yoğunlukta olmasının bir diğer etkenidir. Bu bulgu, MKK katkılı jeopolimer beton [26] ve hafif beton [55] üretimi amacıyla gerçekleştirilen araştırmalarda da tespit edilmiştir.

Isı iletkenlik katsayısı

Isı enerjisinin sıcaklıkları farklı bir ortamdan diğer bir ortama geçişi iletim, taşınım ve ışınım olmak üzere üç şekilde gerçekleşmektedir [56]. İletimde enerji, katı cismi oluşturan moleküllerin titreşimiyle bir molekülden diğerine aktararak yayılır ve malzemelerde başlıca ısıl transfer türüdür. Diğer yandan, ısının sıvı ve gaz gibi akışkanlardaki geçiş yöntemi olan taşınım, moleküller hareket ederek enerjiyi taşımaktadır. Ancak, 4 mm'den daha küçük boşluk boyutuna sahip malzemelerde taşınımın etkisi ihmal edilebilecek düzeydedir [57, 58]. Malzemelerin yüzey özelliklerine ve sıcaklıklarına bağlı olarak yüzeylerinden elektromanyetik dalga olarak yaydıkları enerji ise ışınımdır ve herhangi bir taşıyıcı ortama gerek olmadan yayılabilmektedir. Ancak, 600°C'den daha düşük sıcaklıklarda ışınımın etkisi de ihmal edilebilecek düzeydedir [59]. Bundan dolayı, bu araştırmada "ışının iletimle yayılması" temel ısıl transfer türü olarak göz önüne alınmış ve jeopolimer harç numunelerinin ısıl performansı "ısı iletkenlik katsayısının" hesaplanmasıyla belirlenmiştir.

Farklı MK:MKK oranlarına sahip sertleşmiş haldeki jeopolimer harçların birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. MK:MKK oranının jeopolimer harçların birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik katsayısı üzerindeki etkisi

En yüksek ısı iletkenlik katsayısı (1.22 W/mK) en yüksek doluluk oranına sahip 30MK:70MKK numunesinde elde edilmiştir. Diğer yandan, durgun havanın ısıl iletkenliği çevresindeki dolu jeopolimer matrisinkinden daha düşük olduğundan, en yüksek poroziteye, yani ısı yalıtımı işlevi görebilecek en fazla boşluğa sahip 0MK:100MKK numunesinin ısı iletkenlik katsayısı en düşüktür (0.21 W/mK). Üretilen jeopolimer harçların ısı iletkenlik katsayılarının birim hacim ağırlıktaki değişime paralel yönde değiştiği tespit edilmiştir. Isıl performans kriterlerinin önemli

olduğu bir jeopolimer harç üretmek için karışımdaki MKK oranı maksimum olarak seçilmelidir. Ancak, bu durumda, geliştirilen malzemenin mekanik özelliklerindeki muhtemel azalmalar göz ardı edilmemelidir.

Farklı MK:MKK oranlarına sahip sertleşmiş haldeki jeopolimer harçların birim hacim ağırlık, ısı iletkenlik katsayısı ve basınç dayanımı değerleri yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan harç ve sıvaların özellikleriyle karşılaştırılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Jeopolimer harçların birim hacim ağırlık, ısı iletkenlik katsayısı ve basınç dayanımlarının yapı sektöründe kullanılan harç ve sıvaların özellikleriyle karşılaştırılması

Malzeme	Birim hacim ağırlık (g/cm ³) [60]	Isı iletkenlik katsayısı (W/mK) [60]	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa) [61]
Kireç harcı ve sıva	1.80	1.00	0.5-1 [61]
Takviyeli (kireç+ çimento) harç ve sıva	1.80	1.00	3.3-8.4
Hidrolik kireç harcı	1.80-2.00	1.00-1.60	5-15 [61]
Horasan Harcı	1.80	1.00	2-10 [61]
Çimento harcı	2.00	1.60	27.6 [62]
Alçı ve kireçli alçı harcı	1.40	0.70	1.14 [61]
Hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	0.80-1.00	0.30-0.38	>2.00
Genleştirilmiş perlit agregasıyla yapılan harç ve sıvalar	0.40-0.80	0.14-0.29	>2.00
Isı yalıtım sıvaları	>0.20	0.07-0.10	-
Jeopolimer Harç Numuneleri			
100MK:0MKK	1.82	1.04	14.12
30MK:70MKK	1.99	1.22	18.76
50MK:50MKK	1.44	0.69	11.96
70MK:30MKK	1.20	0.46	8.64
0MK:100MKK	0.78	0.21	4.52

Tablo 3'e göre, MKK içermeyen kontrol numunesinin (100MK:0MKK) birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik katsayısı kireç harcı ve sıvası, takviyeli harç ve sıva, hidrolik kireç harcı ve horasan harcı için gereken standart gereksinimi aralığında yer almaktadır. Aynı numunenin basınç dayanımı ise hava kireci (hidrolik olmayan) esaslı harçlara nazaran daha yüksektir ve hidrolik kireç harçları için belirtilen aralıktadır. En yüksek birim hacim ağırlığa ve ısı iletkenlik katsayısına sahip 30MK:70MKK numunesinin yoğunluğu çimento harcına uygun olmasına rağmen, ısı iletkenlik katsayısı (1.22 W/mK) çimento harcından (1.60 W/mK) daha düşük olduğundan çimentoya nazaran daha yüksek ısıl performans sergilemektedir. Ancak, söz konusu harcın basınç dayanımı (18.76 MPa) çimento harcına nazaran daha düşük, kireç esaslı harçlara nazaran daha yüksektir. 50MK:50MKK numunesinin yoğunluğu ve ısı iletkenlik katsayısı alçı harcı ve kireçli alçı harcının gereksinimlerini karşılamasına rağmen, basınç dayanımı (11.96 MPa) söz konusu harçlara nazaran daha yüksektir. Yalnızca MKK içeren, en düşük birim

hacim ağırlık ve ısı iletkenlik katsayısına sahip 0MK:100MKK numunesinin özellikleri ise genleştirilmiş perlit agregasıyla yapılan harç ve sıvaların bütün gereksinimlerini karşılamaktadır. Buradan, jeopolimer harçların MK:MKK oranının düzenlenmesiyle yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan harç ve sıvaların gereksinimlerini karşılayan alternatif malzeme üretilebileceği çıkarılabilmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Deneyel yöntemle yürütülen bu çalışmadan elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

- Yapay bir puzolan olarak metakaolin, tarımsal bir atık olan mısır koçanı külü ile karıştırıldığında, jeopolimer harç üretimi için elverişli bir alüminosilikat kaynağı haline gelmektedir.
- Taze ve sertleşmiş haldeki jeopolimer harcın fiziksel, mekanik ve ısıl özellikleri üzerinde metakaolin:mısır koçanı külü oranının (MK:MKK) etkisi önemli bir parametredir.
- Taze haldeki jeopolimer harcın işlenebilirliği MKK oranının artmasıyla azalmaktadır. Bunun nedeni, MKK'nün su emme eğiliminin yüksek olmasıdır. Ayrıca harcın priz süresi ile işlenebilirliği arasında yüksek korelasyonlu bir doğru orantı vardır.
- Sertleşmiş haldeki jeopolimer harçta, en düşük porozite, su emme oranı ve en yüksek birim hacim ağırlık, ultrases hızı, elastiklik modülü, eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri ağırlıkça %70 metakaolin ve %30 mısır koçanı külü içeren karışımda elde edilmektedir. Daha yüksek özelliklerin sağlanmasının ana etkeni, mısır koçanı külünün yüksek kalsiyum içeriğine sahip olması nedeniyle C-A-S-H jelinin ve jeopolimerleşme reaksiyonlarıyla oluşan N-A-S-H jelinin matris içerisinde bir arada bulunmasıdır. Böylece, harç içerisindeki boşluklar daha yüksek oranda reaksiyon ürünleriyle dolmaktadır.
- Değişen MK:MKK oranı jeopolimer harcın ısıl performansını etkilemektedir. Daha fazla MKK içeren harcın ısı iletkenlik katsayısı, daha boşluklu ve daha az yoğun bir yapıya sahip gelişmesine bağlı olarak azalmaktadır. Bu durumda, ısıl performans kriterlerinin önemli olduğu uygulamalarda MKK maksimum oranda kullanılabilir. Bu durumda, ısıl performans kriterlerinin önemli olduğu uygulamalarda MKK maksimum oranda kullanılabilir.
- MK:MKK oranının değiştirilmesiyle elde edilen ve çeşitli birim hacim ağırlık, ısı iletkenlik katsayısı ve basınç dayanımına sahip jeopolimer harçlar, yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan harç ve sıvaların gereksinimlerini karşıladığından, söz konusu malzemelere alternatif olarak üretilip kullanılma potansiyeline sahiptir.

Teşekkür

Çalışmanın yazarı alkali aktivatörlerin temininde destek olan Balmumcu Kimya A.Ş. ve standart kumun temininde destek olan Limak Çimento A.Ş.'ye teşekkürlerini sunmaktadır.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederim.

Kaynakça

- [1] Bai, X., Dawson, R. J., Üрге-Vorsatz, D., Delgado, G. C., Barau, A. S., Dhakal, S. 2018. Six Research Priorities for Cities and Climate Change. *Nature*, 555(7694), 23-25.
- [2] Malhotra, V. M. 2002. Introduction: Sustainable Development and Concrete Technology. *Concrete International*, 24(7), 22.
- [3] Sperling, F., Granoff, I., Northrop, E., Olhoff, A., Gale, A. S. 2016. Bridging The Gap - The Sustainable Development Goals and Climate Change Mitigation. ss 40-47. In *The Emissions Gap Report 2016: A Unep Synthesis Report*, UNEP DTU Partnership.
- [4] Sustainable Development Goals. 2015. *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*, Report of the United Nations Statistics Division. <https://unstats.un.org/sdgs> (Erişim Tarihi: 21.08.2023).
- [5] Sustainable Development Goals. 2017. *The Sustainable Development Goals Report of the United Nations Statistics Division*, United Nations Publication issued by the Department of Economic and Social Affairs (DESA). <https://unstats.un.org/sdgs> (Erişim Tarihi: 22.08.2023).
- [6] Xie, T., Visintin, P. 2018. A Unified Approach for Mix Design of Concrete Containing Supplementary Cementitious Materials Based on Reactivity Moduli. *Journal of Cleaner Production*, 203, 68-82.
- [7] Palomo, A., Grutzeck, M. W., Blanco, M. T. 1999. Alkali-Activated Fly Ashes: A Cement for the Future. *Cement and Concrete Research*, 29(8), 93-102.
- [8] Dave, N., Misra, A. K., Srivastava, A., Sharma, A. K., Kaushik, S. K. 2017. Study on Quaternary Concrete Microstructure, Strength, Durability Considering the Influence of Multi-factors. *Construction and Building Materials*, 139, 447-457.
- [9] Davidovits, J. 2013. Geopolymer Cement: A Review. <http://www.geopolymer.org/library/technical-papers/21-geopolymer-cement-review>. (Erişim Tarihi: 24.05.2023).
- [10] Tsai, W. T., Chang, C. Y., Wang, S. Y., Chang, C. F., Chien, S. F., Sun, H. F. 2001. Cleaner Production of Carbon Adsorbents by Utilizing Agricultural Waste Corn Cob. *Resources, Conservation and Recycling*, 32(1), 43-53.
- [11] Alaneme, G. U., Olonade, K. A., Esenogho, E. 2023. Eco-friendly Agro-waste Based Geopolymer-Concrete: A Systematic Review. *Discover Materials*, 3(14).
- [12] Raheem, A., Oyebisi, S. O., Akintayo, S. O., Oyeniran, M. O. 2010. Effects of Admixture on the Properties of Corncob Ash Cement Concrete. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 16, 13-20.
- [13] Kamau, J., Ahmed, A., Hirst, P., Kangwa, J. 2016. Suitability of Corncob Ash as a Supplementary Cementitious Material. *International Journal of Material Science and Engineering*, 4(4), 215-228.
- [14] Adesanya, D. A., Raheem, A. A. 2009. A Study of the Workability and Compressive Strength Characteristics of Corn Cob Ash Blended Portland Cement Concrete. *Construction and Building Materials*, 23(1), 311-317.
- [15] Shakouri, M., Exstrom, C. L., Ramanathan, S., Suraneni, P. 2020. Hydration, Strength, and Durability of Cementitious Materials Incorporating Untreated Corn Cob Ash. *Construction and Building Materials*, 243, 118171.
- [16] Raheem, A. A., Adesanya, D. A. 2011. A Study of Thermal Conductivity of Corn Cob Ash Blended Cement Mortar. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 12(2), 106-111.
- [17] Oyebisi, S., Ede, A., Ofuyatan, O., Oluwafemi, J., Akinwumi, I. 2018. Comparative Study of Corncob Ash-Based Lateritic Interlocking and Sandcrete Hollow Blocks. *International Journal of GEOMATE*, 15(51), 209-216.
- [18] Oyebisi, S., Ede, A., Olutoge, F., Ofuyatan, O., Alayande, T. 2019. Building a Sustainable World: Economy Index of Geopolymer Concrete. 10th International Structural Engineering and Construction Conference (ISEC-10), 20-25 Mayıs, Chicago, 1-6.
- [19] Oyebisi, S., Ede, A., Ofuyatan, O., Alayande, T., Mark, G., Jolayemi, J., Ayegbo, S. 2018. Effects of 12 Molar Concentration of Sodium Hydroxide on the Compressive Strength of Geopolymer Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 413, 012066.

- [20] Oyebisi, S., Ede, A., Olutoge, F., Igba, T., Ramonu, J. 2019. Rheology of Slag-Based Geopolymer Concrete Using Corncob Ash as A Pozzolanic Material. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 640(1), 012057.
- [21] Oyebisi, S., Ede, A., Olutoge, F., Omole, D. 2020a. Geopolymer Concrete Incorporating Agro-industrial Wastes: Effects on Mechanical Properties, Microstructural Behaviour and Mineralogical Phases. Construction and Building Materials, 256, 119390.
- [22] Oyebisi, S., Ede, A., Olutoge, F., Ogbiye, S. 2020b. Evaluation of Reactivity Indexes and Durability Properties of Slag-Based Geopolymer Concrete Incorporating Corn Cob Ash. Construction and Building Materials, 258, 119604.
- [23] Oyebisi, S., Owamah, H., Ede, A. 2021. Flexural Optimization of Slag-based Geopolymer Concrete Beams Modified with Corn Cob Ash. Scientia Iranica, 28(5), 2582-2595.
- [24] Oyebisi, S., Ede, A., Olutoge, F., Owamah, H., Igba, T. 2022. Slag-based Geopolymer Concrete Incorporating Ash: Effects on Thermal Performance. Australian Journal of Civil Engineering, 20(1), 208-221.
- [25] Murthi, P., Poongodi, K., Saravanan, R., Rajesh Chary, K., Gobinath, R. 2020. Effect of the Ratio Between Na₂SiO₃ and NaOH Solutions and Curing Temperature on the Early Age Properties of Geopolymer Mortar. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 981(3), 032060.
- [26] Saloni, Parveen, Pham, T. M., Lim, Y. Y., Pradhan, S. S., Jatin, Kumar, J. 2021. Performance of Rice Husk Ash-Based Sustainable Geopolymer Concrete with Ultra-Fine Slag and Corn Cob Ash. Construction and Building Materials, 279, 122526.
- [27] Arif, R., Iqtidar, A., Khattak, S. U. 2023. Utilizing Corn Cob Ash and Bauxite as One-Part Geopolymer: A Sustainable Approach for Construction Materials. Engineering Proceedings, 44(1), 18.
- [28] TS EN 196-6, 2020. Çimento Deney Yöntemleri – Bölüm 6: İncelik Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [29] TS EN 196-1, 2016. Çimento Deney Metotları– Bölüm 1: Dayanım Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [30] TS 25, 2008. Doğal Puzolan (Tras)-Çimento ve Betonda Kullanılan-Tarifler, Gerekler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [31] BS 8615, 2019. Specification for Pozzolanic Materials for Use with Portland Cement High Reactivity Natural Calcined Pozzolana. British Standards Institute, London.
- [32] ASTM C618, 2022. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. ASTM International, Washington, D.C.
- [33] Nath, P., Sarker, P. K. 2014. Effect of GGBFS on Setting, Workability and Early Strength Properties of Fly Ash Geopolymer Concrete Cured in Ambient Condition. Construction and Building Materials, 66, 163-171.
- [34] Oyebisi, S., Ede, A., Olutoge, F., Ofuyatan, O., Oluwafemi, J. 2018. Influence of Alkali Concentrations on the Mechanical Properties of Geopolymer Concrete. International Journal of Civil Engineering and Technology, 9(8), 734-743.
- [35] Abdul-Manan, D. 2016. Exploring the Potential of Alternative Pozzolana Cement for the Northern Savannah Ecological Zone in Ghana. American Journal of Civil Engineering, 4(30), 74-79.
- [36] Olofintuyi, I., Oluborode, K. 2015. Strength Evaluation of Corn Cob Ash in a Blended Portland Cement. International Journal of Web Engineering and Technology, 9001(12), 2277-3754.
- [37] Price, A. A., Yeargin, R., Fini, E. H., Abu-Lebdeh, T. 2014. Investigating Effects of the Introduction of Corncob Ash into Portland Cements Concrete: Mechanical and Thermal Properties. American Journal of Engineering and Applied Sciences, 7, 137-148.
- [38] TS EN 12350-5, 2019. Taze Beton Deneyleri – Bölüm 5: Yayılma Tablası Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [39] TS EN 196-3, 2017. Çimento Deney Yöntemleri – Bölüm 3: Priz Süreleri ve Genleşme Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [40] TS EN 1015-10, 2001. Kagir Harcı-Deney Metotları – Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlelerinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [41] TS EN 13755, 2014. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri – Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [42] TS 699, 2009. Doğal Yapı Taşları- İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [43] TS EN 14579, 2015. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri – Ses Hızı İlerlemesinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [44] ASTM C518-17, 2021. Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus. ASTM International, Washington, D.C.

