



OPEN  ACCESS

# DUJE

## Dicle University Journal of Engineering

ISSN 1309-8640

**Dicle Üniversitesi Adına yayın Sahibi / Privilige Owner**  
Mehmet Sıraç ÖZERDEM

**Baş Editör / Editor-in-Chief**  
Mehmet Sıraç ÖZERDEM

**Alan Editörleri / Field Editors**  
Muhammet Ali ARSERİM  
Abdurrahman SAYDUT  
Mehmet Emin ÖNCÜ  
Sedat BİNGÖL  
Orhan KAVAK  
Fevzi ÖNEN  
Abdulnasır YILDIZ  
Atilla Gencer DEVECİOĞLU  
Kadir TURAN

**Tasarım-Dizgi / Designing-Editing**  
Mesut ŞEKER

**Yazışma Adresi**

Mühendislik Dergisi, Koordinatörlük ve Yayın Bürosu,  
Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 21280 Diyarbakır  
Telefon : +90-412 248 82 17, Faks : +90-412-248 82 18  
Elektronik posta : [muhendislikdergisi@dicle.edu.tr](mailto:muhendislikdergisi@dicle.edu.tr)  
web : <http://dergipark.gov.tr/dumf> , <https://duje.dicle.edu.tr/>

Dergide yayınlanan yazılar izinsiz başka bir yerde yayınlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz.

ISSN Basılı Materyal: 1309-8640  
Online ISSN: 2146-4391



## Hakem Listesi / Reviewers List

Dergimize yayınlanmak üzere gönderilmiş olan makaleleri titiz bir şekilde değerlendiren kıymetli hakem hocalarımıza, değerli katkılarından dolayı teşekkür eder, katkılarının devamını dileriz.

*We greatly appreciate the contributions made by the scientists, who worked as reviewers for Dicle University Journal of Engineering (DUJE) and we expect their contributions to the following journal issues.*

Kazım Hanbay (Bingöl Üniversitesi)  
Ayşegül Uçar (Fırat Üniversitesi)  
Emine Elmaslar Özbaş (İstanbul Üniversitesi)  
Selim Ceylan (Ondokuz Mayıs Üniversitesi)  
Nurtekin Özen (Fırat Üniversitesi)  
Beşir Şahin (Çukurova Üniversitesi)  
Çiğdem Susantez (Trakya Üniversitesi)  
Erhan Özhan (Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi)  
Önder Demir (Marmara Üniversitesi)  
Mehmet Baygın (Ardahan Üniversitesi)  
Ferhat Atasoy (Karabük Üniversitesi)  
Ayşe Vildan Beşe (Atatürk Üniversitesi)  
Hasan Saygılı (Batman Üniversitesi)  
Mahmut Durmaz (Siirt Üniversitesi)  
Hakan Çoban (Bitlis Eren Üniversitesi)  
Kazım Türk (İnönü Üniversitesi)  
Oğuz Cem Çelik (ITU)  
Gurbet Canpolat (Siirt Üniversitesi)  
Ahmet Çınar (Fırat Üniversitesi)  
Tarık Aral (Batman Üniversitesi)  
Murat BATAN (Batman Üniversitesi)  
Ali Karcı (İnönü Üniversitesi)  
Pelin Yıldırım Taşer (Bakırçay Üniversitesi)  
Halil Arslan (Cumhuriyet Üniversitesi)  
Burak Yön (Munzur Üniversitesi)  
Onur Merter (İzmir Ekonomi Üniversitesi)  
Mahsum Aydın (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi)  
Mete Onur Kaman (Fırat Üniversitesi)  
Mustafa Gür (Fırat Üniversitesi)  
Yeliz İpek (Ege Üniversitesi)  
Ayhan Kural (ITU)  
Erkin Dinçmen (Işık Üniversitesi)  
Korhan Deniz Dalgıç (İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü)

Alper Baba (İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü)  
Mustafa Muammer Demir (İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü)  
Murat Uçar (İstanbul Şehir Üniversitesi)  
İbrahim Doğru (Gazi Üniversitesi)  
Hakan Yaykaşlı (Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi)  
Hasan Eskalen (Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi)  
Mehmet Şakir Ece (Mardin Artuklu Üniversitesi)  
Ayhan Bekleyen (DU)  
Mehmet Fırat Baran (DU)  
M. Zahir Düz (DU)  
Abdulkadir Albayrak (DU)  
İbrahim Dolak (DU)  
Nizamettin Hamidi (DU)  
Gurbet Örcen (DU)  
İdris Bedirhanoğlu (DU)



# İçindekiler / *Table of Contents*

## Elektrik Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering

- Derin Sinir Ağları için Hiperparametre Metodlarının ve Kitlerinin İncelenmesi  
(Derleme Makalesi)  
*Investigation of Hyperparametry Methods and Kits for Deep Neural Networks*  
(Review Article)  
**Sara Altun, M. Fatih Talu** **187**
- Simplified Human Computer Interface Design Using EEG Signals  
(Research Article)  
**Hakan Üstünel, Selma Bulut Büyükgöze, Doğan Ünal, Emre Zengin, İlhan Umur**  
**201**
- Derin Öğrenme ve Sınıflandırma Yaklaşımları ile BT görüntülerinden Covid-19 Tespiti  
(Araştırma Makalesi)  
*Covid-19 Detection from CT images with Deep Learning and Classification Approaches*  
(Research Article)  
**Erdal Özbay, Feyza Altunbey Özbay** **211**
- İçerik Tabanlı Bilimsel Yayın Öneri Sisteminde Benzerlik Ölçümlerinin İncelenmesi  
(Araştırma Makalesi)  
*The Analysis of Similarity Measurements in Content-Based Scientific Paper Recommender System*  
(Research Article)  
**Emine Deniz, V. Karani Öz, Sinem Bozkurt Keser, Savaş Okyay, Yusuf Kartal** **221**
- Makine Öğrenmesi Algoritmalarıyla Kalabalık Ortamlarda Anomali Tespiti  
(Araştırma Makalesi)  
*Anomaly Detection in Crowded Scenes With Machine Learning Algorithms*  
(Research Article)  
**Hatice Kübra Boyrazlı, Ahmet Çınar** **229**
- AFWDroid: Deep Feature Extraction and Weighting for Android Malware Detection  
(Research Article)  
**Recep Sinan Arslan, Emre Ölmez, Orhan Er** **237**

## Makina Mühendisliği / Mechanical Engineering

- Utilization of a sun-tracking parabolic dish collector for water heating application  
(Research Article)  
**Atilla G. Devecioğlu, Muhammed Hatipoğlu, Vedat Oruç** **247**
- Fiber Takviyeli Yapıştırıcıların Kullanıldığı Tek Tesirli Yapışma Bağlantılarında Hasar Analizi  
(Araştırma Makalesi)  
*Failure Analysis of Fiber Reinforced Adhesively Single Lap Joints*  
(Research Article)  
**Kadir Turan, Sinan Barut** **257**

Çevresel şartların tek tesirli yapışma bağlantılı kompozitler üzerinde etkisi (Araştırma Makalesi) <i>The Effects of Environmental Conditions on Single-Lap Adhesively Bonded Composites</i> (Research Article) <b>Gurbet Örçen, Engin Koyun</b>	<b>263</b>
Identification of Dry Sliding Wear Behaviour of PLA Parts Manufactured by Fused Deposition Modelling (Research Article) <b>İlyas İstif</b>	<b>275</b>
<b>Maden Mühendisliği / Mining Engineering</b>	
The adsorption of Cr(VI) and organic matter by new generation pyrolysis char (Research Article) <b>Merve Kalem, Esra Yel, Zafer Arıkan</b>	<b>285</b>
The Activated Carbon from Walnut Shell Using CO <sub>2</sub> and Methylene Blue Removal (Research Article) <b>İlhan Küçük, Yunus Önal, Canan Akmil Başar</b>	<b>297</b>
Eskişehir Bastnasit Cevherinde Bulunan Seryumun Zenginleştirilmesi (Araştırma Makalesi) <i>Enrichment of Cerium from Eskişehir Bastnaesite Ore (Research Article)</i> <b>İbrahim Dolak</b>	<b>309</b>
Yaşlanma Karşıtı Kozmetikler İçin Taşıyıcı Sistemler Olarak Yeni Yumuşak Malzemelerin Kullanımı (Araştırma Makalesi) <i>Use of new soft material as a carrier system for anti-aging Cosmetics (Research Article)</i> <b>Mehmet Çolak</b>	<b>317</b>
ErB <sub>6</sub> and Ce doped ErB <sub>6</sub> hexaborides: A computational material study (Research Article) <b>Mikail Aslan</b>	<b>323</b>
Gümüş nano malzemelerin çevre dostu, hızlı sentezi ve biomedikal uygulamaları (Araştırma Makalesi) <i>Eco- friendly, rapid synthesis of silver nanomaterials and their use for biomedical applications (Research Article)</i> <b>Ayşe Baran</b>	<b>329</b>
Diyarbakır Karacadağ Kırmızı Tepe Skoryası ile Cu(II) Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi (Araştırma Makalesi) <i>Investigation of Cu(II) Adsorption Kinetics by Diyarbakır Karacadağ Kırmızı Tepe Scoria</i> (Research Article) <b>Mehmet Can Dal, Nilgün Onursal, Enes Arıca, Ömer Yavuz</b>	<b>337</b>
Gümüş nano materyallerin sentezi, karakterizasyonu ve antimikrobiyal aktiviteleri (Araştırma Makalesi) <i>Synthesis, characterization and antimicrobial activities of silver nanomaterials</i> (Research Article) <b>Necmettin Aktepe</b>	<b>347</b>



## İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering

- Faz Değiştiren Malzemelerin Bina Kabuğunda Kullanımı (*Araştırma Makalesi*)  
*Usage in Building Envelope of Phase Change Materials (Research Article)*  
**Deniz Saylam Canım, Sibel Maçka Kalfa** **355**
- Consolidation settlement calculation and examination of the foundation settlements with finite elements method, example of Batman city Gültepe bridge (*Research Article*)  
**Veysel Köylü, Nuray Alparlan, Veysel Süleyman Yavuz** **373**
- GAP YENEV Binasının Kısmi Göçmesinin İncelenmesi ve Güçlendirme Çalışmaları (*Araştırma Makalesi*)  
*Investigation of the Collapse of the Gap Yenev Building and the Strengthening Studies (Research Article)*  
**Recep K. Pekgökgöz, M. Arif Gürel, Fatih Avcil** **389**
- Meteorolojik Akış Katsayısının Bulanık SMRGT Yöntemi ile Belirlenmesi: Murat Havzası Örneği (*Araştırma Makalesi*)  
*Determining Meteorological Flow Coefficient by Using Fuzzy SMRGT Method: An Example for Murat Basin (Research Article)*  
**Fatih Şevgin, Z. Fuat Toprak** **401**
- Farklı tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisindeki TSD sistemlerin yapısal tepkilerinin ve giren enerjilerinin değerlendirilmesi (*Araştırma Makalesi*)  
*Evaluation of structural response and input energies of SDOF systems subjected to earthquake records scaled according to different design spectra (Research Article)*  
**İbrahim Özgür Dedeoğlu, Yusuf Calayır** **411**
- Estimation of missing temperature data by Artificial Neural Network (ANN) (*Research Article*)  
**Okan Mert Katipoğlu, Reşat Acar** **431**
- Donatı tipi ve göçme modunun geri dönüşüm agregası ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların kırılma fonksiyonları üzerindeki etkileri (*Araştırma Makalesi*)  
*Effects of Reinforcement Type and Failure Mode on Fragility Functions of Columns Incorporating Recycled Concrete Aggregate (Research Article)*  
**Çağlar Gökso** **439**
- Şanlıurfa'da Jeotermal Enerji Kaynaklarının Yönetimi İçin İdari Bir Model Önerisi (*Araştırma Makalesi*)  
*An Administrative Model Suggestion for the Management of Geothermal Energy Resources in Şanlıurfa, Turkey (Research Article)*  
**Fred Barış Ernst, M. İrfan Yeşilnacar, Zafer H. A. Sak, Dilek Atasoy, Celal Çiftçi, Perihan Derin** **451**

---

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (DÜMF) Mühendislik Dergisi yayınlarında varılan sonuçlar veya fikirlerin sorumluluğunu taşımamaktadır. Üniversite'nin, bu yayında ileri sürülen bilgi, alet, ürün veya işlevin doğruluğu, bütünlüğü, uygunluğu ve kullanılabilirliği konusunda bir yüklenimi ve iddiası bulunmamaktadır. Bu nedenle herhangi bir şekilde sorumlu tutulamaz.

Bu yayının herhangi bir kısmı, mühendislik dergisinin yazılı izni olmadıkça kaynak gösterilmeden yayınlanamaz, bilgi saklama sistemine alınamaz veya elektronik, mekanik, fotokopi, kayıt veya başka sistemlerle çoğaltılamaz.





## Derin Sinir Ağları için Hiperparametre Metodlarının ve Kitlerinin İncelenmesi

*Investigation of Hyperparametry Methods and Kits for Deep Neural Networks*Sara ALTUN<sup>1\*</sup>, M. Fatih TALU<sup>2</sup><sup>1</sup> İnönü Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, sara.altun@inonu.edu.tr<sup>2</sup> İnönü Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, fatih.talu@gmail.com

## MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*

Geliş: 10 Temmuz 2020

Düzeltilme: 1 Aralık 2020

Kabul: 2 Aralık 2020

*Anahtar kelimeler:*Derin Öğrenme Ağları,  
Hiperparametre, Otomatik Makine  
Öğrenimi

## ÖZET

Otomatik makine öğrenimi (AutoML) ve derin sinir ağları birçok hiperparametreye sahiptir. Karmaşık ve hesapsal maliyet olarak pahalı makine öğrenme modellerine son zamanlarda ilginin artması, hiperparametre optimizasyonu (HPO) araştırmalarının yeniden canlanmasına neden olmuştur. HPO'nun başlangıcı epey uzun yıllara dayanmaktadır ve derin öğrenme ağları ile popülaritesi artmıştır. Bu makale, HPO ile ilgili en önemli konuların gözden geçirilmesini sağlamaktadır. İlk olarak model eğitimi ve yapısı ile ilgili temel hiperparametreler tanıtılmakta ve değer aralığı için önemleri ve yöntemleri tartışılmaktadır. Sonrasında, özellikle derin öğrenme ağları için etkinliklerini ve doğruluklarını kapsayan optimizasyon algoritmalarına ve uygulanabilirliklerine odaklanılmaktadır. Aynı zamanda bu çalışmada HPO için önemli olan ve araştırmacılar tarafından tercih edilen HPO kitlerini incelenmiştir. İncelenen HPO kitlerinin en gelişmiş arama algoritmaları, büyük derin öğrenme araçları ile fizibilite ve kullanıcılar tarafından tasarlanan yeni modüller için genişletilebilir durumlarını karşılaştırmaktadır. HPO derin öğrenme algoritmalarına uygulandığında ortaya çıkan problemler, optimizasyon algoritmaları arasında bir karşılaştırma ve sınırlı hesaplama kaynaklarına sahip model değerlendirmesi için öne çıkan yaklaşımlarla sonuçlanmaktadır.

Doi: 10.24012/dumf.767700

## ARTICLE INFO

*Article history:*

Received: 10 July 2020

Revised: 1 December 2020

Accepted: 2 December 2020

*Keywords:*Deep Learning Networks, Hyper  
Parameter, Automatic Machine  
Learning

## ABSTRACT

Automatic machine learning (AutoML) and deep neural networks have many hyperparameters. The recent increasing interest in complex and cost-effective machine learning models has led to the revival of hyperparameter optimization (HPO) research. The beginning of HPO has been around for many years and its popularity has increased with deep learning networks. This article provides important issues related to the revision of the HPO. First, basic hyperparameters related to the training and structure of the model are introduced and their importance and methods for the value range are discussed. Then, it focuses on optimization algorithms and their applicability, especially for deep learning networks, covering their effectiveness and accuracy. Then, it focuses on optimization algorithms and their applicability, especially for deep learning networks, covering their effectiveness and accuracy. At the same time, this study examined the HPO kits that are important for HPO and are preferred by researchers. The most advanced search algorithms of the analyzed HPO kits compare the feasibility and expandability for new modules designed by users with large deep learning tools. Problems that arise when HPO is applied to deep learning algorithms result in prominent approaches for model evaluation with a comparison between optimization algorithms and limited computational resources.

\* Sorumlu yazar / Correspondence

Sara ALTUN

✉ sara.altun@inonu.edu.tr

## Giriş

Derin sinir ağları, makine öğrenme sistemlerindedir. Bir sinir ağının mimarisi, düzenlemesi ve optimizasyonu hiperparametre seçimine geniş oranda bağlıdır. Hiperparametre optimizasyonu (HPO), sinir ağı yapısı ve modelin eğitim sürecinde optimum hiperparametre aramada AutoML'in önemli bileşenidir. Otomatik hiperparametre optimizasyonu (HPO), adil şekilde karşılaştırmaları kolaylaştırmaktadır [1]. HPO probleminin 1990'lara dayanan uzun bir geçmişi vardır (örneğin, [2-5]). Ayrıca ilk dönemlerde farklı hiperparametre yapılandırılmalarının farklı veri kümeleri için en iyi sonucu olduğu belirlenmiştir [3]. Gizli katmanların sayısı ve aktivasyon fonksiyonu gibi modelin yapısının oluşturulmasında, parçacık boyutu, optimizasyon algoritmaları, stokastik gradyan azalması (Stochastic Gradient Descent, SGD), öğrenme oranı (Learning Rate, LR) gibi model eğitilirken verimliliğinin ve doğruluğunun belirlenmesinde rol alabilmektedir. HPO, model tasarımının son adımı ve sinir ağını eğitmenin ilk adımı olarak görülebilir. Hiperparametrelerin eğitim esnasındaki doğruluğu ve hızı üzerindeki etkisi göz önüne alındığında, eğitim süreci başlamadan önce dikkatli bir şekilde deneyimlenmelidir [6]. HPO işlemi, insanları makine öğrenme sisteminin döngüsünden çıkarmak için makine öğrenme modelinin hiperparametrelerini otomatik olarak optimize etmektedir.

HPO, son yıllarda derin öğrenme modellerinin geliştirilmesinde en iyi doğruluk sonucunu bulmak için sinir ağlarının sayısının artırılması [7], daha az ağırlık ve parametrelerle tasarlanan model [8-10] neticesinde giderek gerekli hale gelmiştir. Hiperparametrelerin seçimi zor olduğu için bunu deneysel değerlere uyarlamak da zordur. Hiperparametrelerin ayarlanması, karmaşık ve dikkatle tasarlanmış yapıya sahip bir model için önem arz etmektedir. Yaygın kullanılan modellerde, araştırmacılar önceki çalışmalardan örnek alabileceğinden hiperparametreler elle ayarlanabilmektedir. Küçük ölçekli modeller için de hiperparametreler elle ayarlanabilir. Fakat daha büyük model ya da yeni yayınlanan modeller için hiperparametrelerin bulunması araştırmacılar

tarafından fazla miktarda deneme çalışması yapılabilmesi için çok fazla zaman ve hesaplama kaynağı gerektirmektedir.

HPO, uygulamada çeşitli zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Büyük veri setlerinde ve büyük modellerde fonksiyon değerlendirmesinde maliyeti fazla olabilir. Yapılandırma alanı genellikle karmaşıktır ve yüksek boyutludur. Aynı zamanda bir algoritmanın hiperparametrelerinden hangilerinin optimize edileceği ve hangi aralıklarda olduğu her zaman net olmayabilir. Hiperparametrelerle ilgili olarak maliyet fonksiyonunun gradyanına erişim yoktur. Genel performans için eğitim veri setleri sınırlı sayıda olduğu için doğrudan optimizasyon yapılamaz.

Bu araştırmanın amacı, HPO için uygulanabilir algoritmalar üzerine analiz yapmak, HPO işlemi için önde gelen yapılar hakkında karşılaştırma yapmak ve derin öğrenme ağlarındaki HPO işlemi için bakış açısı sunmaktır. Bu makalenin geri kalanı şu şekilde planlanmıştır. Bölüm 2, sinir ağlarının oluşturulması ve eğitilmesi için; modeller, potansiyel arama alanları ve anahtar hiperparametrelerin tartışılmasıyla başlamaktadır. Bölüm 3'te hiperparametre aramada yaygın olarak kullanılan optimizasyon algoritmalarına odaklanılmaktadır. Bu bölümde ayrıca, farklı algoritma öğrenme modelleri için bu algoritmaların etkinliği ve uygulanabilirliği de değerlendirilmektedir. Bölüm 4, genel HPO kitlerine ve hizmetlerine genel bir bakış sunup; artılarını ve eksilerini karşılaştırmaktadır. Bölüm 5, mevcut HPO yöntemlerini daha kapsamlı bir şekilde karşılaştırmaktadır ve Bölüm 6, çalışmanın sonuçlarını vermektedir.

Bu çalışmanın katkısı şu şekilde özetlenir: (1) Hiperparametreler sistematik olarak yapıya ve eğitime ilişkin olarak kategorize edilmektedir ve deneysel stratejiler tartışılarak HPO'da hangi hiperparametrelerin bulunmasını belirlemede yardımcı olmaktadır. (2) HPO algoritmaları; doğrulukları, verimlilikleri ve uygulama kapsamalarına göre ayrıntılı olarak analiz edilmekte ve karşılaştırılmaktadır. (3) Bu çalışma HPO araçlarını karşılaştırmakta, açık kaynak ve kapalı kaynaklı hizmetler ile ilgili bilgiler



sunmaktadır. Bu araçların her biri için hedeflenen kullanıcıları açıklamaktadır.

### Derin Sinir Ağları için Hiperparametreler

Gerekli hesaplama kaynakları göz önüne alındığında büyük öneme sahip hiperparametreler, HPO sürecinde öncelikli olarak tercih edilmektedir. Eğitim sırasında ağırlıklar üzerinde daha güçlü etkisi olan hiperparametreler sinir ağı eğitimi için önemlidir [11].

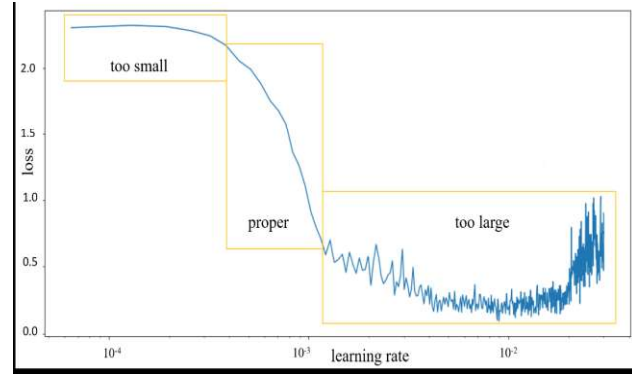
Hiperparametreler, model eğitimi için kullanılanlar ve model tasarımı için kullanılanlar olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Model eğitimiyle ilgili uygun hiperparametre seçimi, sinir ağlarının daha hızlı öğrenmesini ve gelişmiş performans elde etmesini sağlamaktadır. Derin sinir ağını eğitmek için en çok benimsenen optimizasyon algoritmaları, momentum ile stokastik gradyan azalması'nın [12] yanı sıra AdaGrad [13], RMSprop [14] ve Adam [15] gibi çeşitlerdir. Sinir ağının eğitim sürecinde yakınsama hızını belirledikleri için parça büyüklüğü (batch size) ve öğrenme oranı (learning rate, LR) en çok dikkat çekmektedir. Model tasarımı için kullanılan hiperparametreler daha çok sinir ağlarının yapısı ile alakalıdır. Bunun en tipik örneği gizli katmanların sayısı ve katmanların genişliğidir.

#### a. Öğrenme Oranı (Learning Rate, LR)

Öğrenme oranı, SGD sırasında adım uzunluğunu belirleyen pozitif bir skalerdir [16]. Çoğu durumda, Öğrenme oranı model eğitimi sırasında manuel olarak ayarlanmalıdır ve bu ayarlama genellikle yüksek doğruluk elde edebilmek için gerekmektedir [17]. Öğrenme oranının eğitim süreci boyunca değişen öğrenme oranı olarak belirlenmesi bir alternatiftir. En basit program olan sabit öğrenme oranı, derin öğrenme çerçeveleri (ör. Keras) tarafından genellikle varsayılan olarak ayarlanmaktadır.

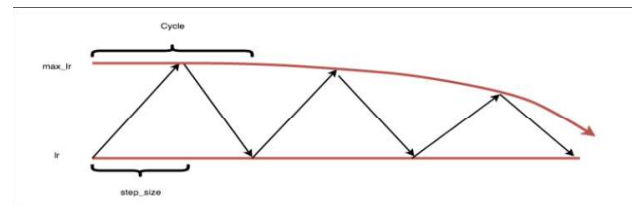
Pratikte, hiperparametrelerle ilgili deneyime sahip olmayanlar için hiperparametresinin etkisinin önemine karar vermesi zordur. Belirli bir hiperparametrenin etkisini sağlamak için bir duyarlılık testi önerilmektedir [18,19]. Hiperparametrelerin başlangıç değerleri etkili sonuçlara sebep olduğundan dikkatle

belirlenmesi gerekmektedir. Eğitim esnasında bozulduğu için öğrenme oranının başlangıç değeri nispeten büyük bir değer olabilir. Eğitimin ilk safhalarında, büyük değerli bir öğrenme oranı daha az riskle hızlı yakınsamaya yol açmaktadır (Şekil 1). Öğrenme oranını güncellemek için log ölçeği kullanılırsa üstel bozulma için daha iyi bir seçim olabilir. Üstel bir fonksiyon, momentum ve ağırlık azalması gibi diğer birçok ayarlama hiperparametresi için uygulanabilir.



Şekil 1. Öğrenme oranının etkisi [20]

Öğrenme oranını düzenleme, optimizasyon algoritmasına göre ayarlanmalıdır [21]. Öğrenme oranı çizelgesinin önceden belirlenmesi gerekiyorsa, Öğrenme oranı çizelgesinin hiperparametrelerini ve karşılık gelen optimizasyon algoritmalarının eşzamanlı olarak ayarlanması önerilmektedir. Kullanıcıların eğitimden önce programdaki tüm hiperparametreleri belirlemesi gerekmektedir. Bu durum, Öğrenme oranı yöntemi için sorun teşkil etmektedir. Bu sorun otomatik HPO veya döngüsel öğrenme oranı yöntemiyle çözülür [22]. Öğrenme oranı, belirli bir sınır değeri içinde bir üçgen kuralında güncellenmektedir ve sınır değeri, belirli bir döngüsel programda bozulmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Döngüsel bir programda öğrenme oranı düşüşü [23]

#### b. Optimizasyon Algoritmaları

Optimizasyon algoritmaları veya optimize ediciler, doğruluk ve eğitim hızının iyileştirilmesinde kritik rol oynamaktadır. Optimizasyon algoritmalarıyla ilgili hiperparametreler; mini parça boyutu, momentum ve beta seçimini içermektedir. Uygun optimizasyon algoritması seçmek zor bir işittir. Bu bölümde yaygın olarak benimsenen optimizasyon algoritmaları (mini-parça gradyan azalması, RMSprop ve Adam), ilgili hiperparametreler ve önerilen değerler ele alınmaktadır.

Genel olarak, optimizasyon algoritmalarının öğrenme oranı ile birlikte ayarlanması gerekmektedir. Sinir ağı eğitimi yaparken kullanılan çoğu hiperparametre; optimizasyon algoritmaları ve öğrenme oranı ile yüksek oranda alakalıdır. Optimizasyon algoritmalarından RMSprop ve Adam benzer durumlarda uygulanabilmektedir. Çoğu durumda Adam, RMSprop yönteminden daha güvenilir sonuçlar elde ettiğinden varsayılan optimize algoritması olarak kullanılabilir [24]. Adam, optimizasyon algoritması olarak kullanılırsa öğrenme oranı buna göre ayarlanmalıdır. Momentumlu SGD; RMSprop ve Adam ile karşılaştırıldığında, momentumlu SGD'nin optimum seviyeye gelebilmesi için daha fazla zaman gerekebilir.

Ng'nin 2017 ders notlarına [11] göre, hiperparametreleri önem derecesine göre şu şekilde sıralamıştır: (1) Öğrenme Oranı. (2) Momentum beta RMSprop vb. için. (3) Tüm mini-parça GD (gradient descent) için kritik olan mini parça boyutu. (4) Model yapısıyla ilgili hiperparametre olan gizli katmanların sayısı. (5) Öğrenme oranının bozulması. (6) Varyansı azaltmak ve aşırı eğilmekten kaçınmak için kullanılan düzenli lambda. (7) Doğrusal olmayan elemanlar eklemek için kullanılan aktivasyon fonksiyonları ve son olarak Adam,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve  $\epsilon$  şeklinde listelemiştir. Bu listede bulunan hiperparametrelerin sadece eğitim ile ilgili olmadığı, aynı zamanda modelin yapısını da belirlediği fark edilmektedir. Bu nedenle bir sonraki bölümde sadece gizli katmanların sayısı, düzenli lambda ve aktivasyon fonksiyonu hakkında konuşulmaktadır.

## Model Tasarımına İlişkin Hiperparametreler

Gizli katmanların sayısı, sinir ağlarının genel yapısını belirlerken sonuç üzerinde doğrudan etkisi olan kritik bir parametredir [25]. Daha fazla katman ekleyerek sinir ağını büyütme daha iyi sonuçlar elde etmek için uygun yöntemdir. Aynı zamanda, her katmandaki (n) nöronların sayısı da dikkatle değerlendirilmelidir. Gizli katmanlardaki nöron sayısının az olması, modelin karmaşıklığından yoksun olduğundan yetersizliğe (underfitting) neden olabilir [26]. Nöron sayısının çok fazla olması taşma (overfitting) ile sonuçlanabilir ve eğitim süresini uzatabilir. Heaton, 2017 nöron sayısının başlatılması için aşağıdaki formülü önermiştir [27] (denklem 1) :

$$n_{input} \leq n \leq n_{output}$$

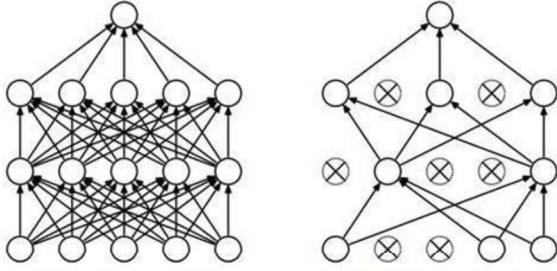
$$n = \frac{2}{3}n_{input} + n_{output} \quad (1)$$

$$n \leq n_{input}$$

burada  $n_{input}$ , giriş katmanı için nöron sayısı ve  $n_{output}$ , çıkış katmanı için nöron sayısıdır. Bir sinir ağı modelinin içerisine katman veya nöron eklemenin aksine, özellikle yetersiz eğitim verisine sahip olan sinir ağlarının karmaşıklığını azaltmak için düzenleme yani regülarizasyon uygulanmaktadır. Taşma durumunu önlemek için bir düzenleme terimi eklenir. Düzenleme teriminin genel ifadesi denklem 2'deki gibidir.

$$maliyet = kayıp.fonksiyonu + düzenleme \quad (2)$$

Veri çoğaltma (data augmentation) [28] ve atlama (dropout) [29] yaygın olarak kullanılan regülarizasyon teknikleri olarak kullanılmaktadır. Veri çoğaltma yöntemi, taşmayı önlemek için eğitim veri kümesini sahte veriler oluşturmakta ve eklemektedir. Atlama durumu, eğitim sırasında kullanılmayan belirli bir olasılıkla nöronları rastgele seçmek için kullanılan bir tekniktir. Bu da ağı nöronların özgül ağırlıklarına daha az duyarlı hale getirmektedir [30]. Sonuç olarak, bir sinir ağının basitleştirilmiş versiyonu taşmayı azaltabilir (Şekil 3).



Şekil 3. Atlama (dropout) uygulanmadan önce ve sonra bir sinir ağının karşılaştırılması [29]

Aktivasyon fonksiyonları, derin öğrenme açısından nöronların çıkışına doğrusal olmayan özellikler kazandırdığı için önemlidir. Aktivasyon fonksiyonu olmadan sinir ağı, basitçe verilerin karmaşık özelliklerini temsil edemeyen doğrusal bir regresyon modeli olacaktır. Aktivasyon fonksiyonları, ağırlık gradyanlarını hesaplamak ve geri yayılım gerçekleştirmek için farklılaştırılabilir olmalıdır [31]. En popüler ve yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları sigmoid, hiperbolik tanjant (tanh), ReLU [32], Maxout [33] ve Swish [34]'tir. Fonksiyonların yapısı ve ilgili hiperparametreler dâhil olmak üzere uygun aktivasyon fonksiyonlarının araştırılmasında otomatik arama teknikleri uygulanmıştır [35].

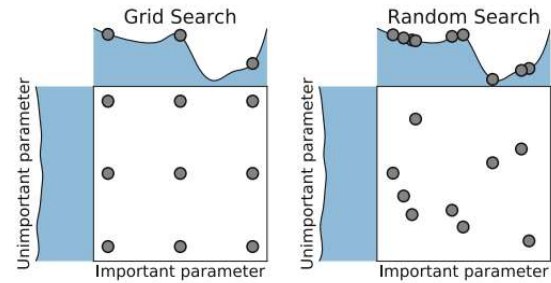
### Hiperparametrede Arama Algoritmaları

Genel olarak arama algoritmaları olarak bilinen kara-kutu optimizasyon algoritmaları HPO'ya uygulanabilir. Bu bölümde arama algoritmaları olan modelsiz kara-kutu optimizasyon algoritmaları tartışıldıktan sonra Bayes optimizasyon algoritması açıklanmaktadır.

Modelsiz kara-kutu optimizasyon algoritmaları ızgara arama ve rastgele aramadır [36].

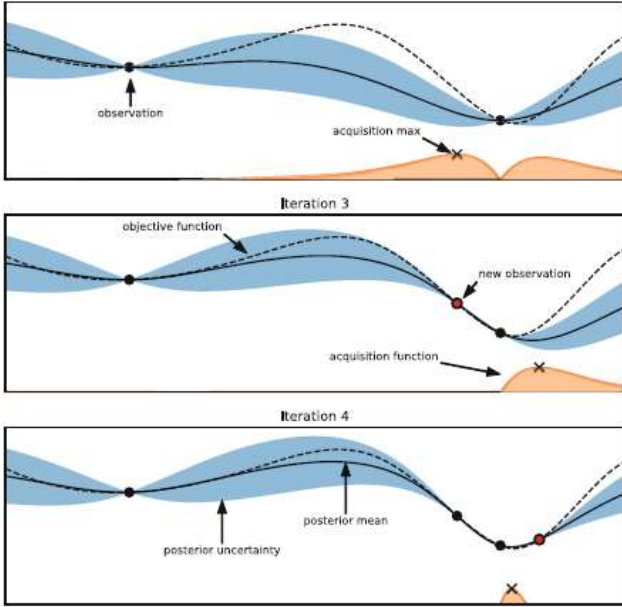
Izgara arama, tam faktöriyel tasarımı olarak da bilinen en temel HPO yöntemidir [37]. Daha kolay paralelleştirme yapması ve esnek kaynak tahsisi bakımından avantajlıdır. Izgara arama, yeterli kaynaklar verildiği sürece en doğru tahminlere götüren en basit arama algoritmasıdır ve kullanıcı her zaman en uygun kombinasyonu bulabilmektedir [38]. Diğer arama algoritmaları daha elverişli özelliklere sahip olsa da matematiksel sadeliği nedeniyle ızgara arama hala yaygın kullanılan bir yöntemdir [36].

Rastgele arama [36], ızgara aramasını temel alan bir yöntemdir. Arama için belirli bir bütçe tükenene kadar yapılandırma işlemini rastgele tekrarlamaktadır. Makine öğrenme algoritmasını optimize ederken yeterli kaynak sağlandığına dair varsayımında bulunmayıp beklentiye göre rastgele biçimde optimum seviyeye yakın bir performans elde ettiği için rastgele arama, ızgara arama yönteminden daha iyi sonuçlar vermektedir [37]. Şekil 4'de ızgara arama ve rastgele arama yöntemleri karşılaştırılmıştır ve rastgele aramanın daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir [36]. HPO'nun ilk aşamasında arama alanını hızla daraltmak için rastgele arama kullanılması önerilmektedir [11].



Şekil 4. Önemli ve önemsiz parametre ile bir fonksiyonu en aza indirmek için ızgara arama ile rastgele aramanın karşılaştırılması [36]

Bayes optimizasyonu (BO), onlarca yıllık tarihi olan geleneksel bir algoritmadır. Mockus [39,40] tarafından geliştirilmiştir ve daha sonra küresel optimizasyon problemine uygulandığında popülerite kazanmıştır [41]. BO, neredeyse tüm küresel optimizasyon türleri için tipik bir yöntemdir ve daha fazla veriyle daha az hata yapmayı amaçlamaktadır [42]. Bayes optimizasyonundaki birçok gelişme yeni kazanım fonksiyonlarında, modellerde ve paralelleştirme şemalarında HPO'ya kolayca uygulanabilmektedir. Kullanıcıların hiperparametrelerin dağılımı hakkında ön bilgiye sahip olmaları gerekmemesi ve arkasında olasılık fikrine dayanmasından dolayı rastgele arama ve ızgara arama yöntemlerinden daha verimli sonuçlar elde etmektedir. BO algoritmasında [43] birçok olasılık modeli kullanılabilir, ancak Gauss Süreci (Gauss Process, GP) [44] çoğunlukla tercih edilmektedir. GP, Bayes optimizasyonunda amaç fonksiyonları için varsayılan vekil model seçimi olabilir (Şekil 5).



Şekil 5. Tek boyutlu fonksiyon üzerinde Bayes optimizasyonunun gösterimi [45]

GP, tahminlerde belirsizliğin ölçülmesini sağlayan BO için tercih edilen modeldir. Parametrik olmayan bir modeldir ve parametre sayısı sadece giriş noktalarına bağlıdır. Bununla birlikte, GP'nin bazı dezavantajları da vardır. Örneğin, BO teorisiyle birlikte anlaşılması kavramsal olarak zordur. Ayrıca, yüksek boyutlu veya çok sayıda veri noktası ile zayıf ölçeklenebilirliği önemli bir sorundur [46]. Dahası, belirli bir miktarda veri için önceden seçim yapmak performansı büyük ölçüde etkilemektedir.

Bayes optimizasyonu için bir diğer alternatif model rastgele ormanlar (random forest) modelidir [47]. GP'ler küçük, sayısal yapılandırma alanlarında rastgele ormanlardan daha iyi performans gösterirken [43], rastgele ormanlar doğal olarak standart GP'lerin iyi çalışmadığı daha büyük, kategorik ve koşullu yapılandırma alanlarında iyi performans göstermektedir [43,48]. Ayrıca hesaplama karmaşıklığı rastgele ormanlar için çok daha iyi ölçeklenmektedir. Bu avantajlar göz önünde bulundurulduğunda rastgele ormanlarla [47] Bayes optimizasyonu için SMAC ve AutoML araçları olan Auto-WEKA[49] ve Auto-Sklearn [50] etkinleştirilmiştir.

TPE (Tree Parzen Estimator, Parzen Tahmincisi Ağacı), koşullu hiperparametreler için bir Parzen

tahmincisi ağacı kullanmaktadır ve yapılandırılmış HPO görevleri üzerinde iyi performans göstermiştir [51,43,52,49,53] Kavramsal olarak basittir ve paraleldir [54].

Freeze-Thaw Bayesian Optimizasyonu [55], öğrenme eğrilerinin Bayesian optimizasyonunun modelleme ve seçim sürecine tam entegrasyonudur. Freeze-Thaw, düzenli bir Gauss işlemiyle birleştirilmiş bir algoritmanın performansını modellemektedir ve öğrenme eğrilerini öğrenme başına eğri Gauss işlemleriyle modellemek için katlanarak bozulan işlemlere karşılık gelen özel bir kovaryans işlevi sunmaktadır.

### Hiperparametrede Erken Durma Strateji ile Optimizasyon

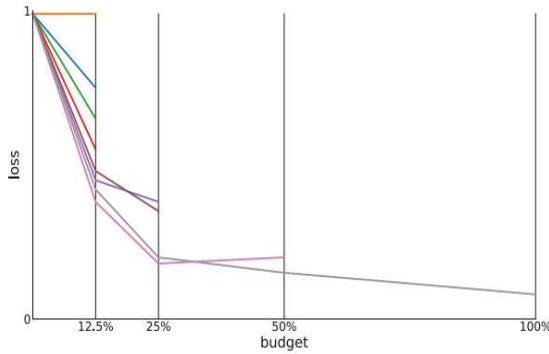
HPO, genellikle hesaplama maliyeti yüksek olan ve zaman alan işlemdir. Gerçek zamanda, HPO sürecini mevcut sınırlı kaynaklarla tasarlamak gerekmektedir. HPO için erken durma stratejileri, sinir ağı eğitimindekilere benzemektedir. Ancak erken durma stratejisi sinir ağı eğitiminde taşmayı önlemek için uygulanmaktadır. Bu, kullanıcıların tüm eğitimi bitirmeden önce denemeyi sonlandırmasına izin verir, böylece umut verici hiperparametre seti ile denemeler için hesaplama kaynaklarını serbest bırakır.

Medyan durdurma, Google Vizier [56], Tune [57] ve NNI [58] gibi yapılandırılmış HPO araçları tarafından uyarlanan en basit ilkel yöntemdir. Modelsizdir ve çok çeşitli performans eğrileri için geçerlidir. Medyan durdurma, önceki çalışmaların raporladığı birincil metriklerin (örn. doğruluk veya maliyet) ortalamasını esas alarak sonuca varmaktadır.

Eğri uydurma, bir LPA (öğrenme, tahmin, değerlendirme / learning, predicting, assessing) algoritmasıdır [3,59]. Google Vizier ve NNI tarafından desteklenen, bahsedilen arama algoritmaları kombinasyonlarında geçerlidir. Genel olarak, sistemin durup durmayacağını belirlemek için öğrenme, tahmin ve değerlendirme olmak üzere üç adıma sahiptir. Medyan durdurma yöntemi ile karşılaştırıldığında, eğri uydurma yöntemi parametrelili bir modeldir. Modelin oluşturulması bir eğitim sürecidir. Arama algoritmaları ile birleştirildiğinde, optimizasyon sürecini



hızlandırır ve daha sonra son teknoloji ürünü bir ağ bulur.



Şekil 6. Sekiz algoritma-yapılandırma için ardışıl yarıya bölmenin gösterimi [60]

Özellikle derin öğrenme algoritmalarını optimize etmek için güçlü performans gösterdiklerinden, ardışıl yarıya bölme ve Hiperband'a dayanan haydut tabanlı yöntemlerin varyantlarına odaklanılmaktadır. Ardışıl yarıya bölme (Successive halving, SHA) ve HyperBand, örnekleme yöntemi olarak rastgele arama ve haydut tabanlı erken durma stratejisi ile HPO için kaynak tasarrufunda geleneksel arama algoritmalarından daha iyi performans göstermektedir. Ardışıl yarıya bölme, uygun algoritma seçiminde son derece basit bir o kadar da güçlüdür. Bu nedenle popüler bir stratejidir. Ardışıl yarıya bölme işlemi, Şekil 6'da gösterilmektedir. HyperBand (HB) [61], SHA'nın bir uzantısıdır. HB, kolaylıkla paralel olarak kullanılabilir, çünkü tüm uygulamalar rastgele örneklenmekte ve bağımsız olarak çalışmaktadır. HB, SHA'dan devraldığı erken durma ve kaynakların makul seviye uyarlayabilmesi ile rastgele aramayı hızlandırmaktadır. Rastgele arama ve BO ile karşılaştırıldığında, HB özellikle derin sinir ağları için stokastik gradyan azalması (SGD) durumunda daha az kaynakla üstün doğruluk göstermektedir.

Asenkron SHA (ASHA) [43] HB'yi paralelleştirmek için gelişmiş bir dağıtım şeması önermektedir ve eliminasyon sırasında bozulma sorunlarını önlemektedir.

Bayesian Optimizasyonu ile HyperBand (BOHB) [62], BO ve HB'nin kombinasyonudur ve basit rastgele arama yerine yönlendirilmiş örnekleme yöntemi sunmaktadır. Genel olarak BOHB,

birden fazla birimde uygulanması kolay, sağlam ve hesaplamalı olarak etkili bir HPO yöntemidir.

Populasyon tabanlı yöntemler, esasen evrimsel algoritmalar [63]; parçacık sürüsü optimizasyonu ve kovaryans matris adaptasyonu evrim stratejisi [64] gibi genetik algoritmalara [65] dayanan rastgele arama yöntemleri serisidir. Bu yöntemler bir populasyonu koruyan optimizasyon algoritmalarıdır, yani bir yeni nesil oluşturulurken daha iyi yapılandırma elde etmek için mutasyon ve çaprazlama uygulayarak populasyonu iyileştirmektedirler. Bu yöntemler  $N$  üyeden oluşan bir populasyonu  $N$  makinede paralel olarak değerlendirilebildikleri için kavramsal olarak basittir. Farklı veri türlerini işleyebilir ve paraleldir [54].

Sürü zekâsı optimizasyon algoritmaları; ateşböceği algoritması [66], ateşböceği sürü optimizasyonu [67], karınca koloni optimizasyonu [68], parçacık sürü optimizasyonu [69], yapay balık sürüsü algoritması [70], yapay arı koloni algoritması [71] gibi yöntemleri incelemektedir. Bu yöntemlerin temel düşüncesi kuş, balık, kedi, karınca ve arı gibi birbirleri ile bağlantılı olarak hareket edebilen canlıların hareketlerinin incelenmesiyle geliştirilmiştir. Sürüdeki canlıların karşılıklı etkileşimleri yenilemeli şekilde durma koşuluna yani en iyi sonuç elde edilene kadar tekrarlanır ve böylece çözüm kalitesi artırılır. Kavramsal olarak sürüde bulunan üyeler senkronize hareket ettiğinden basittir.

Bahsedilen populasyon tabanlı yöntemler ve sürü zekâsı optimizasyon algoritmaları literatürde hala geniş bir alan oluşturmaktadır.

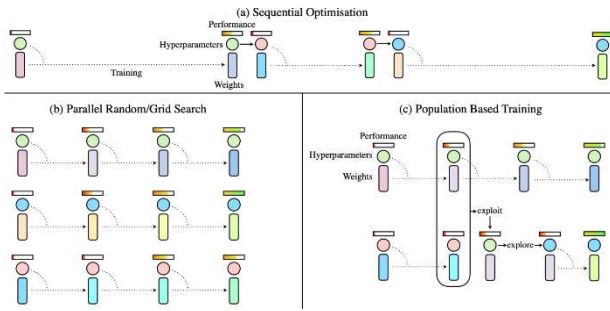
En iyi bilinen populasyon tabanlı yöntemlerden biri olan kovaryans matris adaptasyonu evrim stratejisidir (CMA-ES [64]). Bu basit evrimsel strateji; ortalama ve kovaryansı, populasyonun bireylerinin başarısına dayalı olarak her nesilde güncellenen çok değişkenli bir Gaussdan yapılan yapılandırmaları örneklemektedir. CMA-ES, düzenli olarak Kara-Kutu Optimizasyon Kıyaslaması (Black-Box Optimization Benchmarking, BBOB)'na hakim olan en çok tartışılan kara-kutu optimizasyon algoritmalarından biridir.

En yaygın kullanılan populasyon tabanlı yöntemlerden biri DeepMind tarafından önerilen populasyon tabanlı eğitimidir (Population-Based Training, PTE) [72, 73]. PTE, kavramsal olarak



basit ancak hesaplama açısından verimli bir yöntemdir. İki açıdan benzersiz bir yöntemdir: eğitim sırasında uyarlanabilir hiperparametrelere izin verir ve paralel arama ile sıralı optimizasyonu birleştirir. Bu özellikler PTE'yi derin öğrenme ağlarındaki HPO için özellikle uygun hale getirmektedir.

PTE işlemi basitçe genel algoritmalara benzer olarak tanımlanabilir. İlk olarak, farklı hiperparametre ayarlarına sahip bir çalışma popülasyonu başlatılır (Şekil 7). Şekil 7'de PTE'nin aşamalarına yer verilmiştir. PTE, yakınsama için beklemek yerine sıcak bir başlangıç kullanarak HPO'yu düzenli eğitime dâhil etmenin yolunu sunmaktadır. Bu yaklaşım, üretken çekişmeli ağ (Generative Adversarial Network, GAN) [74] ve transformatör ağı [75] gibi büyük modeller için anlamlı bir yaklaşımdır.



Şekil 7. Sıralı ve paralel optimizasyonun kombinasyonu olarak PTE [65]

PTE'nin gelecekte hala keşfedilecek bazı dezavantajları vardır. Örneğin, bu yöntemin optimal hiperparametre kümesini elde ettiği teorik olarak kanıtlanmamıştır. PTE'nin mevcut hesaplama kaynaklarıyla en iyi yapılandırmayı sağladığı gözlemlenmektedir, ancak optimum yapılandırma olup olmadığı tartışmaya açıktır. PTE hala ileri evrim ve mutasyon kararlarıyla genişletilemez. Ayrıca hiperparametrelerin tanımı ve hesaplama grafiğinde yapılan değişiklikler karmaşıktır.

Pratik uygulamalarda kullanıcıların, her zaman hangi hiperparametrelerin dikkate alınması gerektiğine, arama algoritmalarını uygulama yoluna ve derin öğrenme modellerini eğitme sürecine karar vermeleri gerekmektedir. Bu durumda, bahsedilen yapılandırmaları gerçekleştirmek için bir araç gereklidir. Bu gereklilikten dolayı sonraki bölümde

hiperparametre optimizasyonu için kullanılan kitlelere yer verilmektedir.

## Hiperparametre Optimizasyonu için Kullanılan Kitler

Hiperparametre eğitimi, özellikle derin öğrenme ağları için zaman alıcı bir süreçtir. Tüm süreci bitirmek onlarca yıl GPU işlemi alabilir, çünkü tek bir sinir ağını yakınsaması için eğitmek bile neredeyse bir gün sürmektedir. HPO için araç kiti, ağ eğitimi ve hiperparametre ayarlama arasında köprü kurmaktadır. Bu bölüm, güncel açık ve kapalı kaynaklı araçların hizmetlerinin genel karşılaştırmasını sağlamaktadır.

Genel olarak, HPO için bulut bilgi işlem kaynaklarına dayanan ve her biri bu alt bölümde araçlar ve hizmetler olmak üzere için iki tür kit vardır. Bazı kitler önerilen algoritmanın uygulanması için tasarlanmıştır.

HpBandSter, BOHB'nin uygulanmasında da bulunmaktadır, ancak rastgele arama ve HB de sağlamaktadır. Xcessive, başlangıç dostu olan etkileşimli bir grafik kullanıcı arabirimi (GUI) ile diğer kitaplıklardan daha iyi performans göstermektedir. Kullanıcılar GUI aracılığıyla modellerin eğitimini, optimizasyonunu ve değerlendirmesini yönetebilmektedirler. Bununla birlikte, Xcessive yalnızca Bayes yöntemleri aracılığıyla otomatik hiperparametre aramayı da desteklemektedir. Derin öğrenme ağlarını eğitmek için de elverişsizdir.

Scikit-Optimize, daha sonraki birçok çerçeve tarafından belirtilen kapsamlı kütüphanedir. Bayesian yöntemleri, rastgele arama, rastgele orman ve diğer bazı güvenilir optimizasyon algoritmalarını içermektedir. Yukarıda bahsedilen tüm yöntemlerin ortak yanları; arama algoritmalarına uygulanması, derin öğrenme eğitim çerçeveleri için destekleri ve denemeler için uygulama programı olmasıdır.

Ayrıca Google Cloud ve Amazon Web Services (AWS), model seçimi ve HPO sunmaktadır. Bu hizmetler, binlerce paralel eğitim süreci ve değerlendirmesi için geçerli olan büyük hesaplama kaynakları tarafından desteklenmektedir. Ancak, bunlar kapalı kaynaklı bir altyapıdır ve kullanıcıların hizmet için ödeme yapması gerekmektedir. HPO kitleri; kullanım

kolaylığı, son teknoloji, kullanılabilirlik, ölçeklenebilirlik ve esneklik hususlarını karşılamak üzere tasarlanmıştır [56].

Google Vizier [56], Googles Cloud Machine Learning alt sistemine dayalı kara-kutu optimizasyonu için bir kütüphaneden çok ölçeklenebilir hizmettir. En göze çarpan avantajı, kullanım kolaylığıdır. Google Vizier altyapıda kapalı kaynak olmasına rağmen, HPO için yeni algoritmalar değiştirmek veya tasarlamak kolaydır. Genel olarak, Vizier kapsamlı bir HPO hizmetinin öncüsüdür.

Advisor, Google Vizier'in ve Google Cloud'un desteği olmadan tüm Viziers özelliklerini gerçekleştirmeye çalışan açık kaynaklı bir sürümüdür. Izgara arama, rastgele arama ve BO da erken durma stratejileri Advisor üzerinde desteklenmektedir.

Otomatik model ayarlama, model oluşturma ve dağıtım sürecini basitleştirmek için bir makine öğrenme ortamı olan Amazon SageMaker'in bir modülüdür. Amazon Web Services (AWS) desteğiyle Google Vizier'e benzemektedir. En önemli özelliği model oluşturma, eğitme ve ayarlama için farklı araçlara geçmeye gerek duymamasıdır.

Sinir Ağı Zekâsı (Neural Network Intelligence, NNI), hem otomatik makine öğrenimi (AutoML) hem de Microsoft tarafından yayınlanan HPO için açık kaynaklı araç setidir. NNI, Google Vizier ve SageMaker'dan daha fazla arama algoritması uygulamakta ve yeni bir algoritma yazmak için arayüzde genişletilebilmektedir. Bir kullanıcı farklı algoritmaların verimliliğini keşfetmek isterse, NNI uygun bir seçim olacaktır. Ayrıca, NNI yüksek genişletilebilirlik ile tasarlanmıştır. Yani kullanıcılar yeni tasarladıkları algoritmaları test edebilirler. Ayrıca NNI; PyTorch, Keras, TensorFlow, MXNet, Scikit-learn ve XGBoost gibi en popüler derin öğrenme araçları ve kütüphaneleri ile uyumludur. NNI içerisinde yeni platformlar için genişletilebilir noktalar da mevcuttur. Google Vizier ile karşılaştırıldığında, NNI yalnızca etkileşimli işlevi olmayan deneylerin durumunu ve sonuçlarını görüntülemektedir. Dezavantajı, hiperparametre ayarı, algoritma seçimi veya kaynak

yapılandırması Web Arayüzünden (Web UI) ayarlanamaz.

Ray.Tune, Berkeley RISELab tarafından geliştirilen Ray kütüphanesidir. Model eğitim için dağıtılmış bir yapı olan Ray, hesaplama kaynaklarının verimli tahsisini garanti etmektedir. Tune'da uygulanan çoğu arama yöntemi paralel olarak gerçekleştirilebilmektedir. Açık kaynak olan Tune, birçok uygulamada NNI ile benzerlikleri paylaşmaktadır.

## 5. Tartışmalar ve Karşılaştırma

Bu bölüm, hesaplama kaynaklarının kaydedilmesindeki avantajları, doğruluk ve verimlilikteki dezavantajları ve uygulanabilirlikleri de dahil olmak üzere ana algoritmalar arasında kısa bir karşılaştırma yapmaktadır.

HPO algoritmalarının avantajları sıralanmak istenirse; izgara arama, rastgele arama ve PTE yöntemlerinde paralellik mevcuttur. Izgara arama basit bir yöntemdir. Rastgele aramanın erken durma stratejileri ile birleştirilmesi kolaydır. Bayes optimizasyonu güvenilir ve umut vericidir. Aynı zamanda diğer birçok algoritmanın temelini oluşturur. Çok bantlı yöntemler kavramsal olarak basit, hesaplama açısından verimlidir. PTE yöntemi HPO ve model eğitimini birleştirmektedir. Başlıca hiperparametre optimizasyonları karşılaştırması Tablo 1'de yapılmıştır.

Izgara arama yönteminde boyutsallık sorunu mevcuttur. Rastgele arama yöntemi düşük verimliliğe sahiptir ve optimum ulaşamayabilir. Bayes optimizasyonu yöntemi paralellik için zor ve kavramsal olarak karmaşıktır. Çok bantlı yöntemlerin bütçe ile deneme sayısı arasında denge durumu sıkıntı teşkil etmektedir. PTE yönteminde hesaplama grafiğinde sürekli değişiklikler mevcuttur ve gelişmiş evrim yöntemi ile genişletilemez.

## 6. Sonuç

Derin sinir ağlarının artan uygulamaları ile bu çalışmaya yönelim de artmaktadır. Araştırma, eğitim ve yapı için önemli hiperparametrelerin tanıtılmasıyla başlamış ve daha sonra otomatik

Tablo 1. Başlıca HPO Algoritmaları Karşılaştırılması

	Avantaj	Dezavantaj	DNN için uygulanabilirlik
Izgara arama	- Basit. - Paralellik mevcut.	- Boyutsallık Sorunu.	-Sadece birkaç HP ayarlanacaksa uygulanabilir
Rastgele arama	- Paralellik mevcut. -Erken durma stratejileri ile birleştirilmesi kolaydır.	- Düşük verimlilik. -Optimuma ulaşamayabilir.	- İlk aşamalar için uygun
Bayes Optimizasyonu	- Güvenilir ve umut vericidir. - Diğer birçok algoritmanın temelini oluşturur.	- Paralellik için zor - Kavramsal olarak karmaşıktır.	-Araçlar için varsayılan algoritma. -BO varyantları daha uygulanabilir olabilir (TPE).
Çok Bantlı Yöntemler	- Kavramsal olarak basit. -Hesaplama açısından verimlidir.	- Bütçe ile deneme sayısı arasındaki denge durumu.	-Varsayılan bir seçim olabilir. -Açık kaynaklı kütüphaneler tarafından uygulanmaktadır.
PBT Metodu	- HPO ve model eğitimini birleştirir. - Paralellik mevcut.	-Hesaplama grafiğinde sürekli değişiklikler olması. -Gelişmiş evrim ile genişletilemez.	-Hesaplamalı pahalı modeller için uygulanabilir.

HPO için en gelişmiş arama algoritmalarına ve programlayıcılarına genişletilmiştir. İlgili algoritmaları özetlemenin yanı sıra, artıları, eksileri ve uygulamaları da dâhil olmak üzere HPO için kullanılan araçlarından bahsedilmiştir. Algoritmaların ve değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması, büyük modeller için fizibilite ve hesaplama kaynaklarının tüketimi açısından tartışılmıştır. Bu çalışma araştırmacılar ve kullanıcılar için referans olarak HPO hakkındaki bilgileri özetlemeye yöneliktir.

## Kaynaklar

- [1] Sculley, D., Snoek, J., Wiltschko, A., and Rahimi, A., (2018). Winner's curse? On Pace, Progress, and Empirical Rigor, In: *International Conference on Learning Representations Workshop track, published online: iclr.cc*
- [2] King, R. D., Feng, C., & Sutherland, A. (1995). Statlog: comparison of classification algorithms on large real-world problems. *Applied Artificial Intelligence an International Journal*, **9(3)**, 289-333.
- [3] Kohavi, R., & John, G. H. (1995). Automatic parameter selection by minimizing estimated error. In *Machine Learning Proceedings 1995* (pp. 304-312). Morgan Kaufmann.
- [4] Michie, D., Spiegelhalter, D. J., & Taylor, C. C. (1994). Machine learning. *Neural and Statistical Classification*, **13(1994)**, 1-298.
- [5] Ripley, B. D. (1993). Statistical aspects of neural networks. *Networks and chaos—statistical and probabilistic aspects*, **50**, 40-123.
- [6] Rodriguez, J. (2018). Understanding Hyperparameters Optimization in Deep Learning Models: Concepts and Tools.
- [7] Tan, M., & Le, Q. V. (2019). Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. *arXiv preprint arXiv:1905.11946*.
- [8] Ma, N., Zhang, X., Zheng, H. T., & Sun, J. (2018). Shufflenet v2: Practical guidelines for efficient cnn architecture design. In *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)* (pp. 116-131).
- [9] Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L. C. (2018). Mobilenetv2: Inverted residuals and linear bottlenecks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 4510-4520).
- [10] Tan, M., Chen, B., Pang, R., Vasudevan, V., Sandler, M., Howard, A., & Le, Q. V. (2019). Mnasnet: Platform-aware neural architecture search for mobile. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 2820-2828)..
- [11] Ng, A. (2017). Improving deep neural networks: Hyperparameter tuning, regularization and optimization. *Deep learning. ai on Coursera*.

- [12] Robbins, H., & Monro, S. (1951). A stochastic approximation method. *The annals of mathematical statistics*, 400-407.
- [13] Duchi, J., Hazan, E., & Singer, Y. (2011). Adaptive subgradient methods for online learning and stochastic optimization. *Journal of machine learning research*, **12**(7).
- [14] Hinton, G., Srivastava, N., & Swersky, K. (2012). Neural networks for machine learning. *Coursera, video lectures*, **264**(1).
- [15] Kingma, D. P., & Ba, J. (2014). Adam: A method for stochastic optimization. *arXiv preprint arXiv:1412.6980*.
- [16] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT press.
- [17] Bengio, Y. (2012). Practical recommendations for gradient-based training of deep architectures. In *Neural networks: Tricks of the trade* (pp. 437-478). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [18] Hamby, D. M. (1994). A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. *Environmental monitoring and assessment*, **32**(2), 135-154.
- [19] Breierova, L., & Choudhari, M. (1996). An introduction to sensitivity analysis. Massachusetts Institute of Technology.
- [20] <https://www.jeremyjordan.me/>, 10 Mayıs 2020.
- [21] Lau, S. (2017). Learning rate schedules and adaptive learning rate methods for deep learning. *Towards Data Science*.
- [22] Smith, L. N. (2017, March). Cyclical learning rates for training neural networks. In *2017 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)* (pp. 464-472). IEEE.
- [23] <https://github.com/bckenstler/CLR>. 14 Mayıs 2020.
- [24] Ruder, S. (2016). An overview of gradient descent optimization algorithms. *arXiv preprint arXiv:1609.04747*.
- [25] Hinton, G. E., Osindero, S., & Teh, Y. W. (2006). A fast learning algorithm for deep belief nets. *Neural computation*, **18**(7), 1527-1554.
- [26] Yu, T., & Zhu, H. (2020). Hyper-Parameter Optimization: A Review of Algorithms and Applications. *arXiv preprint arXiv:2003.05689*.
- [27] Heaton, J. (2008). The number of hidden layers. *Heaton Research Inc.*
- [28] Perez, L., & Wang, J. (2017). The effectiveness of data augmentation in image classification using deep learning. *arXiv preprint arXiv:1712.04621*.
- [29] Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting. *The journal of machine learning research*, **15**(1), 1929-1958.
- [30] Hinton, G. E., Srivastava, N., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. R. (2012). Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors. *arXiv preprint arXiv:1207.0580*.
- [31] Walia, A. S. (2017). Activation functions and it's types-Which is better?. *Towards Data Science*, 29.
- [32] Nair, V., and Hinton, G. E., (2010). Rectified Linear Units Improve Restricted Boltzmann Machines. In *Proceedings of the 27th International Conference on Machine Learning (ICML-10)* pp. 807-814.
- [33] Goodfellow, I., Warde-Farley, D., Mirza, M., Courville, A., & Bengio, Y. (2013, February). Maxout networks. In *International conference on machine learning* (pp. 1319-1327).
- [34] Ramachandran, P., Zoph, B., and Le, Q. V., (2017). Swish: a Self-gated Activation Function. *arXiv preprint arXiv:1710.05941*, 7.
- [35] Ramachandran, P., Zoph, B., & Le, Q. V. (2017). Searching for activation functions. *arXiv preprint arXiv:1710.05941*.
- [36] Bergstra, J., & Bengio, Y. (2012). Random search for hyper-parameter optimization. *The Journal of Machine Learning Research*, **13**(1), 281-305.
- [37] Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & sons.
- [38] Joseph, R. (2018). Grid Search for model tuning.
- [39] Moćkus, J. (1975). On Bayesian methods for seeking the extremum. In *Optimization techniques IFIP technical conference* (pp. 400-404). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [40] Mockus, J., Tiesis, V., & Zilinskas, A. (1978). The application of Bayesian methods for seeking the extremum. *Towards global optimization*, **2**(117-129), 2.
- [41] Jones, D. R., Schonlau, M., & Welch, W. J. (1998). Efficient global optimization of expensive black-box functions. *Journal of Global optimization*, **13**(4), 455-492.