- [45] Afriansya, R., Astuti, P., Ratnadewati, V. S., Randisyah, J., Ramadhona, T. Y., Anisa, E. A. 2021. Investigation of Setting Time and Flowability of Geopolymer Mortar Using Local Industry and Agriculture Waste as Precursor in Indonesia. *International Journal of GEOMATE*, 21(87), 64-69.
- [46] Saleh, F., Prayuda, H., Monika, F., Pratama, M. M. A. 2019. Characteristics Comparison on Mechanical Properties of Mortars using Agriculture Waste as a Cement Replacement Materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 650(1), 012039.
- [47] Ghosh, K., Ghosh, P. 2012. Effect of Na₂O/Al₂O₃, SiO₂/Al₂O₃ and W/B Ratio on Setting Time and Workability of Fly Ash Based Geopolymer. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(4), 2142-2147.
- [48] Wijaya, S. W., Hardjito, D. 2016. Factors Affecting the Setting Time of Fly Ash-Based Geopolymer. *Materials Science Forum*, 841, 90-97.
- [49] Chen, X., Sutrisno, A., Struble, L. J. 2018. Effects of Calcium on Setting Mechanism of Metakaolin-Based Geopolymer. *Journal of the American Ceramic Society*, 101(2), 957-968.
- [50] Senff, L., Barbetta, P. A., Repette, W. L., Hotza, D., Paiva, H., Ferreira, V. M., Labrincha, J. A. 2009. Mortar Composition Defined According to Rheometer and Flow Table Tests Using Factorial Designed Experiments. *Construction and Building Materials*, 23(10), 3107-3111.
- [51] Al-Majidi, M. H., Lampropoulos, A., Cundy, A., Meikle, S. 2016. Development of Geopolymer Mortar under Ambient Temperature for In Situ Applications. *Construction and Building Materials*, 120, 198-211.
- [52] Huseien, G. F., Ismail, M., Khalid, N. H. A., Hussin, M. W., Mirza, J. 2018. Compressive Strength and Microstructure of Assorted Wastes Incorporated Geopolymer Mortars: Effect of Solution Molarity. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 3375-3386.
- [53] Garcia-Lodeiro, I., Palomo, A., Fernández-Jiménez, A. 2015. An Overview of the Chemistry of Alkali-Activated Cement-Based Binders. ss 19-47. Pacheco-Torgal, F., Labrincha, J. A., Leonelli, C., Palomo, A., Chindapasirt, P., ed. 2015. *Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes*, Woodhead Publishing, UK, 26.
- [54] Luhar, S., Chaudhary, S., Luhar, I. 2019. Development of Rubberized Geopolymer Concrete: Strength and Durability Studies. *Construction and Building Materials*, 204, 740-753.
- [55] Pinto, J., Vieira, B., Pereira, H., Jacinto, C., Vilela, P., Paiva, A., Pereira, S., Cunha, V. M. C. F., Varum, H. 2012. Corn Cob Lightweight Concrete for Non-Structural Applications. *Construction and Building Materials*, 34, 346-351.
- [56] Prud'homme, E., Joussein, E., Rossignol, S. 2015. Alkali-Activated Concrete Binders as Inorganic Thermal Insulator Materials. ss 687-728. Pacheco-Torgal, F., Labrincha, J. A., Leonelli, C., Palomo, A., Chindapasirt, P., ed. 2015. *Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes*, Woodhead Publishing, UK, 26.
- [57] Schulle, W., Schlegel, E. 1991. Fundamentals and Properties of Refractory Thermal Insulating Materials. *Interceramics*, 40(7), 1-12.
- [58] Wei, S., Yiqiang, C., Yunsheng, Z., Jones, M. R. 2013. Characterization and Simulation of Microstructure and Thermal Properties of Foamed Concrete. *Construction and Building Materials*, 47, 1278-1291.
- [59] Incropera, F. P., DeWitt, D. P. 2002. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons, New York.
- [60] TS 825, 2013. *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [61] Ersen, A., Gürdal, E., Güleç, A. 2011. Geleneksel Harçlar ve Koruma Harçları, Bağlayıcı Olarak Kullanılacak Kireç ve Hidrolik Kireçli, Puzzolanlı, Tuğla Tozlu ve Tuğla Kırıkları Harçlardaki Malzeme Oranlarının Belirlenmesi Çalışması Raporu. <http://dergipark.org.tr/tr/download/issue-file/23374>. (Erişim Tarihi: 21.01.2023).
- [62] ASTM C150, 2012. *Standard Specification for Portland Cement*. ASTM International, Washington, D.C.

Elastic, Electronic, Dynamic and Thermodynamic Properties of YbPdH₃

Selgin AL ¹ 

¹İzmir Democracy University, Vocational School, 35140, İzmir, Turkey

(Alınış / Received: 01.12.2023, Kabul / Accepted: 16.02.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 27.04.2024)

Keywords

first principles calculation,
hardness, elastic properties,
machinability, anisotropy.

Abstract: A comprehensive computational investigation has been carried out for YbPdH₃ via first principles calculations for the first time. Structural, electronic and thermodynamic properties are obtained. The obtained lattice constant of YbPdH₃ is in a good agreement with the existing literature. Subsequently, the elastic constants are obtained and used to compute several parameters such as anisotropy, hardness, Cauchy pressure, shear and Young modulus, machinability index and Poisson's ratio. According to Born stability criteria, YbPdH₃ is mechanically stable material. Cauchy pressure and Poisson's ratio indicates ductile nature. The anisotropy factor indicates anisotropic nature almost in every direction for Young modulus, shear modulus, linear compressibility and Poisson's ratio. The machinability index (B/C₄₄) is found to be 2.88 whereas Vickers hardness of YbPdH₃ is computed via Chen's model as 2.965. The electronic band structure of YbPdH₃ demonstrates metallic characteristics since there is no band gap between valence and conduction band. The thermodynamic properties such as Debye temperature, Debye vibrational energy, vibrational free energy, entropy, heat capacity and melting temperature of YbPdH₃ are also obtained. The heat capacity seems to reach its Dulong-Petit limit at about 300 K.

YbPdH₃'ün Elastik, Elektronik, Dinamik ve Termodinamik Özellikleri

Anahtar Kelimeler

İlk prensip hesaplamaları,
sertlik, elastik özellikler,
işlenebilirlik, anizotropi.

Öz: YbPdH₃ için ilk kez ilk prensip hesaplamaları yoluyla kapsamlı bir hesaplamalı araştırma yapıldı. Yapısal, elektronik ve termodinamik özellikler elde edildi. YbPdH₃'ün elde edilen örgü sabiti mevcut literatürle iyi bir uyum içindedir. Daha sonra elastik sabitler elde edildi ve anizotropi, sertlik, Cauchy basıncı, kayma ve Young modülü, işlenebilirlik indeksi ve Poisson oranı gibi çeşitli parametreleri hesaplamak için kullanıldı. Born stabilite kriterlerine göre YbPdH₃ mekanik olarak stabil bir malzemedir. Cauchy basıncı ve Poisson oranı sünek yapıyı gösterir. Anizotropi faktörü Young modülü, kayma modülü, doğrusal sıkıştırılabilirlik ve Poisson oranı için neredeyse her yönde anizotropik doğayı göstermiştir. İşlenebilirlik indeksi (B/C₄₄) 2.88 olarak bulunurken YbPdH₃'ün Vickers sertliği Chen modeliyle 2.965 olarak hesaplandı. YbPdH₃'ün elektronik bant yapısı, değerlik ve iletim bandı arasında bant aralığı olmadığından metalik özellikler göstermektedir. YbPdH₃'ün Debye sıcaklığı, Debye titreşim enerjisi, titreşim serbest enerjisi, entropi, ısı kapasitesi ve erime sıcaklığı gibi termodinamik özellikleri de elde edilmiştir. Isı kapasitesi yaklaşık 300 K'da Dulong-Petit sınırına ulaşmış gibi görülmüştür.

1. Introduction

To date, several hydrides have been under investigation for several reasons such as superconductivity and hydrogen storage. YbPdH₃ is a perovskite type hydride which contains hydrogen in its structure. It might be a possible candidate for

hydrogen storage. Its application can be carried out both as conducting material or storage material. Hydrogen storage requires a couple of conditions such as cost, safety, high concentration storage capacity, kinetic etc. In general, there are two types of hydrogen storage methods, these are physisorption and chemisorption. While physisorption is based on weak

* Corresponding author: selgin.al@idu.edu.tr

interaction between the host material and hydrogen molecules, chemisorption is based on the chemical reaction of the host material and hydrogen and a new hybrid phase is formed. Recently, hydrogen storage in perovskite hydrides with high gravimetric density has been extensively investigated alongside metal hydrides. There are very few studies exist in literature on YbPdH₃ [1, 2], in which only electronic properties were investigated. In this study, a thorough investigation on YbPdH₃ has been done to reveal its extensive properties.

Hydrogen storage materials and technology are crucial to promoting hydrogen use and fuel cell energy in stationary and portable power sources and transportation. The bottleneck of using hydrogen as an energy carrier is storing hydrogen in an efficient way. A couple of hydrogen storage methods have been proposed and investigated last a few decades such as gaseous form in high pressure, liquid form in low temperature and solid-state storage. High pressure gaseous form is limited to heavy tanks, poor safety and possible leakage. High strength materials should be reinforced for pressure vessels which brings extra costs and limited gravimetric hydrogen density.

Moreover, compressing gases leads to release of heat including hydrogen, therefore a pre-cooling system of hydrogen is required when compressing. Liquid form requires low temperature which leads to addition of cooling system that decreases the efficiency of it. This procedure requires a good thermal insulation of the tank, otherwise the heat transfer between the tank and environment will lead to release of hydrogen (boil-off) from the valves. To sum up, both ways bring extra costs, strict regulations, and safety concerns, especially for mobile applications. Thus, explosion, flammability, toxicity etc. are not desired for hydrogen storage. Compared to these two methods, solid state hydrogen storage provides superior safety and allows to operate at appropriate pressure and temperature. The biggest obstacle to the use of hydrogen as a fuel is the lack of materials with suitable gravimetric density. To overcome this problem, an interactive approach is needed where materials can be synthesized with sufficient storage capacity at higher densities. Hence, it is crucial to carry out a theoretical computation for this capacity. Along with various parameters, gravimetric hydrogen density (GHD) is a significant parameter is computed for hydrides for hydrogen. The GHD of YbPdH₃ is obtained as follows [3]:

$$C_{wt\%} = \left(\frac{(H/M)^{M_H}}{M_{Host} + (H/M)^{M_H}} \times 100 \right) \% \quad (1)$$

In the equation H/M donates for hydrogen to metal ratio, M_H donates for molar mass of hydrogen and M_{Host} donates for molar weight of host material. The GHD value of YbPdH₃ is computed as 1.06 wt.%.

2. Materials and Methods

Quantum Espresso code was utilised to carry out calculations. The plane wave pseudopotential approach was adopted within the Quantum Espresso [4, 5]. The GGA (generalized gradient approximation) by Perdew, Burke, and Ernzerhof (PBE) was used to treat electronic exchange correlation potentials [6]. The cut-off energy for the maximum plane wave was adopted as 60 Ry while the basis cut-off was taken as 600 Ry for the electronic charge density. A 8×8×8 k point grid was used to integrate Brillouin-zone. The smearing parameter is taken as $\sigma = 0.01$ Ry for integration up to Fermi level [7]. Stress-strain approach within thermo-pw program was adopted to compute elastic constants within Quantum Espresso. The thermodynamic properties under constant volume were obtained by using the Gibbs2 code with semi-harmonic approximation (QHA). The thermodynamic properties were obtained using the energy-strain method applied in the thermo-pw code.

3. Results

3.1 Physical Properties

YbPdH₃ crystalizes in cubic structure with the space group $Pm\bar{3}m$ (No. 221), its crystal structure representative is given in Figure 1. The computed lattice constant for YbPdH₃ is found as 3.696 Å which is the similar value given in Materials Project (3.66 Å). The mechanical properties of materials are generally evaluated by stiffness (elastic) constants C_{ij} . The stiffness constants help to understand the material's behavior such as hardness, ductility, bonding, machinability, brittleness, anisotropy and mechanical stability. In general, mechanical stability evaluation of materials are carried out by examining the material's respond in any application under static stress via elastic stiffness.

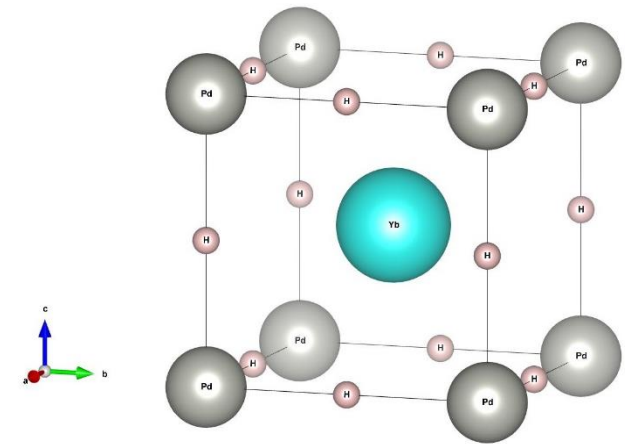


Figure 1. The crystal structure representative of YbPdH₃.

The computation of elastic stiffness is explained in refs [8, 9]. The computed various parameters by using elastic stiffness are presented in Tables 1, 2 and 3.

There are three elastic stiffness are given for a cubic structure known as C_{11} , C_{12} , C_{44} . Max Born suggested a stability criteria for mechanical stability as [10]:

$$(C_{11} - C_{12}) > 0, C_{11} > 0, C_{44} > 0, (C_{11} + 2C_{12}) > 0 \quad (2)$$

Equation 2 can lead to;

$$C_{12} < B < C_{11} \quad (3)$$

The computed elastic stiffness of YbPdH₃ satisfy the conditions given in Equation 2 and 3. Therefore, it can be concluded that YbPdH₃ is mechanically stable material. Elastic stiffness of materials can also provide information about material's resistance along difference directions. The value of C_{11} is an indication of material's response towards linear compression along [100]. Since C_{11} value is greater than that of C_{12} and C_{44} , resistance to linear compression is greater for YbPdH₃.

B of the materials indicate resistance of them towards fracture whereas G shows resistance towards plastic deformation. Higher C_{44} value also implies higher G which increases plasticity [11]. From Table 2, it can be predicted that YbPdH₃ has some plasticity and stiffness. Cauchy pressure (C_p) provides information about angular characteristics of materials. More positive C_p implies predominance of ionic bonding whereas more negative C_p indicates covalent bonding predominance. It is stated by Pettifor [12] that Cauchy pressure ($C_p = C_{12} - C_{44}$) can tell about bonding characteristics of the materials along with the fracture. In the case of negative Cauchy pressure, the material tends to show directional bonding characteristics with angular or covalent bonding and brittle nature. In the case of more positive Cauchy pressure, the material tends to exhibit metallic and ductile nature. The C_p of YbPdH₃ is computed as 58.23 GPa which suggests predominance of ionic bonding within YbPdH₃. In addition, C_p can give an idea about brittleness and ductility of given material. Positive C_p indicates ductility [13].

The ductility and brittleness of the materials can be analyzed by using Pugh's criteria [14] and Frantsevich's rule [15]. Pugh's criteria distinguish materials based on the B/G ratio. Higher B/G ratio displays ductility and lower B/G ratio implies brittleness; the borderline is specified as 1.75. According to Frantsevich, materials with σ , lower than $\sigma \sim 0.26$ are brittle and higher than 0.26 are ductile. As can be seen from Table 2 that, the computed B/G ratio is 5.51 and σ is 0.41 which suggests the ductile nature of YbPdH₃.

B/ C_{44} ratio is defined as machinability index [17], if C_{44} is low, machinability index is high which is the case for softer materials. If the hardness of the material is high, machinability index is lower. Hardness of the material

is computed using the Chen's model [18] and presented in Table 3.

Table 1. The calculated lattice constants (a , Å), Bulk modulus (B , GPa), elastic constants (C_{11} , C_{12} , C_{44} , GPa) and Cauchy Pressure (C_p) of YbPdH₃.

Material	a	B	C ₁₁	C ₁₂	C ₄₄	C ₁₂ -C ₄₄ (C _p)
YbPdH ₃	3.696	95.57	103.95	91.39	33.16	58.23
		3.710				
YbPdH ₃ [1, 16]						

Table 2. The calculated Bulk modulus (B,GPa), Shear modulus (G, GPa), B/G ratios, Poisson's ratios (σ) and Young's modulus (E, GPa) of YbPdH₃.

Material	B	G	B/G	σ	E
YbPdH ₃	95.57	17.32	5.51	0.41	48.77

Table 3. The computed anisotropy factor (A), melting temperature (T_m, K), Vickers hardness (H_v^G , H_v^E , GPa) and machinability index (B/ C_{44}) of YbPdH₃.

Material	A	θ	T _m	H_v^G	H_v^E	B/ C_{44}
YbPdH ₃	5.28	206.34	1167.3	0.164	2.965	2.88

By adopting elastic stiffness B, G, E, H_v^G , H_v^E and B/ C_{44} are obtained. The calculated hardness values for YbPdH₃ are; $H_v^G = 0.164$ and $H_v^E = 2.965$ thus, it can be predicted that YbPdH₃ is not a hard material. In general, materials with Vickers hardness value above 10 GPa is defined as hard material and materials with a hardness value greater than 40 GPa are defined as super hard materials [19].

As well as elastic properties, melting temperatures (T_m) can also be obtained by using elastic constants. T_m provides an idea about practicability and reliability of the materials. For a cubic structure, T_m can be computed by using $T_m = 553 + 5.91 C_{11}$ relation [18]. The computed T_m for YbPdH₃ is 1167.3 K which suggests that this material can be used for high temperature applications.

Debye temperature (θ) is also a significant value which describes the temperature at which the vibration wavelengths of atoms are equal to the unit cell length [20]. θ is a parameter that can be used with the inherent properties of the elastic lattice vibrations and can be computed through the average elastic wave velocity (V_m). Several thermodynamic properties can be obtained using θ such as specific heat capacity, thermal expansion and thermal conductivity. θ of YbPdH₃ is obtained as 206.34 K.

Deformation do not occur for brittle materials; however, it is expected for ductile materials before fracture. The crystal anisotropy can have an effect on plastic deformation and fracture. Anisotropy of the

materials affect the physical properties in different directions. Thus, the anisotropy factor of YbPdH₃ has been computed by using $A = 2C_{44} / C_{11} - C_{12}$ relation [21]. The calculated anisotropy factor is given as 5.28 in Table 3 which indicates anisotropic characteristics of YbPdH₃. The 2D and 3D dimensional change of E, linear compressibility, G and σ is computed using the ELATE program and given in Figure 2. YbPdH₃ exhibits anisotropic behaviour almost in every direction.

Linear compressibility in xy plane seems to be isotropic, and other properties are anisotropic in all directions.

Similar anisotropic behaviours were observed for LiCaH₃ and NaCaH₃ previously [22].

3.2 Electronic Properties

The electronic properties of YbPdH₃ have also been investigated. The electronic band structure and total (TDOS) and partial densities of states (PDOS) are given in Figure 3 and Figure 4.

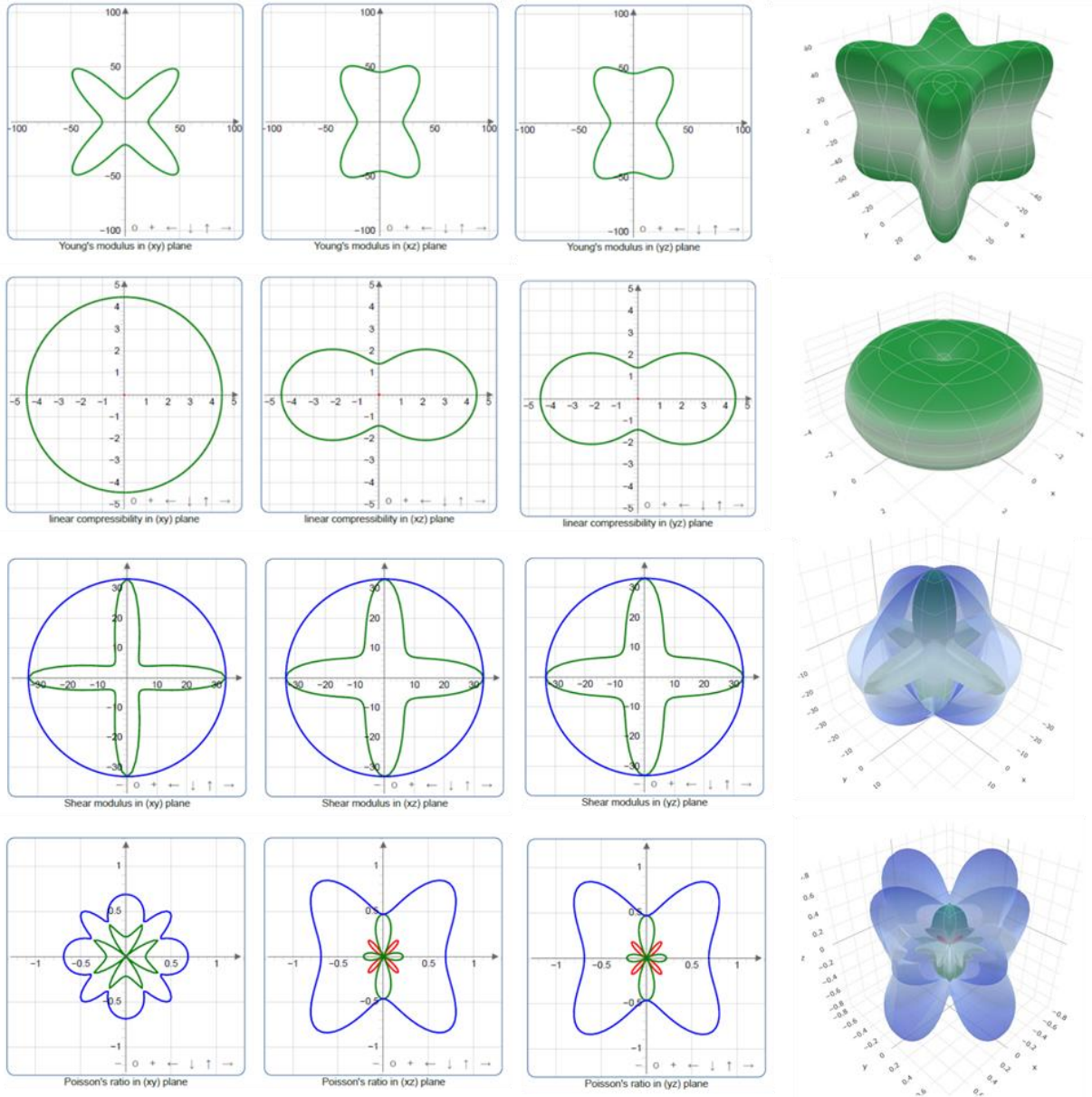


Figure 2: The 2D and 3D directional change of Young Modulus, linear compressibility, Shear modulus and Poisson's ratio of YbPdH₃.