- [42] Yu, T., & Zhu, H. (2020). Hyper-Parameter Optimization: A Review of Algorithms and Applications. *arXiv preprint arXiv:2003.05689*.
- [43] Eggenberger, K., Feurer, M., Hutter, F., Bergstra, J., Snoek, J., Hoos, H., & Leyton-Brown, K. (2013, December). Towards an empirical foundation for assessing bayesian optimization of hyperparameters. In *NIPS workshop on Bayesian Optimization in Theory and Practice* (Vol. 10, p. 3).
- [44] Rasmussen, C. E. (2003, February). Gaussian processes in machine learning. In *Summer School on Machine Learning* (pp. 63-71). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [45] Hutter, F., Kotthoff, L., and Vanschoren, J., (2019). *Automated Machine Learning*. Springer: New York, NY, USA.
- [46] Feurer, M., & Hutter, F. (2019). Hyperparameter optimization. In *Automated Machine Learning* (pp. 3-33). Springer, Cham.
- [47] Hutter, F., Hoos, H. H., & Leyton-Brown, K. (2011, January). Sequential model-based optimization for general algorithm configuration. In *International conference on learning and intelligent optimization* (pp. 507-523). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [48] Li, L., Jamieson, K., Rostamizadeh, A., Gonina, E., Hardt, M., Recht, B., & Talwalkar, A. (2018). Massively parallel hyperparameter tuning. *arXiv preprint arXiv:1810.05934*.
- [49] Thornton, C., Hutter, F., Hoos, H. H., & Leyton-Brown, K. (2013, August). Auto-WEKA: Combined selection and hyperparameter optimization of classification algorithms. In *Proceedings of the 19th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining* (pp. 847-855).
- [50] Feurer, M., Klein, A., Eggenberger, K., Springenberg, J., Blum, M., & Hutter, F. (2015). Efficient and robust automated machine learning. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 2962-2970).
- [51] Bergstra, J. S., Bardenet, R., Bengio, Y., & Kégl, B. (2011). Algorithms for hyper-parameter optimization. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 2546-2554).
- [52] Sparks, E. R., Talwalkar, A., Haas, D., Franklin, M. J., Jordan, M. I., & Kraska, T. (2015, August). Automating model search for large scale machine learning. In *Proceedings of the Sixth ACM Symposium on Cloud Computing* (pp. 368-380).
- [53] Zhang, Y., Bahadori, M. T., Su, H., & Sun, J. (2016, August). FLASH: fast Bayesian optimization for data analytic pipelines. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 2065-2074).
- [54] Loshchilov, I., & Hutter, F. (2016). CMA-ES for hyperparameter optimization of deep neural networks. *arXiv preprint arXiv:1604.07269*.
- [55] Swersky, K., Snoek, J., & Adams, R. P. (2014). Freeze-thaw Bayesian optimization. *arXiv preprint arXiv:1406.3896*.
- [56] Golovin, D., Solnik, B., Moitra, S., Kochanski, G., Karro, J., & Sculley, D. (2017, August). Google vizier: A service for black-box optimization. In *Proceedings of the 23rd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining* (pp. 1487-1495).
- [57] Liaw, R., Liang, E., Nishihara, R., Moritz, P., Gonzalez, J. E., & Stoica, I. (2018). Tune: A research platform for distributed model selection and training. *arXiv preprint arXiv:1807.05118*.
- [58] Microsoft., (2018), Neural Network Intelligence. <https://github.com/microsoft/nni#nni-released-reminder>.
- [59] Provost, F., Jensen, D., & Oates, T. (1999, August). Efficient progressive sampling. In *Proceedings of the fifth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining* (pp. 23-32).
- [60] Bissuel, A. (2020). Hyper-parameter Optimization Algorithms: A Short Review. [https://www.automl.org/blog\\_bohb/](https://www.automl.org/blog_bohb/).
- [61] Li, L., Jamieson, K., DeSalvo, G., Rostamizadeh, A., & Talwalkar, A. (2017). Hyperband: A novel bandit-based approach to hyperparameter optimization. *The Journal of Machine Learning Research*, **18**(1), 6765-6816.
- [62] Falkner, S., Klein, A., & Hutter, F. (2018). BOHB: Robust and efficient hyperparameter optimization at scale. *arXiv preprint arXiv:1807.01774*.
- [63] Simon, D. (2013). *Evolutionary optimization algorithms*. John Wiley & Sons.
- [64] Hansen, N. (2016). The CMA evolution strategy: A tutorial. *arXiv preprint arXiv:1604.00772*.
- [65] Shiffman, D., Fry, S., and Marsh, Z., (2012). The Nature of Code. (pp. 323-330).
- [66] Yang, X. S. (2009). Firefly Algorithms Formultimodal Optimization, Proceedings of the Stochastic Algorithms: Foundations and Applications, *Lecture Notes in Computing Sciences*, Springer, Sapporo, Japan. vol. 5792. (pp. 178-178).
- [67] Krishnanand, K.N., Ghose, D. (2005). Detection of Multiple Source Locations Using a Glowworm



- Metaphor with Applications to Collective Robotics. In *IEEE Swarm Intelligence Symposium*. (pp. 84-91).
- [68] Dorigo M., Maniezzo, V., Colomi, A.. (1991) The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process. Tech. Rep. No. 91- 016. Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy.
- [69] Kennedy, J., Eberhart, R. C. (1995). Particle Swarm Optimization. *IEEE International Conference on Neural Networks*, vol. IV, Piscataway, NJ. (pp. 1942-1948).
- [70] Jiang, M., Yuan, D., Cheng, Y..( 2009). Improved Artificial Fish Swarm Algorithm. In *Fifth International Conference on Natural Computation*. (pp. 281-285).
- [71] Karaboga, D., Akay, B.. (2009). A Survey: Algorithms Simulating Bee Swarm Intelligence. *Artificial Intelligence Review*, vol. 31 no., 1-4, (pp. 61-85).
- [72] Jaderberg, M., Dalibard, V., Osindero, S., Czarnecki, W. M., Donahue, J., Razavi, A., ... & Fernando, C. (2017). Population based training of neural networks. *arXiv preprint arXiv:1711.09846*.
- [73] Li, A., Spyra, O., Perel, S., Dalibard, V., Jaderberg, M., Gu, C., ... & Gupta, P. (2019, July). A generalized framework for population based training. In *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining* (pp. 1791-1799).
- [74] Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., ... & Bengio, Y. (2014). Generative adversarial nets. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 2672-2680).
- [75] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., ... & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 5998-6008).



## Simplified Human Computer Interface Design Using EEG Signals

Hakan Üstünel<sup>1,\*</sup>, Selma Bulut Büyükgöze<sup>2</sup>, Doğan Ünal<sup>3</sup>, Emre Zengin<sup>4</sup>, İlhan Umut<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Kırklareli University, Faculty of Engineering, Software Engineering Department, Kırklareli, Turkey, 0000-0001-9903-593X

<sup>2</sup>Kırklareli University, Vocational School of Technical Sciences, Computer Technology Department, Kırklareli, Turkey, 0000-0002-6559-7704

<sup>3</sup>Kırklareli University, Faculty of Engineering, Software Engineering Department, Kırklareli, Turkey, 0000-0001-8038-6414

<sup>4</sup>Trakya University, Faculty of Engineering, Computer Engineering Department, Edirne, Turkey, 0000-0003-2644-9538

<sup>5</sup>Trakya University, Faculty of Engineering, Computer Engineering Department, Edirne, Turkey, 0000-0002-5269-1128

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 1 October 2020  
Received in revised form 22  
October 2020  
Accepted 23 October 2020  
Available online 30 March 2021

#### Keywords:

Brain Computer Interface, Medical  
Informatics, Embedded Systems,  
EEG

### ABSTRACT

Brain Computer Interfaces (BCI) are applications that allow users to communicate and control external devices directly by analyzing changes in brain activity without using muscle and nerve cells, which are normal pathways of the brain. It can also be said that BCIs are an alternative means of communication between the human brain and the outside world based on the electrical activities of brain activity, which can be measured by electroencephalography (EEG) devices. In the EEG measured from the human brain, when a person wants to move a limb, the potentials associated with the event are observed in the EEG. This suggests that information about changes in the activity of the human brain in the cognitive or movement decision process can be detected in the observed EEG. In this study, the attributes of the signals obtained using a four-channel EEG recorder are extracted and classified. Because the experimental study was performed while the user was awake, it processed beta signals. Considering the artifacts, the processed data was used as input data for the interface by realizing offline and online trial. The data obtained from the EEG device was processed in a computer and transmitted to a microcontroller used to control the model vehicle. Data communication is carried out wirelessly. The model vehicle is allowed to move forward-backward / right-left and diagonally.

Doi: 10.24012/dumf.803784

## Introduction

With the development of technology, human beings have tried to understand how the brain works more and combine it with innovative methods to communicate with the computer. The system that performs this process is generally called the Brain Computer Interface. Realization of the communication of the brain with the computer People who have brain damage but whose physical work is not damaged, people who cannot use their muscles, people with Multiple sclerosis (MS), amyotrofik lateral skleroz (ALS) or spinal cord injury can use BCI applications after trauma or impact.

Thus, the lives of these people using BCI tools can be easier than their current situation. BCI is a link between human brain and computer. Unlike logical input devices (mouse, keyboard etc.), the BCI reads the waves generated from the brain at distinct spots in the head, converting these signals into movements and turning them into commandments that can control the output units. The BCI converts brain signals into outputs that transmit a user's purpose [1]. Since this communication channel is not connected to peripheral nerves and muscles,

\* Corresponding author

Hakan Üstünel

✉e-mail [hakanustunel@hotmail.com](mailto:hakanustunel@hotmail.com)

it can also be used by people with severe motor impairment. BCI allows patients who are completely paralyzed or locked by brain stem paralysis or other neuromuscular diseases in ALS to express their wishes to the outside world [2]. The BCI tools consist of data detection, attribute extraction, attribute conversion and output devices, and a protocol that is responsible for the management of these four components, which determines the start, end and run timing of the system.

There are studies in the literature that take EEG signals as inputs and analyze these input data and operate the corresponding output unit. In Banik et. al.'s study [3], a brain-controlled device was designed and EEG signals were studied for 3 states of mind (sleep, meditation and listening to music). In order to detect different mental states, EEG signals were taken from the brain with the EEG module on the developed device and used to move the vehicle back and forth. With this system, it is aimed to provide a new world of interaction to those who are locked in syndrome but are cognitively sound and awake. In Ozturk et. al.'s study [4] the movement of a toy car is provided with real-time EEG data and head movements. Sevgili and Akin [5] worked on EEG signals of cursor movements classification. Li et. Al [6] improved quantum support vector machine with the arbitrary nonlinear kernel for prediction the label of the EEG signal.

## Background

There are studies in the literature that take EEG signals as inputs and analyze these input data and operate the corresponding output unit. In Banik et. al.'s study [3], a brain-controlled device was designed and EEG signals were studied for 3 states of mind (sleep, meditation and listening to music). In order to detect different mental states, EEG signals were taken from the brain with the EEG module on the developed device and used to move the vehicle back and forth. With this system, it is aimed to provide a new world of interaction to those who are locked in syndrome but are cognitively sound and awake. In Ozturk et. al.'s study [4] the movement of a toy car is provided with real-time

EEG data and head movements. Sevgili and Akin [5] worked on EEG signals of cursor movements classification. Li et. Al [6] improved quantum support vector machine with the arbitrary nonlinear kernel for prediction the label of the EEG signal.

The nerve cell, also known as neuron, is the unit whose primary function is to carry information and form the nervous system as a whole. All kinds of behavior arise from the activity of grouped neurons in different parts of the human brain. In order for neurons to communicate, a communication channel must be established. Neurons consist of three main parts called axon, dendrid and soma.

When a neuron explodes, signals are sent to all neurons connected to their axons via dendrites. Dendrites can be connected to a large number of axons. When the total input reaches a certain threshold, the neuron fires and sends a signal at its own axon. The power of this output signal is the same regardless of the size of the input. The basic functions of the neurons are to receive the signal that carries the information, to combine it with itself in order to understand whether the incoming information can be transmitted to the destination, and as a final process, to deliver the incoming signal wherever the target system is.

The human brain, which has many common features with other vertebrate brains, is the most important organ of the central nervous system. Understanding the parts of the brain will be useful for understanding the signals from the brain. Figure 1 shows sections of the brain.

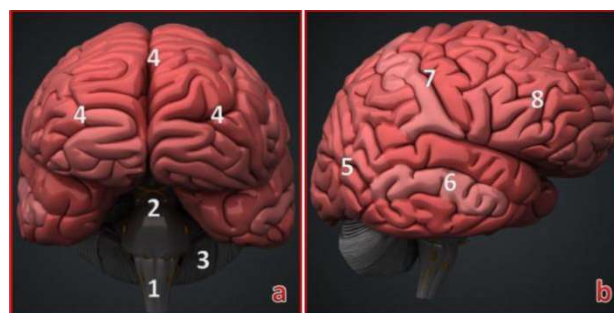


Figure 1 Brain sections b) Serebrum sections

The brain is mainly examined in four sections (Figure 1.a). The Brainstem (1) performs basic

body operations autonomously without the need for conscious thinking. Limbic System (2) includes thalamus, hypothalamus and amygdala. The limbic system plays a central role in the realization of behaviors such as fighting or escaping. The cerebellum (3) is responsible for posture, balance and sensitive movements. Cerebrum (4) fulfils high brain functions such as conscious thinking, action selection and control.

The cerebral cortex is divided into four basic subsections called lobes (Figure 1.b). The occipital lobe (5) is a low-level visual-spatial processing center of the brain, such as color separation and motion detection. The temporal lobe (6) is responsible for long-term memory. The parietal lobe (7) combines resources associated with the outside world, such as internal sensory feedback from the skeletal system, muscles, head and eye. The frontal lobe (8) is the area where our eyes and limbs are controlled, where most of the conscious thoughts and decisions involving voluntary movements and motor parts are found.

### Biomedical signals

Electrical or non-electrical signals detected by electrodes or transducers from a living biological organism are called biological signals. Biological Signs of electrical origin are obtained by medical measurement methods;

- ECG (Electrocardiogram)
- EMG (Electromyogram)
- EEG (Electroencephalogram)
- ENG (Electroneurogram)
- ERG (Electroretinogram)

### EEG signals

The biological signals obtained as a result of neural activity of the brain are called EEG (10  $\mu\text{V}$  to 100  $\mu\text{V}$  in amplitude; 0.5-50 Hz band). EEG is a physiological signal capable of reflecting the underlying processes in the brain for understanding human behavior and inferring conclusions [7,8].

EEG is the electrical monitoring of brain waves. Both the alertness and electrical activity produced by the nerve cells in the brain during

sleep are printed as brain waves on paper. Owing to EEG, brain electricity is made visible in a simple way. The EEG device receives the brain electricity and saves it on paper by strengthening it. The amplitude of the EEGs detected over the head is 1-100  $\mu\text{V}$  from top to top and the frequency band is 0.5-100 Hz [8].

When the brain produces a neural activity, a huge number of signals could be applied for the BCI. These signals are divided into two categories: field potentials and spikes [9]. Spikes projects the action capacity of single neurons and are obtained owing to microelectrodes inserted by invasive methods. Field potentials are a reading of the unified synaptic, neuronal, and axonal activities of the neuron sets and can be weighed by EEG or inserted microelectrodes. The ordination of EEG signals by frequency /bands is given below (Figure 2).

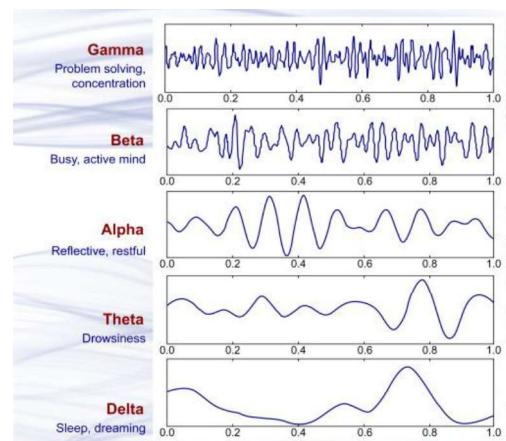


Figure 2 Brain waves in normal EEG [10]

a) *Delta ( $\delta$ ) signal*: The frequency range is 0.5-4.5 Hz and the amplitudes are 20-400  $\mu\text{V}$ . The amplitude inclined in the slowest and to be the highest waves. It is observed ordinarily in adults in deep sleep and in infants.

b) *Theta ( $\theta$ ) signal*: The frequency of these signals varies between 3.5-7.5 Hz and their amplitude varies between 5-100  $\mu\text{V}$ . Theta is connected with insufficiency and dreaming. Actually, the measure of theta exemplifies the route of being awake or asleep. In adults, high levels of theta are considered abnormal.

c) *Alpha ( $\alpha$ ) signal*: This signal frequency ranges between 7.5 - 12 Hz and amplitudes range from 2-10  $\mu\text{V}$ . Hans Berger called the first

rhythmic EEG activity he saw as “alpha wave” [11]. It appears by closing eyes and loosening. It is about resting and before falling asleep.

d) *Beta ( $\beta$ ) signal*: Beta is a brain signal in which the frequency ranges between 12 Hz - 30 Hz. Amplitudes vary between 1-5  $\mu$ V. Beta waves are usually divided by  $\beta_1$  and  $\beta_2$  to obtain a more particular scope. These signals are small and fast, for example, when withstanding or compression a movement or solving a math task. In such cases an increase in beta activity is observed.

e) *Gamma signal*: A signal with a frequency area of 31 Hz and above. The amplitudes are less than 2  $\mu$ V. Reflects the mechanism of consciousness [12]. They carry the characteristic sign of sleep [13]. The gamma wave is seen in the 4th stage of sleep, in moments of learning, in moments of extreme happiness and difficult to detect by EEG.

## Types of BCI

The main purpose of BCI devices or variants is to capture electrical signals passing between neurons in the brain and convert them into a signal detected by external devices [14]. As shown in figure 3, there are three types of BCI signal collection methods.

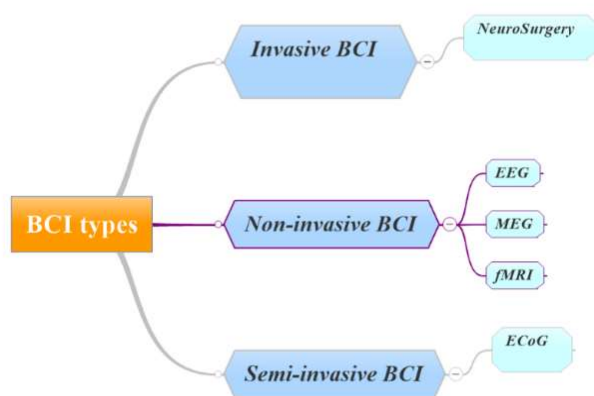


Figure 3 BCI signal collection methods

The first of these methods is that invasive BCI devices are placed directly into the brain and have the highest quality signals. These devices are used to provide functionality to people with stroke [15,16]. These devices, which are standing in the gray matter in the brain, produce the highest quality signals of the BCI devices. But when they react to a foreign object inside the

brain in the body, they cause the signal to weaken or even disappear [14]. Second, Non-invasive BCI has minimal signal clarity as it disrupts the skull signals when it comes to communication with the brain. However, it is thought to be safer compared to other interfaces as it does not require any intervention to the brain [17]. The non-invasive technique is a technique in which medical scanning devices or sensors are mounted on the headbands and reads brain signals. It reads the signals less effectively because the electrodes cannot be placed directly in the desired part of the brain. EEG is easy to use, cheap and portable [14]. Third, partially invasive BCI devices are placed inside the skull, but not inside the gray matter, outside the brain. The signal strength here is slightly weaker compared to invasive BCI.

## BCI Process Steps

The signals obtained in an EEG-based BCI system are transmitted to the application interface after entering the pre-processing, feature extraction and classification stages (Figure 4). The general structure of the brain computer interfaces consists of five main steps.

*Signal acquisition*: Signal acquisition is the first step in the BCI process. Considering that the brain is simply composed of parts that perform different operations, the electrodes to be placed close to the relevant section provide information about that region. BCI systems are realized by analyzing different combinations of electrodes and electrical signals received from these electrodes in different ways. There are three ways to detect the electrical reflections of electrochemical interactions of electrodes and neurons in BCI systems [18]. The electrodes are placed directly into the brain shell as micro electrodes. In this method, the skull is opened and the micro-electrode matrix is attached to the brain by an operation [2,19]. This method is also called an invasive method. The skull is opened, but this time the electrodes are not inserted into the brain's shell, but are laid on the brain shell in the form of an electrode matrix. The electrodes here are not micro structured as in the first method. This method is called partial invasive. Electrodes attached to the skull with a conductive gel are used. This method is called non-invasive technique.



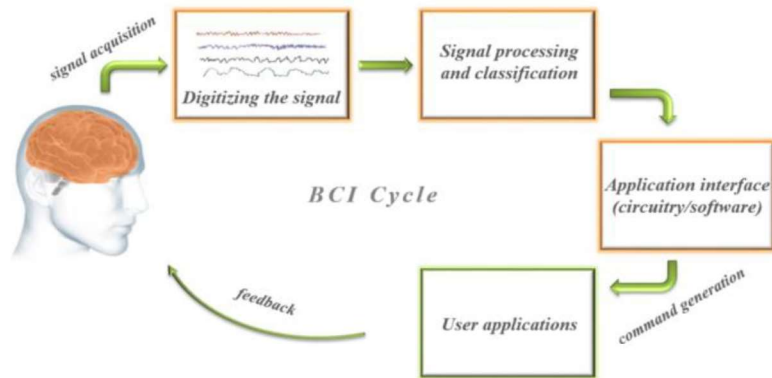


Figure 4 BCI functioning block diagram

**Extracting an attribute:** Digitalized signals are subjected to many analyzes, such as spatial filtering, voltage amplitude measurements, spectral analyzes, or single neuron separation. This analyzes reveal the signal properties of user-encoded messages or commands [2]. In order to use the recorded signals purposefully, some features that best express the signal should be determined and studied with these features. Extraction is the process of purifying neurophysiologic signals from noise and other unnecessary information, but at the same time preserving the distinctive characteristics of the signal. Another purpose of the feature extraction process is to reduce the size of the data to be classified. The selection of the attribute is done in such a way as to answer the questions about which features will be selected and what the amount will be [20].

**Conversion algorithm:** The conversion algorithm converts the signal properties into device command orders in order to fulfill the user's requests. Each independent algorithm (such as signal properties) is converted to dependent algorithms (such as device commands) [2]. Classifiers used in BCI research can be grouped as linear classifiers, neural networks, nonlinear bayes classifiers, closest neighborhood classifiers, and combined classifiers.

**Output device:** Today, many devices can be used as output units. These are the orthosis devices, especially the monitor, which output unit to use can be determined according to the needs of the user.

**Operating protocol:** BCI has a protocol that manages and maintains operation. This protocol provides feedback to the user by managing processes such as system on and off, frequency and format of use.

## Materials and Methods

This section describes the steps of operating an output unit designed as an embedded system by processing and classifying the signals received from the EEG device.

### System Design

The BCI control system developed within the scope of this study includes three subsystems: signal processing system, interface and vehicle control system. The signal processing system records analyzes and converts EEG signals from the computer into control commands. The interface system, on the other hand, transmits signals received from the Muse EEG to the microcontroller (arduino) via bluetooth to determine the model car motion states and to monitor the commands sent to the model car. The control system receives control commands and converts them into electrical signals to drive the vehicle (Figure 5).

EEG signals were obtained from four different male volunteer participants (age range 22-26, average 24). Users were informed about the experiment before recording EEG signals. Muse EEG device was used to obtain the signals (Figure 5.b). Figure 6 shows the plan of the



Figure 5 a) Prototype of the developed model b) EEG device used in this study c) software development interface

electrode placement of the Muse EEG. The EEG device used in the research can receive data from four channels as TP9, AF7, AF8 and TP10.

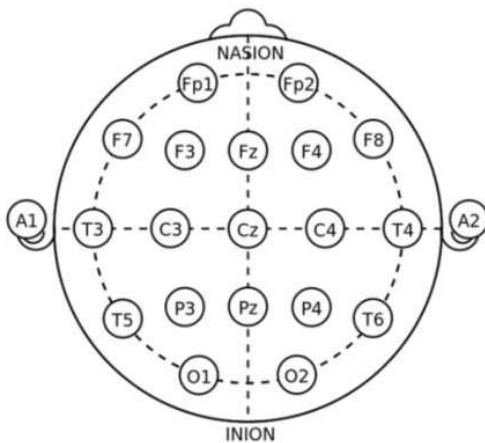


Figure 6 Muse electrode placement scheme according to 10-20 international standards

In the study, a remote-controlled model car with a working frequency of 2.4GHz, which was reduced by 1/12. The model car, which is guided by using radio frequency, can be used as full function as forward-back-right-left and cross.

With the microcontroller, the code written in Python language which enables the movement of the vehicle is executed and this is transmitted to the control of the vehicle in real time. Thus, the movement of the vehicle is ensured by EEG signals.

The attributes of field potential signals are different from each other. These threshold values also differ. The threshold value for beta varies from person to person. Considering the data obtained from the offline trial from four volunteers participating in the experimental study, the threshold value for the beta was determined as 20%. A distinctive increase in beta signals is observed in the motions performed while the person is awake. For this reason, in this experimental study, the attributes of beta signals received from the user are extracted and used as input data for the interface.

### System operation

Both offline and online users' experience has been taken for the operation of the system. In both stages, users were asked to mount the EEG device.

*In the offline trial*, users were asked to use the remote control for the model car and move the car forward, backward, right and left. In this process, data were obtained with EEG device.

In the online trial, users were asked to concentrate on moving the car without using the model car controller and explained how they could “use their heads” for direction. In the case of no concentration, “eye closure” is mentioned. If they are concentrated, the car is activated and the “chin tightening” is explained to stop the car.

With the obtained EEG signals, the car was started to move and stop. In this process, online EEG recordings of the users were obtained.

For the Beta values calculated from the EEG raw output obtained from four channels with the EEG device, the range was determined as 0.20. If the average Beta value obtained from four channels is above 0.20, the concentration value required for the movement of the model car is provided. When this threshold value is exceeded, the car moves forward. When this value is below 0.20, no movement is possible.

The movement of the head in the right, left, front and rear directions is determined by the gyroscope on the Muse EEG and the forward, back, right and left movements of the vehicle are defined. Field potentials also change when some motor movements occur. EEG recorders can detect and filter artifacts such as heartbeat. The beta value change in the "chin tightening" motion was determined to be used as an input data to stop the vehicle.

In Ubuntu, a Linux-based operating system, to transmit information from the EEG to microcontroller, Muse is paired with Bluetooth, then MuseIO is used to connect to Muse with the following codes.

```
muse-io - -device "MAC address of the
matching muse device" --dsp --osc osc.
udp: //localhost: 5000
```

The software that will analyze the data that contains Muse device information and move the car is run with Python code to be written to Terminal in Ubuntu operating system (python beta.Py).

The interface developed as a result of the execution of this code shows whether the device moves with concentration or not, and if it is moving, the direction of the device is determined by the gyroscope.

In case the required concentration value could not be provided, the "eyes closed" was used as an alternative method for movement. The value obtained as a result of "eyes closed" made the vehicle move forward. The flow chart of this system designed in figure 7 is given.

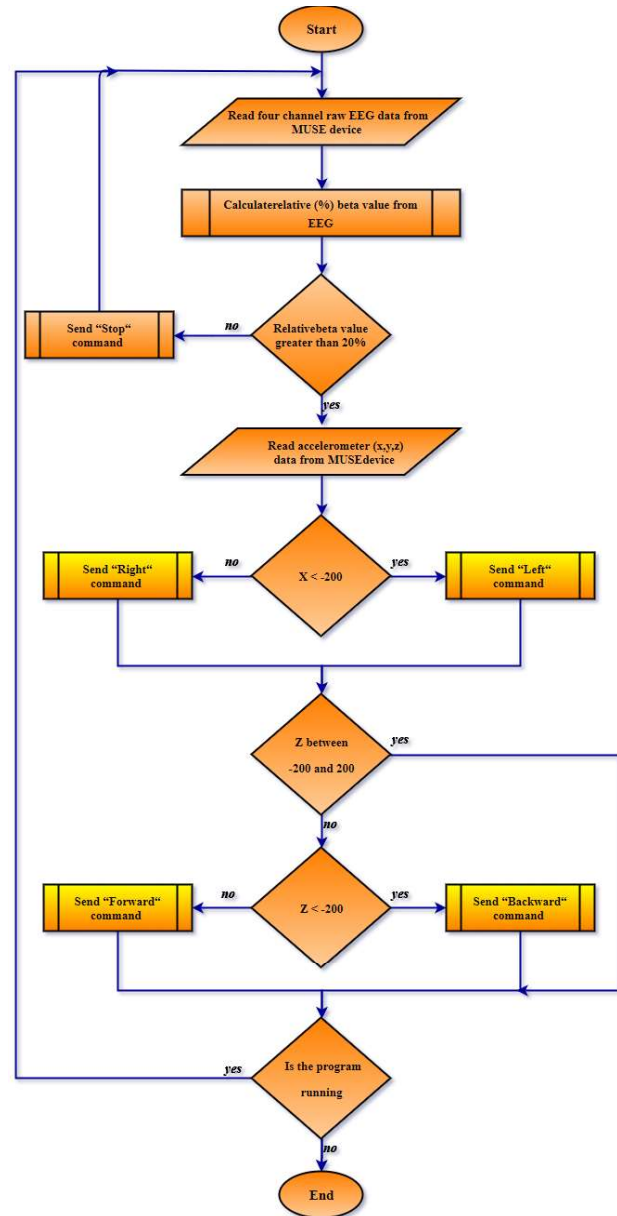


Figure 7 Designed system general flow chart

## Results

In the interface designed within the scope of this study, first the beta value from four channels are read and the average value is obtained. If the value calculated for beta is below the threshold value (20%), the EEG record continues to be read from user. If the beta value is above the threshold value, direction information is obtained by using the gyroscope located on the muse device (2D, xz). Unless an interrupt occurs, the process loops. Interrupt is the deterioration in beta signals that occur during the "chin tightening" action.

In figure 8, a screen shot of the developed interface is presented. The value of the obtained beta signal is 0.295428350568, exceeding the specified threshold. Thus, the vehicle moves. It is seen that the direction information is forward with the forward movement of the head obtained from the gyroscope on the EEG Muse. It is also understood that the obtained signal value is good.



*Figure 8 Forward acceleration of the model car in the interface software developed in Python*

The value of the beta signal obtained is 0.250078838319, which exceeds the specified threshold. However, because the necessary “chin tightening” movement is made to stop, the vehicle appears to be stopped and parked (Figure 9).



*Figure 9 Stopping the model car in the interface software developed in Python*

## Discussion and Future Works

The aim of this study is to measure and evaluate the electrical signals in the brain and to activate a radio-controlled model car and to direct the model car movement with an EEG device with accelerometer. The desire of the user to move any limb is called motor intent and causes a change in the motor cortex in brain signals. Therefore, hand movements (physical and imaginary) can be observed mainly in the motor

cortex of the brain [21]. Alpha and beta activities in the sensorimotor cortex change at the moment of motor intention [4]. Beta signal measurement as the electrical signal to be measured was successful. In the evaluation phase, the threshold value and the target of moving the radio-controlled car in the forward direction was achieved. In addition, the EEG device used in the research has been used to determine the direction of movement of the device in the measurements made according to the mass position of the device and these values have been successfully transferred to the radio-controlled model car. In this experimental study, the communication with the microcontroller was realized in real time. In order to minimize the delays caused by the microcontroller structure, it will be beneficial to use hardware interfaces with less latency time tolerance in future studies. Using microcontrollers with a BUS structure, such as ARM® architecture, with a multi-stage pipeline structure with minimum interrupt latency, which allows the use of embedded cache for data transfer, as well as the buffer structure, will reduce the total delay time.

In the study, since the device has four channels, mathematical operations have been performed by taking into consideration the values from here and the radio-controlled model car has been directed. If EEG headbands or EEG devices with more channels are used, an even clearer signal measurement will be obtained as the diversification of incoming data will be greater. The results obtained from this study confirm the results obtained from similar studies in the literature [3,4]. Using EEG signals and motor movements together as input makes this study different from similar ones. These study results are important in terms of showing that the required concentration can be achieved while recording EEG signals during physically performed motor movements. Systems designed in these and similar studies can also be used to increase focus, especially in children with attention deficit and hyperactivity disorder. It is possible to use such structures in the entertainment games and toys sector.

In addition, the low-cost design of interfaces on different platforms will expand the application areas of these systems as it is performed in this study which facilitates the classification and use of data obtained from EEG devices. In future



studies, multiuser applications can be made in which direction information is obtained by using EEG signals. Users with different demographic characteristics can be selected as a sample. It will contribute to the literature to make applications where EEG signals obtained from male and female participants are compared and used as input data. The use of multi-channel EEG recorders with less artifact tolerance will increase the reliability of the studies.

## References

- [1] Wolpaw JR, Birbaumer N, McFarland DJ, Pfurtscheller G, Vaughan TM. "Brain-computer interfaces for communication and control". *Clinical neurophysiology*, 113(6), 767-791, 2002. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00057-3](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00057-3)
- [2] Leuthardt EC, Schalk G, Wolpaw JR, Ojemann JG, Moran DW. "A brain-computer interface using electrocorticographic signals in humans". *Journal of neural engineering*, 1(2), 63, 2004.
- [3] Banik BC, Ghosh M, Das A, Banerjee D, Paul S, Neogi, B. "Design of mind-controlled vehicle (MCV) & study of EEG signal for three mental states". *Devices for Integrated Circuit (DevIC)*, Kalyani, Nadia, India, 23-24 March, 2017. <https://doi.org/10.1109/DEVIC.2017.8074065>
- [4] Öztürk N, Yilmaz B, Önver AY. "Real-Time Robotic Car Control Using Brainwaves and Head Movement". *Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO)*, Magusa, Cyprus, 8-10 November 2018. <https://doi.org/10.1109/TIPTEKNO.2018.8596956>
- [5] Sevgili, Z., & Mehmet, A. K. I. N. (2019). İmleç Hareketlerine Ait EEG Sinyallerinin Sınıflandırılmasında Adaptif ve Adaptif Olmayan Filtrelerin Uygulamaları. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(1), 57-67. <https://doi.org/10.24012/dumf.584345>
- [6] Li, Y., Zhou, R., Xu, R., Luo, J., & Jiang, S. X. (2020). A quantum mechanics-based framework for EEG signal feature extraction and classification. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*. <https://doi.org/10.1109/TETC.2020.3000734>
- [7] Ergün E, Aydemir Ö. "Etkin epoklar ile motor hayaline dayalı EEG işaretlerinin sınıflandırma doğruluğunun artırılması". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(5), 817-823, 2018.
- [8] Sezer E. "EEG signal analysis for the diagnosis of epilepsy". Doctoral dissertation, Selçuk University, Konya, Turkey, 2008.
- [9] Wolpaw JR. "Brain-computer interfaces: signals, methods, and goals". In *First International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering*, Capri Island, Italy, 20-22 March 2003. <https://doi.org/10.1109/CNE.2003.1196894>
- [10] Abhang, P. A., Gawali, B. W., & Mehrotra, S. C. (2016). *Introduction to EEG-and speech-based emotion recognition*. Academic Press. ISBN: 9780128044902
- [11] Lebedev MA, Nicolelis MA. "Brain-machine interfaces: past, present and future". *TRENDS in Neurosciences*, 29(9), 536-546, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2006.07.004>
- [12] Ramadan RA, Refat S, Elshahed MA, Ali RA. *Basics of brain computer interface*. *Brain-Computer Interfaces Editors: Hassanien AE, Azar AT. Basics of Brain Computer Interface* (pp. 31-50). Springer, Cham, 2015.
- [13] Novák D, Lhotská L, Eck V, Sorf M. "EEG and VEP signal processing". *Cybernetics, Faculty of Electrical Eng*, 50-53, 2004.
- [14] Anupama HS, Cauvery NK, Lingaraju GM. "Brain computer interface and its types-a study". *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 3(2), 739, 2012.

- [15] Ang KK, Chua KSG, Phua KS, Wang C, Chin ZY, Kuah CWK, Guan C. "A randomized controlled trial of EEG-based motor imagery brain-computer interface robotic rehabilitation for stroke". *Clinical EEG and neuroscience*, 46(4), 310-320, 2015.  
<https://doi.org/10.1177/1550059414522229>
- [16] Mane R, Chew E, Phua KS, Ang KK, Robinson N, Vinod AP, Guan C. "Prognostic and Monitory EEG-Biomarkers for BCI Upper-limb Stroke Rehabilitation". *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2019.  
<https://doi.org/10.1109/TNSRE.2019.2924742>
- [17] González M, Rojas E, Bolaños W, Segura JP, Murillo L, Solano A, Yu L. "Auditory imagery classification with a non-invasive Brain Computer Interface". 9th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER), CA, USA, 20-23 March 2019.  
<https://doi.org/10.1109/NER.2019.8716946>
- [18] Argunşah AÖ, Çürüklü AB, Çetin M, Erçil A. "EEG Tabanlı Beyin-Bilgisayar Arayüzü Sistemlerinde Sınıflandırmayı Etkileyen Faktörler". *IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications Conference*, Eskisehir, Turkey, 11 - 13 June 2007
- [19] Behm A, Kollotzek MA, Hüske F. "Brain Computer Interfaces—Controlling computers by thoughts", 2006.  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.187.9534&rep=rep1&type=pdf> (4th May 2019).
- [20] Hyvärinen A, Oja E. "Independent component analysis: algorithms and applications". *Neural networks*, 13(4-5), 411-430, 2000.  
[https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(00\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(00)00026-5)
- [21] Chatterjee R, Bandyopadhyay T, Sanyal DK, Guha D. "Comparative analysis of feature extraction techniques in motor imagery EEG signal classification". In *Proceedings of First International Conference on Smart System, Innovations and Computing*, Jaipur, RJ, India, 15 - 16 April 2017. Springer, Singapore.





# Derin Öğrenme ve Sınıflandırma Yaklaşımları ile BT görüntülerinden Covid-19 Tespiti

## *Covid-19 Detection from CT images with Deep Learning and Classification Approaches*

Erdal Özbay<sup>1\*</sup>, Feyza Altunbey Özbay<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ, erdalozbay@firat.edu.tr, 0000-0002-9004-4802

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ, faltunbey@firat.edu.tr, 0000-0003-0629-6888

### MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*

Geliş: 19 Ekim 2020  
Düzeltilme: 12 Kasım 2020  
Kabul: 13 Kasım 2020

*Anahtar kelimeler:*

Covid-19, Makine öğrenmesi, Derin öğrenme, Evrişimli Sinir Ağı, Göğüs BT görüntüleri

### ÖZET

İlk olarak Çin ülkesinin Wuhan eyaletinde, Aralık 2019 tarihinde görülen ve oldukça bulaşıcı bir hastalık olan yeni tip Koronavirüs (Covid-19), sadece birkaç ay içerisinde tüm dünyaya yayılmış ve bir pandemi haline gelmiştir. Covid-19, dünya ekonomik yapısını, insanların dini, siyasi, sosyal yaşamını, halk sağlığı yapısını, insanların günlük yaşam yapısını değiştirmiş ve milyonlarca insanı işsiz bırakmıştır. Bu salgınla mücadele etmenin öncelikli yolu, enfekte olan kişinin mümkün olan en kısa sürede teşhis edilmesi ve onun sağlıklı bireylerden uzaklaştırılmasıdır. Şu anda, dünya çapında Covid-19 hastalarını tespit etmek için Ters Transkripsiyon-Polimeraz Zincir Reaksiyonu (TT-PZR) kullanılmaktadır. Ancak Dünya Sağlık Örgütü'nce (DSÖ), TT-PZR'nin erken evre vakalarının tespitinde düşük duyarlılık ve düşük özgüllükten muzdarip olduğu vurgulanmıştır. Son araştırmalar göstermiştir ki, göğüs Bilgisayarlı Tomografi (BT) taraması görüntüleri, Covid-19 vakalarını belirlemede yararlı bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, Covid-19 vakalarının sınıflandırma sonuçlarına dayalı tahmin modeli için son teknolojik gelişmelere uygun birçok sınıflandırma algoritmaları ile birlikte Evrişimli Sinir Ağı (ESA) performansları karşılaştırılmıştır. Sonuç, önerilen ESA modelinin, diğer gelişmiş sınıflandırma algoritmalarından daha iyi performans gösterdiği ve %98.1 doğruluk elde ettiği vurgulanmıştır.

*Doi: 10.24012/dumf.812810*

### ARTICLE INFO

*Article history:*

Received: 19 October 2020  
Revised: 12 November 2020  
Accepted: 13 November 2020

*Keywords:*

Covid-19, Machine learning, Deep learning, Convolutional Neural Network, Chest CT images

### ABSTRACT

The new type of Coronavirus (Covid-19), which was first seen in Wuhan province of the Chinese country in December 2019 and was a highly contagious disease, spread all over the world in just a few months and became a pandemic. Covid-19 has changed the world economic structure, people's religious, political, social life, public health structure, people's daily life structure and left millions of people unemployed. The primary way to combat this epidemic is to diagnose the infected person as soon as possible and remove him from healthy individuals. Currently, Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction (RT-PCR) is used to detect Covid-19 patients worldwide. However, it has been emphasized by the World Health Organization (WHO) that RT-PCR suffers from low sensitivity and low specificity in the detection of early stage cases. Recent research has shown that chest Computed Tomography (CT) scan images play a useful role in identifying Covid-19 cases. In this study, Convolutional Neural Network (CNN) performances were compared with many classification algorithms suitable for the latest technological developments for the prediction model based on the classification results of Covid-19 cases. As a result, it was emphasized that the proposed CNN model performs better than other advanced classification algorithms and achieves 98.1% accuracy.

\* Sorumlu yazar / Correspondence  
Erdal ÖZBAY  
✉ erdalozbay@firat.edu.tr

## Giriş

Son bir yılda tüm dünyayı etkisi altına alan yeni tip Koronavirüs (Covid-19) hastalığı 2019 Aralık ayında Çin ülkesinin Wuhan kenti merkezli olarak ortaya çıkmış ve kısa bir zaman içerisinde de Çin'in her yerine yayılmıştır. Çok kısa bir sürede ise Çin dışına çıkarak tüm dünyada yayılmış ve dünya pandemisi haline gelmiştir. 17 Ekim 2020 itibariyle dünya çapında enfekte vaka sayısı 39,644,861 ve ölüm vakası 1,110,182'dur [1]. Bu rakamlar, tüm dünyayı tehdit altına alan Covid-19'un ciddiye alınması gerektiğini göstermektedir. Bu bakımdan, Covid-19 vakaları erken tespit edilebilirse, bu hastalar tecrit edilebilir, böylelikle enfekte olmayan sağlıklı bireyler güvende kalabilir. Şu anda, Covid-19 hastalarını teşhis etmenin küresel yöntemi, ters transkripsiyon-polimeraz zincir reaksiyonudur (TT-PZR). Ancak bu yöntemin birincil sorunu, düşük duyarlılık ve özgüllükten muzdarip olmasıdır [2]. Bunun yanında, uzak kırsal bölgelerde TT-PZR test kitlerinin azlığı nedeniyle, doktorlar Covid-19 taraması için tıbbi görüntülerin kullanılmasını önermektedir [3]. Bilgisayarlı tomografi (BT) tarama görüntüsü, pozitif Covid-19 hastalarının tespit edilmesi için önemli ayrıntılar taşımaktadır [4]. BT tarama görüntüsünün faydalarına rağmen, Covid-19 ve diğer akciğer hastalıkları arasında benzer özellikler bulunmaktadır. Bu bakımdan taramanın yürütülmesi oldukça zordur. Son zamanlarda, radyolojik görüntüler üzerinden, makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri kullanılarak bazı özelliklerin çıkarılması ve tespit edilmesi kullanışlı hale gelmiştir. Bu çalışmada, Covid-19 pozitif hastalarını, BT tarama görüntülerinden tespit etmek için birkaç makine öğrenimi ve derin öğrenme tekniği kullanılmaktadır. Veri seti, 1252 adet Covid-19 pozitif yani hasta, 1230 adet Covid-19 negatif yani sağlıklı olmak üzere toplam 2482 görüntüden oluşan nispeten büyük bir veri kümesinden oluşmaktadır. Sınıflandırma için bilinen en iyi sınıflandırıcı algoritmalarından Rastgele Orman, Destek Vektör Makinesi, Rastgele Ağaç ve Naive Bayes ile Evrişimli Sinir Ağı modelinin sonuçları karşılaştırılmış ve Covid-19 hastalarını en iyi doğrulayabilecek model belirlenmiştir. Makalenin geri kalan bölümü şu şekilde düzenlenmiştir; Bölüm 2, ilgili

son çalışmaları ele almaktadır. Bölüm 3, bu çalışma için kullanılan veri setini ve yöntemleri tartışmaktadır. 4. Bölümde deneysel sonuçlar analiz edilmektedir ve önerilen Covid-19 tahmin modelinin deneysel sonuçlarının tartışılması ele alınmaktadır.

## İlgili Çalışmalar

Pandeminin ortaya çıkışından itibaren, Covid-19 hastalığının tespiti için otomatik tarama sistemi, araştırma topluluğu için en önemli öncelik haline gelmiştir. Akciğerin BT taramalarının sınıflandırılması için otomatik bir sistemin geliştirilmesi, görsel bir incelemede bulaşıcı ve enflamatuar akciğer hastalıklarının teşhisinin karmaşıklığı nedeniyle zorlu olmaya devam etmektedir. Görsel muayene kabul edilebilir bir standart olmasına rağmen, teşhis edilmesi gereken çok sayıda hastadan kaynaklanan hatalara maruz kalma eğilimindedir. Bu bakımdan araştırmacılar, çeşitli yöntemlerle Covid-19'un benzersiz özelliklerini otomatik olarak belirlemek için birçok çalışma önermişlerdir.

Kang vd., Covid-19 için otomatik olarak teşhis koyabilen çok görüntülü bir temsil öğrenme tekniği önermişlerdir [5]. Önerdikleri modeli, doğrulamak için 2522 BT tarama görüntüsüne uygulamışlardır. Uyguladıkları yöntemle, sırasıyla %95.5, %96.6 ve %93.2 doğruluk, duyarlılık ve özgüllüğe ulaşmışlardır. Li vd., göğüs BT'leriyle Covid-19'u doğru bir şekilde tanımlamak için bir derin öğrenme otomatik çerçevesi olan COVNet'i önermişlerdir [6]. Modellerini oluştururken 4356 görüntüden oluşan göğüs BT'si kullanmışlardır. Bu modelle, diğer pnömoni hastalarından Covid-19 hastalarını tespit etmede % 87'lik bir duyarlılık ve 0.95'lik bir Eğri Altındaki Alan (EAA) değeri elde edilmiştir. Xu vd., Covid-19'un erken taranması için ResNet adlı bir derin öğrenme modeli tasarlamışlardır [7]. Model oluşturulurken toplam 618 pulmoner BT örneği kullanılmıştır. Bu çalışmada, Covid-19'u influenza-A pnömonisinden ve sağlıklı vakalardan ayıran % 86,7'lik nihai bir doğruluk elde edilmiştir. Ardakani vd., Covid-19'u ayırt etmek için on adet evrişimli sinir ağını, yani VGG-16, VGG-19, AlexNet, GoogleNet,

SqueezeNet, ResNet-18, ResNet-50, ResNet-101, MobileNet-V2 ve Xception'ı 1020 adet BT görüntüsü kullanarak diğer pnömonilerle (yani Covid-19 olmayan) karşılaştırmışlardır [8]. Bu bakımdan, ResNet 101 ve Xception'ın en yüksek EAA değeri olan 0.994'ü elde ettiğini gözlemlemişlerdir ve Covid-19 hastalarını karakterize etmek ve saptamak için Resnet 101'i önermişlerdir. Bir diğer çalışmada, Bai X. vd., derin bir sinir ağı mimarisi olan EfficientNet'i ortaya koymuş ve 1186 hastadan elde edilmiş BT karelerini bu mimariye uygulamışlardır [9]. Üretilen sistemde, Covid-19 ve Covid-19 olmayanlar arasında ayırım yapılırken, piyasaya sürülen sistemde %96 doğruluk, %95 duyarlılık ve %96 özgüllük elde edilmiştir. Shi vd., Covid-19'u taramak için bir makine öğrenimi algoritması olan Rastgele Orman'ı (RO) uygulamışlardır [10]. Bu çalışma için sundukları modellerini değerlendirmek adına 2685 hastanın BT görüntülerini kullanmışlardır. Modelde, 5 kat çapraz doğrulama tekniği değerlendirildikten sonra, model sırasıyla %87.9, %90.7 ve %83.3 doğruluk, duyarlılık ve özgüllüğe ulaşmıştır. Bir başka çalışmada, Özkaya vd., 150 adet BT görüntüsünden 3000 adet yama görüntü üretmiş ve bu görüntüler üzerinden daha fazla sıralama ve füzyon teknikleri uygulamışlardır [11]. Sınıflandırma için Destek Vektör Makinesi (DVM) kullanılmıştır ve bundan önce, transfer öğrenme yönteminin bir parçası olarak da önceden eğitilmiş olan bir ESA modeli kullanılmıştır. Sunulan prosedürde %98,27 doğruluk, %97,63 kesinlik ve %97,6 duyarlılık elde edilmiştir. Alom vd., [12], Covid-19'u tespit etmek için verimli bir derin öğrenme yaklaşımı olan transfer öğrenmeli, Bölgesel-Evrişimli Sinir Ağı'nı (B-ESA) sunmuşlardır. Araştırmacılar daha önceleri, sınıflandırmanın sonucunu artırabilmek için enfekte olan alan bölümlendirme için NABLA-N ağını kullanmışlardır. Önerilen yöntemin değerlendirilebilmesi için hem X-ışını hem de BT görüntüleri üzerinde çalışılmıştır. X-ışını ve BT görüntülerinden sırasıyla %84.67 ve %98.78 doğruluk değerleri elde etmişlerdir.

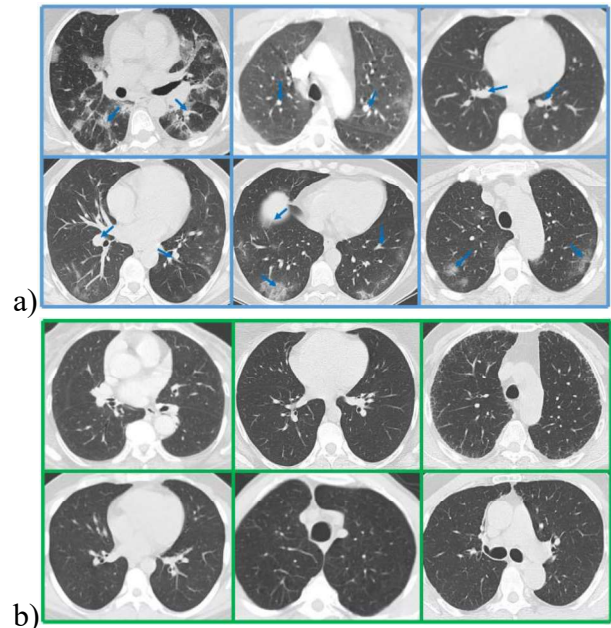
Mevcut sınıflandırma modelleri, özellik çıkarım karmaşıklığı açısından bazı sınırlamalar göstermektedir. Çeşitli özellik çıkarım algoritmaları, görüntü piksellerinin uzamsal

dağılımındaki önemli değişikliklerini yakalamada önemli bir role sahiptir. Son zamanlarda, kesirli analiz ve uygulamaları farklı uygulama alanlarında kullanılmıştır [13]. Bu çalışmada, çalışmanın katkılarında biri olarak kabul edilen, görüntü sınıflandırma görevleri için akciğer BT taraması sınıflandırması için mevcut modeller, özellik çıkarma için yalnızca derin öğrenmeye dayanmaktadır. Bu nedenle, klinik bulgular ile derin öğrenme özelliklerini birleştirmek, Covid-19'lu ve sağlıklı vakalar arasındaki sınıflandırma performansını daha da artırarak hastalık hikayesinin seyrini olumlu biçimde etkileyecektir. Bu çalışmanın motivasyonu, derin öğrenme kullanarak BT taramalarında Covid-19'lu ve sağlıklı akciğerlerin verimli bir sınıflandırmasını önermektir.

## Materyal ve Metot

### Veri Kümesi

Bu araştırmada, Covid-19 hastalarını sınıflandırmak için, Kaggle adlı platform üzerinden halka açık şekilde paylaşılmış, BT tarama görüntülerinden oluşan bir veri seti kullanılmıştır [14]. Bu veri kümesinde Brezilya, Sao Paulo'dan toplanan 2482 göğüs BT görüntüsü bulunmaktadır.

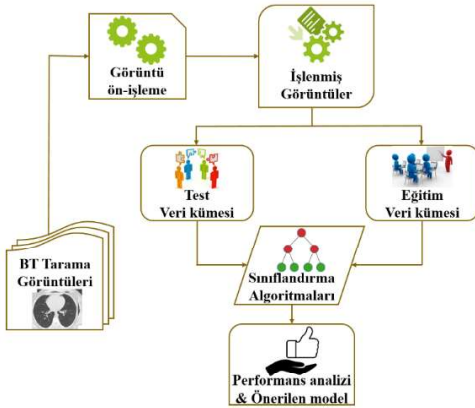


Şekil 1. Covid-19 vakaların BT tarama görüntü örnekleri, a) pozitif-mavi çerçeveli (mavi oklar kontamine bölgeyi göstermektedir), b) negatif-yeşil çerçeveli

Veri kümesi içerisinde, 1252 tane pozitif Covid-19 vakalı göğüs BT taraması görüntüsü ve 1230 negatif Covid-19 vakası anlamına gelen başka akciğer hastalıkları olan göğüs BT taraması görüntüleri bulunmaktadır. Bu veri kümesindeki göğüs BT tarama görüntülerinden bir kesit şekil 1’de gösterilmiştir.

## Görüntü İşleme

Veri kümesindeki görüntülerin tümü farklı boyutlardadır. Veri kümesindeki tüm görüntüleri aynı boyuta getirmek için Python Open CV kullanılarak, yeniden boyutlandırma işlemi yapılmıştır. Tüm görüntüler tek bir boyuta getirildikten sonra renk uzayı dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Bu işlem ile, görüntüler RGB renk uzayından gri renk uzayına dönüştürülmüştür. Ön işleme aşaması, görüntülerin sınıflandırma algoritmalarında kullanılabilmesi için dizilere dönüştürülmesiyle tamamlanmıştır. Araştırma çalışmamızın akış diyagramı şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Araştırma yöntem bilimimize ait akış diyagramı

## Sınıflandırma

Bu çalışmada BT görüntülerini sınıflandırmak için beş adet farklı sınıflandırma algoritması yürütülmüştür.

### a. Evrişimsel Sinir Ağları (ESA)

Son yıllarda, derin öğrenme, nesne tanıma, beyin tümörü segmentasyonu ve sınıflandırma, meme kanseri tespiti, rahim ağzı kanseri tanıma gibi tıbbi problemlerin çözümünde oldukça ilgi çekmiştir. ESA, derin öğrenmenin bir parçasıdır ve bilgisayarla görme problemlerine sıklıkla uygulanmaktadır. ESA mimarisi, bir evrişim

katman, bir havuzlama katmanı ve tamamen bağlantılı bir katman olmak üzere yapısında üç katmanın kombinasyonunu barındırmaktadır. İlk iki katman, giriş görüntüsünden derin özellikler çıkarır ve tamamen bağlantılı katman, çıkarılan özellikleri çıktı katmanına eşlemektedir. Böylelikle görüntünün gereksiz kısımlarının yapay sinir ağına gitmesi engellenerek, sistemin hızlı ve doğru sonuç vermesi sağlanmaktadır.

**Evrişimli Katman:** Evrişimli katman, özellik çıkarma işlemi gerçekleştirir. Doğrusal evrişimli işlem ve doğrusal olmayan etkinleştirme fonksiyonu, evrişim adımını gerçekleştirmek için gereken iki temel işlemdir.

Doğrusal evrişimli süreçte, giriş görüntüsünden öznitelikleri çıkarmak için bir öznitelik algılayıcı veya çekirdek kullanılmaktadır. Bir özellik haritası veya aktivasyon haritası olarak da bilinen kıvrımlı bir görüntü oluşturmak için giriş tensörü ve çekirdek arasında eleman bazlı ürün operasyonu gerçekleştirilmektedir. Bu evrişimin birincil amacı, giriş görüntüsünün boyutunu azaltmaktır. Matematiksel olarak, aşağıdaki denklem evrişimli işlemi temsil etmektedir:

$$(f * g)(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(T)g(t - T)dT \quad (1)$$

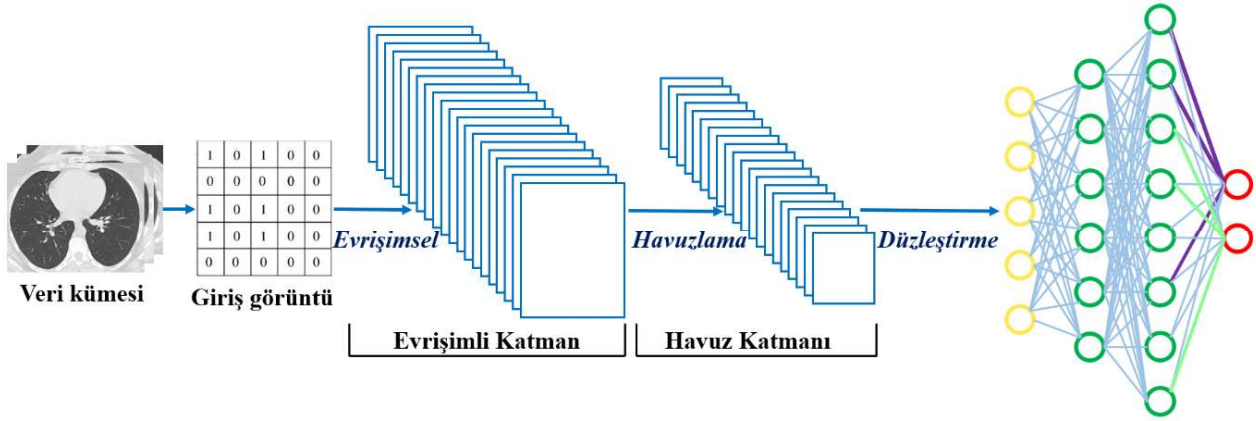
Evrişimden sonra, Doğrultulmuş Doğrusal Birim (Rectified Linear Unit- RELU) doğrusallığı kırmakta ve ağdaki doğrusal olmayışı geliştirmektedir. Fonksiyonun çıktısı aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

$$f(x) = \max(0, x) \quad (2)$$

**Havuz Katmanı:** Havuzlama, havuzlanmış özellik haritası oluşturmak için özellik haritasının boyutunu azaltmak için kıvrılmış görüntüden özellikler çıkarmaktadır. Maksimum havuzlama, ortalama havuzlama gibi farklı havuzlama türleri kullanılmaktadır. Daha sonra, havuzlanmış özellik haritası tek boyutlu bir sütun haline getirilmekte ve ek işlemler için yapay sinir ağına beslenmektedir.

**Tamamen Bağlantılı Katman:** Bu tam bağlantı, şekil 3’te gösterilen, tamamen bağlı bir katman aracılığıyla bir çıktı katmanına sahip bir giriş katmanından oluşan bir birleşimden oluşmaktadır.





Şekil 3. Evrişimli Sinir Ağının (ESA) mimarisi

Burada, tamamen bağlı katmanlar, tüm düğümler tamamen bağlı olduğundan özel bir gizli katman olarak da bilinmektedir. Bu katmanlarda, RELU bir aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılmaktadır.

Son tahmin, çıktı katmanında aktivasyon fonksiyonu olarak softmax veya sigmoid kullanılarak yapılmaktadır. Bilgi bu şekilde yapay sinir ağından geçmektedir. Ağın performansının değerlendirilmesi tahmin hatası veya kayıp fonksiyonunun 0'a yakınlığı ile ölçülmektedir. Ağı optimize etmek için bu işlevin en aza indirilmesi gerekmektedir. Mükemmel bir tahmin elde etmek için, tahmin hatası ağ üzerinden geri yayılmaktadır.

### b. Rastgele Orman (RO)

Popüler makine öğrenme modellerinden biri olan denetimli bir sınıflandırma yöntemidir, bu algoritmayı popüler yapan en önemli özelliği, hiper parametre kestirimi yapılmasına gerek duymadan iyi sonuçlar üretmesi ayrıca regresyon ve sınıflandırma problemlerine uygulanabilmesidir. Algoritmanın temel çalışma prensibinde, modelin temel bloğu olan karar ağaçları kullanılmaktadır. En basit şekliyle algoritma rastgele olarak bir orman yaratmaktadır, bu algoritmadaki ağaç sayısı ve elde edebileceği sonuç arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Ağaç sayısı artırdıkça daha kesin bir sonuç elde edilebilmektedir. Rastgele Orman algoritması ile Karar Ağacı algoritması arasındaki en önemli fark, Rastgele Orman yöntemindeki kök düğümün (Root Node) bulunması ve düğümlerin bölünmesi işlemlerinin rastgele çalışıyor olmasıdır. Rastgele Orman

algoritmasında kullanılan model farklı veri setleri üzerinde eğitim gerçekleştirdiği için karar ağaçlarının en büyük problemlerinden olan varyans yani aşırı uyumluluk, diğer bir deyişle overfitting azalmaktadır [15].

### c. Destek Vektör Makinesi (DVM)

Destek Vektör Makinesi (DVM), sınıflandırma ve regresyon problemlerini çözmek için kullanılan denetimli bir makine öğrenme algoritmasıdır. Destek vektörü makine modeli, çok boyutlu uzayda bir hiper düzlemdeki birkaç sınıfı temsil etmektedir. Hataları azaltmak için, hiper düzlem algoritma tarafından yinelemeli olarak oluşturulmaktadır. Algoritmanın temel amacı, veri kümelerini farklı sınıflara bölerek maksimum marjinal hiper düzlem elde etmektir. Bunlar iki adımda yapılmaktadır: İlk olarak, seviyeleri en iyi şekilde ayıran hiper düzlemler yinelemeli bir şekilde oluşturulmaktadır. İkinci olarak, sınıfları doğru bir şekilde ayıran alt düzlem seçilmektedir.