The band gap describes the region between valence and conduction band where electrons cannot occupy. Figure 3 demonstrates no band gap around Fermi energy level (set to 0 eV) since valence and conduction band overlaps, thus it can be easily predicted that

YbPdH₃ shows metallic behaviour. Figure 4 displays detailed contributions to the conductivity of YbPdH₃. The contribution of d states of Pd is dominated in the valence band along with s states of H, whereas d states of Yb dominate to the conduction band.

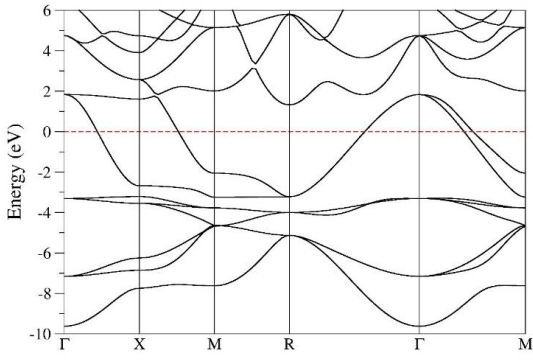


Figure 3. Electronic band structure of YbPdH₃.

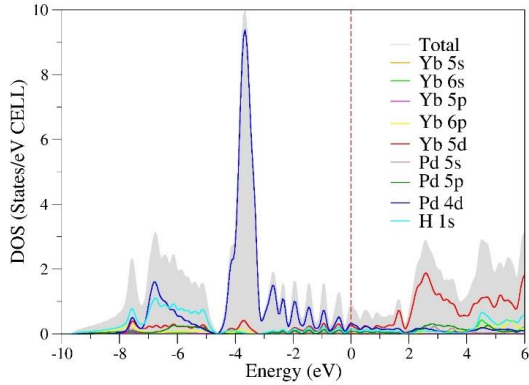


Figure 4. The TDOS and PDOS of YbPdH₃.

3.3 Thermodynamic Properties

The thermodynamic properties are computed for YbPdH₃. The internal energies of YbPdH₃ are shown in Figure 5. Debye vibrational energy seems to increase linearly with the increasing temperature. Debye vibrational free energy in Figure 5b seems to be more negative as the temperature increases. Materials with more negative Debye vibrational free energy seem to have better thermal response since they will have better thermodynamic stability at high temperatures.

Entropy of YbPdH₃ rises with the temperature as shown in Figure 6a. This is expected since as the temperature increases the kinetic energy and motion of atoms increase. Also, the entropy is zero at zero temperature which obeys the third law of thermodynamics. In addition, entropy can be related to vibrational free energy since vibrational free energy is obtained entropy. The more negative vibrational free energy, the higher entropy [23].

The heat capacity of YbPdH₃ is given in Figure 6b. As can be seen from the figure that there is a sharp increase in heat capacity with the temperature between 0-150 K. After that, a slight increase can be observed up until 250 K. Around 300 K, the heat capacity reaches its Dulong-Petit limit about 120 JNmol⁻¹K⁻¹.

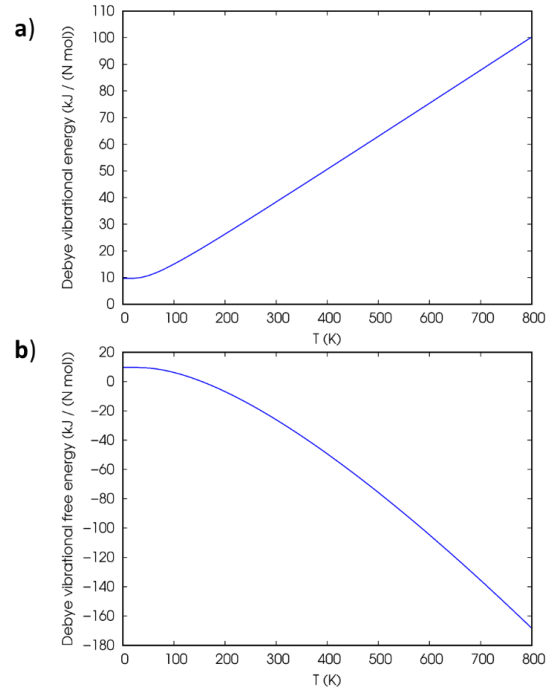


Figure 5. Debye vibrational energy (a) and free energy (b) of YbPdH₃.

4. Discussion and Conclusion

The development of viable solid-state hydrogen storage materials primarily relies on the theoretical study of new materials and their properties. In this context, first principles calculations form the basis and allow discovery of new materials. In this sense, the structural, elastic, mechanical, anisotropic behavior and thermodynamic properties of YbPdH₃ has been investigated by means of first principles calculations. The mechanical stability is evaluated by using elastic constants and Born stability criteria, the result indicates mechanical stability for YbPdH₃.

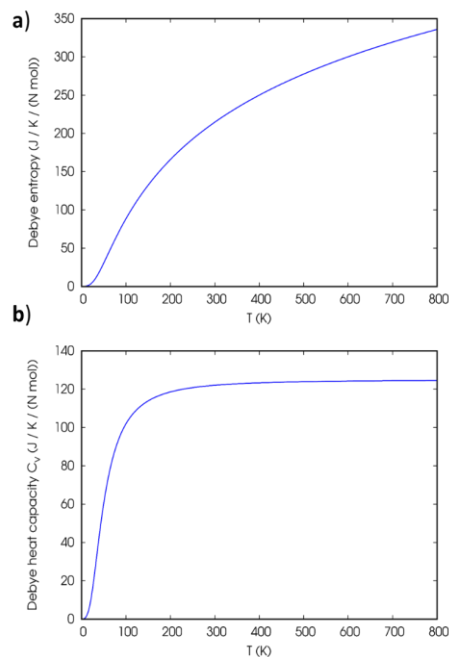


Figure 6. Debye entropy (a) and heat capacity (b) of YbPdH₃.

Along with elastic constants several parameters such as Cp, G, E, σ , θ , machinability index, hardness and Tm of YbPdH₃ are obtained. According to obtained values, YbPdH₃ is a ductile and anisotropic material. The electronic band structures show a metallic character with the highest contribution to the conduction band Pd 4d states. In addition, Debye vibrational energy, vibrational free energy, entropy and heat capacity of YbPdH₃ are obtained. As far as the author's knowledge these properties have been studied for the first time for YbPdH₃.

Declaration of Ethical Code

In this study, we undertake that all the rules required to be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" are complied with, and that none of the actions stated under the heading "Actions Against Scientific Research and Publication Ethics" are not carried out.

References

- [1] Orgaz E. , Mazel V., Gupta M. 1996. Electronic structure and electron-phonon coupling in stoichiometric and defective hydrides MPdH₃ (M= Ca, Sr, Eu, Yb). Journal of Physical Review B, 54(22), 16124.
- [2] Orgaz E., Mazel V., Gupta M. 1997. Internal pressure effect in the series of perovskite structure hydrides: APdH₃ (A= Sr, Eu, Yb). Journal of Alloys Compounds, 253-254, 330-332.
- [3] Al S., Kurkcu C., Yamcicier C. 2020. Structural evolution, mechanical, electronic and vibrational properties of high capacity hydrogen storage TiH₄. International Journal of Hydrogen Energy, 45(55), 30783-91.
- [4] Giannozzi P., Baroni S., Bonini N., Calandra M., Car R., Cavazzoni C., et al. 2009. QUANTUM ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials. Journal of physics: Condensed matter, 21(39), 395502.
- [5] Giannozzi P., Andreussi O., Brumme T., Bunau O., Nardelli M. B., Calandra M., et al. 2017. Advanced capabilities for materials modelling with Quantum ESPRESSO. Journal of physics: Condensed matter, 29(46), 465901.
- [6] Perdew J. P., Burke K., Ernzerhof M. Generalized gradient approximation made simple. 1996. Journal Physical review letters, 77(18), 3865.
- [7] Methfessel M., Paxton A. 1989. High-precision sampling for Brillouin-zone integration in metals. Journal of Physical Review B, 40(6), 3616.
- [8] Yıldız G. D., Yıldız Y. G., AL S., İyigör A., Arıkan N. 2018. Computational investigations of mechanic, electronic and lattice dynamic properties of yttrium based compounds. International Journal of Modern Physics B, 32(20), 1850214.
- [9] Al S., Arıkan N., Demir S., İyigör A. 2018. Lattice dynamic properties of Rh₂ XAl (X= Fe and Y) alloys. Physica B: Condensed Matter, 531, 16-20.
- [10] Al S., İyigör A. 2020. Structural, electronic, elastic and thermodynamic properties of hydrogen storage magnesium-based ternary hydrides. Chemical Physics Letters, 743, 137184.
- [11] Chen S., Sun Y., Duan Y-H., Huang B., Peng M-J. 2015. Phase stability, structural and elastic properties of C15-type Laves transition-metal compounds MCo₂ from first-principles calculations. Journal of Alloys and Compounds, 630, 202-208.
- [12] D. G. 1992. Theoretical predictions of structure and related properties of intermetallics. Materials Science and Technology, 8(4), 345-349.
- [13] Kurkcu C., Al S., Yamcicier C. 2020. Ab-initio study of structural, electronic, elastic, phonon properties, and phase transition path of sodium selenite. Chemical Physics, 539, 110934.
- [14] Al S. 2021. Elastic and thermodynamic properties of cubic perovskite type NdXO₃ (X=Ga, In). The European Physical Journal B, 94(5), 108.
- [15] Arar R., Ouahrani T., Varshney D., Khenata R., Murtaza G., Rached D., et al. 2015. Structural, mechanical and electronic properties of sodium based fluoroperovskites NaXF₃ (X=Mg, Zn) from first-principle calculations. Materials Science Semiconducting Process, 33, 127-135.
- [16] Bronger W., Ridder G. 1994. Synthese und Struktur von SrPdH_{2.7}. Journal of Alloys Compounds, 210(1-2), 53-55.
- [17] Ali M. A., Hossain M. M., Islam A. Naqib S. H. 2021. Ternary boride Hf₃PB₄: Insights into the physical properties of the hardest possible boride MAX phase. Journal of Alloys Compounds, 857, 158264.
- [18] Chen H., Yang L., Long J. 2015. First-principles investigation of the elastic, Vickers hardness and thermodynamic properties of Al-Cu intermetallic compounds. Superlattices Microstructure, 79, 156-165.
- [19] Hossain M. M., Ali M. A., Uddin M. M., Islam A., Naqib S.H. 2021. Origin of high hardness and optoelectronic and thermo-physical properties of boron-rich compounds B₆X (X=S, Se): A comprehensive study via DFT approach. Journal of Applied Physics, 129(17), 175109.
- [20] Mubarak A. A., Al-Omari S. 2015. First-principles calculations of two cubic fluoroperovskite compounds: RbFeF₃ and RbNiF₃. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 382, 211-218.

- [21] Awais M., Zeba I., Gillani S. S. A., Shakil M., Rizwan M. 2022. First-principles calculations to investigate band gap of cubic BaThO₃ with systematic isotropic external static pressure and its impact on structural, elastic, mechanical, anisotropic, electronic and optical properties. *Journal of Physical Chemistry Solids*, 169, 110878.
- [22] Al S. 2021. Mechanical and electronic properties of perovskite hydrides LiCaH₃ and NaCaH₃ for hydrogen storage applications. *The European Physical Journal B*, 94(9), 182.
- [23] Musari A. A. 2021. Electronic, mechanical, vibrational and thermodynamic properties of FeXSb (X = Hf and Nb) Half-Heusler alloys from first-principles approach. *Solid State Sciences*, 122, 106755.

Desenleştirilmiş Karma Verilerin Transfer Öğrenme Yöntemi Kullanılarak Evrişimli Sinir Ağlarıyla Sınıflandırılması

Bahadır ELMAS¹, Elif Özge ÖZDAMAR²

^{1,2} Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, 34380, İstanbul, Türkiye

(Alınış / Received: 06.05.2023, Kabul / Accepted: 14.03.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 27.04.2024)

Anahtar Kelimeler

Kategorik Değişken Kodlama,
Veri Görselleştirme,
Önceden Eğitilmiş Ağlar,
Transfer Öğrenme

Öz: Teknolojik ve bilimsel gelişmeler, farklı yapı ve boyuttaki veri setlerini görselleştirmeyi ve analiz etmeyi zorunlu hale getirmiştir. Veri görselleştirmede kullanılan grafikler hem tanımsal hem de analizleri destekleyici olarak keşifsel amaçlarla uygulanmaktadır. Grafikler, veri setlerindeki zaman, mekân, akış, ilişki, belirsizlik ve hiyerarşi gibi yapı ve olguları ortaya çıkarmak için de kullanılmaktadır. Günümüz araştırmalarında kullanılan veri setleri sadece nominal, ordinal ve / veya nümerik değişkenlerden (karma veri seti) oluşan yapısal veri setlerini içermemekte, yarı yapısal ya da yapısal olmayan veri setlerini de barındırmaktadır. Söz konusu veri setlerinde evrişimli sinir ağlarının başarısı literatürdeki birçok araştırmayla kanıtlanmıştır. Bu çalışma, yapısal veri setleri üzerinde evrişimli sinir ağlarını transfer öğrenme yöntemi ile eğiterek uygulayabilmek için bir yöntem önermektedir. Bu amaç doğrultusunda, literatürde çeşitli araştırmalarda kullanılan dokuz adet yapısal veri seti üzerinde önerilen yaklaşım uygulanarak, ağların ölçülen başarısı aynı veri setleriyle çalışılan literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılmış ve daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Classification of Visualized Mixed Data with Convolutional Neural Networks Using Transfer Learning Method

Keywords

Categorical Variable
Encoding,
Data Visualization,
Pre-Trained Networks,
Transfer Learning

Abstract: Technological and scientific advances have made it compulsory to visualize and analyze datasets of different structures and sizes. The graphics used in data visualization are applied for exploratory purposes, both in terms of definition and analysis. Graphs are also used to reveal structures and phenomena in datasets such as time, space, flow, relationships, uncertainty, and hierarchy. The datasets used in today's research not only contain structural datasets consisting of nominal, ordinary, and/or numerical variables (mixed datasets), but also contain semi-structural or non-structured data sets. Numerous studies in the literature have demonstrated the effectiveness of evolutionary neural networks in these datasets. This study suggests a method to train evolutionary neural networks to apply the transfer learning method to structural datasets. To this end, the proposed approach was applied to nine structural datasets used in various literature studies, comparing the measured success of the networks with other studies in the literature that studied the same data sets and achieving better results.

1. Giriş

Araştırmacılar için veri görselleştirme, veriyi tanımlama, analiz etme, analiz sonuçlarını ortaya koyma ve sonuçları paylaşma süreçlerinin vazgeçilmez bir unsurudur. Söz konusu süreçler boyunca grafikler; veri setindeki değişken/değişkenlerin dağılım, frekans, oran gibi

tanımsal istatistikleri ya da zaman, mekân, akış, ilişki, belirsizlik, hiyerarşi gibi olguları belirginleştirmek amacıyla kullanılmaktadır.

Günümüzdeki teknolojik ve bilimsel gelişmelerin, farklı yapı ve boyuttaki veri setlerini görselleştirmeyi ve analiz etmeyi zorunlu hale getirdiği söylenebilir. Bu gelişmeler nedeniyle veri görselleştirmeye olan ilgi

*İlgili yazar: bahadir.elmas@msgsu.edu.tr

gün geçtikçe artmaktadır. Bu ilgi; araştırmacıların, grafiklerin bahsi geçen alanlar dışında da kullanılabilmesine dair fikirler ortaya atmalarına da ışık tutmuştur. Bu bağlamda, çalışmamız karma veri setleri üzerinde görüntü sınıflandırmada dikkate değer sonuçlar üreten bir derin öğrenme yöntemi olan evrişimli sinir ağlarının uygulanması için yeni bir yaklaşım önermektedir. Araştırmamız adımları şu şekildedir: Literatürde farklı makine öğrenme algoritmaları kullanılarak sınıflandırılması yapılmış dokuz adet karma veri seti belirlenmiş ve bu veri setleri önerilen yaklaşım ile grafikler kullanılarak desenleştirilmiştir. Daha sonra elde edilen yeni görsel veri setleri kullanılarak evrişimli sinir ağları transfer öğrenme yöntemiyle eğitilmiş ve elde edilen sonuçlar, aynı karma veri setlerini kullanan literatürdeki diğer araştırmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Derin öğrenme, çok büyük verilerde özelliklerin çıkarılması için kullanılan, yapay sinir ağlarından türetilmiş, çok katmanlı ve çoğu durumda klasik makine öğrenme yöntemlerinin aksine veri ön işleme gerektirmeyen bir makine öğrenmesi metodudur [1, 2]. ImageNet yarışması ile popüler hale gelen derin öğrenme; ses, görüntü, doğal dil işleme, metin ve karakter tanıma veya otonom sistemler gibi birçok alanda kullanılmaktadır [1].

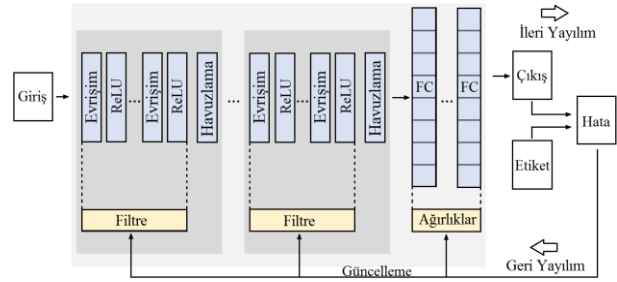
Bir problemin çözümünde evrişimli sinir ağ modeli sıfırdan oluşturulabileceği gibi, transfer öğrenme yöntemi ile önceden eğitilmiş ağlar da kullanılabilir. Bir evrişimli sinir ağını tasarlamak ve eğitmek, spesifik görevler için daha iyi sonuçlar verebilir, ancak bu yöntemin dezavantajı hedeflenen sonuçlara ulaşmak için her şeyden önce büyük miktarda veri setine ve donanımsal alt yapıya ihtiyaç duyulmasıdır. Bunlara ek olarak milyonlarca eğitilmesi gereken parametreye sahip yeni bir ağ modelinin eğitimi, veri setinin büyüklüğü veya tasarlanan ağın karmaşıklığı nedeniyle oldukça uzun zaman almakta ve birçok deneysel çalışma yapılmasını gerektirmektedir. Söz konusu sorunların çözümü için literatürde transfer öğrenme olarak adlandırılan yöntem sıklıkla başvurulmaktadır. Transfer öğrenme; hızlı ilerleme ve gelişmiş performans sağlamak amacıyla, önceden eğitilmiş bir ağın benzer ikinci bir görevde yeniden tasarlandığı makine öğrenmesi tekniğidir. Geleneksel makine öğrenme teknikleri, her görevi yeniden öğrenmeye çalışırken, transfer öğrenme, önceki görevlerden öğrendikleri bilgileri yeni görevi öğrenme sürecinde kullanır [3].