### d. Rastgele Ağaç (RA)

Rastgele Ağaç, birçok karar ağacından gelen tahminleri birleştiren bir toplu makine öğrenimi algoritmasıdır. Yaygın olarak kullanılan Rastgele Orman algoritması ile ilişkilidir. Grubun üyeleri olarak kullanılan karar ağaçlarını oluşturmak için daha basit bir algoritma kullanılmasına rağmen, genellikle rastgele orman algoritmasından daha iyi performans elde edilebilmektedir. Rastgele ağaç sınıflandırıcı, sınıflandırma ve regresyon için kullanılan, denetimli bir makine öğrenme algoritmasıdır. Rastgele ağaç sınıflandırıcı, eğitim veri setinden çok sayıda budanmamış karar ağacı

oluşturmaktadır. Tahmin yapmak için, her karar ağacının oy verdiği yerlerde çoğunluk oylama tekniğini kullanmaktadır ve en yüksek oylanan tahmin, nihai sınıflandırma sonucu olarak kabul edilmektedir. Her karar ağacı, bir ağaç ormanı oluşturmak için orijinal eğitim setinden oluşturulmaktadır. Her karar ağacı, özellik alt kümesinden verilen her test düğümündeki rastgele  $k$  özellik örneğinden verileri ayırmak için en iyi özelliği seçmektedir. Daha sonra, birden fazla ilintisiz karar ağaçları olarak da bilinen fazladan ağaç ormanı, rastgele bir özellik örneği kullanılarak üretilmektedir.

### e. Naive Bayes (NB)

Naive Bayes sınıflandırıcıları, Bayes teoreminin özellikleri arasında güçlü (naif) bağımsızlık varsayımlarıyla uygulamaya dayanan basit “olasılıksal sınıflandırıcılar” ailesidir. Naive Bayes sınıflandırıcıları, bir öğrenme problemindeki değişkenlerin (özellikler / öngörücüler) sayısında doğrusal bir dizi ölçeklendirilebilir parametre gerektirmektedir. Maksimum olasılık eğitimi, diğer birçok sınıflandırıcı türü için kullanılan pahalı yinelemeli yaklaşımdan ziyade doğrusal zaman alan kapalı bir form ifadesinin değerlendirilmesiyle yapılabilmektedir. İstatistik ve bilgisayar bilimi literatüründe saf Bayes modelleri, basit Bayes ve bağımsız Bayes gibi çeşitli isimler adı altında bilinmektedir. Ancak tüm bu isimler, sınıflandırıcının karar kuralında Bayes teoreminin kullanımına atıfta bulunmaktadır. En basit Bayes ağ modelleri kernel yoğunluğu tahmini ile birleştirilebilmekte ve daha yüksek doğruluk seviyeleri elde edilebilmektedir.

### Performans Değerlendirme Ölçütleri

Bu çalışmada,  $k$ -kat çapraz doğrulama tekniği kullanılarak veri kümesi  $k$  farklı alt kümeye bölünerek önerilen sistemin verimliliği test edilmiştir. Herbir adımda,  $k-1$  alt küme modeli eğitmek için, geri kalanı ise test kümesi olarak kullanılmıştır. Model oluşturma sırasında, bu işlem  $k$  kez tekrarlanarak, modelin performansı, bağımsız  $k$  alt kümenin test sonuçlarının ortalaması alınarak ölçülmektedir. Bu çalışmada  $k$  değeri, 10 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada,

altı (6) farklı değerlendirme ölçütü doğruluk, kesinlik, hassasiyet, F-ölçütü, özgüllük ve ROC eğrisi olarak bilinen Eğri Altındaki Alan (EAA) kullanılmıştır. Tablo 1’de verilen karışıklık matrisi, herhangi bir tahmin modelinin genel performansını göstermek için kullanılmaktadır. Bu karışıklık matrisi kullanılarak, belirlenen altı performans ölçütü hesaplanabilmektedir [16].

Tablo 1. Karışıklık Matrisi

		Tahmin Edilen	
		Pozitif	Negatif
Gerçek	Pozitif	Doğru Pozitif (DP)	Yanlış Negatif (YN)
	Negatif	Yanlış Pozitif (YP)	Doğru Negatif (DN)

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+YP+DN+YN} \quad (3)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP+YP} \quad (4)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (5)$$

$$F_1 - \text{Ölçütü} = \frac{2*DP}{YN+YP+2*DP} \quad (6)$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{YP+DN} \quad (7)$$

Bu çalışmada EAA eğrisi, Covid-19 pozitif ve negatif iki durumun ne kadar doğru bir şekilde ayırdığını ölçmek için kullanılmaktadır. EAA eğrisi, DP oranının YP oranına göre değişiminin çizilmesiyle elde edilmektedir. Eğrinin Altındaki Alan’ın (EAA) fazlalığı tanı testinin başarısını göstermektedir. EAA, tüm olası sınıflandırma eşiklerinde toplu bir performans ölçüsü sağlamaktadır. EAA’ı yorumlamanın bir diğer şekli, modelin rastgele bir pozitif örneğinin, rastgele bir negatif örnekten daha yüksek bir şekilde sıralanması olasılığıdır.

### Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, çeşitli uygulamalar geliştirmek için Google tarafından sağlanan Python programlama diline dayalı bir bulut hizmeti olan Google Colab kullanılmıştır [17]. Daha hızlı

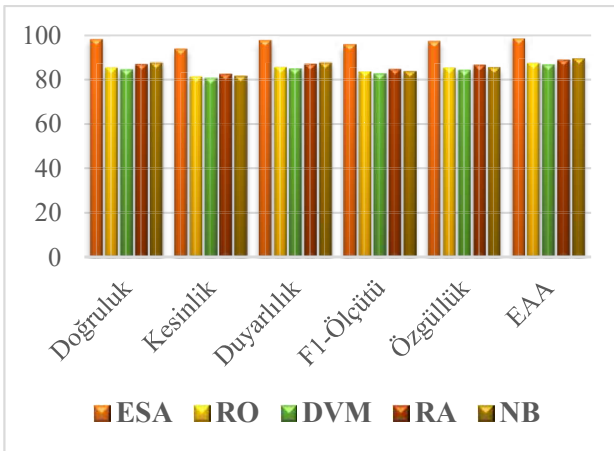


işlem için sanal Tensör İşleme Birimi (TİB) kullanılmıştır. Deneysel veri setimiz %75 : %25 oranına bölünmüştür. Bu bakımdan veri kümemizdeki verilerin %75'i eğitim verisi olarak ve %25'i ise test verisi olarak kullanılmıştır. Modelin aşırı uyumlu olmasını önlemek için 10 kat çapraz doğrulama tekniği kullanılmıştır. Bu çalışmada, Covid-19 vakalarını sınıflandırmak için beş farklı sınıflandırma tekniği karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlardan Covid-19 hastalarının sınıflandırılmasında ESA, RO, DVM, RA ve NB'in sırasıyla %98,1, %85,45, %84,6, %86,93 ve %87,77 doğruluk sağladığı gösterilmiştir. Performansı değerlendirmek için dikkate alınan diğer istatistiksel değerlendirme ölçümleri tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Sınıflandırıcı algoritmaların performans değerlendirme sonuçları

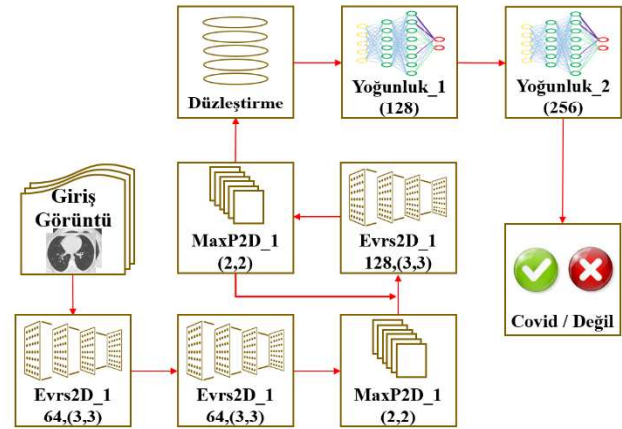
Sınıflandırıcı / Ölçütler	ESA	RO	DVM	RA	NB
<b>Doğruluk</b>	98,10	85,45	84,6	86,93	87,77
<b>Kesinlik</b>	94	81,4	80,73	82,5	81,64
<b>Duyarlılık</b>	97,72	85,63	84,91	87,01	87,81
<b>F1-Ölçütü</b>	95,81	83,46	82,76	84,68	83,67
<b>Özgüllük</b>	97,37	85,32	84,34	86,63	85,41
<b>EAA</b>	98,35	87,51	86,72	88,96	89,38

Şekil 4'te, ESA sınıflandırıcısının Covid-19 sınıflandırması için tahmin performansı açısından diğer son teknoloji sınıflandırma algoritmalarından daha iyi performans gösterdiğini görebilmekteyiz.



Şekil 4. Covid-19 tespiti için sınıflandırma algoritmalarının performans analizi

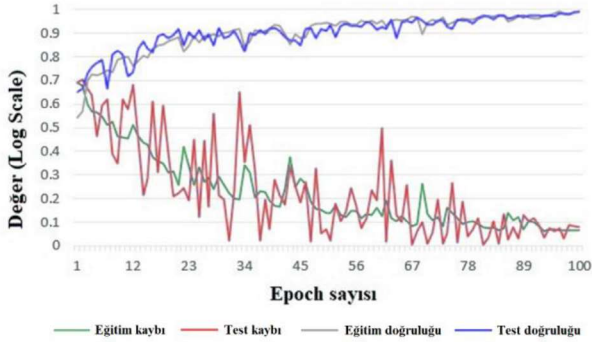
Önerilen tahmin modelinin detaylarıyla tartışılması gerekirse deneysel sonuçlar bölümünde, ESA sınıflandırıcısının, performans açısından diğer algoritmalarından daha iyi performans gösterdiği sayısal ve görsel olarak gösterilmiştir. Bu çalışmayla, önerilen ESA modelimizin göğüs BT taraması görüntüleri aracılığıyla Covid-19 vakalarının tespit edilmesi için kullanılabileceği söylenebilmektedir. Önerilen ESA modelinin tam yapısı şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Önerilen ESA modelinin yapısı

Deneysel sonuçlar için kullanılan veri kümesindeki görüntüler farklı boyutlarda olduğundan dolayı, görüntüler 64x64 piksellik sabit bir boyuta indirgenmiştir. Ardından, girdi görüntülerinden öznetelikleri çıkarmak için ilk evrişim katmanında 3x3 boyutunda 64 filtre kullanılmıştır. Birinci evrişim katmanının konfigürasyonu aynı şekilde ikinci bir evrişim katmanı daha eklenmiş ve aktivasyon fonksiyonu olarak ReLU kullanılmıştır. Daha sonra, 2x2 boyutunda Maksimum havuzlama, özellik haritasının boyutunu azaltmak için kullanılmıştır. 3x3 boyutunda 128 çekirdeğin bulunduğu bir başka evrişim katmanı daha eklenmiştir. Daha sonra, özellik haritasının boyutunu küçültmek için daha önce olduğu gibi Maksimum havuzlama eklenmiştir. Ardından son evrişim ve maksimum havuz katmanı tekrar eklenmiş ve ardından tek boyutlu bir diziye düzleştirilmiştir. Daha sonra 128 birim ve 256 birimlik toplam iki yoğun / gizli katman eklenmiştir, burada ReLU bir aktivasyon işlevi olarak kullanılmıştır. Nihai çıktı katmanında Covid-19 sınıflandırmasıyla ilgili son tahmini almak için yalnızca bir düğüm kullanılmıştır.

İkili bir sınıflandırma problemi olduğu için sigmoid fonksiyonunun bir aktivasyon fonksiyonu olarak benimsenmesinin nedeni budur. Optimize edici olarak önerilen ESA modeli, kayıp fonksiyonunu hesaplamak için ikili çapraz entropiyi kullanmaktadır. Önerilen ESA modelini daha sağlam hale getirmek ve aşırı uyumluluğu ve yetersiz uyumluluğu önlemek için, tüm operasyonlar devir olarak 100 adet, parti boyutu ise 32 olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da, devrin başlarında eğitim kaybının son derece yüksek olduğu ve doğruluk oranının oldukça düşük olduğu gösterilmektedir. Ancak devir 100'e doğru yaklaştıkça, eğitim ve test kayıplarının 0'a yaklaşmasına karşılık, eğitim ve test doğruluklarının ise son derece yüksek değere ulaştığı görülmektedir.



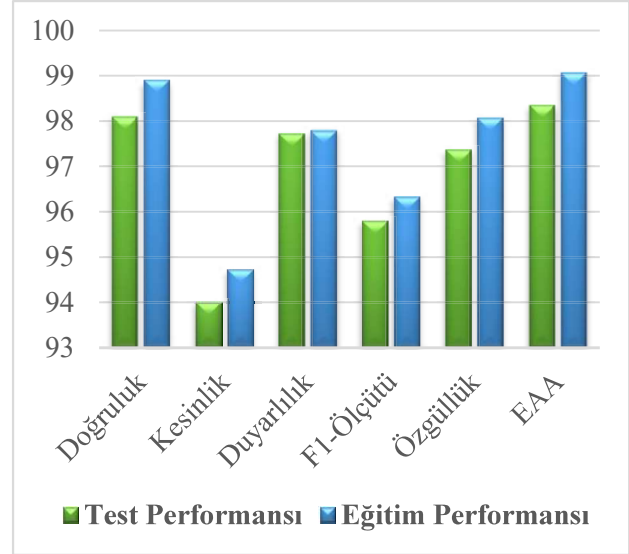
Şekil 6. Önerilen ESA modelin Eğitim, Test kaybı ve Eğitim, Test doğruluk eğrileri

Her adımda, ağırlıklar parti boyutlarına göre sürekli güncellenerek ağa iletilmektedir. Her devir dönemi tamamlandıktan sonra, kayıp değeri kademeli olarak azalmakta ve doğruluk oranı artmaktadır. 100 devir döneminin tamamı tamamlandıktan sonra, önerilen ESA modeli %98,1 doğruluk elde etmiştir. ESA'nın genel test ve eğitim performansları tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Önerilen ESA modelinin test ve eğitim performans sonuçları

Sınıflandırıcı / Ölçütler	Test Performansı	Eğitim Performansı
<b>Doğruluk</b>	98,10	98,9
<b>Kesinlik</b>	94	94,72
<b>Duyarlılık</b>	97,72	97,8
<b>F1-Ölçütü</b>	95,81	96,33
<b>Özgüllük</b>	97,37	98,07
<b>EAA</b>	98,35	99,07

Ek olarak, önerilen ESA'nın test ve eğitim performansları şekil 7'de görsel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 7. Önerilen ESA modelinin Test ve Eğitim performanslarının karşılaştırılması

## Sonuçlar

TT-PZR şu anda dünyanın hemen hemen tüm ülkelerinde Covid-19 tespiti için kullanılmaktadır. TT-PZR'nin yanlış negatif sonuçlar verebilmektedir ve aynı zamanda tüm dünyada bu TT-PZR kitlerinde aşırı bir eksiklik bulunmaktadır. Bu nedenle, yapay zeka tekniklerinin yanı sıra, göğüs BT tarama görüntüleri, bu sorunu çözmeye ve insanlığın bu krizi aşmasına yardımcı olmakta aktif bir rol oynayabilmektedir. Bu çalışmada, Covid-19 hastalarını doğru bir şekilde tanımlamak ve sınıflandırmak için beş farklı makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritması performansı karşılaştırılmıştır. Bu beş algoritmanın performansı analiz edildiğinde, ESA algoritmasının Covid-19 hastalarını tanımlamak için BT tarama görüntülerinden gizli bilgileri çıkarabildiği söylenebilmektedir. Önerilen ESA modeli %98,10 gibi mükemmel bir doğruluk elde etmiştir. Önerilen bu model, yeterli tanımlama kitlerinin ve uzman hekimlerin olmadığı kırsal alanlarda TT-PZR ile birlikte alternatif bir araç veya yardımcı araç olarak kullanılabilir. Bu uygun maliyetli tahmin modeliyle, Covid-19 hastaları bir dakika içinde tespit edilebilecek, böylelikle hastalıktan etkilenen kişilerin diğer bireylerle olan teması kesilerek topluma

bulaşının ve yayılmanın önüne geçilebilecektir. Covid-19 vakalarının büyük veri kümesine kolayca erişilememesi nedeniyle, bu araştırmada, kullanıma açık olan 2482 görüntüden oluşan bir veri kümesi kullanılmıştır. Boyutu daha büyük bir veri kümesi kullanılabilseydi, Covid-19 hastalarını belirlemek için daha sağlam bir tahmin modeli geliştirilebilirdi. Bu tahmin modeli, göğüs BT tarama görüntülerini girdi olarak almakta ve bir dakika içerisinde sonuç verebilmektedir. Tüm deneysel sonuçları elde etmek için 2.3GHz ve 8GB RAM'e sahip Intel Core i7 işlemcili bir sistem kaynağı kullanılmıştır. Çalışmada, yapılan deneysel sonuçlarla önerilen modelin yüksek doğruluğa sahip değerlere ulaşabildiği ortaya konmuştur.

### Kaynaklar

- [1] "Coronavirus Update" [Online] Erişim: <https://www.worldometers.info/coronavirus/>, 17.10.2020.
- [2] Bleve, G., Rizzotti, L., Dellaglio, F., Torriani, S., (2003). Development of reverse transcription (RT)-PCR and real-time RT-PCR assays for rapid detection and quantification of viable yeasts and molds contaminating yogurts and pasteurized food products. *Applied and Environmental Microbiology*, **69**, 7, 4116-4122.
- [3] Long, C., Xu, H., Shen, Q., Zhang, X., Fan, B., Wang, C., Li, H., (2020). Diagnosis of the Coronavirus disease (COVID-19): rRT-PCR or CT?. *European journal of radiology*, 108961.
- [4] Dong, D., Tang, Z., Wang, S., Hui, H., Gong, L., Lu, Y., Jin, R., (2020). The role of imaging in the detection and management of COVID-19: a review. *IEEE reviews in biomedical engineering*.
- [5] Kang, H., Xia, L., Yan, F., Wan, Z., Shi, F., Yuan, H., Shen, D., (2020). Diagnosis of coronavirus disease 2019 (covid-19) with structured latent multi-view representation learning. *IEEE transactions on medical imaging*.
- [6] Li, L., Qin, L., Xu, Z., Yin, Y., Wang, X., Kong, B., Cao, K., (2020). Artificial intelligence distinguishes COVID-19 from community acquired pneumonia on chest CT. *Radiology*.
- [7] Butt, C., Gill, J., Chun, D., Babu, B. A., (2020). Deep learning system to screen coronavirus disease 2019 pneumonia. *Applied Intelligence*, 1.
- [8] Ardakani, A. A., Kanafi, A. R., Acharya, U. R., Khadem, N., Mohammadi, A., (2020). Application of deep learning technique to manage COVID-19 in routine clinical practice using CT images: Results of 10 convolutional neural networks. *Computers in Biology and Medicine*, 103795
- [9] Bai, H. X., Wang, R., Xiong, Z., Hsieh, B., Chang, K., Halsey, K., Mei, J., (2020). AI augmentation of radiologist performance in distinguishing COVID-19 from pneumonia of other etiology on chest CT. *Radiology*, 201491.
- [10] Shi, F., Xia, L., Shan, F., Wu, D., Wei, Y., Yuan, H., Shen, D., (2020). Large-scale screening of covid-19 from community acquired pneumonia using infection size-aware classification. *arXiv preprint arXiv:2003.09860*.
- [11] Ozkaya, U., Ozturk, S., Barstugan, M., (2020). Coronavirus (COVID-19) Classification using Deep Features Fusion and Ranking Technique. *arXiv preprint arXiv:2004.03698*.
- [12] Alom, M. Z., Rahman, M. M., Nasrin, M. S., Taha, T. M., Asari, V. K., (2020). COVID\_MNet: COVID-19 Detection with Multi-Task Deep Learning Approaches. *arXiv preprint arXiv:2004.03747*.
- [13] Yang, X. J., Gao, F., Ju, Y., (2020). General fractional derivatives with applications in viscoelasticity. *Academic Press*.
- [14] "SARS-COV-2 Ct-Scan Dataset." Eduardo S., Plamen A., [Online] Erişim: Kaggle, doi: 10.34740/KAGGLE/DSV/1100240, 17.10.2020.
- [15] Pal, M., (2005). Random forest classifier for remote sensing classification. *International journal of remote sensing*, **26**, 1, 217-222.
- [16] Özbay, E., Çinar, A., (2019). A Comparative Study of Object Classification Methods Using 3D Zernike Moment on 3D Point Clouds. *Traitement du Signal*, **36**, 6, 549-555.
- [17] "Google Colab" [Online] Erişim: <https://colab.research.google.com/>, 17.10.2020.



# İçerik Tabanlı Bilimsel Yayın Öneri Sisteminde Benzerlik Ölçümlerinin İncelenmesi

## *The Analysis of Similarity Measurements in Content-Based Scientific Paper Recommender System*

Emine Deniz<sup>1</sup>, V. Karani Öz<sup>2</sup>, Sinem Bozkurt Keser<sup>3\*</sup>, Savaş Okyay<sup>4</sup>, Yusuf Kartal<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, [denzemine@gmail.com](mailto:denzemine@gmail.com)

<sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, [veyskoz@gmail.com](mailto:veyskoz@gmail.com)

<sup>3</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, [sbozkurt@ogu.edu.tr](mailto:sbozkurt@ogu.edu.tr)

<sup>4</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, [osavas@ogu.edu.tr](mailto:osavas@ogu.edu.tr)

<sup>5</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, [ykartal@ogu.edu.tr](mailto:ykartal@ogu.edu.tr)

### MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*

Geliş: 9 Aralık 2020

Düzeltilme: 15 Şubat 2021

Kabul: 20 Şubat 2021

*Anahtar kelimeler:*

Akademik makale öneri sistemi, ters doküman frekansı, içerik tabanlı filtreleme.

### ÖZET

Öneri sistemleri, kullanıcılara kişiselleştirilmiş öneri sunan bilgi filtreleme sistemleridir. Öneri tabanlı uygulamalar e-ticaret, film, makale, restoran ve seyahat gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle metin tabanlı depolamaya sahip sistemler üzerinde geleneksel anahtar kelime tabanlı arama tekniğiyle karşılaştırıldığında, öneri sistemleri büyük veri için daha etkili ve özelleştirilmiş sistemler olarak ön plana çıkmaktadır. Bilimsel çalışma paylaşımının yapıldığı platformlarda içerik havuzunun genişlemesiyle birlikte metinsel veri kullanımında önemli artış görülmektedir. Bu durum, araştırmacıların kendi alanlarıyla ilgili güvenilir ve doğru yayınlara erişimini zorlaştırmaktadır. Araştırmacılar, çalışmalarına katkı sağlayacak en doğru yayınları bulmakta çok fazla zaman harçayabilmektedir. Bilimsel çalışma öneri sistemi, karşılaşılan bu sorunlara çözüm üretmek için araştırmacılara ilgi alanlarına uygun yayınları hızlı bir şekilde bulmalarına yardımcı olmaktadır. Sınırlı deneyime sahip kişiler için bilimsel çalışma öneri sistemleri araştırmacıların ufuklarını ve araştırma ilgi alanlarını genişletmeleri doğrultusunda yayınlar sunmaktadır. İçerik tabanlı filtreleme yöntemi, bilimsel çalışma öneri sistemi tasarımı en yaygın kullanılan yöntem olup kullanıcıdan bağımsız modellenir. Bu çalışmada, içerik tabanlı yeni bir bilimsel çalışma öneri sistemi farklı benzerlik yöntemleri üzerinden karşılaştırılabilir olarak tavsiye edilmektedir. Yöntemler ve öneri ağırlıkları değişiklik gösterse de aynı veri seti içerisinde aynı yayınların önerildiği görülmektedir. Ölçüm değeri olarak birbirine yakın yöntemler arasında seçim yapmak gerektiğinde ise hesaplama süresini dikkate almak gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Doi: 10.24012/dumf.838084

### ARTICLE INFO

*Article history:*

Received: 9 December 2020

Revised: 15 February 2021

Accepted: 20 February 2021

*Keywords:*

Scientific journal recommender system, inverse document frequency, content-based filtering.

### ABSTRACT

Recommender systems are information filtering systems that offer personalized suggestions to users. Recommender-based applications are used in numerous areas, such as e-commerce, streaming services, textual media, restaurants, and tourism. Compared to traditional keyword-based search techniques, especially on systems with text-based storage, recommender systems stand out as more effective and customized systems for big data. With the expansion of the content pool on platforms where scientific study sharing is made, there is a significant increase in textual data use. This situation makes it difficult for researchers to access reliable and accurate papers in their domains. Researchers may spend a lot of time finding the most accurate publications to contribute to their studies. The scientific study recommender system helps researchers quickly find papers that are suitable for their interests. Scientific study recommender system offers publications to researchers, who have limited experience, to broaden their horizons and research interests. The content-based filtering method is the most widely used procedure in scientific study recommender system designs and is modeled independently from the user. In this study, a new content-based scientific study recommender system is comparatively suggested over different similarity methods. Although the methods and recommender weights vary, it is seen that the same publications are recommended within the same data set. When it is necessary to choose between methods that are close to each other as measurement values, it is concluded that the calculation time should be considered.

\* Sorumlu yazar / Correspondence

Sinem BOZKURT KESER

✉ [sbozkurt@ogu.edu.tr](mailto:sbozkurt@ogu.edu.tr)

Please cite this article in press as E. Deniz, V. Karani Öz, S. Bozkurt Keser, S. Okyay, Y. Kartal, "İçerik Tabanlı Bilimsel Yayın Öneri Sisteminde Benzerlik Ölçümlerinin İncelenmesi", DUJE, vol. 12, no.2, pp. 221-228, March 2021.

## Giriş

Öneri sistemleri kullanıcılara ilgilerini çekebilecek öğeler veya ürünler için anlamlı öneriler üreten programlar olarak tanımlanabilir. Web sayfalarını önermekten müziğe, kitaplara, filmlere, akademik yayınlara ve diğer tüketici ürünlerine kadar çeşitli alanlarda uygulamalar geliştirilmektedir [1]. Amazon'dan satın alınmak istenen alternatif öğeler veya Netflix'te dizi ya da filmler için gerçekleştirilen öneriler, endüstriye güç veren öneri sistemlerinin işleyişinin gerçek dünya örneklerinden birkaçıdır [2]. Öneri sistemlerinin mimarisi ve gerçek dünya problemlerine ilişkin uygulamaları aktif bir araştırma alanıdır. Öneri sistemleri, kullanıcılar ve öğeler arasında iyi eşleşmiş çiftleri tanımlamak üzere kullanılabilir yakınlık kavramları geliştirmek için veri kaynakları analiz yöntemlerini kullanır. Öneri sistemleri, istatistik, makine öğrenimi, veri madenciliği ve bilgi erişiminin çeşitli alt disiplinleri ile kesişen, kişiselleştirilmiş deneyim tabanlı, aktif bir araştırma alanı olarak her geçen gün güçlenmektedir [3].

Son yıllarda, bilgi teknolojilerinde yaşanan gelişmeler ile birlikte öneri sistemleri, akademik alanda da büyük ivme kazanmıştır. Bilimsel çalışma öneri sistemleri ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, çoğunlukla içerik tabanlı filtreleme yönteminin uygulandığı tespit edilmiştir. İçeriğe dayalı filtreleme yöntemini, işbirlikçi filtreleme ve karma yöntemler izlemektedir [4].

İşbirlikçi filtreleme terimi 1992 yılında Goldberg ve arkadaşları tarafından “insanlar filtreleme sürecine dahil olduğunda bilgi filtrelemenin daha etkili olabileceği” fikri ile öne sürülmüştür. Bu yöntemde, benzer tercihlere sahip kullanıcılara benzer öğeler önerilmektedir. İçerik tabanlı filtreleme ile karşılaştırıldığında, işbirlikçi filtreleme yönteminde hataya açık öğe işlemeye gerek yoktur. Derecelendirmeleri kullanıcılar yaptığı için gerçek kalite değerlendirmelerini dikkate alır. İşbirlikçi filtreleme yönteminin tesadüfi öneriler sunması beklenir çünkü öneriler öğe benzerliğine değil, kullanıcı benzerliğine

dayanmaktadır. Kullanıcının katılımını gerektirir, ancak genellikle katılma motivasyonu düşüktür. Bu soruna “soğuk başlangıç” (yeni kullanıcılar, yeni öğeler, yeni topluluklar veya disiplinler) sorunu denir. Yeni bir kullanıcı birkaç öğeyi derecelendirirse veya hiç öğe derecelendirmezse, sistem öneriler sunamaz. Bir öğe sistemde yeniyse ve henüz en az bir kullanıcı tarafından derecelendirilmediyse önerilemez. Soğuk başlangıç sorununun üstesinden gelebilmek için, kullanıcılar ve öğeler arasındaki etkileşimlerden örtük derecelendirmeler çıkarılabilir [5].

İçerik tabanlı filtreleme yöntemi, kullanıcı profilini analiz ederek, başka bir ifadeyle kullanıcının geçmiş seçimlerini dikkate alarak, bu seçimlere benzer seçimlerin önerilmesi esasına dayanır [5]. Kullanıcıların ilgi alanlarının, etkileşimde buldukları öğelerden çıkarıldığı kullanıcı modelleme sürecidir. Öğeler genellikle metinseldir. Etkileşim genellikle bir içeriği indirme, etiketleme veya ilgilenilen içeriğe yazma gibi eylemler yoluyla oluşturulur. Öğeler, öznitelikler içeren model ile temsil edilir. Öznitelikler genellikle kelime tabanlıdır. Bazı öneri sistemleri ayrıca yazma stili, düzen bilgisi veya XML etiketleri gibi metinsel olmayan öznitelikleri de kullanabilmektedir. Kullanıcı modeli, kullanıcı öğelerinin özniteliklerinden oluşur. Öneriler oluşturmak için kullanıcı modeli ve öneri adayları benzerlik yöntemleri kullanılarak karşılaştırılır [6]. İçerik tabanlı yöntemlerde diğer kullanıcılar hakkında bilgiye ihtiyaç duyulmaz. Ayrıca, veri seyrekliği (*data sparsity*) gibi sorunlardan kaçınılmış ve gizlilik sağlanmış olur. Bu yöntem, öğe ve kullanıcı tanımının bütünlüğüne (*completeness*) karşı çok hassastır [5].

Öneri sonuçlarının doğruluğunu artırmak için, bazı bilimsel çalışmalarda iki veya daha fazla öneri tekniği birleştirilmektedir [7]. İçerik tabanlı ve işbirlikçi filtreleme yöntemlerinin avantajları ile birlikte dezavantajları vardır; ikisinin beraber kullanılması birbirini tamamlayabilir. Karma yöntemleri kullanan öneri sistemleri, tekil algoritma içeren öneri sistemlerine nazaran genellikle daha doğru ve net sonuç verebilir. Bu doğrultuda farklı



yaklaşımların avantajlarını birleştirmek ve dezavantajlarını ortadan kaldırmak için ağırlıklı, kademeli veya karışık kombinasyon teknikleri kullanılarak karma yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemin avantajı, farklı öneri yöntemlerinin ve birçok kaynaktan gelen bilgilerin bir arada kullanılabilmesidir [1].

Öneri sistemlerinde kullanılan yöntemlerden işbirlikçi filtreleme yöntemi, daha çok geçmiş etkileşimleri analiz ederken, içerik tabanlı filtreleme yöntemleri profil özniteliklerine dayalı olup; karma teknikler ise bu tasarımları birleştirmeye çalışır. Bu çalışmada, içerik tabanlı yeni bir bilimsel çalışma öneri sistemi farklı benzerlik yöntemleri üzerinden karşılaştırmalı olarak tavsiye edilmektedir.

İzleyen başlıklarda öncelikle bilimsel çalışma öneri sistemi ve bilimsel çalışma öneri sistemlerinde içerik tabanlı yöntemlerin uygulandığı çalışmalar anlatılmakta sonrasında ise çalışmada kullanılan veri setleri analiz edilmektedir. Takip eden bölümlerde ise sırasıyla önerilen yöntem ve testler verilmektedir. Test sonuçlarının analizinin ardından çalışma, sonuçlar ve gelecek çalışmalar ile sonlandırılmaktadır.

## Metodoloji

Akademik topluluktaki kişiler yapılan yeni çalışmaların farkında olma, belirli bir konuda kapsamlı araştırma yapma, derleme makaleler yazma veya belirli bir alanda yeni bir araştırma yapma gibi nedenlerden dolayı literatür araştırması yapmaktadırlar. Akademik çalışmaların artmasıyla birlikte araştırmacılar ilgilendikleri alandaki çalışmayı bulabilmek için çok fazla kaynak taramak zorunda kalmaktadır. Bu kaynaklar arasındaki benzer sayıdaki çalışmaların fazlalığı araştırmacının seçim yapmasını zorlaştırmaktadır. Profile özgü yayınların seçiminde, araştırmacılar çok zaman harcayabilmektedir. Araştırmacının, belli bir konuda ilgili tüm çalışmalara ulaşabilmesi, doğru yayınları okuyarak doğru bilgiyi edinmesi, araştırma yaparken zamandan tasarruf etmesi, en önemlisi tek bir platform üzerinden farklı kaynaklardaki çalışmalara kolaylıkla erişebilmesi gibi ihtiyaçlar doğrultusunda bilimsel çalışma öneren bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır [8]. Bilimsel çalışma öneri sistemleri, araştırmacıların ilgi alanlarına ve

araştırma odaklarına uygun bilgiyi karmaşık hesaplamalara sahip algoritmalar ile gereksiz veriyi filtreleyerek sunmaktadır [9]. Bu sistemlerin amacı, kullanıcıya gerekli olan veriyi farklı kaynakları kullanarak hızlı bir şekilde ulaştırmaktır. Günümüzde bilimsel çalışma öneri sistemleri vazgeçilmez bir araçtır.

Bilimsel çalışma öneri sistemlerinde, içerik tabanlı yöntemlerin uygulandığı çalışmalar literatürde sıklıkla karşılaşılmaktadır [10]. Bu tür çalışmalarda makale başlığı, özetçe, anahtar kelimeler, yazar bilgileri, vb. olmak üzere genellikle metinsel özellikler girdi olarak kullanılmaktadır. Bu özelliklerin kimi zaman birinin kimi zaman da birkaçının bir araya getirilmesi ile elde edilen varyasyonları öznitelik çıkarma adımı olarak ön işleme sürecini oluşturmaktadır [11]. Kullanıcıların geçmiş tercihleri dikkate alınır ve kullanıcı profili olarak adlandırılan ilgi alanı modelini çıkarmak için kişisel kütüphane oluşturulur. Daha sonra, kullanıcı profillerinden ve mevcut içerikten çıkarılan anahtar kelimelerin benzerliği hesaplanır. Benzerlik oranları sıralandıktan sonra, yüksek benzerliğe sahip makaleler kullanıcılara önerilir.

## Veri setleri ve analizi

Bu çalışmada, bilimsel çalışma öneri sistemleri alanında içerik tabanlı yöntemler için geliştirilmiş ve araştırmacıların erişimine açık iki veri seti kullanılmaktadır.

- ❖ ARXIV veri setinde bilgisayarla görü, örüntü tanıma, makine öğrenmesi, yapay zeka, istatistiksel öğrenme, hesaplama ve dil, sinirsel ve evrimsel hesaplama, bilgiye erişim, optimizasyon ve kontrol, robotik ve yüksek enerji fiziği alanlarında oluşturulmuş 1992 ve 2018 yılları arasında yayınlanan makaleler ile ilgili veri bulunmaktadır [12]. Bu veri setine ait özellikler açıklamaları ile birlikte Tablo 1’de verilmektedir.
- ❖ NIPS veri seti, 1987 ve 2016 yılları arasında düzenlenen “Sinirsel Bilgi İşleme Sistemleri Konferansı” (*Conference on Neural Information Processing Systems*) kapsamında derin öğrenme ve bilgisayarla görüden, bilişsel bilimler ve pekiştirmeli öğrenmeye kadar çeşitli alanlarda yayınlanmış bilimsel

çalışmaları içermektedir [13]. Bu veri setinde, makalelerinin başlığı, yazarları, özetleri ve tüm metin bilgileri bulunmaktadır. İlgili özellikler açıklamaları ile birlikte Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 1. ARXIV veri setinin özellikleri

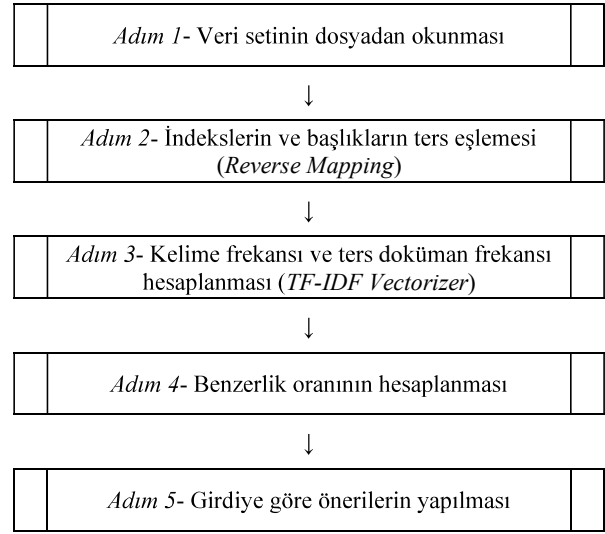
Öznitelik	Tanım	Tip
<i>author</i>	Yazar bilgisini içerir.	Metin
<i>day</i>	Basıldığı günü içerir.	Nümerik
<i>month</i>	Basıldığı ayı içerir.	Nümerik
<i>year</i>	Basıldığı yılı içerir	Nümerik
<i>id</i>	Kimliğini içerir.	Metin
<i>title</i>	Başlığını içerir	Metin
<i>link</i>	Çevrimiçi bağlantısı sağlar.	Metin
<i>summary</i>	Özetini içerir.	Metin
<i>tag</i>	Kapsamı kısaltılmış etiketleri içerir.	Metin

Tablo 2. NIPS veri setinin özellikleri

Öznitelik	Tanım	Tip
<i>id</i>	Kimliğini içerir.	Nümerik
<i>year</i>	Basıldığı yılı içerir.	Nümerik
<i>title</i>	Başlığını içerir.	Metin
<i>event_type</i>	Konferans, poster, vb. bilgisini içerir.	Metin
<i>pdf_name</i>	İndirilebilir dokümanın ismidir.	Metin
<i>abstract</i>	Özetini içerir.	Metin
<i>paper_text</i>	Çalışma metnini içerir.	Metin

## Önerilen yöntem

Bu makalede önerilen ve beş adımdan oluşan yöntemin akış şeması Şekil 1’de gösterilmektedir.

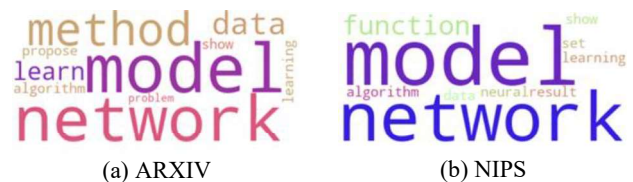


Şekil 1. Önerilen yönteme ait akış diyagramı

**Adım 1- Veri Setinin Dosyadan Okunması:** İlk adımda veri seti dosyadan okunmaktadır. ARXIV ve NIPS verisinden sırasıyla 6000 ve 2000 örneklem bu çalışmaya dahil edilmiştir. Analiz edilen veride NULL değer bulunmamaktadır. Veri setlerinde sırasıyla 37.810 ve 265.724 adet kelime veya kelime grubu yer almaktadır. Bu kelimelere ait karşılaşılma sıklığı istatistikleri iki veri seti için de birleştirilmiş şekilde Tablo 3’te, istatistiksel gösterim ise Şekil 2’de verilmektedir.

Tablo 3. En sık gözlenen kelime istatistikleri

(a) ARXIV		(b) NIPS	
kelime	sıklık	kelime	sıklık
1	<i>model</i> 8067	1	<i>model</i> 35067
2	<i>network</i> 5712	2	<i>network</i> 28493
3	<i>method</i> 5287	3	<i>function</i> 23102
4	<i>data</i> 4899	4	<i>algorithm</i> 22924
5	<i>learn</i> 4762	5	<i>data</i> 20479
6	<i>algorithm</i> 4568	6	<i>set</i> 19494
7	<i>propose</i> 4459	7	<i>show</i> 16958
8	<i>learning</i> 3995	8	<i>result</i> 16319
9	<i>show</i> 3828	9	<i>neural</i> 16207
10	<i>problem</i> 3765	10	<i>learning</i> 16177



*Şekil 2. En sık gözlenen kelime görseli*

Adım 2- İndekslerin ve Başlıkların Ters Eşlemesi (Reverse Mapping): Bu aşamada, bir başlık bilgisini girdi olarak alan ve en çok benzeyen 10 çalışma listesi çıkarılmaktadır. Bu doğrultuda, makale başlıkları ve veri indeksleri üzerinde ters eşleme işlemi gerçekleştirilir.

Adım 3- Kelime Frekansı ve Ters Doküman Frekansı Hesaplanması (TF-IDF Vectorizer): Terim Frekansı – Ters Doküman Frekansı yönteminde (TF-IDF, *Term Frequency – Inverse Document Frequency*) bir doküman içerisinde geçen terimlerin çıkarılması ve bu terimlerin geçtiği miktara göre çeşitli hesapların yapılmasına dayanmaktadır. TF-IDF, bilgi erişiminde özellik çıkarma amacıyla kullanılır ve Doğal Dil İşlemenin (*Natural Language Processing*) bir alt alanıdır. TF-IDF;

- Arama motorları sıralama ve derecelendirme sırasında kullanılabilir.
- Bağlaç, noktalama işaretleri, vb. (*stopwords*) içeren terim olmayan ifadeleri filtrelemede kullanılabilir.
- Metin özetlemesinde ve sınıflandırmasında kullanılabilir.

TF-IDF ağırlığı iki terimden oluşur. İlk terim bir belgedeki bir sözcüğün görünme sayısının o belgedeki toplam sözcük sayısına bölünmesiyle elde edilen sayı olan normalleştirilmiş TF, ikinci terim ise kitaplıktaki belge sayısının logaritmasının belirli terimin görüldüğü belge sayısına bölünmesiyle hesaplanan IDF terimidir.

TF, bir terimin bir belgede ne sıklıkta geçtiğini ölçer. Her dokümanın uzunluğu farklı olduğundan, bir terimin uzun belgelerde daha kısa olanlara göre çok daha fazla görünmesi mümkündür. Bu nedenle frekans terimi, normalleştirme yöntemi olarak genellikle belge uzunluğuna, diğer bir deyişle belgedeki toplam terim sayısına bölünür (1).

$$Tf(t) = \frac{\text{Bir dokümanda } t \text{ teriminin görülme sıklığı}}{\text{Bir dokümandaki terimlerin toplam sayısı}} \quad (1)$$

IDF, bir terimin ne kadar önemli olduğunu ölçer. TF hesaplanırken, tüm terimler eşit derecede önemli kabul edilir. Bununla birlikte, "eşittir", "/" ve "bu" gibi belirli terimlerin birçok kez görünebileceği, ancak çok az önem taşıdığı bilinmektedir. Denklem (2) ile terimlerin önem oranı hesaplanır.

$$idf(t) = \log_{10}\left(\frac{\text{Dokümanların toplam sayısı}}{t \text{ terimini içeren dokümanların sayısı}}\right) \quad (2)$$

Denklem (2)'den anlaşıldığı üzere bir terim ne kadar az dokümanda tekrar ediyor ise IDF değeri o kadar büyük olur.

Adım 4- Benzerlik Oranının Hesaplanması: TF-IDF oranları hesaplanmış içerikler arasındaki benzerlik oranları hesaplanır. Öneri sistemlerinde benzerlik hesabında lineer kernel, sigmoid kernel, öklid mesafesi ve pearson korelasyonu sıklıkla kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemlerin hangisinin daha iyi olduğu ile ilgili ortak bir fikir bulunmamakla birlikte farklı senaryolarda farklı yöntemlerin uygulanması genellikle iyi bir fikirdir.

*Lineer Kernel* fonksiyonu, x ve y sütun vektörleri ise, bunların doğrusal çekirdeği Denklem (3) ile hesaplanır:

$$k(x, y) = x^T y \quad (3)$$

*Sigmoid Kernel* fonksiyonu, iki vektör arasındaki sigmoid çekirdeğini hesaplar. Sigmoid çekirdek aynı zamanda hiperbolik tanjant veya çok katmanlı algılayıcı olarak da bilinir (çünkü sinir ağı alanında genellikle nöron aktivasyon işlevi olarak kullanılır). x, y giriş vektörlerini,  $\gamma$  eğim ve  $c_0$  kesişme parametrelerini içeren *Sigmoid Kernel* fonksiyonu Denklem (4)'te tanımlanmıştır.

$$k(x, y) = \tanh(\gamma x^T y + c_0) \quad (4)$$

*Öklid Mesafesi (Euclidean Distance)*, iki noktayı birleştiren düz bir çizginin uzunluğunu hesaplayarak iki nokta arasındaki mesafeyi bulmaktadır. Benzerlik oranı asla negatif olmaz

ve değer sıfıra yaklaştıkça daha benzer olduğu anlamına gelir. Öklid mesafesi Denklem (5) ile hesaplanır.

$$k(x, y) = \sqrt{\sum_i (x_i - y_i)^2} \quad (5)$$

Pearson Korelasyonu (*Pearson's Correlation*), iki değişkenin doğrusal olarak ilişkili olduğu dereceyi gösteren -1 ile +1 arasında bir sayıdır. Pearson korelasyonu aynı zamanda "ürün moment korelasyon katsayısı" veya basitçe "korelasyon" olarak da bilinir. -1 ile +1 arasında değişir ve 0, korelasyon olmadığını gösterir. -1 veya +1 korelasyonları, tam bir doğrusal ilişki anlamına gelir. Pozitif korelasyonlar,  $x$  arttıkça  $y$ 'nin de arttığını gösterir. Negatif korelasyonlar,  $x$  arttıkça  $y$ 'nin azaldığını gösterir.

**Adım 5- Girdiye Göre Önerilerin Yapılması:** Bu adımda, girilen başlık bilgisine karşılık gelen rakamsal indeks hesaplanarak o indekse sahip makalenin diğer çalışmalar ile olan benzerlik değerleri hesaplanır. Benzerlik yöntemleri kullanılarak hesaplanmış bu değerler sıralanarak ilk on makalenin önerilmesi sağlanır. Sıralama işlemi öklid mesafesi için küçükten büyüğe yapılırken diğer yöntemler için büyükten küçüğe doğrudur.

### Testler

Tavsiye edilen içerik tabanlı akademik makale öneri sisteminde benzerlik ölçümlerinin değerlendirilebilmesi için ARXIV ve NIPS veri setleri kullanılmaktadır. Her iki veri setinde, gereksiz kelimeler (*stopwords*) ve uzunluğu üç karakterden az kelimeler çıkarılarak veri setleri ön işleminden geçirilmektedir. Özniteliklerin elde edilmesinde farklı seviyelerde (*bigram*, *trigram*,

*fourgram*) bilgi çıkarılmasına imkân veren karakter düzey  $N$ -gram modeli kullanılmıştır. Bu modelde,  $n$  karakter uzunluğundaki kelimeler öznitelikleri oluşturmaktadır [14]. Böylece, özniteliklerin dilden bağımsız olması, kısaltma kullanımı ve yazım yanlışı gibi durumlara karşı dayanıklı olması sağlanmaktadır. Daha sonra, tavsiye edilen sistemin farklı veri setleri üzerinde farklı benzerlik ölçümlerinin etkisi analiz edilmektedir. Bu amaçla, *lineer kernel*, *sigmoid kernel*, *öklid mesafesi* ve *pearson korelasyonu* benzerlik ölçümleri kullanılarak aynı başlık bilgisine göre ilk on makalenin önerilmesi işlemi tavsiye edilen sisteme göre gerçekleştirilmektedir. Her iki veri setinde de bulunan aynı başlık bilgisi girdi olarak kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Tablo 3 ve Tablo 4'te "*Semi-supervised Learning with Ladder Networks*" başlık bilgisi işlenerek sırasıyla ARXIV ve NIPS veri setleri için öneriler listelenmektedir.

*Öklid mesafesi* yönteminde uzaklıklar hesaplandığı için birbirine en yakın olan makaleler en kısa mesafeye sahiptir yaklaşımı temel alınmaktadır. Bu nedenle, *öklid mesafesi* yönteminde sıralama işlemi küçükten büyüğe doğru yapılırken *sigmoid*, *lineer* ve *pearson korelasyonu* yöntemlerine göre sıralama büyükten küçüğe doğru yapılmaktadır. Tablo 3 ve Tablo 4'te *sigmoid kernel* yöntemi için  $\gamma$  eğim ve  $c_0$  parametreleri için sırasıyla 0.8 ve 0.5 değerleri alınmaktadır. Bu değerler, farklı parametre setleri için gerçekleştirilen deneylerde elde edilen en uygun sonuçlara göre belirlenmiştir. Tablo 3 ve Tablo 4 ile verilen sonuçlar incelendiğinde aynı başlık bilgisi verildiğinde her iki veri setinde de benzer makalenin önerildiği görülmektedir; aynı çalışmanın geçtiği durumlar kalın yazım şekli ile gösterilmektedir.

Tablo 4. ARXIV veri setinde “Semi-supervised Learning with Ladder Networks” başlıklı bilimsel çalışma üzerinden ilk on öneri

	Lineer Kernel	Sigmoid Kernel	Öklid Mesafesi	Pearson Korel.	Başlık
1	0.409	0.679	1.087	0.409	Virtual Adversarial Ladder Networks For Semi-supervised Learning
2	0.313	0.636	1.172	0.313	Recurrent Ladder Networks
3	0.312	0.635	1.173	0.312	Adversarial Ladder Networks
4	0.306	0.632	1.178	0.306	Semi-Supervised Learning with Deep Generative Models
5	0.300	0.629	1.183	0.300	Video Ladder Networks
6	0.281	0.620	1.199	0.281	Semi-Supervised Phoneme Recognition with Recur...
7	0.274	0.616	1.205	0.273	Deep Bayesian Active Semi-Supervised Learning
8	0.264	0.611	1.213	0.264	Semi-Supervised Phoneme Recognition with Recurrent Ladder Networks
9	0.254	0.607	1.221	0.254	Semi-supervised Learning with Density Based Distances
10	0.138	0.544	1.313	0.252	Supervised Learning with Growing Cell Structures

Tablo 5. NIPS veri setinde “Semi-supervised Learning with Ladder Networks” başlıklı bilimsel çalışma üzerinden ilk on öneri

	Lineer Kernel	Sigmoid Kernel	Öklid Mesafesi	Pearson Korel.	Başlık
1	0.330	0.643	1.158	0.329	Recurrent Ladder Networks
2	0.303	0.631	1.180	0.303	Iterative Double Clustering for Unsupervised and Semi-Supervised Learning
3	0.296	0.627	1.187	0.295	Good Semi-supervised Learning That Requires a Bad GAN
4	0.284	0.621	1.197	0.284	Semi-supervised MarginBoost
5	0.277	0.618	1.202	0.277	Semi-supervised Learning with GANs: Manifold Invariance with Improved Inference
6	0.226	0.592	1.245	0.225	Semi-Supervised Support Vector Machines
7	0.167	0.560	1.291	0.166	Learning Disentangled Representations with Semi-Supervised Deep Generative Models
8	0.145	0.548	1.308	0.144	Using Unlabeled Data for Supervised Learning
9	0.139	0.545	1.313	0.138	Supervised learning from incomplete data via an EM approach
10	0.138	0.544	1.313	0.137	Supervised Learning with Growing Cell Structures

Diğer yandan, aynı veri seti içerisinde farklı benzerlik ölçüm yöntemleri ile aynı ilk on makalenin önerildiği görülmektedir. Benzerlik ölçümlerini, hesaplama süresi açısından karşılaştırabilmek için Tablo 6 oluşturulmuştur.

Tablo 6. Farklı benzerlik ölçüm yöntemleri için elde edilen hesaplama süreleri (s)

Yöntem	ARXIV	NIPS
Sigmoid Kernel	0.22	0.94
Lineer Kernel	0.21	0.60
Öklid Mesafesi	0.21	0.99
Pearson Korel.	0.76	4.55

Tablo 6 incelendiğinde, aynı veri seti için en yüksek hesaplama maliyetine sahip yöntemin *pearson korelasyonu* yöntemi olduğu görülmektedir. Ayrıca, Tablo 3 ve Tablo 4’te *linear kernel* ile *pearson korelasyonu* yöntemi ile elde edilen değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durumda, bu iki yöntem arasında *linear kernel* yönteminin seçiminin daha uygun olacağı sonucuna varılmaktadır. Diğer yandan; NIPS veri seti ile incelenen kelime sayısı daha fazla olduğu için hesaplama süresi açısından ARXIV veri seti ile karşılaştırıldığında daha yüksek değerlerin elde edildiği görülmektedir.



## Sonuçlar

Öneri sistemleri alanında literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Gerçek hayattaki farklı problemler için geliştirilmiş birçok öneri yöntemi olmasına karşın, hala kapsamlı bir şekilde araştırılmamış bazı alanlar vardır. Bilimsel çalışma öneri sistemleri hala araştırma aşamasında olan konular arasında gösterilebilir. Bu alanda önerilen yöntemler ağırlıklı olarak içeriğe dayalı yaklaşımı dikkate almaktadır. Bu çalışmada, yeni bir içerik tabanlı bilimsel çalışma öneri sistemi tavsiye edilmektedir. Tavsiye edilen sistem, farklı veri setleri için farklı benzerlik ölçümleri kullanılarak analiz edilmektedir. Analiz sonuçlarında aynı başlık bilgisi için aynı veri seti içerisinde aynı ilk on makalenin önerildiği ve bu makaleler için elde edilen benzerlik değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Birbirine oldukça yakın değerlerin elde edildiği benzerlik ölçümleri için ise hesaplama sürelerinin dikkate alınması yöntem seçiminde oldukça yardımcı olmaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalar arasında, benzerlik yöntemlerinin ayırt ediciliğini arttırmak adına içerik tabanlı yöntemlerin, işbirlikçi filtreme gibi yöntemler ile bir araya getirilerek karma yöntemlerin oluşturulması verilebilir. Diğer yandan, başlık bilgisi yanında başlık, anahtar kelimeler ve/veya özet bilgilerinin kombinasyonları ile tavsiye edilen sistem analiz edilerek kullanıcı memnuniyetinin de dikkate alındığı öneriler gerçekleştirilebilir.

## Teşekkür

Yazarlar finansal destek için TÜBİTAK'a (proje numarası 109M637) teşekkür ederler.

## Kaynaklar

- [1] Lu, J., D. Wu, M. Mao, W. Wang, and G. Zhang, *Recommender system application developments: a survey*. Decision Support Systems, 2015. **74**: p. 12-32.
- [2] Melville, P. and V. Sindhvani, *Recommender systems*. Encyclopedia of machine learning, 2010. **1**: p. 829-838.
- [3] Portugal, I., P. Alencar, and D. Cowan, *The use of machine learning algorithms in recommender systems: A systematic review*. Expert Systems with Applications, 2018. **97**: p. 205-227.
- [4] Beel, J., S. Langer, M. Genzmehr, B. Gipp, C. Breiting, and A. Nürnberger. *Research paper recommender system evaluation: A Quantitative Literature Survey*. 2013. ACM Press.
- [5] Beel, J., B. Gipp, S. Langer, and C. Breiting, *Research-paper recommender systems: a literature survey*. International Journal on Digital Libraries, 2016. **17**(4): p. 305-338.
- [6] Wang, D.H., Y.C. Liang, D. Xu, X.Y. Feng, and R.C. Guan, *A content-based recommender system for computer science publications*. Knowledge-Based Systems, 2018. **157**: p. 1-9.
- [7] Maleszka, B., *A Framework for Research Publication Recommendation System*. 2019, Springer International Publishing. p. 167-178.
- [8] Dhanda, M. and V. Verma, *Recommender system for academic literature with incremental dataset*. Procedia Computer Science, 2016. **89**: p. 483-491.
- [9] Sugiyama, K. and M.-Y. Kan. *Scholarly paper recommendation via user's recent research interests*. in *Proceedings of the 10th annual joint conference on Digital libraries*. 2010.
- [10] Bai, X.M., M.Y. Wang, I. Lee, Z. Yang, X.J. Kong, and F. Xia, *Scientific Paper Recommendation: A Survey*. Ieee Access, 2019. **7**: p. 9324-9339.
- [11] Lops, P., M. De Gemmis, and G. Semeraro, *Content-based recommender systems: State of the art and trends*, in *Recommender systems handbook*. 2011, Springer. p. 73-105.
- [12] *ARXIV data from 24,000+ papers*. URL:<https://www.kaggle.com/nelshah18/arxivdata> (Erişim Zamanı; 19/11/2020);
- [13] *NIPS Papers*. URL:<https://www.kaggle.com/benhamner/nips-papers/notebooks>. (Erişim Zamanı; 19/11/2020);
- [14] Kanaris, K., I. Houvardas, and E. Stamatatos. *Words vs. Character n-grams for anti-spam filtering*. 2006.



## Anomaly Detection in Crowded Scenes With Machine Learning Algorithms

### Makine Öğrenmesi Algoritmalarıyla Kalabalık Ortamlarda Anomali Tespiti

Hatice Kübra BOYRAZLI <sup>1\*</sup> Ahmet ÇINAR <sup>2</sup>

1 National Defence University, Turkish Military Academy Computer Engineering Department, 06550, Ankara, Turkey, hkboyrazli@kho.edu.tr  
2 Fırat University, Engineering Faculty Computer Engineering Department, 23000, Elazığ, Turkey, acinar@firat.edu.tr

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received: 30 December 2020  
Revised: 7 March 2021  
Accepted: 15 March 2021

##### Keywords:

Machine Learning, Anomaly  
Detection, Artificial  
Intelligence, Crowded Analyze

#### ABSTRACT

Camera systems have a very important place as they are widely used in providing security in crowded environments. The video images recorded by cameras are examined to check whether there is dangerous or unusual behavior. It is tried to develop appropriate measures according to the result of this control. Modeling human behaviors for the definition and detection of abnormal behavior has become a popular research area in recent years. This study was carried out by applying supervised learning algorithms, one of the machine learning methods, on five different scenes that in two open data sets. Normal and abnormal motion scenes were detected on the videos in the data sets. In these two data sets, abnormal motion was detected in a total of five different locations. Random Forest, Support Vector Machines and k Nearest Neighbor algorithms, which are among the supervised learning algorithms, were used in this process. The algorithms used were compared with performance criteria such as accuracy, sensitivity, precision and F1 score.

Doi: 10.24012/dumf.849923

#### MAKALE BİLGİLERİ

##### Makale geçmişi:

Geliş: 30 Aralık 2020  
Düzeltilme: 7 Mart 2021  
Kabul: 15 Mart 2021

##### Anahtar kelimeler:

Makine Öğrenmesi, Anomali  
Tespiti, Yapay Zeka, Kalabalık  
Analizi

#### ÖZET

Kamera sistemleri , kalabalık ortamlarda güvenliği sağlamada yaygın olarak kullanıldığı için oldukça önemli bir yere sahiptir. Kameralar aracılığıyla kaydedilen video görüntüleri incelenerek tehlikeli veya normalin dışında gerçekleşen davranış olup olmadığının kontrolü yapılmaktadır. Bu kontrolün sonucuna göre uygun tedbirler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Anormal davranışların tanım ve tespiti için insan davranışlarının modellenmesi son yıllarda popüler bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu çalışma erişime açık iki adet veri setinde bulunan beş ayrı ortam videosu üzerinde üzerinde makine öğrenmesi yöntemlerinden biri olan denetimli öğrenme algoritmaları uygulanara ile gerçekleştirilmiştir. Veri setlerinde yer alan videolar üzerinde normal ve anormal hareket sahnelerinin tespiti yapılmıştır. Bu iki veri setinde toplam beş farklı mekanda anormal hareket tespiti yapılmıştır. Bu işlemden denetimli öğrenme algoritmalarından olan Rastgele Orman, Destek Vektör Makineleri ve k En Yakın Komşu algoritmaları kullanılmıştır. Kullanılan algoritmalar, doğruluk, duyarlılık, kesinlik ve F1 skor gibi performans ölçütleri ile karşılaştırılmıştır.

\* /Correspondence author / Sorumlu yazar  
Hatice Kübra BOYRAZLI  
✉ hkboyrazli@kho.edu.tr

## INTRODUCTION

Machine learning, which is based on the understanding and processing of human actions by machines, is a complex, diverse and challenging field that has attracted considerable attention in recent years. Sensing action on human behavior, motion tracking, scene modelling and understanding of behavior (human activity recognition and determination of activity types) has become a field of great interest in computer vision and machine learning.

Depending on the development of technology, it is important to examine and analyse the behavior of people operating in crowded areas. Especially the security concern, which increases in direct proportion to the increase in the population, the camera systems; Its use has become widespread in health facilities such as stadiums, rally areas, airports, metro stations, shopping malls, military facilities, elderly nursing homes and homes of single living elderly people, such as monitoring daily activities and fall detection. Since the examination of video images recorded by camera systems requires an intense effort, it was necessary to make video surveillance systems under computer control and in an automatic way. The aim here is to recognize, identify, or learn interesting events that could be contextually defined as "suspicious event" [1], "irregular behavior [2] like in Figure 1," unusual behavior "[3]," unusual activity / event ". Different problems were encountered in the mentioned automatic video surveillance systems. The most important of these problems is that the definition of anomaly in videos is variable and uncertain according to the characteristics of the space and human community [4]. As a result of the ambiguity of the border between normal and abnormal behaviors in the images obtained from camera systems and the problems encountered in obtaining sample training data for abnormal behaviors, modelling possible behaviors in the scene in the image and accepting behaviors that do not conform to this model as abnormal is the most common anomaly detection approach. Abnormal events can be examined locally and globally in the videos obtained [1]. The behaviors exhibited individually are defined as different behaviors according to the crowd, as

local anomaly, and sudden changes displayed in the video for any reason (fire, etc.) as a global anomaly.

Anomaly detection; detection and monitoring is carried out with 3 different methods: behavior analysis and activity analysis of people. These methods process the data collected by cameras using closed circuit television (CCTV) cameras to capture and examine scenes involving human movements, through algorithms. [5]

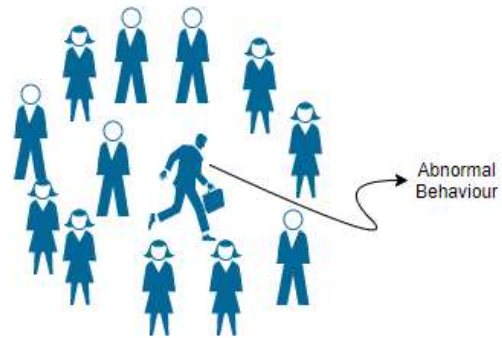


Figure 1. Exhibiting abnormal movement in a crowd

Different approaches have been proposed for the detection of anomalies in crowded and non-crowded scenes. These approaches are examined in three separate sections as individual, integral and hybrid approaches. Since individual approaches [2] [6] are based on object detection and tracking, they are suitable for uncomplicated scenes that do not involve much moving behavior. The holistic approaches consider the components in the scene where the movement takes place as a whole rather than examining them separately. Due to this feature, holistic approaches achieve greater success than individual approaches [7].

In this study, two data sets consisting of video images containing crowded scenes in five different environments, which are accessible on the internet, were studied. In these data sets, abnormal movements of people in crowded scenes were detected in video images. The block diagram of the study is shown in Figure 2.