Bu çalışma kapsamında; literatürde üzerinde çeşitli makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak çalışılan dokuz adet veri setindeki her gözlem, veri görselleştirmede en sık kullanılan sütun ve pasta grafikleri ile desenleştirilmiştir. Oluşturulan yeni görsel veri setleri ile transfer öğrenme yöntemi kullanılarak önceden eğitilmiş AlexNet [4, 5], DenseNet201 [6], ResNet50 [7, 8] ve VGG19 [8, 9] ağ mimarileri ile sınıflandırma başarısı ölçülmüştür.

Çalışmanın ilerleyen bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir: Deneysel Metot başlıklı ikinci kısımda, evrişimli sinir ağlarının mimari yapısı, transfer öğrenme ve önerilen yöntem detaylandırılmıştır. Ayrıca kullanılan veri setleri ve literatürdeki bu veri setleri ile yapılan sınıflandırma çalışma sonuçları hakkında bilgi verilmiştir. Sonuçlar ve Tartışmalar başlıklı üçüncü bölümde araştırma sonuçları paylaşılmıştır. Dördüncü bölümde ise sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Evrişimli sinir ağları; özellik çıkarma ve sınıflandırma olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Özellik çıkarma bölümünün ilk katmanlardaki konvolüsyon sonuçlarında girdiye ait temel özellikler elde edilirken, sonraki katmanlarda ise belirleyici özellikler elde edilir. Bu bölümün derinliği, katman türleri ve sayısı, uygulamaya veya verilere bağlı olarak değişebilir. Sınıflandırma katmanı ise genellikle tam bağlı bir yapay sinir ağı mimarisine sahiptir [3, 10]. Evrişimli sinir ağları çoğunlukla Şekil 1'deki gibi Evrişim [11, 12], ReLU, Havuzlama ve Tam Bağlantılı katmanlardan oluşur [2, 13]. Evrişimli sinir ağları farklı mimarilere sahip olup, tasarıma göre bu katmanların sayısı ve sırası değişiklik gösterir.



Şekil 1. Evrişimli Sinir Ağ

Evrişim katmanındaki yapılan işlem; girdinin özellik çıkarımını amaçlayan maskeler ile filtrelenmesidir [14]. Evrişim sonucunda yatay, dikey, açısız, yumuşatılmış ya da keskinleştirilmiş kenarlar bulunarak, orijinali ile aynı boyuttaki örüntü türevleri elde edilir. Tasarlanan ağlarda genellikle transfer fonksiyonu olarak ReLU tercih edilmektedir. Bu fonksiyonun özelliği, örüntüdeki negatif değerleri sıfıra çekmesidir. Havuzlama katmanında ise, boyut düşürme fonksiyonları kullanılarak öğrenilen özelliklerin özet bilgisi sonraki katmanlara aktarılır. Bu amaçla maksimum, minimum veya ortalama gibi lokal matrislerle görüntü yeniden örneklenir. Böylelikle girdinin boyutu azaltılır ve hesaplama maliyeti düşürülür [10, 15]. Söz konusu katmanlarda yapılan işlemler sonucunda elde edilen özellikler tek boyutlu vektör haline getirilerek tam bağlantılı katmanlarda sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir. Ağın sınıflandırma performansı, bir kayıp fonksiyonu ile hesaplanarak, filtreler ve ağırlıklar geri yayılımla kayıp değerine göre güncellenir.

Bu çalışmada kullanılan AlexNet, DenseNet201, ResNet50 ve VGG19 ağları olup, söz konusu ağlara ait katman, derinlik, parametre sayısı, görüntü giriş

boyutu ve ağ mimarileri bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ağ mimarileri

	AlexNet	DenseNet201	ResNet-50	VGG19
Derinlik	8	201	50	19
Katman	25	709	177	47
Parametre(Milyon)	61	20	25,6	144
Gör.Giriş Boyutu	227x227	224x224	224x224	224x224
Mimari	11x11conv, 96 max-pooling 5x5 conv, 256 max-pooling 3x3 conv, 384 3x3 conv, 384 3x3 conv, 256 max-pooling fc4096 fc4096 fc1000 softmax	7x7 conv max-pooling 1x1 conv x6 3x3 conv 1x1 conv avg-pooling 1x1 conv x12 3x3 conv 1x1, conv avg-pooling 1x1 conv x48 3x3 conv 1x1 conv avg-pooling 1x1 conv x32 3x3 conv avg-pooling fc1000,softmax	7x7 conv, 64 max-pooling 1x1 conv, 64 3x3 conv, 64 1x1 conv, 256 1x1 conv, 128 3x3 conv, 128 1x1 conv, 512 1x1 conv, 256 3x3 conv, 256 1x1 conv, 1x1 conv, 512 3x3 conv, 512 1x1 conv, avg-pooling fc1000 softmax	[3x3 conv,64] x2 max-pooling [3x3 conv, 128] x2 max-pooling [3x3 conv, 256] x4 max-pooling [3x3 conv, 512] x4 max-pooling [3x3 conv, 512] x4 max-pooling fc4096 fc4096 fc1000 softmax

Çalışmamızda sıfırdan bir evrişimli ağ modeli geliştirmek ve eğitmek yerine transfer öğrenme yöntemi tercih edilmiştir. Araştırmalar, büyük görüntü verilerinden öğrenilen özelliklerin, çeşitli görüntü tanıma görevlerine yüksek oranda aktarılabilir olduğunu göstermiştir. Daha önceki görevlerinde yüksek performans gösteren bir modelin, benzer görevler için de iyi performans göstermesi beklenir. Ancak bu durum, düşük performans gösteren bir modelin başka bir görevde yüksek performans göstermeyeceği anlamına gelmez. Literatürde transfer öğrenme uygulamalarında farklı durumlar için çeşitli stratejiler önerilmiştir:

Uygulamada transfer öğrenme için kullanılacak ağın belirlenmesi sürecinde, basit ağların seçilmesi durumunda hızlı yineleme gerçekleşir. Böylelikle farklı veri ön işleme adımları ve eğitim seçenekleri denenebilir. Basit bir ağda en uygun ayarlar belirlendikten sonra sonuçları daha da iyileştirmek amacıyla daha büyük ağlara geçmek doğru bir yaklaşım olacaktır [3].

Mevcut veri setinin kaynak veri setinden çok küçük ve benzer olması durumunda evrişimli sinir ağı üzerinde ince ayar yapılması ağın aşırı öğrenmesine neden olabilir. Bu nedenle ağın yüksek seviyeli özelliklerini korumak için giriş ve ara katmanlar değiştirilmemelidir [3]. Tam bağlantılı katman ise probleme uygun şekilde tasarlanarak ağ ağırlıkları

rastgele seçilmez. Daha sonra ise mevcut veri setiyle eğitim gerçekleştirilmelidir [16]. Ağ eğitimi sırasında, korunmuş katmanlara ait parametreler güncellenmeyeceği için eğitim önemli ölçüde hızlanır.

Mevcut veri setinin kaynak veri setinden çok küçük ve farklı olması durumunda ise, ağın giriş ve ara katman parametreleri önemlerini yitireceği için söz konusu katmanlar yeniden düzenlenmelidir. Benzer şekilde tam bağlantılı katmanlar da düzenlenerek ağ ağırlıkları rastgele verilmelidir. Yapılan düzenlemelerden sonra, aşırı öğrenme probleminin önüne geçebilmek için sadece ağa yeni eklenen ve düzenlenen katmanların ağırlıklar eğitilmelidir [3].

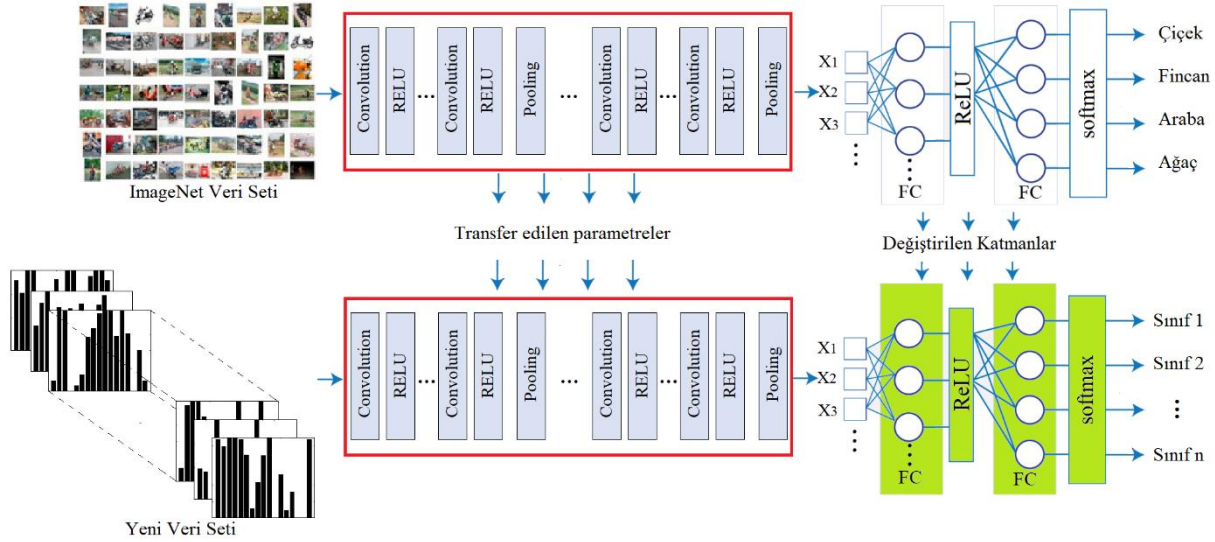
Bir modeli sıfırdan eğitmek için yeterli verinin olması durumunda, görevler farklı olsa bile, yeni bir ağ tasarlayarak parametreleri rasgele başlatmaktansa, önceden eğitilmiş bir ağı kullanmak daha iyi sonuçlar verebilir. Böyle bir durumda ağın son tam bağlantılı katmanı çıkarılır ve yerine probleme ilişkin sınıf sayısına uygun yeni bir tam bağlantılı katman eklenir [3].

Sıfırdan tasarlanmış bir ağın veri seti yetersiz ve problemlidir ise, ağ mevcut veri ile eğitilmeden önce genel bir görev için hazırlanmış büyük bir veri setiyle eğitilebilir. Böylece parametrelerin başlangıç değerleri aktarılmış olur. Bu yaklaşım ağın öğrenmede iyi bir başlangıç yapmasını ve daha yüksek performans elde etmesini sağlar.

Bir başka durum ise; transfer işleminin gerçekleştirileceği modellerin mimari uyumsuzluğudur. Söz konusu durumlar için bilgi aktarımının sağlanacağı yöntem ise damıtmadır. Damıtma; yeni modelin, önceden eğitilmiş modelin çıktılarını taklit edecek şekilde eğitilmesidir. Bu

yaklaşımında dikkat edilmesi gereken, yeni modelin kaynak modelden daha küçük olmasıdır.

Çalışmamızda Şekil 2’de verilen ve en yaygın transfer öğrenme yöntemi olan tam bağlı katman dışındaki tüm katmanların aktarıldığı yöntem tercih edilmiştir.



Şekil 2. Transfer Öğrenme.

Evrişimli sinir ağlarının desen sınıflandırmadaki performansı, literatürde birçok kez farklı veri setleri üzerinde sınanmış ve başarısı kabul görmüştür. Bu çalışma, evrişimli sinir ağlarının bu alandaki bilinen başarısını, desen içermeyen veri setleri üzerinde de araştırmayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle veri setlerinin desene dönüştürme işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlem, veri setleri farklı sayılarda nominal, ordinal ve veya nümerik değişken barındırabileceğinden, bir tür standartlaştırma yani kodlanarak nümerik hale dönüştürülmesinden sonra gerçekleştirilmesi gerekir. Bu kodlama yöntemi, Tablo 2’de verilen temsili bir veri seti üzerinde aşamalarıyla açıklanmıştır.

Tablo 2. Örnek veri seti

A	B	C	D	E	Sınıf
Aşağı	Kadın	[40-50]	Normal	150	3
Sabit	Kadın	[50-60]	Yok	50	1
Yukarı	Erkek	[20-30]	Normal	100	1
Sabit	Kadın	[20-30]	< 25	180	1
Sabit	Kadın	[0-10]	Yok	90	2
Yok	Kadın	[10-20]	> 75	230	2
Yok	Erkek	[0-10]	> 75	150	3

Örnek veri setini kodlayarak nümerik hale getirebilmek için öncelikle Tablo 3’teki gibi nominal ve ordinal değişkenlere atanacak kod değerleri belirlenir. Bu değerler önem ve sıra gözetmeksizin 1’den başlayarak oluşturulur.

Tablo 3. Veri seti referans tablosu

A		B		C		D	
Yok	1	Erkek	1	[0-10]	1	Yok	1
Sabit	2	Kadın	2	[10-20]	2	Normal	2
Aşağı	3			[20-30]	3	< 25	3
Yukarı	4			[30-40]	4	> 75	4
				[40-50]	5		
				[50-60]	6		

Bir sonraki aşamada, kodlama tablosundan hareketle, veri setindeki tüm nominal ve ordinal değişkenler belirlenen kod değerleri ile değiştirilir. Veri setinin nümerik değerlerinden oluşan sütunlarına ise (E sütunu gibi) müdahale edilmez. Bu sürecin sonunda Tablo 3’teki temsili veri seti Tablo 4’deki gibi nümerik hale dönüştürülmüş olur.

Tablo 4. Nümerik hale dönüştürülmüş veri seti

A	B	C	D	E	Sınıf
3	2	5	2	150	3
2	2	6	1	50	1
4	1	3	2	100	1
2	2	3	3	180	1
2	2	1	1	90	2
1	2	2	4	230	2
1	1	1	4	150	3

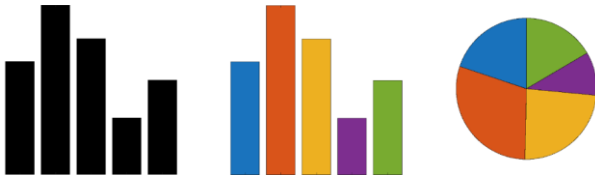
Veri setindeki tüm değişkenlerin nümerik olarak kodlanmasından sonra, değerleri birimden bağımsızlaştırmak, yani değeri birbirinden çok uzak olabilecek olan değişkenleri aynı değer aralığına (0-1)

indirmek amacıyla Tablo 5'teki gibi min-max normalizasyon işlemi gerçekleştirilir.

Tablo 5. Normalize edilmiş veri seti

A	B	C	D	E	Sınıf
0,67	1,00	0,80	0,33	0,56	3
0,33	1,00	1,00	0,00	0,00	1
1,00	0,00	0,40	0,33	0,28	1
0,33	1,00	0,40	0,67	0,72	1
0,33	1,00	0,00	0,00	0,22	2
0,00	1,00	0,20	1,00	1,00	2
0,00	0,00	0,00	1,00	0,56	3

Yukarıda bahsedilen aşamalardan sonra bütün veri seti, sınıflama değişkeni hariç 0 – 1 aralığına çekilmiş olur ve desenleştirme işlemine uygun hale gelir. Desenleştirme; veri setindeki her satır için bir grafik çizilerek, gözlem sayısı kadar grafikten oluşan yeni bir veri seti elde edilme işlemidir. Bu çalışma; desenleştirme işleminin sınıflandırmada performansını araştırdığından, birbirinden farklı grafikler kullanılarak desenleştirme işlemi gerçekleştirilmiş ve böylelikle aynı nümerik veri seti için farklı desen veri setleri oluşturularak incelenmiştir. Bahsi geçen veri setlerinde kullanılan grafik türleri, veri görselleştirmede en sık kullanılan çubuk ve pasta grafikleri olarak belirlenmiştir. Kullanılan grafikler sırasıyla, eksen ve etiket bilgilerinden arındırılmış Şekil 3'te gösterildiği gibi siyah dolgulu çubuk grafik, renkli dolgulu çubuk grafik ve renkli pasta grafikleridir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan çubuk ve pasta grafikleri

Tablo 6. Üzerinde çalışılan veri setleri

No	Adı	Satır x Sütun Sayısı	Sınıf Sayısı	Çizilen Toplam Grafik Sayısı	Veri Kaynağı
1	Dry Bean Dataset	13611 x 16	7	13611	[17]
2	Durum Wheat Dataset	9000 x 236	3	9000	[18]
3	Early Stage Diabetes Risk Prediction	520 x 16	2	520	[19]
4	Human Stress Detection	2001 x 3	3	2001	[20]
5	Mushroom Classification	8124 x 22	2	8124	[21]
6	Pistachio Image Dataset	2148 x 28	2	2148	[22]
7	Pumpkin Seeds Dataset	2500 x 12	2	2500	[23]
8	Raisin Dataset	900 x 7	2	900	[24]
9	Rice Dataset Cammeo and Osmancık	3810 x 7	2	3810	[25]

3. Bulgular

Sinir ağlarında, analizi yapılacak veri seti, eğitim ve doğrulama olmak üzere iki gruba ayrılarak, ağı eğitimi ve başarımlar ölçümü bu iki farklı veri seti üzerinde gerçekleştirilir. Ağı başarı oranı; belirlenen

Bu grafikler belirlenirken şu kıstaslar göz önünde bulundurulmuştur:

- Öncelikle veri görselleştirmede en sık kullanılan grafiklerden biri olan çubuk grafik desen veri setini oluşturmak için tercih edilmiştir. Desenlerdeki grafik alanın arka zeminini beyaz, zemin ile kontrast oluşturması için çubuk dolgu rengi ise siyah olarak belirlenmiştir. Grafik alan üzerinde çerçeve, eksen ve etiket bilgileri kullanılmamıştır.
- Evrişimli Sinir Ağlarının desen sınıflandırmadaki başarısı üzerinde, desen üzerindeki şekiller ve şekillerin konumu kadar, şekillerin renklerinin de etkili olduğu bilinmektedir. Bu nedenle desen veri seti oluşturulurken renklendirilmiş dolgulu çubuk grafik kullanılmıştır. Çubukların renklendirmesi, her değişkene farklı bir renk atanarak gerçekleştirilmiştir.
- Veri görselleştirmede en sık kullanılan diğer bir tür olan pasta grafik ile desen veri setini oluşturulmuştur. Pasta grafikte dilimlerin renklendirilmesinde, çubuk grafikteki aynı değişken renk kodları kullanılmıştır.

Söz konusu grafikler kullanılarak, literatürde üzerinde farklı sınıflandırma yöntemleri denenmiş Tablo 6'da nitelikleri sunulan 9 farklı veri seti için desen veri setleri oluşturulmuştur. Bu veri setleri üzerinde, AlexNet, DenseNet201, ResNet50 ve VGG19 ağları kullanılarak transfer öğrenme yöntemi ile sınıflandırma gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar, kullanılan veri setlerine ait çalışmalarındaki sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

eğitim ve doğrulama setlerine bağlı olarak değişkenlik göstereceği için; veri setinin bu iki grup tarafından en iyi şekilde temsil edilmesi ve sistematik hatanın mümkün olduğunca önüne geçilmesi amacıyla literatürde yeniden örnekleme adı altında çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada literatürde

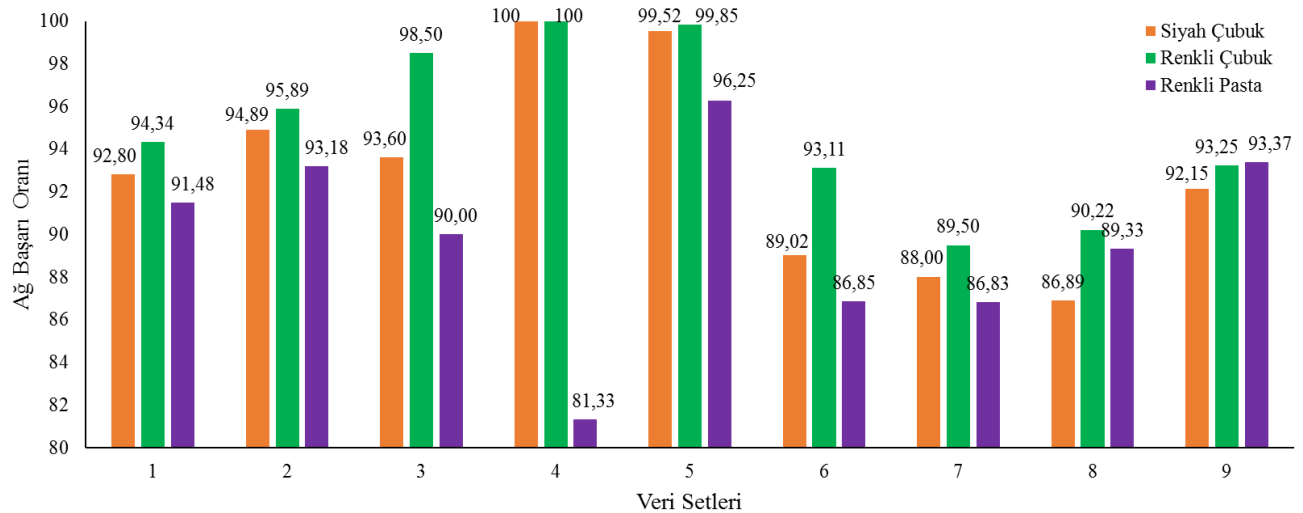
yaygın olarak kullanılan Stratified Shuffle Split ve K-fold Cross Validation yöntemleri kullanılmıştır [26, 27, 28, 29]. Her iki yöntem de 10'ar kere tekrarlanarak ağlar eğitilmiştir. İlk yöntemde, her tekrar için veri setinin rastgele olarak %90'ı eğitim, %10'u ise doğrulama amaçlı kullanılmıştır. İkinci yöntemde ise; ilk önce veri seti 10 parçaya ayrılmış, ağ ilk 9 parça veriyle eğitilerek, kalan veri doğrulama için kullanılmıştır. Daha sonraki tekraralarda, sırasıyla parçalar kaydırılarak, bütün veri setinin hem eğitim hem de doğrulanma için kullanılması sağlanmıştır. Her iki yöntemde elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında değerlerin çok yakın oldukları saptanmıştır. Bu nedenle çalışma sonuçlarında bu iki yöntem ile elde edilen değerlerin ortalamaları sunulmuştur.

Bu çalışmada önerilen yöntem; Tablo 6'da verilen 9 farklı veri seti üzerinde test edilmiştir. Veri setleri kodlandıktan sonra desenleştirilerek oluşturulan grafiklerin yukarıda anlatılan iki yöntemle AlexNet, DenseNet201, ResNet50 ve VGG19 evrişimli sinir ağları transfer öğrenme yöntemi kullanılarak eğitilmiş, ardından ağların başarısı ölçülmüştür. Şekil 3'te gösterildiği gibi, desenleştirmede siyah dolgulu çubuk grafik, renkli çubuk grafik ve renkli pasta grafikler kullanılmıştır. Veri setlerinin analizinde her iki yeniden örnekleme yöntemi kullanılarak eğitilen ağların, grafik çeşitlerine göre başarı oranları Tablo 7'de gösterilmiştir. Tablodaki her bir veri seti için çalışma kapsamındaki sonuçlar, her iki yöntemle ağların 10'ar kez eğitilmesi sonucu elde edilen test sonuçlarının ortalama değerleridir.

Tablo 7. Çalışma kapsamındaki sonuçlar

Veri Setleri	Siyah Dolgulu Çubuk Grafiği				Renkli Dolgulu Çubuk Grafiği				Renkli Dolgulu Pasta Grafiği			
	AlexNet	DenseNet201	ResNet-50	VGG19	AlexNet	DenseNet201	ResNet-50	VGG19	AlexNet	DenseNet201	ResNet-50	VGG19
1 Dry Bean Dataset	92,36	92,64	91,92	92,8	91,7	94,34	92,42	92,36	88,52	91,48	88,85	87,97
2 Durum Wheat Dataset	92,76	94,89	92,56	92,36	93,33	95,89	94,4	92,02	89,56	93,18	90,31	88,86
3 Early Stage Diab. Risk Pre.	89	91,5	93,6	91,5	92,5	98,5	93,7	92,8	88	90	89,1	88,6
4 Human Stress Detection	99,73	100	99,47	100	100	100	100	100	55,6	61,33	58,27	56,27
5 Mushroom Classification	97,02	99,52	98,64	98,44	98,16	99,85	99,27	98,14	91,79	96,25	90,48	90,2
6 Pistachio Image Dataset	84,89	89,02	87,5	87,39	89,53	93,11	92,19	89,28	81,96	86,85	80	80,11
7 Pumpkin Seeds Dataset	87,17	86,75	88	87,25	87,33	89,33	88,08	89,5	86,25	86,83	86,33	82,92
8 Raisin Dataset	86,89	85,33	84,44	82,89	87,78	90,22	88,22	87,1	89,33	89,11	88	87,11
9 Rice Dat. Camm. and Osm.	92,09	92,15	91,84	91,04	91,26	92,64	93,25	92,78	92,09	92,21	93,37	91,1

Tablo 7'de bulunan her veri seti için, kullanılan grafik türüne göre en başarılı ağ sonucu Şekil 4'te görselleştirilmiştir.



Şekil 4 Veri Setleri-Ağ Başarı Oranı

Şekil 4'te verilen grafikte ifade edildiği gibi renkli dolgulu çubuk grafikte desenleştirmenin başarısı, siyah dolgulu çubuk ve renkli pasta grafiğe göre daha yüksektir. Bunun nedeni hem çubuk yüksekliğinin hem de çubuk renklerinin görsel kodlama açısından bilgi içermesidir. Siyah dolgulu çubuk grafik tek renkten oluşup, renklere dayalı bir farklılık bilgisi içermemekte, sadece yüksekliğe dayalı görsel kodlama bilgisi barındırmaktadır. Renkli pasta grafik ise hem renk hem de alan bilgisi ile kodlanmış fakat renkli dolgu çubuk grafik kadar başarılı sonuçlar vermemiştir. Bunun nedenini şu şekilde açıklayabiliriz: Veri setinde değişken sayısı arttıkça,

renk skalasında birbirine daha yakın renklerin kullanılması zorunlu hale gelmektedir. Çubuk grafikte kartezyen koordinat sistemi kullanıldığından ve çubuklar arasındaki boş alanın değişkenler açısından ayırt edici bir özellik sağlaması nedeniyle, değişken sayısının artması pasta grafiğe kıyasla başarıyı etkilememektedir.

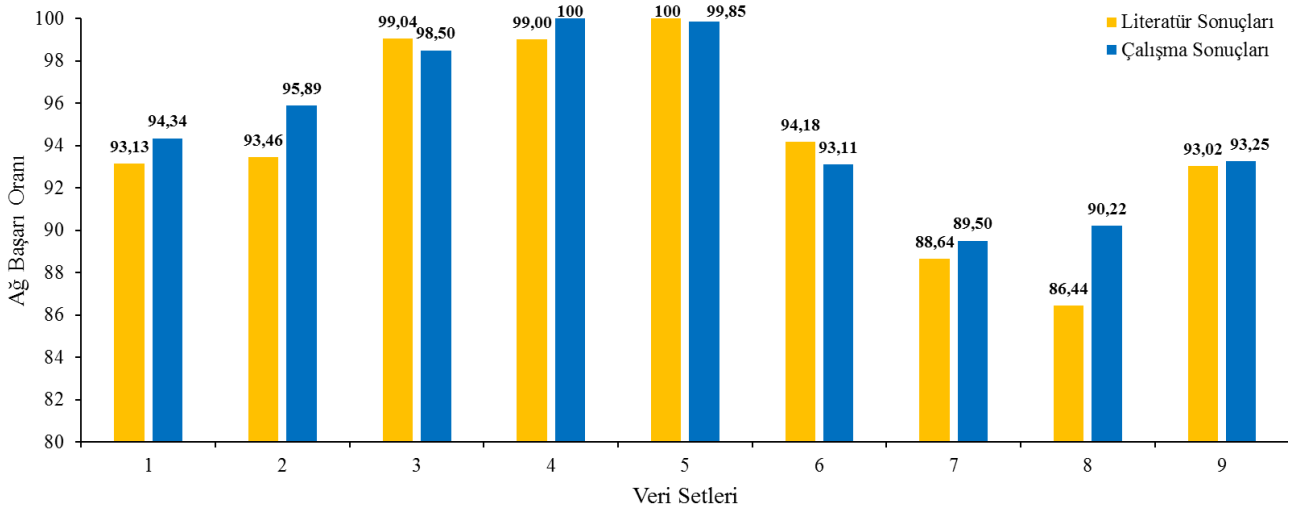
En başarılı sınıflandırma sonuçlarını veren renkli çubuk grafik değerleri ile üzerinde çalıştığımız kaynak veri setleri için literatürdeki diğer çalışmalarda elde edilen sonuçların karşılaştırılması Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8 Çalışma-Literatür karşılaştırılması

Veri Setleri	Renkli Çubuk Grafik Çalışma Sonuçları				Literatürdeki Diğer Çalışma Sonuçları										Literatür Kaynak
	AlexNet	DenseNet201	ResNet-50	VGG19	Logistic Reg.	MLP	SVM	Decision Tree	Rand. Forest	Naive Bayes	K Near. Neigh.	ANN	XGBoost	CNN	
1 Dry Bean	91,7	94,34	92,42	92,36	-	91,73	93,13	92,52	-	-	87,92	-	-	-	[30]
2 Durum Wheat	93,33	95,89	94,4	92,02	-	-	-	-	-	-	-	93,46	-	-	[31]
3 Early Stage Diab.	92,5	98,5	93,7	92,8	-	-	94,62	95,58	97,69	88,85	89,42	92,31	97,89	99,04	[32]
4 Human Str. Det.	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	99	-	-	[33]
5 Mushroom Class.	98,16	99,85	99,27	98,14	-	-	100	-	-	95,88	-	-	-	-	[34]
6 Pistachio Image	89,53	93,11	92,19	89,28	-	-	-	-	-	-	-	94,18	-	-	[35]
7 Pumpkin Seeds	87,33	89,33	88,08	89,5	87,92	88,52	88,64	-	87,56	-	87,64	-	-	-	[36]
8 Raisin	87,78	90,22	88,22	87,1	85,22	86,33	86,44	-	-	-	-	-	-	-	[37]
9 Rice Cam. Osm.	91,26	92,64	93,25	92,78	93,02	92,86	92,83	92,49	92,39	91,71	88,58	-	-	-	[38]

Tablo 8'deki veri setine göre en başarılı sınıflandırma sonuçlarını veren evrişimli sinir ağlarının sonuçları ile literatürdeki çalışmalarda kullanılan en başarılı

yöntemlerin sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 5'te verilen grafik ile görselleştirilmiştir.



Şekil 5. Çalışma-Literatür karşılaştırılması

Elde edilen bulgulara dayanarak, bu çalışmada önerilen karma veri setlerinin desenleştirilmesiyle

oluşturulan yeni görsel veri setlerinin transfer öğrenme yöntemiyle evrişimli sinir ağlarıyla

sınıflandırılması, literatürde kullanılan diğer yöntemlere bir alternatif olarak değerlendirilebilir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, evrişimli sinir ağlarının görüntü tanımlamadaki yüksek başarısından hareketle, karma veri setlerinin önerilen yaklaşımla desenleştirilmesinden sonra transfer öğrenme kullanılarak evrişimli sinir ağları yardımıyla yapılan sınıflandırma başarısı incelenmiştir.

Araştırmada uygulanan desenleştirme yöntemi; literatürde yaygın olarak kullanılan çubuk ve pasta grafikler ile gerçekleştirilmiştir, söz konusu grafikler açısından, görsel kodlamanın sınıflandırma başarısındaki etkisi araştırılmıştır. Kullanılan grafiğin türüne göre görsel kodlama; yükseklik, alan ve renk olmak üzere farklılaşmaktadır. Çalışma bulgularında, renkli çubuk grafik ile desenleştirmenin, diğer desenleştirmelere göre sınıflandırmada daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Karma veri setlerinin desenleştirilerek, transfer öğrenme yöntemi ile evrişimli sinir ağları kullanılarak sınıflandırılmasının, literatürde kullanılan diğer sınıflandırma yöntemlerine bir alternatif olabileceği ve oldukça iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Gelecekteki çalışmalarda, desenleştirmeyi daha fazla görsel kodlama içerebilecek şekilde genişletilmesi amaçlanmaktadır.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Dandıl, E., Polattimur, R. 2020. Dog behavior recognition and tracking based on faster R-CNN. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 35(2), 819-834.
- [2] Yıldız, O. 2019. Melanoma detection from dermoscopy images with deep learning methods: A comprehensive study. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 34(4), 2241-2260.
- [3] Pan, S. J., Yang, Q. 2010. A survey on transfer learning. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 22(10), 1345-1359.
- [4] Zhou, Y., Nejati, H., Do, T. T., Cheung, N. M., Cheah, L. 2016. Image-based vehicle analysis using deep neural network: A systematic study. IEEE International Conference on Digital Signal Processing, 16-18 October, Beijing, 276-280.

- [5] Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G. E. 2012. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. NIPS'12: Proceedings of the 25th International Conference on Neural Information Processing Systems, 3-6 December, Nevada, 1097-1105.
- [6] Huang, G., Liu, Z., Maaten, L. V. D., Weinberger, K. Q. 2018. Densely connected convolutional networks. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 21-26 July, Honolulu, 4700-4708.
- [7] He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. 2016. Deep Residual Learning for Image Recognition. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 27-30 June, Las Vegas, 770-778.
- [8] Theckedath, D., Sedamkar, R. R. 2020. Detecting affect states using VGG16, ResNet50 and SE-ResNet50 networks. Springer Nature Computer Science, 79, 1-7.
- [9] Ye, H., Han, H., Zhu, L., Duan, Q. 2019. Vegetable pest image recognition method based on improved VGG convolution neural network. Journal of Physics: Conference Series, 1237(3).
- [10] Fırıldak, K., Talu, M. F. 2019. Evrişimsel sinir ağlarında kullanılan transfer öğrenme yaklaşımlarının incelenmesi. Anatolian Journal of Computer Science, 4(2), 88-95.
- [11] Lawrence, S., Giles, C. L., Tsoi, A. C., Back, A. D. 1997. Face recognition: A convolutional neural-network approach. IEEE Transactions on Neural Networks, 8(1), 98-113.
- [12] MathWorks. 2019. Learn About Convolutional Neural Networks. <https://www.mathworks.com/help/deeplearni ng/ug/introduction-to-convolutional-neural-networks.html> (Erişim Tarihi: 06.05.2023).
- [13] Baykal, E., Doğan, H., Ercin, M. E., Ersoz, S., Ekinci, M. 2019. Transfer learning with pre-trained deep convolutional neural networks for serous cell classification. Multimedia Tools and Applications, 79, 15593-15611.
- [14] Karabulut, E. M. 2016. Investigation of deep learning approaches for biomedical data classification. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 108s, Adana.
- [15] Goodfellow, I., Bengio, Y. 2016. Courville A., Deep Learning. Massachusetts Institute of Technology Press, Londra, 800s.
- [16] Machine Learning Mastery. 2017. A Gentle Introduction to Transfer Learning for Deep Learning. <https://machinelearningmastery.com/transfer-learning-for-deep-learning/> (Erişim Tarihi: 06.05.2023).

- [17] Kaggle. 2020. Dry Bean Dataset. <https://www.kaggle.com/c/dry-beans-classification-iti-ai-pro-intake01>. (Erişim Tarihi: 22.06.2022).
- [18] Koklu, M. 2020. Durum Wheat Dataset. <https://www.kaggle.com/datasets/muratkoklu/dataset/durum-wheat-dataset>. (Erişim Tarihi: 22.06.2022).
- [19] UC Irvine Machine Learning Repository. 2020. Early Stage Diabetes Risk Prediction. <https://archive-beta.ics.uci.edu/ml/datasets/early+stage+diabetes+risk+prediction+dataset>. (Erişim Tarihi: 22.06.2022).
- [20] Rachakonda, L. 2020. Human Stress Detection. <https://www.kaggle.com/datasets/laavanya/stress-level-detection>. (Erişim Tarihi: 22.06.2022).
- [21] UCI Machine Learning. 2020. Mushroom Classification, <https://www.kaggle.com/datasets/uciml/mushroom-classification>. (Erişim Tarihi: 22.06.2022).
- [22] Koklu, M. 2020. Pistachio Image Dataset. <https://www.kaggle.com/datasets/muratkoklu/dataset/pistachio-image-dataset>. (Erişim Tarihi: 22.06.2022).
- [23] Koklu, M. 2020. Pumpkin Seeds Dataset. <https://www.kaggle.com/datasets/muratkoklu/dataset/pumpkin-seeds-dataset>. (Erişim Tarihi: 22.06.2022).
- [24] Koklu, M. 2020. Raisin Dataset. <https://www.kaggle.com/datasets/muratkoklu/dataset/raisin-dataset>. (Erişim Tarihi: 22.06.2022).
- [25] Koklu, M. 2020. Rice Dataset Cammeo and Osmancik. <https://www.kaggle.com/datasets/muratkoklu/dataset/rice-dataset-commeo-and-osmancik>. (Erişim Tarihi: 22.06.2022).
- [26] Chollet, F. 2017. Deep Learning with Python. Manning Publications, New York, 384s.
- [27] Kaggle. 2019. Stratified Shuffle Split working with less data. <https://www.kaggle.com/viswanathanc/stratifiedshufflesplit-working-with-less-data>. (Erişim Tarihi: 22.06.2022).
- [28] Medium. 2020. StratifiedKFold v.s KFold v.s. <https://xzz201920.medium.com/stratifiedkfold-v-s-kfold-v-s-stratifiedshufflesplit-ffcae5bdfd>. (Erişim Tarihi: 12.10.2020).
- [29] Github. 2019. Cross-Validation: Why and how to do it. <https://srikarvaka.github.io/model-evaluation/Cross-validation/>. (Erişim Tarihi: 22.06.2022).
- [30] Koklu, M., Ozkan, I. A. 2020. Multiclass classification of dry beans using computer vision and machine learning techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, 105507.
- [31] Kaya, E., Saritas, İ. 2019. Towards a real-time sorting system: Identification of vitreous durum wheat kernels using ANN based on their morphological, colour, wavelet and gaborlet features. *Computers and Electronics in Agriculture*. 166, 105016.
- [32] Ergün, Ö. N., İlhan, H. O. 2021. Early stage diabetes prediction using machine learning methods. *European Journal of Science and Technology Special*, 29, 52-57.
- [33] Rachakonda, L., Mohanty, S. P., Kougiyanos, E., Sundaravadivel, P. 2019. Stress-Lysis: A DNN-Integrated edge device for stress level detection in the IoMT. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 65(4), 474-483.
- [34] Wibowo, A., Rahayu, Y., Riyanto, A., Hidayatulloh, T. 2018. Classification algorithm for edible mushroom identification. *International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, 06-07 March, Yogyakarta, 250-253.
- [35] Ozkan, I. A., Koklu, M., Saraçoğlu, R. 2021. Classification of Pistachio Species Using Improved k-NN Classifier. *Progress in Nutrition*, 23(2), e2021044.
- [36] Koklu, M., Sarigil, S., Ozbek, O. 2021. The use of machine learning methods in classification of pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68(1), 2713-2726.
- [37] Cinar, I., Koklu, M., Tasdemir, S. 2020. Classification of raisin grains using machine vision and artificial intelligence methods. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 200-209.
- [38] Cinar, I., Koklu, M. 2019. Classification of rice varieties using artificial intelligence methods. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 7(3), 188-194.