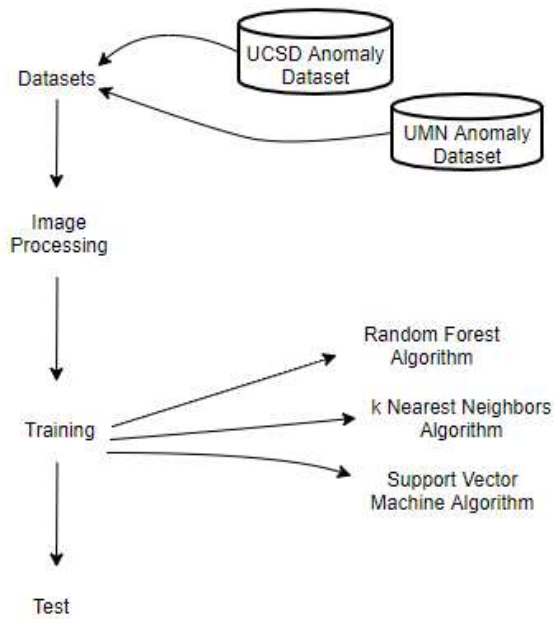


Figure 2 . Block diagram of the study

Firstly, the video images are divided into photo frames. Without a fixed rate, most of these divided squares were used as training and the remaining images as test data. In this study, Nearest Neighbour, Support Vector Machines and Random Forest algorithms were used to detect anomalies on these data sets. When the performance criteria of the algorithms are examined, it is seen that the Support Vector Machines and the k Nearest Neighbors algorithms show higher performance.

## RELATED WORK

Chong et al. Studied the PED1 and PED2, Metro Station Entry and Exit image data of the UCSD data set. They detected abnormal movements on the images. Bicycle, skateboard and small vehicle users who enter the pedestrian path are defined as abnormal as can be seen in Figure 4. Cong et al. Learned the dictionary with the multi-scale optical flow histogram (MHOF) attribute obtained from normal behaviours. Anomaly detection was carried out according to the cost of the test sample calculated on dictionaries [8]. While this cost is lower for normal events, it results in higher values for abnormal events. In their study, Mehran et al. Tried to detect abnormal behaviours in crowded scenes using the social power model. The method deal with the ability of individuals to capture crowd

behavior dynamics based on interaction forces without the need to trace individual objects or segmentation. The results of the method they applied show that the method is effective in detecting and localizing abnormal behaviors of the crowd [9]. After Xu et al. Performed the learning processes with dynamic texture attributes obtained from normal behavioural patterns, they determined the anomaly by looking at the low learning coefficient and the reconstruction error [10]. Xu and his friends, after doing normal behavior of the learning process with the dynamic texture features they have obtained from the figures, less learning coefficient and have accomplished the detected anomalies to look again made that configuration errors [10].

## MATERIAL AND METHOD

In this study, supervised learning algorithms were used for anomaly detection. Supervised learning trains a model to take a specific set of input data and known responses to the data, and then create plausible predictions that can respond to new data. In this study, data sets called UCSD (University of California San Diego) Anomaly Dataset [11] and UMN (University of Minnesota) Anomaly Dataset [12], which are accessible on the internet, were studied. Machine learning methods, a sub-discipline of artificial intelligence, have been used to detect abnormal movements in these data sets. Of these data sets, two separate scenes were examined in the UCSD data set and 3 separate scenes in the UMN data set. Video images in the scenes analyzed are in ".avi" format, so they were first converted into ".jpeg" format. Since HOG is a feature extraction method that gives successful results in object and pattern recognition, HOG (Histogram of Oriented Gradient) has been applied to the divided pixels. Perform feature extraction with gradient values and orientation angles of pixels in HOG method. The main purpose of this method is to represent the image in the form of local histograms [13]. HOG images of some scenes are given in Figure 3.



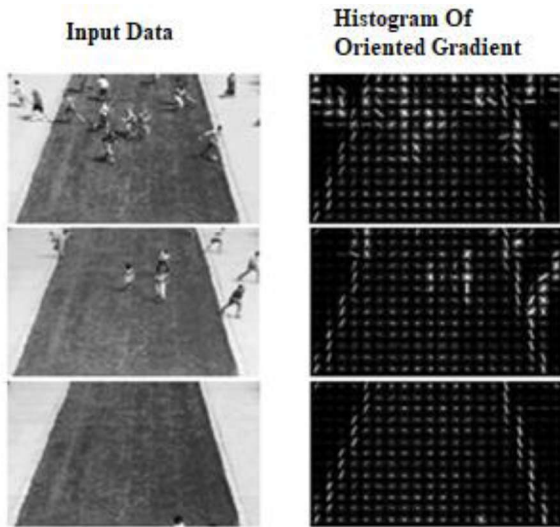


Figure 3. HOG images of scene 1 in UMN anomaly detection data set

The UMN anomaly dataset is contains 22 video (11 videos for training and 11 videos for testing) and 7739 frames with a  $320 \times 240$  resolution. Videos are recorded in 1 indoor and 2 outdoor scenes. Each video starts with normal behaviour and ends with abnormal behaviour like escape. Example scenes are shown in Figure 4.

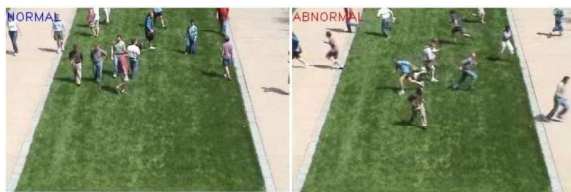


Figure 4. Normal / abnormal motion scenes belonging to UMN anomaly data set scene 1



Figure 5. Normal / abnormal motion scenes belonging to UCSD anomaly data set peds1

7739 pieces of data were processed in the UMN anomaly data set. 7347 of these data were used for training purposes and the remaining 392 were

used to test the trained algorithm. Similarly, 5120 data out of 5780 data were used for educational purposes in the UCSD anomaly data set. 660 pieces of data were used to test the trained data. Scenes with skateboard or bicycle on the pedestrian path in the UCSD anomaly dataset are considered abnormal. An example is given in Figure 5.

In this study, k Nearest Neighbors, Support Vector Machine and Random Forest algorithms are used. Random Forest (RF) is an algorithm that generates many decision trees while classifying, increasing the classification rate and combining them to obtain more accurate predictions. Randomly selected decision trees come together to form the decision forest. The Random Forest algorithm is used because it gives good results in data sets with a large number of variables, labeled classes and an uneven distribution. The biggest advantage of RF is that it can be used in classification and regression problems [14].

Support Vector Machine (SVM) theory assumes that data belonging to two classes have an infinite number of lines that can be separated from each other in a linear / non-linear manner optimally. This algorithm is one of the most used algorithms due to its ability to obtain very fast results in large data sets, to make the separation of data linearly or non-linearly, and to have the ability to choose the best among these distinctions [14].

This algorithm (K-Nearest Neighbors-KNN) is an algorithm that looks at the proximity of the new data to be classified to k of the previous data. During classification, test samples and training samples is compared. In these comparisons, the Euclidean relation is generally used to calculate the neighborhood distance. Estimates are based on the majority vote of neighboring samples. Care should be taken as it tends to over-conform to higher k values [14]. While applying the k-NN algorithm, the optimal k value was accepted as 2.

As a result of the applied algorithms, the desired abnormal behaviour was detected. Program outputs including these determinations are given in the Figure 6.



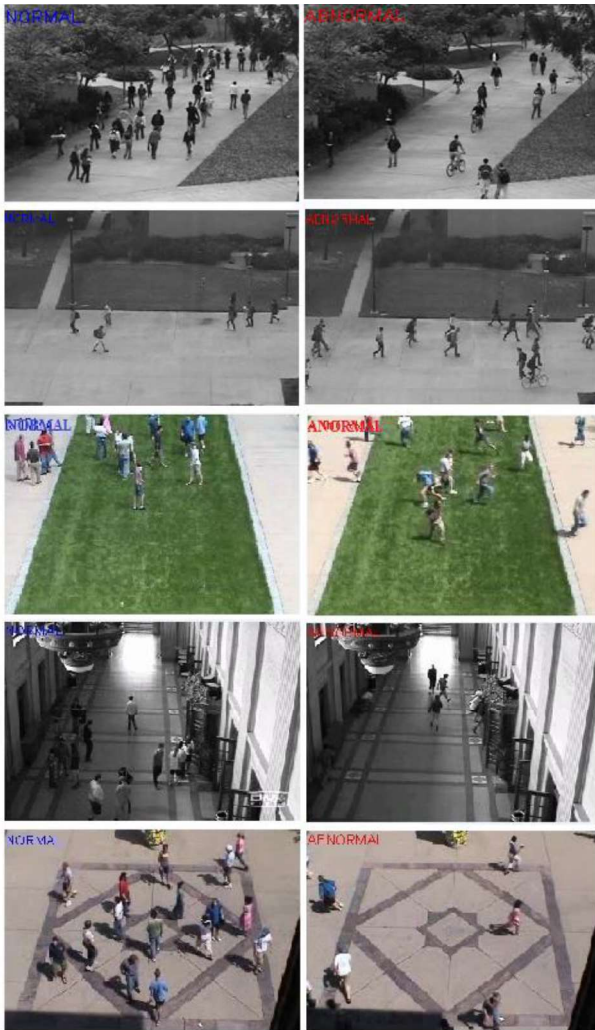


Figure 6. Outputs from data sets

The images obtained as a result of the algorithms applied to the images taken from a total of five separate scenes, including two data sets, are given in Figure 6. Confusion matrix of the data is obtained. Using the TP, TN, FP, and FN values in the confusion matrix, the precision, accuracy, sensitivity and performance criteria of the algorithms applied to the anomaly data sets were calculated. These calculated values are given in Table 1.

Table 1. Accuracy values of algorithms

Algorithm	Accuracy Value (%)				
	UCSD Anomaly Detection Dataset		UMN Anomaly Detection Data Set		
	PEDS1	PEDS2	Scene1	Scene2	Scene3
K Nearest Neighbour	70.48	99.69	95	92.80	75
Support Vector Machines	86.44	100	91.25	89.38	85
Random Forest	80.12	99.39	56.25	68.49	50

When Table 1 is examined, it is seen that the lowest accuracy values belong to the data in Scene 3 of the UMN anomaly data set. It has been determined that this is related to data quality and number of data. As the data quality decreases and the number of data decreases, the correct prediction ability of the algorithm also decreases. In Table 2, the values of the criteria such as accuracy, sensitivity precision and F1 Score belonging to the Support Vector Machine algorithm applied to the data sets are given.

Table 2. Performance criteria of support vector machines algorithm

Performance Metrics (%)	Data Sets				
	UCSD Anomaly Detection Dataset		UMN Anomaly Detection Dataset		
	PEDS1	PEDS2	Scene1	Scene2	Scene3
Accuracy	86.44	100	91.25	89.38	75
Recall	98	100	100	82.48	66.66
Precision	74.09	100	85	100	100
F1 Score	84.38	100	91.89	90.39	79.99

Table 3. Performance criteria of k nearest neighbors algorithm

Performance Metrics (%)	Datasets				
	UCSD Anomaly Detection Dataset		UMN Anomaly Detection Dataset		
	PEDS1	PEDS2	Scene1	Scene2	Scene3
Accuracy	70.48	99.69	95	92.80	85
Recall	66.66	99.39	90.90	88.81	76.92
Precision	81.92	100.0	100	97.94	100
F1 Score	73.50	99.69	95.23	93.15	86.95

Table 4. Performance criteria values of random forest algorithm

Performance Metrics (%)	Data Sets				
	UCSD Anomaly Detection Dataset		UMN Anomaly Detection Dataset		
	PEDS1	PEDS2	Scene1	Scene2	Scene3
Accuracy	80.12	99.39	56.25	68.49	50
Sensitivity	89.00	98.79	53.33	61.34	50
Precision	68.07	100.0	100	100	100
F1 Score	77.13	99.39	69.56	76.03	66.66

The values in Table 3 show that the K-Nearest Neighbours algorithm achieves the highest accuracy in the PEDS2 data set. The PEDS2 data set was found to have the highest accuracy and precision in all three algorithms. This is due to the fact that the data of the data set has sufficient number of views to train.

## RESULTS

Similar studies take place in the literature. However, differently, five different crowded scenes were examined in this study. The data sets obtained from these five different environments are divided into training and test data. Support Vector Machines, k nearest neighbour and random forest algorithms, which are among the supervised learning algorithms, have been applied. As a result, abnormal movements in crowded scenes were detected. In order to compare the algorithms used in the study, values such as accuracy, recall, precision and F1 score were calculated. The values of these performance criteria showed that the quality of the data is effective in the success of the algorithm. In future studies, it is aimed to detect anomalies on live broadcast images rather than recorded images. It is believed that the targeted study will enable measures to be taken against adverse events that may occur in events such as stadiums and demonstrating areas where many people are present at the same time.

## REFERENCES

- [1] Cong, Y.; Yuan, J.; Liu, J. (2011). Sparse reconstruction cost for abnormal event detection, *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, No. June 2014, 3449–3456
- [2] Wang, X.; Ma, X.; Grimson, W. E. L. (2009). Unsupervised Activity Perception in Crowded and Complicated Scenes Using Hierarchical Bayesian Models, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 31, No. 3, 539–555.
- [3] Wiliem, A.; Madasu, V.; Boles, W.; Yarlagadda, P. (2008). Detecting uncommon trajectories, *Proceedings - Digital Image Computing: Techniques and Applications, DICTA 2008*, No. January, 398–404
- [4] Sezer, E. S.; Can, A. B. (2018). Anomaly detection in crowded scenes using log-Euclidean covariance matrix, *VISIGRAPP 2018 - Proceedings of the 13th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications*, Vol. 4, No. Visigrapp, 279–286.
- [5] Popoola, O. P.; Wang, K. (2012). Video-based abnormal human behavior recognition review, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, Vol. 42, No. 6, 865–878.
- [6] Zhou, B.; Wang, X.; Tang, X. (2012). Understanding collective crowd behaviors: Learning a Mixture model of Dynamic pedestrian-Agents, *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2871–2878.
- [7] Hu, M.; Ali, S.; Shah, M. (2008). Learning motion patterns in crowded scenes using motion flow field, *Proceedings - International Conference on Pattern Recognition*, 2–6.
- [8] Chong, Y. S.; Tay, Y. H. (2017). Abnormal event detection in videos using spatiotemporal autoencoder, *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Vol. 10262 LNCS, 189–196.
- [9] Mehran, R.; Oyama, A.; Shah, M. (2009). Abnormal crowd behavior detection using social force model, *2009 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, CVPR Workshops 2009*, Vol. 2009 *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, No. 2, 935–942.
- [10] Xu, J.; Denman, S.; Sridharan, S.; Fookes, C.; Rana, R. (2011). Dynamic Texture reconstruction from

sparse codes for unusual event detection in crowded scenes, *MM'11 - Proceedings of the 2011 ACM Multimedia Conference and Co-Located Workshops - JMRE 2011 Workshop*, J-MRE'11, 25–30.

- [11] UCSD Anomaly Detection Dataset, URL: [svcl.ucsd.edu/projects/anomaly/dataset.htm](http://svcl.ucsd.edu/projects/anomaly/dataset.htm) (Accessing Time ; March, 18, 2019).
- [12] Monitoring Human Activity, URL: <http://mha.cs.umn.edu/> (Accessing Time; February, 10, 2019)

[13] Scikit-Image, URL: <https://scikit-image.org/docs/dev/api/skimimage.feature.html#skimimage.feature.hog> (Accessing Time ; May, 5, 2019)

[14] Aydın, C. “Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanılarak İtfaiye İstasyonu İhtiyacının Sınıflandırılması”, *European Journal of Science and Technology* No. 14, pp. 169-175, December 2018



# AFWDroid: Deep Feature Extraction and Weighting for Android Malware Detection

Recep Sinan ARSLAN<sup>1\*</sup>, Emre Ölmez<sup>2</sup>, Orhan ER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Yozgat Bozok University, Engineering Faculty, Department of Computer Engineering, Yozgat, Turkey, [sinanarslanemail@gmail.com](mailto:sinanarslanemail@gmail.com), ORCID 0000-0002-3028-0416

<sup>2</sup> Yozgat Bozok University, Yozgat, Turkey, [emre.olmez@bozok.edu.tr](mailto:emre.olmez@bozok.edu.tr), ORCID 0000-0003-1686-0251

<sup>3</sup> İzmir Bakırçay University, Engineering Faculty, Department of Computer Engineering, İzmir, Turkey, [orhan.er@bakircay.edu.tr](mailto:orhan.er@bakircay.edu.tr), ORCID 0000-0002-4732-9490

Doi: 10.24012/dumf.875036

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received: 5 February 2021

Revised: 24 February 2021

Accepted: 1 March 2021

### Keywords:

Feature weighting  
Malware detection  
Machine learning  
Artificial Neural Network

## ABSTRACT

Android malware detection is a critical and important problem that must be solved for a widely used operating system. Conventional machine learning techniques first extract some features from applications, then create classifiers to distinguish between malicious and benign applications. Most of the studies available today ignore the weighting of the obtained features. To overcome this problem, this study proposes a new software detection method based on weighting the data in feature vectors to be used in classification. To this end, firstly, the manifest file was read from the Android application package. Different features such as activities, services, permissions were extracted from the file, and for classification, a selection was made among these features. The parameters obtained as a result of selection were optimized by the deep neural network model. Studies revealed that through feature selection and weighting, better performance values could be achieved and more competitive results could be obtained in weight-sensitive classification.

## Introduction

Development of mobile internet technologies, the prevalence of mobile devices is gradually increasing, and Android is leading this increase [1]. This open-source operating system, managed by Google, is available in more than half of mobile phones worldwide. The Android operating system has become a very important milestone in smartphones and mobile devices. It is used to install new features, add innovative features, and improve user experiences in many systems such as smartphones, tablets, smart TVs, car entertainment systems [2].

In the case that Android users do not like the stock firmware installed on their smartphones by the manufacturer, they can install a custom ROM. Some examples of custom ROMs are Omni ROM, Lineage OS, and AospExtended.

While other smartphone platforms have a certain operating system and a number of applications that can be used depending on the operating system, the number of applications developed for each ROM within the Android ecosystem is quite high. These alternative systems do not always offer secure infrastructures [2].

Recently published statistics show that although the number of applications in the Playstore decreases in certain periods, it is generally increasing rapidly [3]. Besides, another feature of the Android platform is that applications can be downloaded and installed not only from Google Play Store but also from third-party platforms.

\* Sorumlu yazar / Correspondence  
Recep Sinan ARSLAN  
✉ [sinanarslanemail@gmail.com](mailto:sinanarslanemail@gmail.com)

While applications downloaded and installed from the local application store can provide a reasonable level of security, this may not be possible for non-store apps. Applications developed for mobile devices are thought to be for the Android operating system, which corresponds to approximately 99% of the total applications [3][4]. More than 10 million android malware applications were produced in 2019. And it shows that 190.000 malicious apps occur monthly. In addition, in the first quarter of 2020, it was determined that an average of 480.000 malware appeared per month, showing a significant increase [5].

This structure offered by the Android system on the hardware and software side as well as the huge user base mentioned above has caused the emergence of malicious application developers for this operating system, the development of applications to exploit end-users with little experience of usage and increase in efforts to obtain information illegally. This whets the appetite of cybercriminals.

Detection of malicious applications developed for the Android operating system was easy in the early days of Android. By following the API calls of the application on a simple sandbox, non-complex malicious features of the application could be detected [6]. However, with Android 11, malware is engaged in increasingly more unpredictable activities and prefers more aggressive and complex techniques. On the other hand and in response to this, developers of malware detection systems are suggesting different detection techniques [7,8].

In the Android operating system, software developed with different ROMs and applications distributed from third parties are stored on end-user mobile devices. This requires the development of systems that use the most up-to-date methodologies to restrict or prevent access to sensitive personal information, to detect malware, and thus to secure mobile devices. In an environment where routine defense approaches fail to contain the ever-growing Android malware environment, these studies are critical.

Several basic approaches have been proposed in the literature for Android malware detection. These techniques are based on static, dynamic, and hybrid analysis.

Static analysis examines application codes, analyzes all possible execution paths, and aims to identify malicious codes before the application is run. It is not easy to obtain the codes of applications developed using modern compilers and runtime libraries. In addition, even if the codes are obtained, long analysis is required to make sense of the codes due to the obfuscation of codes. This has affected the performance of systems that detect malware by static analysis and caused an increase in false detection rates. In fact, static analysis can be bypassed by various obfuscation techniques, such as polymorphism, encryption, or packing. In addition, the applications analyzed by this technique are detected by comparing them with prebuilt signature databases. For this reason, these signature databases need to be kept up to date, and most importantly, it can be impossible to detect zero-day applications. Detection of real-time traces is possible only when the malware is executed [9].

Many studies in the literature have suggested the dynamic analysis approach to overcome these limitations of static analysis [10,11]. In this approach it analyses the behaviors of applications during their operations. This technique detects malware by analyzing the similarity between new and known behaviors of applications based on their application interface(API) calls. Polymorphic software, which is effective in changing static signatures, can be easily detected through active monitoring and detecting the behavior that cannot be hidden. This method, which has more useful features in terms of detection, creates a problematic situation for mobile devices with limited resources due to the excessive consumption of system resources and the emergence of a serious pre-processing phase during real-time monitoring.

Some studies have, therefore, suggested hybrid analysis for malware detection, which consumes fewer resources and makes a better



classification. By combining the advantages of static and dynamic analysis, this method proposes a two-step approach [12].

Finally, Google created the Play Protect platform to limit malware invasion on Google Play Store. Thanks to this, it was possible to detect 700.000 malicious apps. More than 300 of these applications are used in Ddos attacks and are very dangerous. Good results have been achieved in the capture of 85 different adware families such as Stalkerware and were removed from Store. Play protect has a serious control over the PlayStore for malware detection. However, although it can detect many malignant applications, it has not been able to catch some types of them and has no activity on applications download from third party platforms [13].

Unlike previous studies in the literature, our contributions to Android malware detection can be summarized as follows:

- We propose a hybrid approach using static analysis and machine learning techniques for malware detection. Before the application was run, application features were obtained from the Manifest file, weighted, and selected in the pre-processing phase.
- A deep neural network was used to implement deep and broad feature learning. In this way, discriminative features were produced and classified based on the features obtained without examining the application code.
- The effect of feature weighting on classification performance and its contribution to the decrease in false positive (FP) value were shown.
- Repetitive and multi-group experiments were carried out with the basic data obtained, and the proposed method was compared with similar methods. Tests performed with 799 benign and 1081 malicious applications achieved a success rate of 99.6%.

In the rest of this study, current and similar studies for Android malware detection are mentioned. Thus, limitations with existing studies have been revealed. Collection of dataset, extraction of application properties, pre-processing, ANN model and performance measurement metrics are explained in the methodology section. Then the tests and results were given in the light of the proposed model and a comparison was made with similar studies. In the conclusion, the study has been evaluated in general and suggestions for new studies were given.

### Related Works

Many different security mechanisms are used on the Android platform. The most important of these is that app permissions must be granted by the user at install time. Thus, it is ensured that the user knows the permissions that the application will use. However, for consent-based privacy protection to be successful, end users must have sufficient awareness of security. This security infrastructure, which is excessively dependent on the user, creates protection problems. Therefore, antivirus software can also be used to ensure security. Thus, users are protected with signature-based protection. In an environment where malicious applications are increasing in quantity and variety rapidly, efforts are also made to develop more effective software detection systems.

In the study [14] conducted by Sasisharan, a behavioral-based approach for Android malware detection was proposed. The malicious dataset was compiled and coded to identify suspicious API classes. Patterns were created by performing multiple sequence alignments for different application families and applied to the hidden markov model (HMM) profile. 94.5% accuracy rate was achieved in the classification. A classical classification structure has been applied with new patterns.

MobiTive, is a real-time and sensitive malware detection tools using deep neural network [15]. It is pre-loaded on the mobile device and performs application scanning and monitoring. Since it is not possible to locate and operate traditional deep learning based approach on mobile devices, a different proposal has been made. Tests were carried out with LSTM, GRU

and CNN networks, and as a result, the highest recognition rate was achieved in the GRU. Accuracy, precision and recall values were 96.75%, 96.78% and 96.72, respectively.

The study numbered [16] developed by Hossein et al. used the static analysis method. As a result of the analysis, feature vectors were created from information such as suspicious API calls, malicious activities, system calls, and purposes. The obtained features were classified using Gradient Boosting and deep learning methods. As a result, 97.3% of classification performance was achieved.

In Android applications, an attempt based on the principle of creating a permission-based security model was made to determine the permissions the applications request but do not use. While the requested permissions were obtained from the manifest file, the used permissions were extracted by code analysis. Thus, the extra requested permissions were revealed, and malware detection was performed. The study reported a 91.95% accurate classification [17].

DeepAMD [18] proposed an effective mechanism for detecting malware before it could be run, as static analysis requires. It adopted a method of classification with deep neural networks. It applied different approaches to detect and identify attacks that may occur at both static and dynamic analysis phases. A 93.4% accurate classification was achieved in the static layer, and 80.3% accurate classification was achieved in the dynamic layer. Also, in application category classification, an accuracy of 92.5% was obtained.

In malware detection, there is a lot of work on supervised or unsupervised feature learning, hierarchical feature extraction, and the application of deep learning to classify these features. Droidfusion [19] is an approach based on a multilevel architecture that enables the combination of base classifiers. Four different algorithms were proposed to classify the base classifiers, and then the results of these algorithms were combined and evaluated. Experiments were carried out with four separate datasets, and it was shown that more successful results were obtained than traditional models.

AndroidDialysis [20] proposed using the intents (implicit and explicit) of applications for

malware detection. A dataset consisting of a total of 7405 applications, including 1846 benign and 5560 malicious applications, was used. Permissions were extracted from each application. Relationships between intents were evaluated along with permissions. Classification using permissions yielded an 83% success rate, but when evaluated together with intents, the success rate increased to 95.5%.

In the study conducted by Aloatibi, a multilevel malware detection method using regression coefficients was proposed to overcome some limitations of static and dynamic analysis approaches [21]. In the first layer, static analysis, and in the second layer, dynamic analysis was performed. Unlike other studies, a separate malicious application detection was performed for each layer. Machine learning techniques were used for classification. This proposed technique achieved 98.4%, 98.3%, and 99.0% success rates for accuracy, f-measure, and precision, respectively.

## Methodology

This section is devoted to the description of the proposed model. The system has a multi-layered structure. The input layer, dex extraction, and preprocessing stages in this multi-layered structure were performed for three separate Android APK datasets. After this stage, in the preprocessing layer, a series of operations were carried out, such as extracting Dalvik EXecutable (DEX) files from the APK files, transforming them into bytecode format so that they could be used in the training phase, and generating the feature vectors. In the decision layer, the feature vectors obtained in the preprocessing stage were classified with a deep artificial neural network(ANN). Training, feature selection, detection, and evaluation steps are described in section 3.2. As a result of the operations performed in the model, the identification of the applications and the classification of the behaviors as benign or malicious were performed. The flow diagram of the model with a multi-layer architecture is shown in Figure 1.

## Dataset Collection

Various methods have been developed for Android malware detection. Two of the malicious application sets used in these methods were selected and used in the training and testing

processes of this study. The first of these families was the Drebin [22] dataset. It contains the permissions obtained from XML files as features. It was developed for use in dataset research and development and is distributed free of charge. It contains 5560 applications from 1000 different families. As the other malicious dataset, another widely used dataset, Genome [23], was used. Like Drebin, the Genome dataset is also distributed as open source. Finally, benign applications were downloaded from two popular application markets, Google Play [24] and Apkpure.com [25]. The most popular 900 applications were selected from various categories such as social media, news, finance, education, games, and sports. As shown in the dataset layer, three separate datasets were combined and evaluated in this study.

### Feature Extraction

After the datasets were obtained, the manifest files were obtained from the DEX files of the applications. For the applications to be evaluated in the proposed model, 349 features were extracted for each application. The study numbered [26] shows that all features having the same weight negatively affect the classification performance. To overcome this, the features were weighted. Thus, it was prevented that all features have equal weight in the training phase and have the same effect at the model exit.

### Preprocessing and Final Dataset Design

In the weighting phase, the frequencies of using separate features of 6820 malicious and 900 benign applications were taken into account. With these frequencies, it was aimed to pay more attention to the permissions frequently used by malicious and benign applications and to ensure that they have more effect in the model. As an example, it was aimed to ensure that the “FULL\_INTERNET\_ACCESS” permission and the “BATTERY\_CHANGED” permission, which are widely used in malicious applications, do not have the same effect in understanding the intent of the application. The obtained usage frequencies were used for weighting the features. As a result, a 7720x350 two-dimensional feature vector containing the weighted feature data was obtained.

When this feature vector was examined, it was seen that some features had the same weight in all applications and that some applications had similar features. In this case, using the obtained vector for direct classification means that the same features and the same applications are repeatedly included in the training, which can cause the model to memorize. To overcome this problem, feature selection was performed, and applications with similar features were eliminated. As a result, a matrix containing 1081 malicious and 799 benign applications and 58 features was obtained. Of these applications, 70% were used for training, 15% for validation, and 15% for testing.

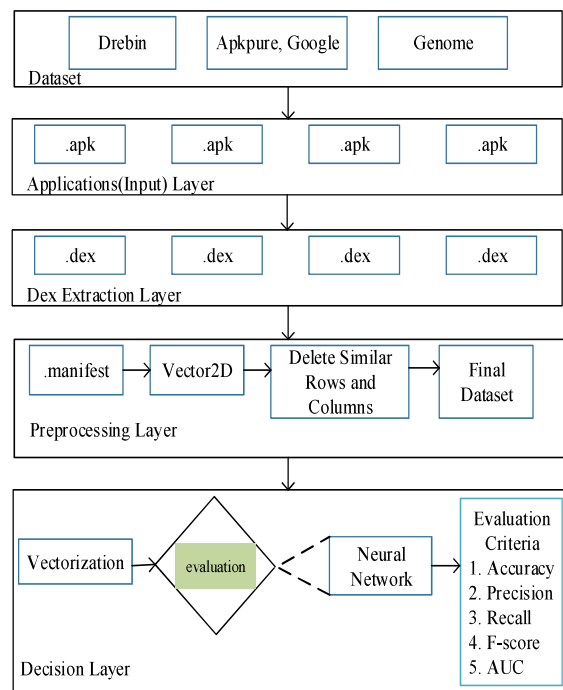


Figure 1. Layered diagram for Android Malware Detection

### Decision Layer

To classify the weighted features obtained from the dataset used in this study, an ANN architecture was designed, as seen in Figure 2. The designed ANN consisted of two hidden layers with 10 neurons and an output layer with one neuron. The input layer of the ANN, on the other hand, had 58 features of each sample in the dataset, thus 58 neurons.

In the hidden layers of the designed ANN, the hyperbolic tangent sigmoid transfer function was used, and in the output layer, the logarithmic sigmoid transfer function was used. In the

training phase, the Gradient Descent algorithm was used as the optimization algorithm with a learning rate of 0.01 and 1.000 epochs. The cross-entropy function was used as the cost function for performance evaluation during ANN training [27]. To classify the weighted features obtained from the dataset used in this study, an ANN architecture was designed, as seen in Figure 2. The designed ANN consisted of two hidden layers with 10 neurons and an output layer with one neuron. The input layer of the ANN, on the other hand, had 58 features of each sample in the dataset, thus 58 neurons.

In the hidden layers of the designed ANN, the hyperbolic tangent sigmoid transfer function was used, and in the output layer, the logarithmic sigmoid transfer function was used. In the training phase, the Gradient Descent algorithm was used as the optimization algorithm with a learning rate of 0.01 and 1.000 epochs. The cross-entropy function was used as the cost function for performance evaluation during ANN training [27].

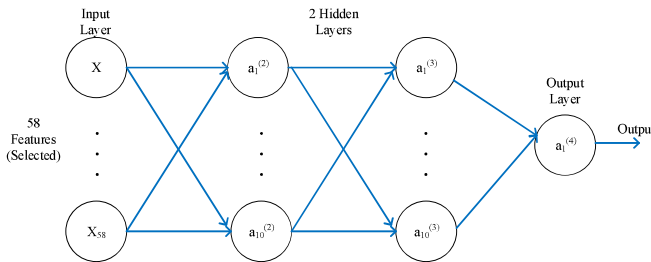


Figure 2. Architecture of Proposed Neural Network Model

### Performance Calculation

To evaluate the efficiency of the proposed model, sensitivity, precision, accuracy, f-measure criteria were used. Accordingly, the equations given below represent definitions.

$$Accuracy = \frac{TN + TP}{FP + TP + FN + TN}$$

$$Sensitivity, Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$Precision = \frac{TP}{FP + TP}$$

$$F - measure = \frac{2 * TP}{2 * TP + FP + FN}$$

The TP value indicates how many of the positive test samples were correctly predicted positively and the FP indicates how many of the positive test samples were negatively predicted incorrectly. The TN value indicates how many of the negative test samples were correctly predicted negatively and The FN value indicated how many of the negative test samples were positively predicted incorrectly. In addition, the ROC curve is often used to evaluate the pros and cons of a classifier together. Expresses a graphical plot of specificity and sensitivity values. F-score is the measure of a model’s accuracy in a dataset. It is used to evaluate systems that make binary classification of samples such as positive and negative.