Sismik ve boyutsal parametrelerin istinat duvarlarının maliyetine etkisi

Münire FINDIK*1 

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32200 Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 01.09.2023, Kabul / Accepted: 30.01.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 27.04.2024)

Anahtar Kelimeler

Konsol istinat duvarı
Zemin- yapı etkileşimi
Sonlu elemanlar yöntemi

Öz: Mühendislik yapılarının tasarımındaki temel amaç; yükler altında stabilite, yer değiştirme, , ekonomiklik vb. kriterlerin sağlanmasıdır. Uygulamada en çok tercih edilen dayanma yapısı olan betonarme konsol istinat duvarlarının statik ve dinamik toprak basınçları altındaki tasarımı karmaşık bir problemdir. Bu çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) dikkate alınarak 3 farklı yükseklikteki betonarme konsol istinat duvarının statik ve dinamik kuvvetler altında eşdeğer statik analizi gerçekleştirilmiştir. Sismik yükler hesaplanırken İzmir, Isparta ve Konya olmak üzere 3 farklı konumdaki spektral ivmeler belirlenerek analizler yapılmıştır. Sap 2000 sonlu elemanlar analiziyle yapısal davranış incelenmiş ve Sta4cad programıyla betonarme tasarım gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda sismik parametrelerin konumsal değişimi ve yükseklik artışının; gerilme dağılımı, yer değiştirmedeki etkisine bağlı olarak betonarme tasarımda birim alana düşen yapısal maliyetin arttığı belirlenmiştir.

Effect of seismic and dimensional parameters on the cost of retaining walls

Keywords

Cantilever retaining wall
Soil-structure interaction
Finite element method

Abstract: The main purpose in the design of engineering structures; stability under loads, displacement, force capacity, economy, etc. meeting the criteria. The design of reinforced concrete cantilever retaining walls, which is the most preferred bearing structure in practice, under static and dynamic earth pressures is a complex problem. In this study, equivalent static analysis of reinforced concrete cantilever retaining walls of 3 different heights under static and dynamic forces was carried out, taking into account the Turkish Building Earthquake Code (TBDY 2018). While calculating seismic loads, spectral accelerations in 3 different locations, İzmir, Isparta and Konya, were determined and analyzes were made. Structural behavior was examined with Sap 2000 finite element analysis and reinforced concrete design was realized with Sta4cad program. As a result of the analyzes made, the spatial variation of the seismic parameters and the elevation increase; It has been determined that the structural cost per unit area increases in reinforced concrete design depending on the effect of stress distribution on displacement.

1. Giriş

Zeminin iki farklı seviyede ve doğal şevlerden daha dik açılarda tutulması gerektiği yerlerde veya toprak kaymasını engellemek amacı ile imal edilen mühendislik yapıları dayanma yapıları olarak adlandırılır. Dayanma yapıları, yapıların çevre güvenliğinin sağlanması, düşey kazıların güvenliğinin uzun süreli ya da geçici olarak sağlanması ve toprak basıncının karşılanması amacıyla dizayn edilirler [1]. Zemin tutma yapıları içten ve dıştan stabilize

edilenler olarak ikiye ayrılmaktadır. İçten stabilize edilmiş sistemlerde duraylılığı sağlamak için zemin güçlendiriliren yaygın örnekleri donatılı zeminler ve zemin çivilemesidir. Dışarıdan stabilize edilenler zemin yüklerine kendi ağırlıkları ve rijitlikleri ile karşı koyabilen sistemlerdir [2]. Bunlarda yanal zemin itkileri karşısındaki davranışları bakımından; rijit ve esnek istinat duvarları olarak ikiye ayrılmaktadır. Rijit olan yerçekimi (ağırlık) duvarları statik dengeyi sağlamak için kendi ağırlıklarını kullanırken, esnek konsol istinat duvarları stabilite kuvvetlerinin ve

*İlgili yazar: mnr.dikmen@gmail.com

momentlerinin bir kısmını topuğun üzerindeki dolgu zemininden alır. Eğilme rijitlikleri fazla olan rijit dayanma yapıları çok küçük deplasmanlar yapar. Esnek dayanma yapıları ise eğilmeye karşı rijitlikleri az olduğu için, rijit dayanma yapılarına oranla daha fazla deformasyona uğrarlar. Betonarme istinat duvarları da davranışsal olarak rijit dayanma duvarlarına örnek gösterilebilir.

Tasarım prensiplerine göre, istinat duvarlarına etkiyen statik zemin basınçları hesaplanır bir güvenlik katsayısı ile bölünerek duvarın stabilite tahkikleri yapılmaktadır. Ama statik basınçları dikkate alarak tasarım yapmak güvenlik açısından her zaman yeterli değildir. Özellikle deprem bölgesindeki istinat duvarlarında aktif yer hareketinden dolayı duvara etkiyen dinamik basınçların etkileri statik basınçlardan farklı olacaktır. [3]. Dayanma yapılarından en çok tercih edilen betonarme konsol istinat duvarlarının deprem etkisindeki tasarımı karmaşık bir mühendislik problemidir. Depreme dayanıklı tasarımda hem statik hem dinamik basınçlar dikkate alınacaktır [4].

Tasarımı yapılan betonarme konsol istinat duvarları bütünüyle taşıma gücü, kayma ve devrilme açısından stabilite tahkiklerini sağlamalıdır. Ayrıca istinat duvarının gövde, ön ve arka ampatman kısmında oluşacak olan eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri de emniyetli değerler sınırında kalmalıdır. Bunun için ön tasarım değerlerine göre parametreleri belirlenir. Yanal toprak basıncı teorisi dikkate alınarak duvara etkiyen tüm kuvvetler ve gerilmeler hesaplanmakta ve yapılan analizler sonucunda tasarım kriterlerinin statik ve dinamik açıdan sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Literatürde, statik ve dinamik zemin basınçlarını dikkate alarak tasarım yapan ve bu tasarımı etkileyen parametreleri inceleyen birçok çalışma mevcuttur. Maliyeti minimum olan betonarme istinat duvarı tasarımı; temel zemin özellikleri, duvar özellikleri, geri dolgu özellikleri gibi birçok parametreden etkilenmektedir.

Konsol bir istinat duvarının güvenli bir tasarım için gereken ideal duvar taban genişliğinin, istinat duvarının boyutsal parametreleri (yükseklik, genişliği ve temel yüksekliği) ve zeminin mühendislik özellikleri gibi parametreler ile değişimini araştırarak çalışmalar mevcuttur. Binici ve Öztürk devrilme, ve kaymaya karşı güvenli bir tasarım için gerekli taban genişliğinin; duvar yüksekliğinin artması ve artan dolgu birim hacim ağırlığı ile arttığını belirlemişlerdir. Taban boyutunun üzerinde, artan duvar kalınlığının ve artan temel yüksekliğinin etkisi az olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca dolgunun içsel sürtünme açısının artışı, beklendiği üzere güvenli bir tasarım için gereken taban genişliğini azaltmıştır [5]. Yükseklik ve sürsarj yükü arttıkça duvar maliyeti artmış, içsel sürtünme açısı arttıkça duvar maliyeti azalmıştır [6].

Dağdeviren ve Kaymak, istinat duvarlarının maliyetinde geri dolgunun farklı içsel sürtünme açıları, sürsarj yükleri, duvar yüksekliklerine ilave olarak duvarın ön kısmında oluşacak pasif dirençlerin etkilerini incelemişlerdir. Duvar yüksekliği artışının duvar maliyetini arttırdığını belirlemişlerdir. Sürsarj yükünün her artışı duvar maliyetini artırırken, dolgunun içsel sürtünme açısındaki artış maliyeti azaltmıştır. Ayrıca, duvar önünde oluşan pasif direncin artışının duvar maliyeti üzerinde etkisinin olmadığını görmüşlerdir [7].

İstinat duvarının stabilitesini (devrilme, kayma ve zemin gerilme kapasitesini), eğilme kapasitesini ve betonarme tasarımını içeren analizler yapılmıştır. Temür ve Bektaş, duvar tasarımının L ve T kesitli olması durumları ve gövde kalınlıklarının sabit ve değişken olmasını incelemiş her ikisinde de T kesitlerinin daha ekonomik olduğunu görmüşlerdir. Deprem bölgelerinin değişken olması maliyet farkı oranları birbirine yakın olmuştur. Duvar yüksekliğinin artışı ile maliyetin arttığını gözlemlemişlerdir [8].

İstinat duvarının tasarımında; zemin koşullarının etkisi, dolgu zemin özelliklerinin etkisi ve duvar tipinin önemini incelemek için konsol ve ağırlık istinat duvarı modelleri ele alınmıştır. Gürsoy yaptığı analizler ışığında; zemin esneklikçe (Z1 sınıfından Z4 sınıfına ilerledikçe) her bir zemin sınıfı için aktif zemin etkilerinin %2,5~3 artırılmasının bu duvarların depreme göre tasarımı için daha güvenli olacağı sonucuna ulaşmışlardır [9].

Konsol istinat duvarının optimum tasarımını elde edebilmek için geri dolgu zeminin mukavemet parametrelerini ve duvar yüksekliğini değiştirerek analizler yapmış; mukavemet parametrelerinin ve duvar yüksekliğinin artışının maliyeti arttırdığını, ancak bu artışın doğrusal olmadığını belirlemişlerdir. Ayrıca topuk boyutunun istinat duvarının yükseklik artışı ile doğrusal bir ilişki gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Burun kısmının boyut değişimi 7 m yüksekliğe kadar sabit kalmış sonrasında artmıştır. Ancak yüksekliğe bağlı burun boyutlarının değişimi, topuk kısmının boyut değişimine kıyasla düşük oranlarda gerçekleşmiştir [10].

Betonarme konsol istinat duvarlarının optimumtasarımı için statik aktif ve pasif kuvvetler dikkate alınmış, dinamik etkiler devre dışı bırakıldığında zeminin mukavemet parametrelerinin artışı güvenli tasarım için gerekli boyutları küçültmüş bu da duvar maliyetlerini %20 oranında azaltmıştır [11].

Bir yarı ağırlık duvarı ve ters T tipi konsol istinat duvarlarının göçme mekanizması ve yanal toprak basıncı dağılımını sayısal olarak incelenmişler ve sonucunda yanal toprak basıncının istinat tipine göre değiştiğini ve bunda da temas yüzeylerinin etkili olduğunu görmüşlerdir. Topuk boyutu ve duvar

yüzeyinin eğiminin değişmesi de yanal basınç gerilmelerinin değişiminde etkili olmuştur [12].

Bir istinat duvarının dinamik davranışını; zeminde bulunan yeraltı su seviyelerinin değişimine bağlı olarak incelemişlerdir. Zemin-yapı etkileşiminin istinat duvarlarının sismik davranışında çok önem arz ettiğini, yeraltı su seviyesindeki değişimlerin duvarın yatay hareketini artırdığını ve duvar üzerinde oluşan gerilmeleri önemli derecede etkilediğini belirtmişlerdir [13].

Statik yükler ve deprem yükleri altında betonarme konsol bir istinat duvarının tasarımı için optimizasyon metodu geliştirmiş ve farklı boyuttaki istinat duvarlarını analiz etmişlerdir. Geliştirilen bu optimizasyon yöntemi ile daha düşük inşaat maliyetleri elde edildiğini görmüşlerdir [14].

Farklı yükseklikteki ağırlık ve konsol istinat duvarları statik ve dinamik yükler altında Plaxis 2D ile analiz edilmiştir. Analizler sonucunda, 5 m ve 10 m yüksekliğindeki ağırlık ve konsol istinat duvarlarının 7.0 büyüklüğündeki bir depreme kadar yapımının statik ve dinamik açıdan uygun olduğunu ancak her iki duvar tipinde de 15 m yüksekliğindeki duvar imalatının güvenli olmadığını belirtmişlerdir [15].

Zeminlerin istinat duvarı ile karşılıklı etkileşimi, her ikisinin de dinamik etkilerdeki karakterlerini yönetmektedir. Bu etkileşim duvarın kütle ve rijitlik dağılımını etkilediğinden duvarın mod ve periyot şekilleri değişmektedir. Mod ve periyot ise sismik performanslarını ve depremde hasar alma şekillerinde önemli rol oynamaktadır. Zeminin rijitliği azaldıkça duvarın yatay yer değiştirmesi artmıştır. Duvar deplasmanlarının artmasıyla zemin içinde oluşan gerilmeler de artar. Gerilmeler sonucunda elastik olan davranış elastik durumdan elasto-plastik duruma ve nihai olarak göçme limit durumuna ulaşmaktadır. Bu sebeple duvarda oluşan

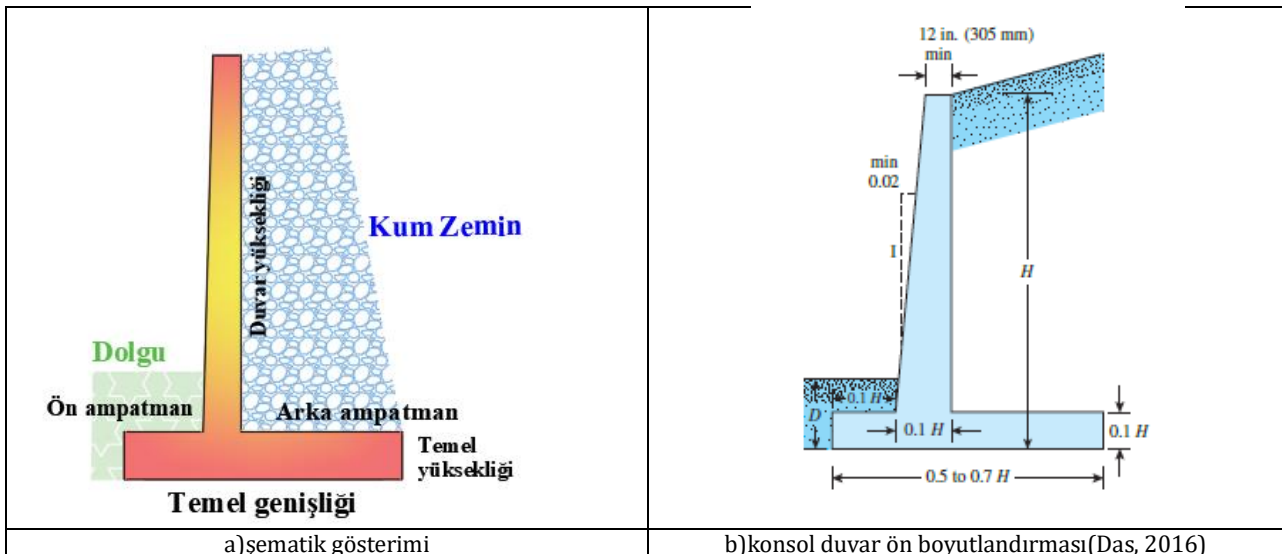
basınçlarının büyüklüğü ve dağılımı hareket modlarından etkilenmektedir [16].

Literatürde en çok tercih edilen konsol istinat duvarları için yapılmış parametrik, maliyet analizi, optimizasyon çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmada ise ülkemize 01.01.2019 yılında ülkemizde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği [17] dikkate alınarak 3 farklı yükseklikteki betonarme konsol istinat duvarının statik ve dinamik kuvvetler altında eşdeğer statik analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde dayanma yapısının altında kum zemin olduğu varsayılmıştır. Kum zemin için yapı yüksekliğine bağlı olarak dayanma yapısına gelen yükler hesaplanmıştır. Sismik yükler hesaplanırken İzmir, Isparta ve Konya olmak üzere 3 farklı konumdaki spektral ivmeler belirlenerek analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda yapı yüksekliğinin maliyete etkisi birim alanda gerekli olan donatı metrajıyla belirlenmiştir. Çalışma kapsamında yapısal davranışın değerlendirilmesinde istinat yapılarına etkiyen yükler altında gerilme dağılımı, tepe deplasmanları sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kapsamında yapı-zemin etkileşimi ve değişken duvar yükseklikleri dikkate alınarak, bu etkileşimin ve yükseklik değişiminin konsol betonarme istinat duvarlarının statik ve sismik davranışı üzerindeki etkileri sonlu elemanlar yöntemiyle irdelenmiştir. İki farklı yapısal analiz programı olan SAP 2000 ve STA4CAD'den yararlanılarak sonlu elemanlar modelleri oluşturulmuş ve çözümlenmeleri yapılmıştır.

Literatürde belirtilen ön boyutlandırma değerleri dikkate alınarak tasarım boyutları belirlenmiştir. Tasarlanan konsol istinat duvarı geometrisi ve ön boyutlandırma kuralları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Konsol istinat duvarının geometrisi

Konsol istinat duvarları 8 metre civarındaki yükseklikler için ekonomik sonuçlar vermiştir. Bunun nedeni konsol duvarın radye ile birleşimindeki mukavemetin bu yükseklikten sonra sağlanamamasıdır [18,19]. Bu amaçla literatürdeki ön boyut tasarımı dikkate alınarak analizi yapılacak konsol istinat duvarlarının toplam yükseklikleri 3,2, 6

ve 7.6 metre olarak seçilmiş, duvar ve temel boyutları Tablo 1'de detaylıca sunulmuştur. Toplam duvar yüksekliği 3.2 m olan model İST 3, 6 m olan model İST 6, 7.6 m olan model İST 7.5 kodlamasıyla temsil edilmiştir. Analizlerde ve sonuçların yorumlanmasında bu kodlama kullanılmıştır.

Tablo 1. Konsol istinat duvarının ölçüleri

Kodlama	Toplam yükseklik	Duvar yüksekliği	Temel yüksekliği	Duvar üst genişliği	Ön ampatman	Arka ampatman	Temel genişliği
İST- 3	3.2 m	2.8	0.4	0.4	0.6	1.2	2.2
İST- 6	6 m	5.4	0.6	0.4	1.2	2.7	4.5
İST-7.5	7.6 m	6.9	0.7	0.6	1.8	3.1	5.5

Zemin-yapı etkileşimini değerlendirebilmek amacıyla dikkate alınan temel zemini, dolgu zemin, beton ve yapı çeliğinin parametreleri Tablo 2'de sunulmuştur. Sonlu elemanlar çözümlerinde betonarme istinat duvarına ait Poisson oranı 0.20, birim hacim ağırlık 30 kN/m³, elastisite modülü 30000 MPa, olarak dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında da sürtünme açısı 0.66* ϕ olarak tercih edilmiştir. Çünkü duvar-zemin sürtünme açısının en fazla katkı sağladığı aralığı bulmak amacıyla farklı kayma direnci (ϕ) açıları kullanarak analizler yapmışlar ve duvar sürtünme açısının (2/3* ϕ) değerinden sonra olumlu etkisinin azaldığını görmüşlerdir [20].

İstinat duvarının perde ve temel bölümü Sap2000 de kabuk (Shell- thin) malzeme olarak tanımlanmıştır.

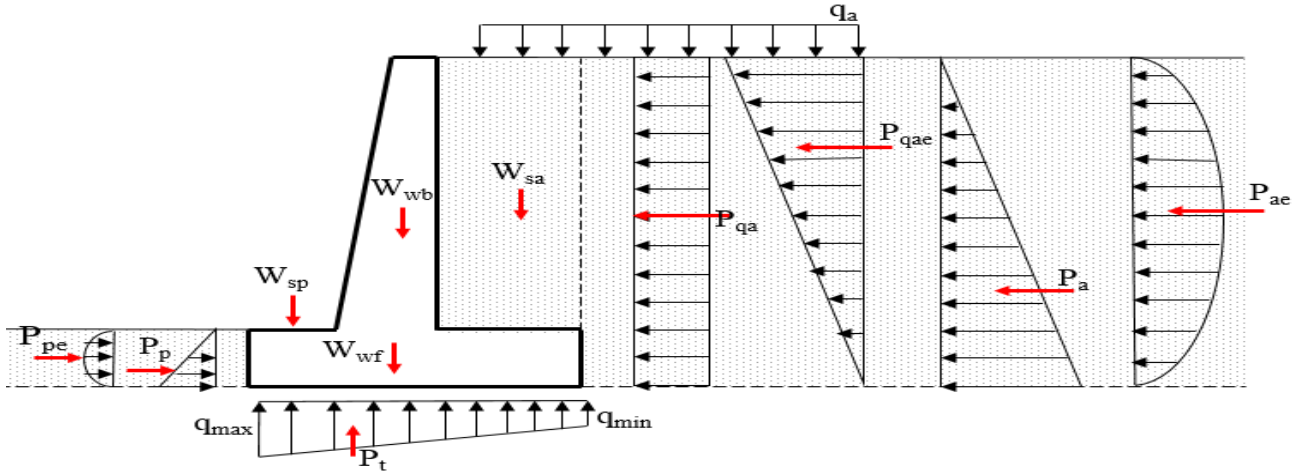
Tablo 1 de verilen geometrilerde çizilerek malzeme atamaları yapılmıştır. Analizlerde yapı zemin etkileşimi Shell elemanlara yay sabiti tanımlanarak sağlanmıştır. Yay sabiti kum zemin için 120000 Kn7m hesaplanmış ve programa tanıtılmıştır. Duvar üzerindeki sürşarj yükü 10 kPa kabul edilmiştir. Ön ampatman üzerine 1 metrelik zemin yükü ve arka ampatman üzerine duvar yüksekliği kadar zemin yükü tanımlanmıştır. Yatay zemin itkisinde aktif zemin basıncı dikkate alınarak yatayda artan kesitle basınç olarak tanımlanmıştır. Ölü yük (G), hareketli yük (Q) zemin yanal itkisi (Yİ), ve sürşarj (S), durumu için yük tanımlamaları yapılmıştır. Analizlerde sonuçların gözlemlenebilmesi için kombinasyonlar; 1.4G+1.6Q (Comb1), G+Q (Comb2), G+Q+S+Yİ (Comb3) olarak tanımlandı.

Tablo 2. Malzeme parametreleri

Adı	Birim Hacim ağırlık (kN/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson oranı	İçsel sürtünme açısı
Kum	19	105	0,3	35
Dolgu	18	50	0,3	30
C30/37	30	30000	0.2	-
S420	77	200000	0.3	

Dünyadaki tüm mühendislik yapıları statik ve dinamik yüklere maruz kalırlar ve bu yükler dahilince tasarlanmaktadır. Statik durumda yapının kendi ağırlığı ve hizmet ettiği işe bağlı olarak yapıya etki eden statik yükleri taşıyacak şekilde hesap yapılırken, dinamik durumda bölgenin deprem geçmişi ve mevcuttaki deprem bölgesi güvenlik katsayıları dikkate alınarak etkiyen yükler hesaba dahil

edilmektedir. Dinamik yüklerin büyüklüğü ve etki süresinin statik yükler gibi tahmin edilmesi mümkün olmadığından; özellikle yapılarda bu kuvvetlerin mevcut kesitlerde hasar oluşturacak yerlerinin belirlenmesi ve buralarda taşıma kapasitesinin belirlenip sünekliğin sağlanması ciddi önem arz etmektedir [21].



Şekil 2. Konsol istinat duvarına etki eden yükler [22]

Şekil 2’de konsol bir istinat duvarı ve bu duvara etkiyen yükler gösterilmiştir. W_{wb} istinat duvarı ağırlığını, W_{wf} temel ağırlığını, W_{sp} ön ampatmana etki eden zemin ağırlığını, W_{sa} arka ampatmana etki eden zemin ağırlığını, q_a sürşarj yükünü, P_{qa} sürşarj yükünden kaynaklı aktif toprak basıncını, P_{qae} sürşarj yükünden kaynaklı depremlı durumdaki aktif toprak basıncını, P_a aktif toprak basıncını, P_{ae} depremlı durumdaki aktif toprak basıncını, P_p pasif toprak basıncını, P_{pe} depremlı durumdaki pasif toprak basıncını, P_t temel altında oluşan taban kesme kuvvetini ifade etmektedir.

Dinamik basıncın etkidiği nokta ile ilgili birçok teori mevcuttur. Prakash ve Saran [23] dinamik aktif itkinin duvar tabanından itibaren 0.5 H yükseklikte etkimiş olduğunu belirlemişler. Prakash ve Basavanna [24] aktif itkinin sismik bileşenin duvar altından 2H/3 kadar üstte etkimesi gerektiğini göstermişlerdir. Whitman [25] dinamik aktif basıncın duvar tabanından 0.6H yukarıda etkidiğini belirtmiştir. Mononobe-Okabe [26,27] deneysel bulgularla, dinamik itkinin duvar dibinden itibaren yaklaşık H/3 kadar yukarıda etki etmekte olduğunu ifade ederken sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen analizlerde 0.4H-0.5H aralığında olduğu tahmin edilmekte ve

TBDY 2018 [17]’de dinamik toprak basınçlarının 0.5 H yükseklikte etki etmesi gerektiğini ifade edilmiştir.

Aktif ve pasif toprak basınçlarının hesabında sırasıyla yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayısı olan k_h ve k_v kullanılmaktadır. Buradaki r katsayısı konsol istinat duvarlarının statik çözümü için 1.5 seçilmiştir.

$$k_h = (0.4 * S_{DS})/r \quad (1)$$

$$k_v = 0.5 k_h \quad (2)$$

Türkiye Deprem Tehlike Haritası’ndan elde edilen S_s değeri kullanılarak kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değeri olan S_{DS} Denklem 3’e göre hesaplanmaktadır. S_{DS} değeri zemin sınıfına göre değişkenlik göstermektedir.

$$S_{DS} = S_s * F_s \quad (3)$$

Denklem 3’deki S_s değeri Türkiye Deprem Tehlike Haritası’ndan (TDTH 2018)[28] elde edilen harita spektral ivme katsayısı, F_s ise kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısıdır. F_s değerleri yerel zemin sınıfı ve S_s değerlerine bağlı olarak Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları (TBDY 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır</i>					

Bu çalışma kapsamında deprem tehlike haritasında farklı iller seçilerek dinamik etkinin istinat duvarındaki yansımaları belirlemek için farklı

ivmelere sahip İzmir, Isparta ve Konya ili seçilerek Şekil 4 üzerinde işaretlenmiş, elde edilen analizlerde kullanılan veriler Tablo 4’de sunulmuştur.



Şekil 4. Türkiye deprem tehlike haritasında işaretlenen illerin belirtilmesi (<https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>)

Tablo 4. TDTH 2018’den elde edilen parametreler

Konum	PGA (g)	PGV (cm/sn)	S_{DS}
İZMİR	0.480	28.613	1.402
İSPARTA	0.315	16.405	0.896
KONYA	0.135	6.764	0.481

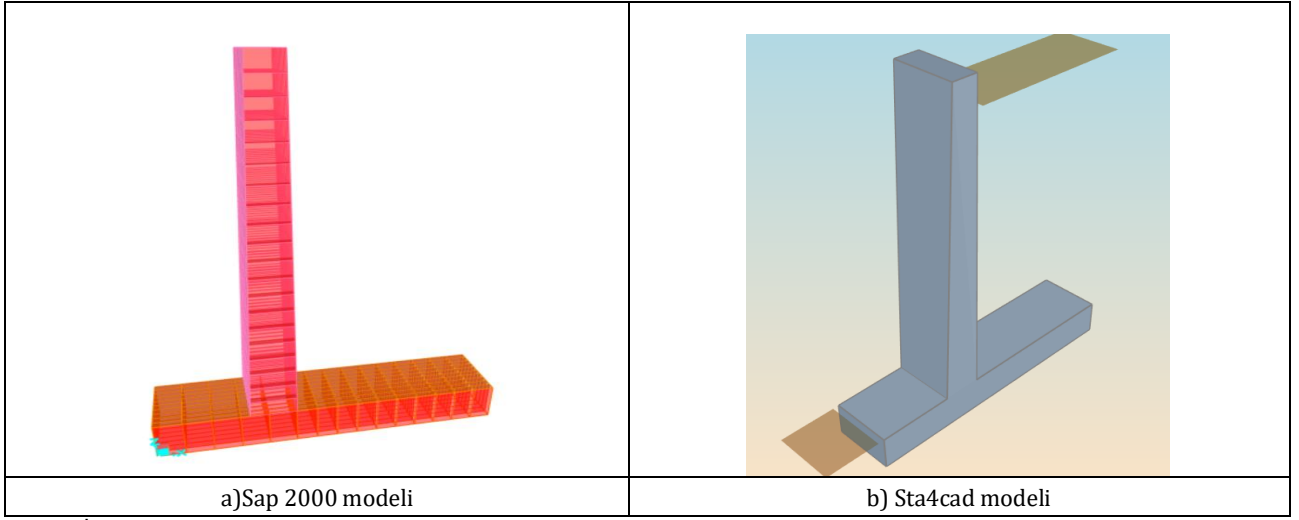
İstinat duvarlarının boyutlandırılması yapılırken; kayma, derilme ve taşıma gücü tahkikleri statik ve dinamik durum için yapılmaktadır. Statik durum için güvenlik katsayısı 1,5; depremlilik durumda güvenlik katsayısı 1,3 alınmıştır. Ön boyutlandırma değerleri için tahkikler yapılarak boyutların yeterliliği kontrol edilmiştir.

3. Bulgular

Dayanma yapıları duvar ve temel olmak üzere iki ana parçadan oluşmaktadır. Etkiyen yükler altında kayma, devrilme, taban basıncı yeterliliği kontrolleri sağlanır. Bu amaçla kaymaya karşı direnen kuvvetler, istinat duvarının kendi ağırlığı ile duvar tabanı üzerindeki zemin ve sürşarj ağırlığından oluşan düşey kuvvetlerin duvar tabanı ile zemin arasındaki sürtünme açısıyla çarpılması ile elde edilir. Kaymaya neden olan kuvvetler, istinat duvarı arkasında tutulan zemin kütesinden ve yüzeydeki yüklemelerden

kaynaklanan aktif itkiler ile su basınçlarından oluşmaktadır. Kayma tahkikine benzer olarak, devrilmeye karşı koyan momentler, istinat duvarının ağırlığı ve tabanı üzerindeki zemin ve sürşarj ağırlığından kaynaklanmaktadır. Devrilmeye neden olan momentler ise istinat duvarı arkasında tutulan zemin kütesinden kaynaklanan aktif itkiler ve su basınçlarından kaynaklanmaktadır. Üzerindeki kuvvet sisteminin etkisiyle, istinat duvarı temelinde oluşan en büyük basınç gerilmesi, zemin emin taşıma gücünden küçük olmalıdır.

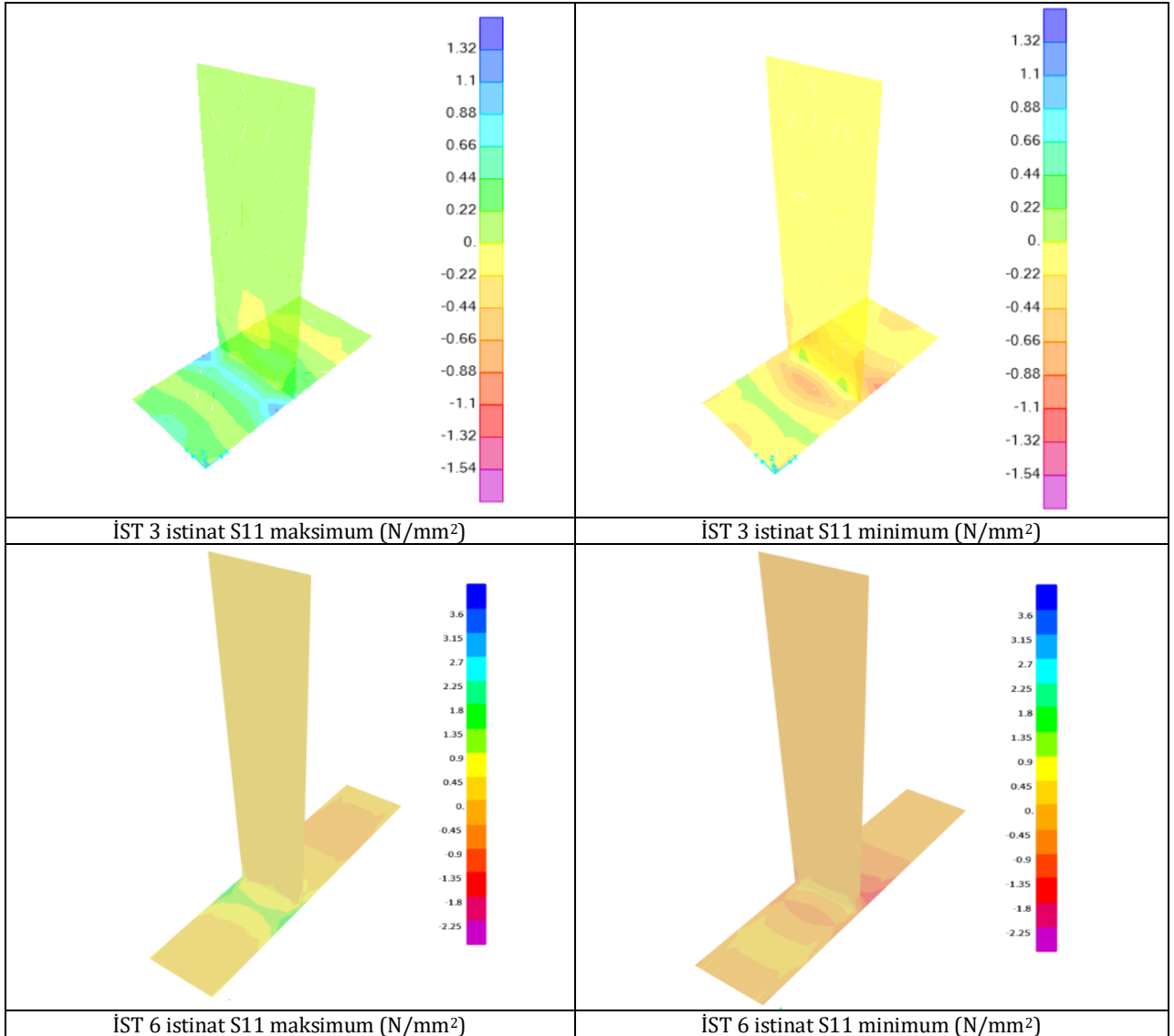
Bu çalışma kapsamında 3 farklı konsol istinat duvarı yüksekliği ve 3 farklı konum için eş değer statik analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Sta4cad sonlu elemanlar analiziyle 3 farklı yükseklikteki istinat duvarının etkin yükler altındaki betonarme tasarımı yapılmıştır. Sap 2000 sonlu elemanlar programında mevcut yükler altındaki yapısal davranış incelenmiştir. Her iki programda analiz edilen istinat duvarı görselleri Şekil 5 de verilmiştir

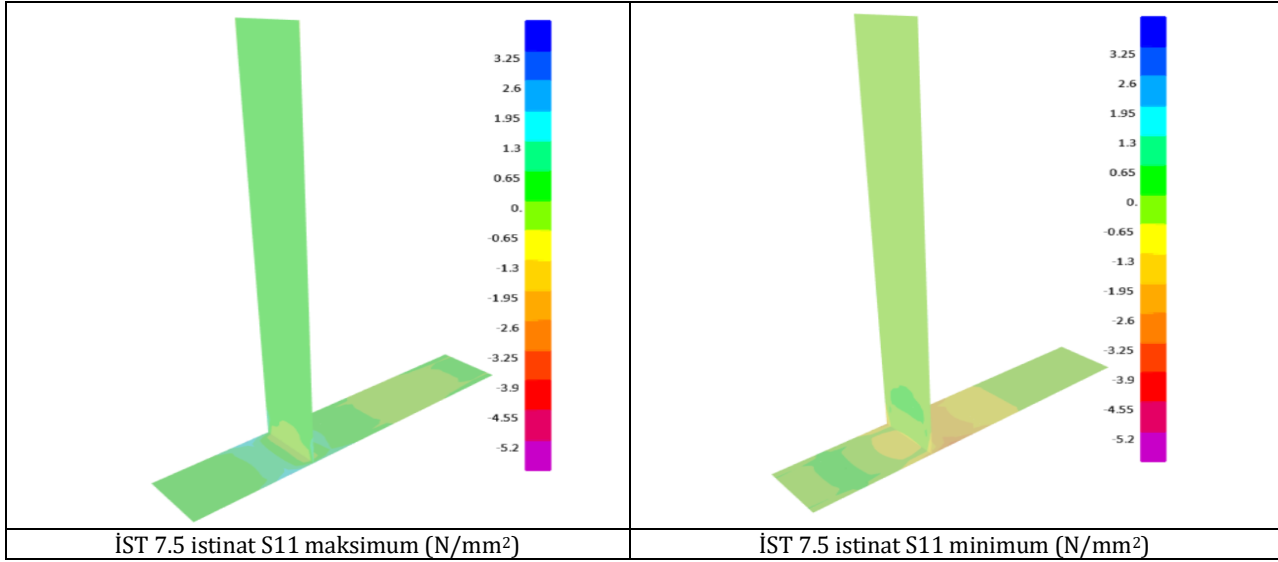


Şekil 5. İstinat duvarı model görselleri

Yatay ve düşey yüklerin etkisi ile duvar ve temel sistemi optimum boyutlarda seçilerek boyutsal parametrelerin değişmesinin yapısal davranışın sonuçlarına etkisini yorumlamak için analizlerde elde

edilen gerilmeler Şekil 6 da sunulmuştur. Tüm boyutlar için yapılan analizlerde en kritik durum olan kombinasyon 3 ele alınarak görseller otomatik renkli kontur aralığı ile verilmiştir.





Şekil 7. Tüm boylar için gerilme sonuçları

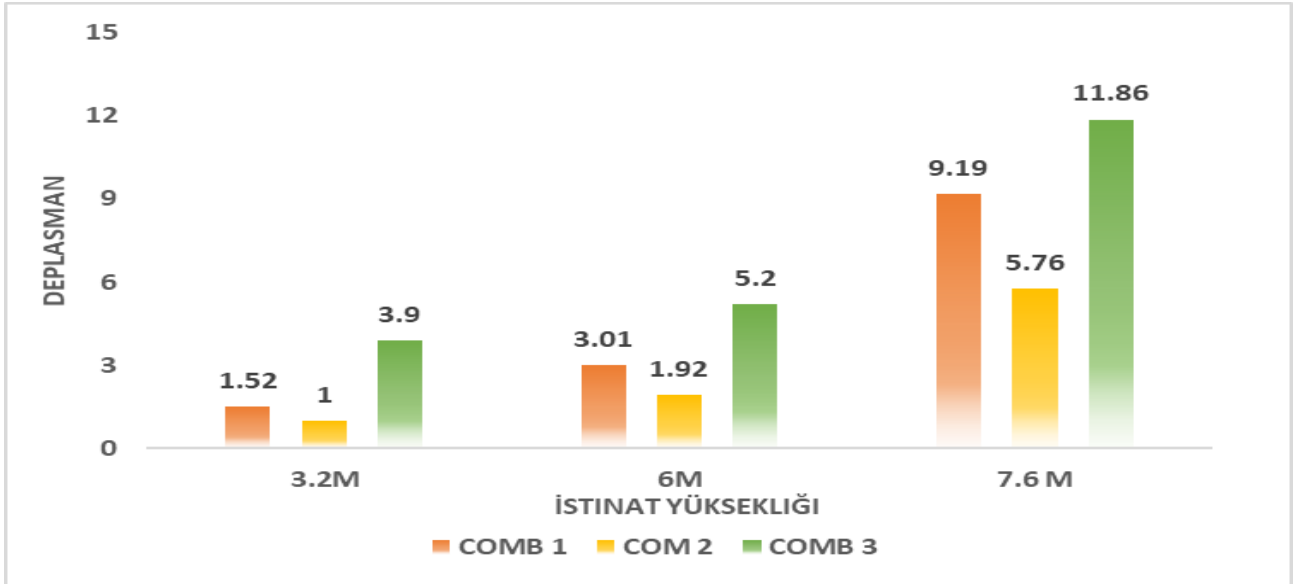
Şekil 7'de 3 farklı yükseklikteki istinat yapılarının maksimum ve minimum S11(1-1 ekseninde) gerilme değişimleri görülmektedir. Şekiller incelendiğinde tüm yüksekliklerde gerilme dağılımının belirleyici özelliği, yoğunlaşmanın temel ve duvar birleşim bölgesinde olmasıdır. 3.2 metrelik yapı için bakıldığında hesaplanan temel boyutu için ortaya çıkan gerilme dağılımı tüm temel sistemi tarafından karşılanmıştır. Ancak 6 m ve 7.6 m olan dayanma yapılarında benzerlik gösteren davranış gerilme yığılmalarının temel ile duvar birleşim bölgesinde kalması bunun dışında kalan taban bloğunun büyük bir kısmının gerilme kaynaklı değil de devrilme momentinin karşılamak için oluşturulduğunu yorumuna varılmaktadır. Konsol duvarlarda artan yüksekliğe bağlı olarak deprem sırasında duvara etkileyen eğilme momentleri, kesme kuvvetleri ve aksel kuvvetlerde doğrusal bir artış meydana gelmektedir [29]. Dayanma yapıları için gerilme

dağılımları incelendiğinde yükseklik arttıkça gerilmelerin arttığı ancak temel ile olan birleşim bölgesinde yığıldığı görülmüştür. Yükseklik azaldıkça gerilme duvar üzerinde de yayılırken, yükseklik arttıkça gerilmenin yığıldığı alan ile duvar alanı arasında azalan bir oran olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada Sap 2000 sonlu elemanlar programı analizlerindeki istinat duvarlarının tepe deplasmanları hesaplanmıştır. Analizler sonucunda yükleme durumları ve kombinasyonlar için tüm boylarda elde edilen istinat duvarı tepe deplasmanları Tablo 5'de ve Şekil 8 de çubuk diyagram olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde 3.2 ve 6 metrenin deplasmanlarının birbirine daha yakın mertebelerde seyrettiği ancak 7.6 metre yüksekliğine çıktığında tepe deplasmanlarının özellikle kombinasyon 3 için 2.5-4 kat daha artış sağlamıştır.

Tablo 5. İstinat duvarı tepe deplasmanları

Yüklemeler	Deplasmanlar (mm)		
	İST 3	İST 6	İST 7.5
Sürsarj yükü etkisi	2.9	3.29	6.09
Zemin itkisi	6.08	1.69	5.58
Comb 1	1.52	3.01	9.19
Comb 2	1.0	1.92	5.76
Comb 3	3.9	5.20	11.86



Şekil 8. Deplasman ve istinat yüksekliğinin ilişkisinin grafiksel gösterimi

Son deprem yönetmeliği TBDY 2018 ile birlikte, deprem tehlike haritası, tasarım ivme spektrumları, eşdeğer deprem katsayıları, zemin basıncı katsayıları ve zemin dinamik etkilerinin hesaplarının değiştiği görülmüştür [30]. TBDY 2018'e göre ZD sınıfında olan kum zeminde elde edilen PGA ve PGV değeri, 3 farklı konum için değişkenlik göstermektedir. Ama bu konumda DBYBHY 2007'de tek bir değer elde edilmekteydi. Bu durum aynı yerel zemin sınıfının farklı bölgelerde dinamik etkinin tasarıma ve maliyete nasıl yansdığı incelenmiştir. Çalışmanın son bölümünde Sta4cad programı kullanılarak 3 farklı

yükseklik ve 3 farklı konum için elde edilen donatı talepleri, Sap2000 de yapılan analizlerde elde edilen gerilme ve yerdeğiştirme sonuçlarıyla paralellik göstermiştir. Tüm istinat duvarlarında 1 metrelik kesit için donatılandırma yapılmıştır. Yüksekliklere göre incelendiğinde; 3.2 metrelik duvar için tüm konumlarda 100-145 kg/m, 6 metrelik duvar için 275-325 kg/m ve 7.6 metrelik duvar için 400-490 kg/m donatı metrajı elde edilmiştir. Bu sonuçlar detaylı olarak Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Analiz sonucu elde edilen donatı tablosu

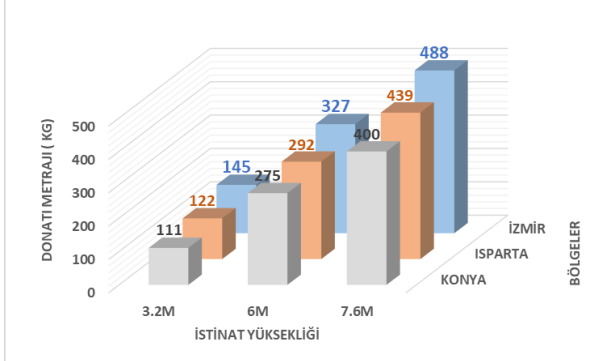
Konum	İstinat Duvarı	Perde Donatı		Temel Donatı		Ağırlık (kg)
İZMİR	İST 3	ön	7φ12/15	üst	7φ14/15	145
		arka	7φ14/15	alt	7φ14/15	
	İST 6	ön	7φ12/15	üst	7φ16/15	327
		arka	7φ16/15	alt	7φ16/15	
	İST 7.5	ön	9φ12/12	üst	7φ18/15	488
		arka	7φ18/15	alt	7φ18/15	
ISPARTA	İST 3	ön	9φ10/12	üst	7φ12/15	122
		arka	7φ12/15	alt	7φ12/15	
	İST 6	ön	7φ12/15	üst	7φ14/15	291
		arka	8φ14/14	alt	7φ14/15	
	İST 7.5	ön	9φ12/12	üst	7φ16/15	439
		arka	8φ16/15	alt	7φ16/15	
KONYA	İST 3	ön	8φ10/13	üst	6φ12/18	111
		arka	6φ12/19	alt	6φ12/18	
	İST 6	ön	7φ12/15	üst	7φ14/15	275
		arka	8φ14/14	alt	5φ14/20	
	İST 7.5	ön	9φ12/12	üst	8φ14/14	400
		arka	6φ14/18	alt	7φ14/15	

3.1. Deprem bölgelerinin maliyete etkisi

Yukarıdaki Tablo 6 ve Şekil 9 incelendiğinde 3.2 metrelik duvar dikkate alındığında İzmir ilinde konumlanan istinat duvarı Isparta iline göre % 19, Konya iline göre % 30 daha fazla donatıya sahiptir. 6 metrelik duvar İzmir ilinde konumlandığında Isparta

iline göre % 12, Konya iline göre % 19 daha fazla donatı metrajına sahip olmuştur. 7.6 metrelik duvar incelendiğinde İzmir- Isparta kıyaslandığında % 12 lik, Konya kıyaslandığında % 22 lik donatı fazlalığı dikkat çekmiştir. Sonuç olarak dinamik etki tasarıma dahil olduğunda ivme değişimine göre aynı zemin türü dahi olsa maliyetlerin arttığı ve her istinat boyu için bu

değerin ortalama %10-30 aralığında değiştiğini belirlenmiştir. Bu sonuçta bize deprem parametrelerinin tasarımda ihmal edilmemesi gerekliliğini ve stabilize problemlerinin oluşmaması için dikkatle incelenmesi gerektiği sonucuna varmamızı sağlamıştır.



Şekil 9. Maliyet grafiği

3.2. Duvar yüksekliğinin maliyete etkisi

Çalışma kapsamında diğer bir araştırma konusu olan duvar yüksekliği artışının maliyete etkisi incelendiğinde T kesitli, sabit ve değişen kalınlığa sahip duvarlar incelendiğinde 3.2 m'lik istinat duvarı referans alınarak kıyaslamalar yapılmıştır. Tüm bölgeler dikkate alınarak incelendiğinde 6 metre konsol istinat duvarında 2.25-2.47 oranında donatı metrajı artmıştır. 7.6 metre konsol istinat duvarı dikkate alındığında 3.36-3.60 oranında donatı metrajı artmıştır. 7.6 metrelik konsol istinat duvarı 6 metrelik konsol istinat duvarı ile kıyaslandığında bu oran 1.5 kat çıkmıştır. Sonuç olarak istinat duvarı yüksekliği arttıkça, duvarın imalat maliyetinin de parabolik olarak arttığı görülmüştür.

Konsol istinat duvarları temele ankastre olarak bağlandığı için, duvarın yüksekliği arttıkça temel ile duvarın birleşim noktasında ciddi eğilme momentleri oluşmaktadır. Duvar yüksekliğinin artışıyla güvenlik kriterlerini sağlayabilmek adına kayma ve devrilme tahkiklerinde temel yüksekliğinin artırmaktansa istinat duvarı taban plağının uzatılması daha doğru sonuçlar vermiştir. Böylelikle duvar tabanına etki eden dolgu ağırlığından dolayı eksenel kuvvette oluşan artış, kaymaya direnen sürtünme kuvvetinin de artmasını sağlayacaktır (Gülden, 2014). Ayrıca çalışma kapsamındaki tüm analizlerde duvar yüksekliği ile duvar taban plağı arasında 0,73-0,75 oranında bir katsayı elde edilmiştir. Statik durumda bu oranlar azalabilse de aktif deprem kuşağında bulunan ülkemizde tasarımlar statik koşullara göre de yapılmaktadır.

Genel değerlendirme yapıldığında konsol istinat duvarlarının 6 m yüksekliğe kadar ekonomik sonuçlar verdiği görülmüştür. Yapılan analizlerde göstermiştir ki 6 metreden sonraki yüksekliklerde hem gerilme dağılımında, hem yataydaki yer değiştirmelerde hem

de birim alana düşen donatı taleplerindeki artışlar dikkate alındığında paralelinde artan maliyetlerden dolayı payandalı istinat duvarına ya da alternatif bir dayana yapısına geçiş yapılması önerilmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu makale kapsamında, TBDY 2018'e göre konsol istinat duvarlarının tasarımında dikkat edilmesi gereken kriterler dikkate alınmıştır. Sta4cad paket programında istinat duvarının temel kalınlığı ve ön-arka ampatman uzunlukları için optimum boyutlar elde edilmiştir. SAP 2000 programında yapısal analiz; Sta4cad programında ise betonarme tasarım yapılmıştır. Kurgulanan tasarımlarda farklı bölgelerde ve farklı yüksekliklerde vaka analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan sonlu elemanlar analizleri neticesinde elde edilen veriler değişken parametrelerin katkıları ve kıyaslamaları değerlendirilerek sırasıyla maddeler şeklinde sunulmuştur.

- İstinat duvarının depreme dayanıklı tasarımında, duvar yüksekliğinin değişimi tasarım boyutlarını etkileyen en belirgin parametre olmuştur. Kazı derinliğinin artışı ile duvar yüzeyine etki eden aktif basınçlar artmakta ve duvar stabilitesinin sağlanması amacıyla optimum boyutlandırma, en etkili duvar temelinin genişliğinin artırılması ile elde edilebilmiştir.
- İstinat duvar yüksekliği ile duvar taban plağı arasında 0,73-0,75 oranında bir katsayı elde edilmiştir. Ön boyutlandırmada bu değer 0,5-0,7H olarak belirtilse de: statik durumda yeterli olan 0,5 H değeri sismik etkiler ile birlikte ortalama 0,75H civarında sonuçlanmıştır.
- Betonarme konsol istinat duvarlarında artan yüksekliğe bağlı olarak deprem sırasında gelişen eğilme momentleri, kesme kuvvetleri ve eksenel kuvvetlerde artış meydana gelmektedir. Böylelikle dinamik etki tasarıma dahil olduğunda ivme değişimi oranıyla maliyet artışı doğrusal orantılı artmıştır, ancak spektral ivme katsayısı dikkate alındığında ise maliyet parabolik olarak artmıştır.
- Gerilmelerin belli bir yükseklikten sonra duvar temel etkileşim noktasında yığıldığını, artan boy ile gerilmenin yığıldığı alanın temele yaklaşmasına bağlı olarak ters orantılı ilerlediğini ancak temel boyutlarının da devrilme momentlerinin sağlanması için artırıldığı görülmüştür.
- Çalışma kapsamında 6 metreden sonraki yüksekliklerde gerilme, yerdeğiştirme ve

donatı metrajındaki artış sebebiyle stabilize ve ekonomiklik kriterleri sağlanamamaktadır. Bu nedenle payandalı istinat sistemine geçilmesi önerilir.

Etik Beyanı/Declaration of Ethical Code

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Genç, D., 2008. Zemin Mekaniği ve Temeller, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, Ankara
- [2] Coduto, D.P. 2001. Temel Tasarımı: İlke ve Uygulamalar. 2. Baskı, Prentice Hall, Upper Saddle River.
- [3] Gürsoy, S., 2006. Betonarme İstinat Duvarlarının, Zemin Etkileşimini de Dikkate Almak Suretiyle, Deprem Yüklerine Göre Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranışlarının incelenmesi", Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [4] Arslan Ö., Keskin İ., Ateş A., 2018. Farklı Deprem Yüklerinin Betonarme Konsol Bir İstinat Duvarının Maliyetine Etkisinin Analizi, Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B-Teorik Bilimler 6, 28-35.
- [5] Binici, E., Öztürk, Ş. 2019. Konsol İstinat Duvar Tasarımı Üzerine Parametrik Bir Çalışma. Journal of the Institute of Science and Technology , 9 (1) , 203-210 . DOI: 10.21597/jist.448933
- [6] Yıldırım E., 2019. Betonarme konsol istinat duvarları ile geogrid donatılı istinat duvarlarının teknik ve ekonomik yönden araştırılması. Konya teknik üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 174 s
- [7] Dağdeviren, U., Kaymak, B. 2018. Yapay Arı Koloni Algoritması Kullanılarak Betonarme İstinat Duvarlarının Optimum Maliyet Tasarımını Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi . Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33 (1) , 0-0 . DOI: 10.17341/gazimmfd.406796.
- [8] Temür, R. & Bekdaş, G. 2018. Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının Optimum Tasarımı . Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,24(6), 1043-1050 . <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/40976/498366>
- [9] Gürsoy, Ş. 2013. İstinat Duvarlarına Etkiyen Aktif Zemin İtkilerinin Eurocode-8 Ve Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre Karşılaştırılması. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 1(4) , 153-160 .Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gujsc/issue/7461/98245>
- [10] Uzundurukan, S. & Saplıoğlu, K. 2020. Konsol İstinat Duvarlarında Yükseklik Maliyet İlişkisinin Parçacık Sürü Algoritması İle İncelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8 (4) , 2544-2554 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dubited/issue/57598/752589>
- [11] Kayhan, A. H. & Demir, A. 2016. Betonarme konsol istinat duvarlarının parçacık sürü optimizasyonu ile optimum tasarımı. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,22 (3), 129-135. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/24687/261049?publisher=pamukkale>
- [12] Kamiloğlu H.A., Şadoğlu E., Yılmaz F.,2019. Numerical Analysis of Active Earth Pressures on Various Types of Retaining Walls. Erzincan University Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Journal of Science and Technology 2019, 12(3), 1666-1677 2019, 12(3), 1666-1677 ISSN: 1307-9085, e-ISSN: 2149-4584.DOI: 10.18185/erzifbed.649503
- [13] Köktan, U. , Demir, G. & Ertek, M. 2019. Bir Konsol İstinat Duvarının Sismik Davranışına Yeraltı Su Seviyesindeki Değişimlerin Etkisinin İncelenmesi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(2), 307-317. DOI: 10.17714/gumusfenbil.398875
- [14] Kayabekir, A. E., Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., Temür, R., 2017. Statik ve Dinamik Yükler Altındaki İstinat Duvarlarının Optimum Tasarımı. Engineering Sciences, 12(1), 46-56
- [15] Yavan O. 2015. Suya Doygun Kil Zeminlere İnşa Edilen İstinat Duvarlarının Dinamik Yükler Altında Davranışı. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 116s
- [16] Öztürk K.F. 2015. Zemin-Yapı Etkileşimi Ve Farklı Duvar Geometrilere Dikkate Alınarak Konsol İstinat Duvarlarının Sismik Davranışının İncelenmesi. Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstisüsü, Yüksek Lisans Tezi, 85 s
- [17] TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara. Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1.pdf>
- [18] Hool, A.G., Kinne B.S., 1944. Reinforced Concrete An Mosonry Structure, McGraw-Hill inc.,USA
- [19] Özbey k. 2003. İstinat Duvar Analizleri. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129s

- [20] Gül den N. 2014. İstinat Duvarlarının Farklı Yükleme Ve Koşullar Altında Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 131s
- [21] Celep, Z., 2017. Deprem Mühendisliğine Giriş, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul,739 s
- [22] Dalyan, İ. , Akın, M. S., Akbay Arama, Z. 2020. Betonarme İstinat Duvarlarının Geoteknik Tasarımında Etkili Parametrelerin 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Değerlendirilmesi. Türk Deprem Araştırma Dergisi, 2 (2) , 176-192. DOI: 10.46464/tdad.804289.
- [23] Prakash, S., ve Saran S., 1996. Static and dynamic earth pressures behind retaining walls. Proceedings of the Third Symposium on Earthquake Engineering, University of Roorkee, India, Vol. 1.
- [24] Prakash, S., Basavanna, B. M., 1969. Effect of Size and Shape of Foundations on Elastic Coefficients of Layered Soil Mass.", Proceedings of the Fourth World Conference on Earthquake Engineering
- [25] Whitman, R. V., 1990. Seismic design and behavior of gravity retaining walls. Proc. of ASCE Specialty Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures
- [26] Mononobe, N., ve Matsuo. H., 1929. On the determination of earth pressure during earthquakes: Proceedings of the World Engineering Congress., 177-185,
- [27] Okabe, S., 1926. General theory of earth pressure", Journal of Japanese Society of Civil Engineering, 12(1)
- [28] TDTH, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, Ankara. Erişim adresi: <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>
- [29] Yenidoğan H.C. 2006. İstinat Duvarlarının Deprem Sırasında Davranışı. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 127s
- [30] Tuğrul A.T. 2019. İstinat Yapılarının Depreme Dayanıklı Tasarımı. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 184s.
- [31] AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı <https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/24212/pics/image-52f6087989850.png?c=7596> (Erişim Tarihi: 30.08.2023)