### Experimental Results

After the 1180 data in the dataset were randomly partitioned as 70% for training, 15% for testing, and 15% for validation, the performance of the ANN was analyzed. After the training, the success rate was 99.4% on the training set, 98.6% on the validation set, and 99.6% on the testing set, as seen in the confusion matrix in Figure 3. The success rate was found to be 99.3% on the entire dataset. As seen in these matrices, the results point to a high success rate classification, which indicates that the system is suitable for successful malware detection.

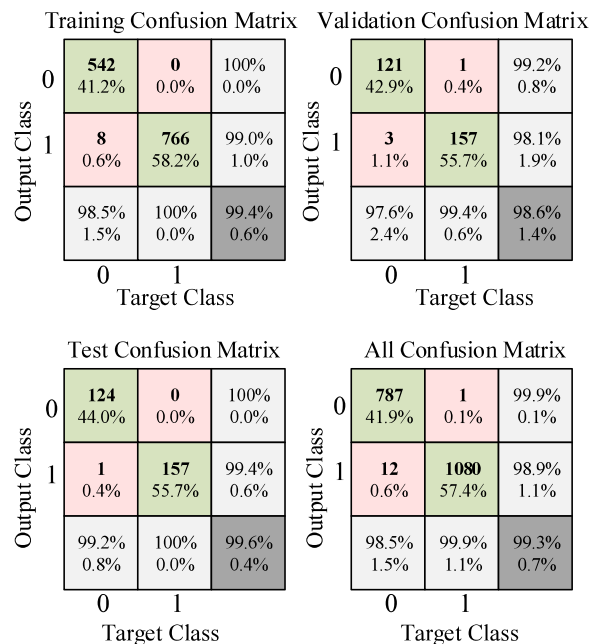


Figure 3. Confusion Matrix

Table 1 demonstrates the calculated sensitivity, specificity, precision, and F1-score values for each subset of the dataset and the entire dataset. Accordingly, the best result belonged to the sensitivity value: A high rate of success was achieved with 1.0000 on the training set, 0.9937 on the validation set, 1.0000 on the testing set, and 0.9991 on the entire dataset.

Table 1. Metric Measurements on the Data Set

Metrics	Training Set	Validation Set	Test Set	Overall
Sensitivity	1.0000	0.9937	1.0000	0.9991
Specificity	0.9855	0.9758	0.9920	0.9850
Precision	0.9897	0.9813	0.9937	0.9890
F1 Score	0.9948	0.9874	0.9968	0.9940

Figure 4 shows the change in the cross-entropy cost function during training according to the number of iterations. Accordingly, the best validation performance was 0.066995 at epoch 1000.

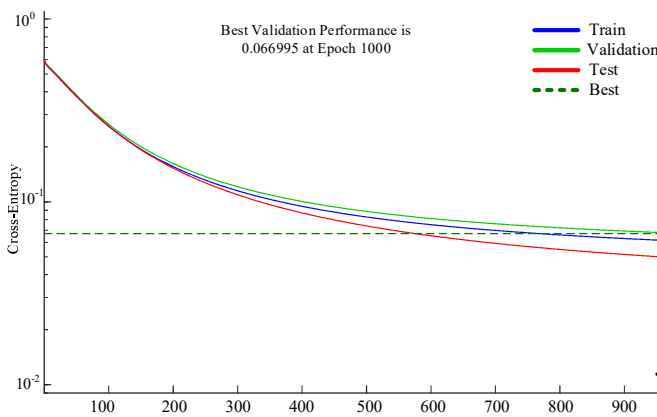


Figure 4. Cost function performance curve

Figure 5 shows the receiver operating characteristic curves. As can be inferred from these curves, the performances of the areas under training, validation, and testing curves (ROC) were very close to each other.

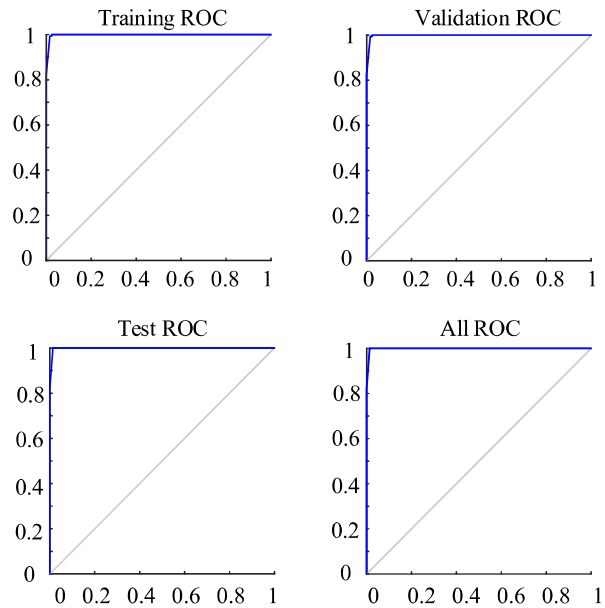


Figure 5. Receiver operating characteristic

### Comparison with other proposed frameworks

We suggested the ANN model for Android malware detection. For this, the applications were analyzed and different tests were performed to try to obtain the best model. Experimental results of this model were obtained.

The comparison of the proposed model in this work with studies using different and up-to-date approaches is summarized in Table-2. When the results of known android malware detection tools such as Drebin[22], RevealDroid[28], Nauman [29], ProDroid[14], DL-Droid[30], Maldozer[31] were examined, although some studies obtained low classification rates, in general an accuracy of 95% and above has been achieved.

Table 2. AFWDroid vs other proposed frameworks

Metrics	[14]	[22]	[28]	[29]	[30]	[31]	AFWDroid
Accuracy	0.945	0.93	0.858	0.9	0.985	-	0.993
Precision	0.93	-	0.892	0.9	0.980	0.962	0.989
F1 Score	0.939	-	0.874	0.9	0.988	0.962	0.994



## Conclusion and Future Works

This study proposed a novel method encompassing feature selection and feature weighting for malware detection in mobile applications. A multi-layer structure was used to apply the proposed model. Basically, static analysis-based processes were carried out to obtain application features. In this approach, firstly, malicious and benign application sets were obtained, and their features were extracted. Then, the obtained features were weighted separately for malicious and benign applications. Thus, it was aimed to prevent all features to be used in model training from having the same effect at the model exit. From the feature matrix obtained, the data that would cause problems during the training phase was eliminated, and thus, a more meaningful data feature set was obtained. Successful classification performance was then achieved with a weighted input cleared of noisy data. Various tests and conventional performance measurement methods were used to evaluate the success level of the proposed model. Thanks to its distinctive features, the proposed model both achieved a high level of success and enabled obtaining results rapidly.

Future studies are planned to try to take into account more features in feature weighting to further increase the classification performance, taking into account the level of correlation between the acquired features.

## Acknowledgements

We would like to thank Drebin [22] and Genome [23] projects for providing malicious datasets free of charge and for their valuable contributions to the conduct of the study.

## References

- [1] S. Wang, Z. Chen, Q. Yan, K. Ji, L. Peng, B. Yang and M. Conti, "Deep and broad URL feature mining for android malware detection", *Information Sciences*, 513, 600-613, 2020.
- [2] M. Amin, T. A. Tanveer, M. Tehseen, M. Khan, F. A. Khan and S. Anwar, "Static malware detection and attribution in android byte-code through and end to end deep system", *Future generation computer systems*, 102, 112-126, 2020.
- [3] J. Clement, "statista.com," [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/266210/number-of-available-applications-in-the-google-play-store/>.
- [4] F-Secure Team, "f-secure.com" [Online]. Available: <https://blog.f-secure.com/another-reason-99-percent-of-mobile-malware-targets-androids/>.
- [5] J. Johnson, "statista.com," [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/680705/global-android-malware-volume/>
- [6] R.S. Arslan, İ. A. Doğru and N. Barışçı, "Permission comparison based malware detection system for Android mobile applications", *Journal of Polytechnic*, 20(1), 175-189, 2017.
- [7] A.T. Kabakuş and İ.A. Doğru, "An in-depth analysis of Android malware using hybrid techniques", *Digital Investigation*, 24, 25-33, 2018.
- [8] İ. A. Doğru and Ö. Kiraz, "Web-based android malicious software detection and classification system", *Applied Sciences*, 8(9), 1622- 1641, 2018.
- [9] M. Jerbi and Z. C. Dagdia, "On the use of artificial malicious patterns for android malware detection", *Computer & Security*, 92, 1-22, 2020.
- [10] C. Willems, T. Holz and F. Freiling, "Toward autmated dynamic malware analysis using cwsandbox", *IEEE Security and Privacy Magazine*, 5(2), 32-39, 2007.
- [11] K. Rieck, T. Holz, C. Willems and P. Düssel, "Learning and classification of malware behaviour", *Proceedings of the 5th International Conference on Detection of Instrusions and Malware, and Vulnerability Assessment*, 1-20, 2008.
- [12] M. Wozniak, M. Grana and Emilio Corchado, "A survey of multip classifier systems as hybrid systems", *Information Fusion*, 16(1), 3-17, 2014.
- [13] A. Mathur, L.M. Podila, K. Kurkarni, Q. Niyaz, A.Y. Javaid, "NATICUSdroid: A malware detection framework for Android using native and custom permissions", *Journal of Information Security and Applications*, 58, 1-14, 2021.
- [14] S. K. Sasidharan, C. Thomas, "ProDroid – An Android malware detection framework based on profile hidden markov model", *Pervasive and Mobile Computing*, 72, 1-16, 2021.
- [15] R. Feng, S. Chen, X. Xie, G. Meng, S.W. Lin ve Y. Liu, "A performance-sensitive malware detection system using deep learning on mobile devices", *Information forensics and security*, 16, 1-16, 2021.
- [16] F. Hossein, C. Mauro, Y. Danfeng and S. Alessandro, "Anastasion: android malware detection using static analysis of appication", *8th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, 1-5, 2016.

- [17] R.S. Arslan, İ. A. Doğru and N. Barışçı, "Permission-based malware detection system for android using machine learning techniques", *International journal of software engineering and knowledge engineering*, 29(01), 43-61, 2019.
- [18] S. I. Imtiaz, S. Rehman, A. R. Javed, Z. Jalil, X. Liu and W. S. Alnumay, "DeepAMD: Detection and Identification of Android Malware using high-efficient Deep Artificial Neural Network", *Future Generation computer systems*, 115, 844-856, 2020.
- [19] S. Y. Yerima and S. Sezer, "DroidFusion: A Novel Multilevel Classifier Fusion Approach for Android Malware Detection", *IEEE Transactions on Cybernetics*, 49(2), 453-466, 2019.
- [20] A. Feizollah, N. B. Anuar, R. Salleh, G. S. Tangil and S. Furnel, "AndroDialysis: Analysis of Android Intent Effectiveness in Malware Detection", *Computers & Security*, 65, 121-134, 2017.
- [21] S. S. Alotaibi, "Regression coefficients as triad scale for malware detection", *Computers and Electrical Engineering*, 1-14, 2020.
- [22] D. Arp, M. Spreitzenbarth, M. Hübner, H. Gascon, K. Rieck and C. Siemens, "Drebin: Effective and explainable detection of android malware in your pocket", *Proceedings of the Annual Symposium on Network and Distributed System Security*, 2014.
- [23] Malgenome Project, "malgenomeproject.org," [Online]. Available: <http://www.malgenomeproject.org/>.
- [24] Google, "Google play store," [Online]. Available: <https://play.google.com/store/apps?hl=en>.
- [25] APKPure Team, "APKPure.com," [Online]. Available: <https://apkpure.com/cn/>.
- [26] L. Cai, Y. Li and Z. Xiong, "JOWMDroid: Android malware detection based on feature weighting with joint optimization of weight-mapping and classifier parameters", *Computer & Security*, 100, 1-14, 2020.
- [27] E. Ölmez, V. Akdoğan, M. Korkmaz and O. Er, "Automatic Segmentation of Meniscus in Multispectral MRI Using Regions with Convolutional Neural Network (R-CNN)", *Journal of Digital Imaging*, 33, 916-929, 2020.
- [28] J. Garcia, M. Hammad, B. Pedrood, A. Bagheri-Khaligh, S. Malek, "Obfuscation-resilient, efficient, and accurate detection and family identification of android malware", *Technical Report, Department of Computer Science, George Mason University*, 1-15, 2015.
- [29] M. Nauman, T.A. Tanveer, Sohail. K, Toqeer. A., "Deep neural architectures for large scale android malware analysis", *Cluster Computing Springer*, 1-20, 2017,
- [30] M. K. Alzaylaee, S. Yerima, S. Sezer, "DI-droid: deep learning based android malware detection using real devices", *Computer and Security*, 89, 1-11, 2020.
- [31] E.B. Karbab, M. Debbabi, A. Derhab, D. Mouheb, "Maldozer: automatic framework for android malware detection using deep learning", *Digital investigation*, 24, 48-59, 2018.



## Utilization of a sun-tracking parabolic dish collector for water heating application

**Atilla G. DEVECİOĞLU\***

Dicle University Department of Mechanical Engineering, 21280, Diyarbakır, Turkey  
atillad@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0001-9174-378X

**Muhammed HATİPOĞLU**

Dicle University Department of Mechanical Engineering, 21280, Diyarbakır, Turkey  
ORCID: 0000-0003-3722-8802  
mohammadwaelalkhateeb1988@gmail.com

**Vedat ORUÇ**

Dicle University Department of Mechanical Engineering, 21280, Diyarbakır, Turkey  
voruc@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0001-9055-1508

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 23 August 2020  
Received in revised form 23  
November 2020  
Accepted 23 November 2020  
Available online 30 March 2021

#### Keywords:

water heating; parabolic dish  
solar collector; spiral absorber

### ABSTRACT

In this study, it is aimed to obtain hot water through a parabolic dish mirror tracking the sun in two axes in climatic conditions of Diyarbakır, Turkey. A heat exchanger with copper spiral element was designed as an absorber on the focus point of the system. Water coming from network exits from the system by heated in the absorber. The experimental data was acquired from 10:00 a.m. to 16:30 p.m. o'clock. The effect of mass flow rate on efficiency was studied considering three cases of 0.00187, 0.00217 and 0.00345 kg/s. The results indicated that the highest useful heat amount and thermal efficiency were obtained at 0.00345 kg/s. The thermal efficiency values were determined as 32 to 39%. The exergy efficiency of the system was also evaluated as 5.7 to 6.3% according to the experimental data.

Doi: 10.24012/dumf.784088

\* Corresponding author

## Introduction

Solar energy is the most widely and easily found energy source. It is possible to obtain directly electricity by photovoltaic panels and heat energy by plane collectors from the sun. Future compact systems may provide more advantage from this environmentalist, economic and plenty energy source. Mahdi and Bellel [1] investigated optical and thermal performance of a solar concentrating system using spherical collector for middle and high temperature applications. Thermal efficiency was obtained as 60-70% for a wide temperature range up to 350°C. The results of study pointed out that spherical reflector could be used for heat requiring systems.

Sharma et al. [2] designed a parabolic dish collector with a solar tracking system. The effect of modification for spiral absorber geometry on outlet temperature was studied utilizing parabolic dish collector. Two types of absorber were used; one of them was helical coiled absorber without gap and the other one was helical coiled black coated absorber with gap. It was seen that maximum temperature difference was higher in the latter type by 43% compared to former case. Pavlović et al. [3] performed optical and thermal analysis of a parabolic dish collector having a spiral absorber. Thermal efficiency was 4% to 15% depending on water inlet temperature energy efficiency was found as about 65%. Prado et al. [4] obtained fresh water for the daily requirement of at least two persons by desalination through a parabolic dish collector.

Thirunavukkarasu and Cheralathan [5] reviewed studies on parabolic dish solar collectors for low and middle temperature applications. Hijazi et al. [6] designed a low-priced parabolic dish collector to directly generate electricity. In order to have proper dimension of the dish, they investigated mechanical stresses due to wind and dish weight using a computer program. Pavlovic et al. [7] studied a simple, light and low-priced parabolic dish collector with a spiral absorber. Water was used as working fluid. Volumetric flow rate, inlet-exit temperatures, ambient temperature, air velocity and solar radiation values were measured in the study. The experimental measurements were used to verify validity of a numerical model evaluating three working fluids (water, thermal oil and air) under

various operating conditions. Water was shown to be the most suitable working fluid for low temperature applications with respect to thermal analysis. Thermal oil was suggested as proper fluid for high temperature applications.

Depending on exergetic analysis, air was indicated to be the most suitable fluid for low-temperature applications while thermal oil was favourable for higher temperature cases. Stefanovic et al. [8] conducted a detailed parametric analysis using parabolic dish solar collector with a spiral absorber. Optimum operating conditions were determined and experimental results were also verified through a thermal model. Kumar et al. [9] recently conducted a detailed review study on exergy evaluation of parabolic solar collectors. The effects of various nanofluids and geometrical parameters on the exergy efficiency of solar parabolic collectors were comprehensively discussed.

The daily performance of a solar dish collector was investigated for various inlet temperatures [10]. They noted that the thermal and the exergy efficiencies were approximately constant during the daily operation. The inlet temperature was determined to be the most important parameter on the collector performance on a daily basis such that thermal efficiency was reduced but exergy efficiency was enhanced as inlet temperature increased. In the present work, thermal efficiency of parabolic dish collector is analysed.

Narasimha and Saivesh [11] computed thermal efficiency of parabolic dish collector with dome-cylindrical type cavity receiver for water mass flow rates ( $\dot{m}$ ) of 0.0035 kg/s and 0.0065 kg/s. The results indicated that thermal efficiency was mainly depended on radiation intensity and temperature of the receiver. The average temperature of water at outlet was 21.1% higher for lower  $\dot{m}$  case. The outlet temperature of water was increased with average receiver temperature. The heat loss was reduced hence overall thermal efficiency of the system was enhanced as  $\dot{m}$  increased.

The investigations on the collectors with solar-tracking system can be found in the literature [12-16] to obtain results with better thermal efficiency of the solar collector. For example,

Natarajan et al. [14] developed a two-axis tracking system for parabolic solar dish collector and experimentally determined the performance of the proposed system. Compared to the conventional solar photovoltaic panel, they found that the positioning accuracy of the solar tracking system improved the short circuit current by 86%. Consequently, the solar tracking system was suggested to be utilized in a parabolic dish with concentrating photovoltaic module as the focal point.

Parabolic solar collectors and potential receivers for these systems are seen to be interesting investigation topic for the researchers [17,18]. Various types of solar concentrating parabolic collectors were reviewed by Imadojemu [19]. The central receiver and dish systems with high temperature, which are mostly utilized to obtain electric power, are briefly discussed in the review study. Kaushika and Reddy [20] analysed performance characteristics of a solar parabolic dish concentrator to generate steam. Solar to steam conversion efficiency was determined as 70–80% at 450°C. Seo et al. [21] numerically studied the performance of the solar dish collector system. The influence of types of mirror arrays and receiver shapes on the performance of systems was considered in their investigation. The receiver shape of dome type was found to provide the best thermal performance. A solar concentrating parabolic dish was designed based on optimized flexible petals [22]. Experiments and finite element analysis were used to demonstrate the validity of the method. The new approach was determined to provide precision solar parabolic collectors considerably cheaper than conventional systems.

In the present study, design of a solar-tracking collector having parabolic dish mirror with 70 cm diameter was investigated for water heating application. It was aimed with this system to increase the temperature of water in ambient conditions. Three different mass flow rates were considered in the experiments and hence the effect of changing flow rate on exit temperature of fluid and thermal efficiency was investigated. The exergy efficiency of the system was also computed referring to the measured data.

## Material and method

The parabolic dish mirror collector shown schematically in Fig. 1 is 70 cm in diameter which tracks the sun in two axes (north-east and east-west) and concentrates the solar energy on an absorber located in the extension of mirror's focus. Such type of collectors should continuously track the sun in order to reflect the possible highest solar radiation on thermal absorber. The absorber emits solar energy and transfers the heat energy to the fluid circulating inside the system. Then it can convert the heat energy to the electricity utilizing a generator directly coupled to the absorber. Parabolic dish collector systems may provide temperatures over 1500°C [23]. There are some significant advantages of parabolic dish solar collectors. There is less radiation loss due to their comparable small absorber surface. Since they continuously track the sun, they are also the most efficient systems among the collectors.

The motors provide the dish to track the sun depending on signals coming from photosensitive optical sensor. This signal is compared with a previously programmed reference amount and then proper current to the motors is provided with respect to the situation. Such tracking mechanism is a control system that could be utilized also for operation of photovoltaic solar energy units. A belt-pulley motor was used for east-west motion while a linear actuator was preferred for north-south movement of the parabolic dish.

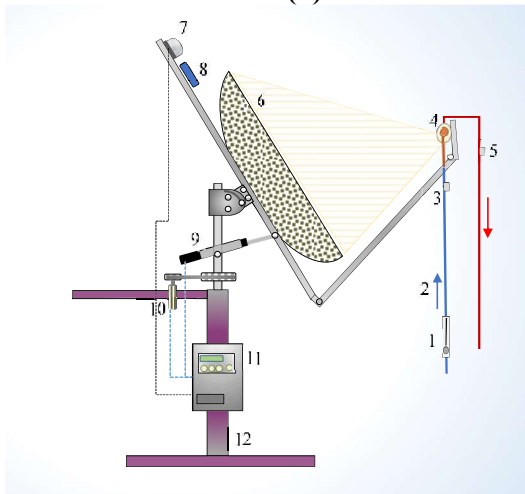
The focus supporter moves together with parabolic dish as shown in Fig. 1. The absorber is mounted to the free end of focus supporter. The absorber is a spiral copper tube with an inside diameter of 6.2 mm and the outside diameter of spiral element is 70 mm as demonstrated in Fig. 2. In order to reduce the effect of wind, the absorber is placed inside a silica glass tube resistant to high temperature as seen in Fig. 2. The pyranometer and optic sensor instruments are placed in back side of parabolic dish. There are control panel and 12 volt battery on support element of the system. The experimental work was carried at campus of Dicle University in Diyarbakır. The working fluid is water. The system is operating on open circuit basis and it is aimed to reach maximum possible temperature of



water without reheating. The water is supplied to the system with three different amounts through a rotameter. The inlet and exit temperatures of water in the system are measured by digital thermometers. The focus point temperatures are measured with infrared thermometer.

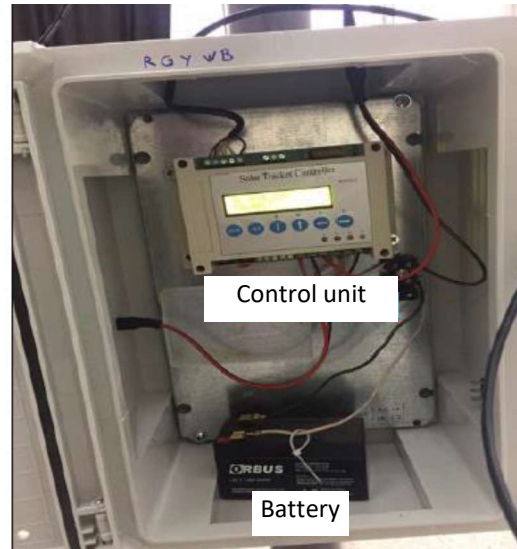


(a)



(b)

- |                                    |                          |
|------------------------------------|--------------------------|
| 1. rotameter                       | 7. LDR (optic sensor)    |
| 2. water inlet                     | 8. pyranometer           |
| 3. thermocouple at absorber inlet  | 9. north-south actuator  |
| 4. spiral heat absorber            | 10. east-west gear motor |
| 5. thermocouple at absorber outlet | 11. control box          |
| 6. parabolic dish mirror           | 12. support leg          |



(c)

**Figure 1.** Experimental set-up for the parabolic dish solar collector system (a) Photograph (b) schematic representation (c) control unit for solar-tracking system



**Figure 2.** The spiral absorber used in the experimental set-up.

The instant efficiency of collector  $\eta$  is the ratio of useful energy available in absorber to solar energy perpendicular to absorber area and it is computed as

$$\eta = \frac{Q_u}{IA} = \frac{\dot{m}C_p\Delta T}{IA} \quad (1)$$

where  $Q_u$  is useful energy rate received by collector (W),  $I$  is coming solar radiation ( $W/m^2$ ),  $A$  is area of parabolic dish ( $m^2$ ),  $C_p$  is specific heat of water ( $J/kg.K$ ),  $\Delta T$  is temperature difference between exit and inlet temperatures of absorber ( $^{\circ}C$ ) and  $\dot{m}$  is mass flow rate of water ( $kg/s$ ). Temperature, solar radiation and mass flow rate of water are measured using thermocouples, pyranometer and rotameter,

respectively. Technical properties of instruments utilized for experimental measurements are given in Table 1.

**Table 1.** Technical properties of measuring devices

Instrument	Measuring range	Accuracy
J-type thermocouple	-100–700°C	±0.3°C
Pyranometer	300–1200 W/m <sup>2</sup>	±1 W/m <sup>2</sup>
Rotameter	0.1–1.0 l/min	±0.05 l/min

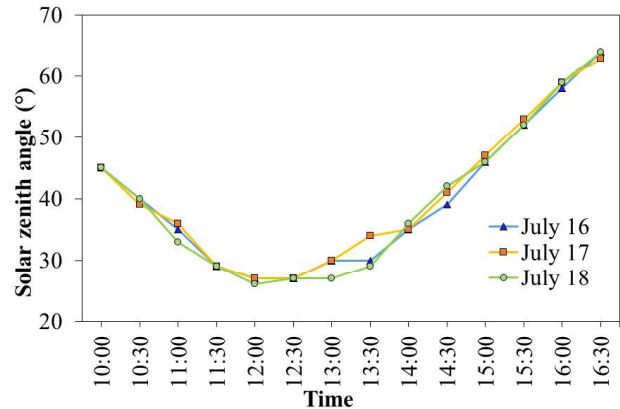
Only the first law efficiency of thermodynamics defined by Eq. (1) is not a measure for the energetic analysis of a system. Therefore, implementing the second law analysis of thermodynamics is also important in terms of evaluating qualitative reduction in the system, entropy generation and potentials of work performing of the system. Exergy efficiency of the system was computed assuming kinetic and potential energy changes are negligible, flow is steady and specific heat for the working fluid (water) is constant. Exergy efficiency ( $\eta_{ex}$ ), in other words second-law efficiency of the system was determined as

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{m}[(h_o - h_i) - T_e(s_o - s_i)]}{(1 - \frac{T_e}{T_{sun}})Q_{abs}} \quad (2)$$

where  $h$  is enthalpy of water in kJ/kg,  $s$  is entropy in kJ/kg·K, subscripts  $o$  and  $i$  refer to outlet and inlet of the absorber, respectively,  $T_e$  is 293 K (i.e., dead state temperature),  $T_{sun}$  is surface temperature of the sun taken as 6000 K and  $Q_{abs}$  is absorbed solar energy by parabolic dish in W. More detailed expression on the calculations of exergy efficiency of the system can be found in the study by Devecioğlu et al. [24].

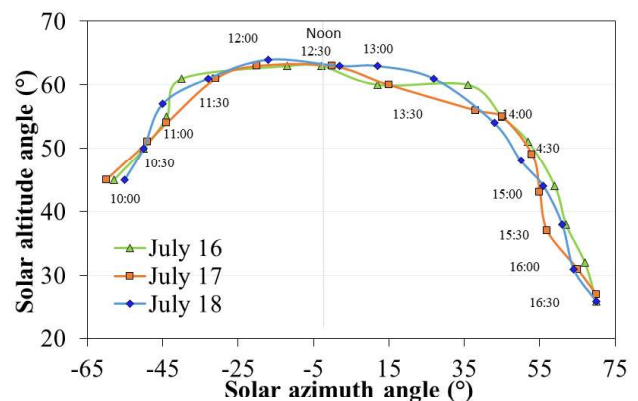
**Results and discussion**

The data provided in this paper cover results of an experimental work carried on July 16-18, 2018. The measurements were recorded from 10:00 to 16:30 at every half an hour. The variation of solar zenith angle with time is plotted in Fig. 3. It is clearly seen that solar zenith angle decreases up to noon, however it increases after 13:30 till sunset due to deviation of the sun from vertical axis.



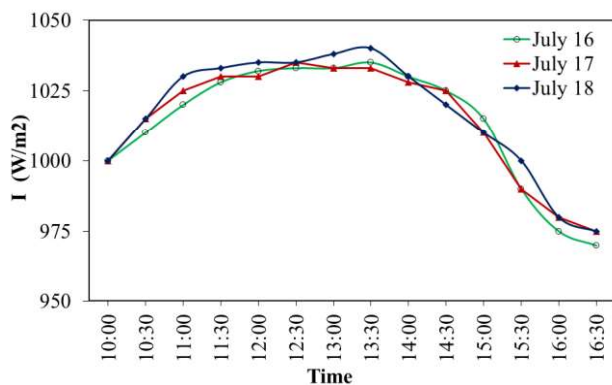
**Figure 3.** The distribution of solar zenith angle versus time

The distribution of solar altitude angle versus solar azimuth angle is demonstrated in Fig. 4. It can be seen that, solar azimuth angle is negative in the morning till noon and it is zero around noon. The parabolic dish mirror is exactly directed to the south at this time. Then solar azimuth angle takes positive value while the sun moves towards the west. Note that the sum solar altitude angle and solar zenith angle is considered as 90° according to the study by Kalogirou [23]. Therefore, solar altitude angle increases as solar zenith angle is reduced. Since the constructed system tracks the sun in two axes, sunbeam has been maintained to reach perpendicular as much as possible.



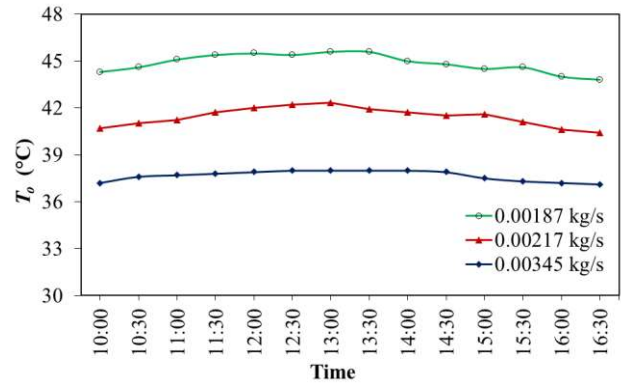
**Figure 4.** The variation of solar altitude angle with solar azimuth angle during the days

In the experimental investigation tap water of 28°C was used for the system feed. Mass flow rate, focus point temperature and temperatures of water at absorber inlet-exit sections were measured for determining absorbed energy. Intensity of solar radiation amount,  $I$  was measured by a pyranometer, hence energy coming from the sun was calculated. As a result, general efficiency of the system was computed using Eq. (1). Fig. 5 presents measured solar radiation magnitudes ( $I$ ) on July 16-18, 2018 from 10:00 to 16:30 at every 30 minutes. It is clear that  $I$  value on July 18 is 1000 W/m<sup>2</sup> at 10:00 while it has a peak magnitude of 1040 W/m<sup>2</sup> at 13:30 o'clock. Note that there is a reduction in  $I$  about by 5% after 16:00. Similar behaviour for  $I$  distribution can be observed for other days as shown in Fig. 5. There is a difference of  $\pm 15$  W/m<sup>2</sup> between the measured  $I$  values at same times considering the other days.



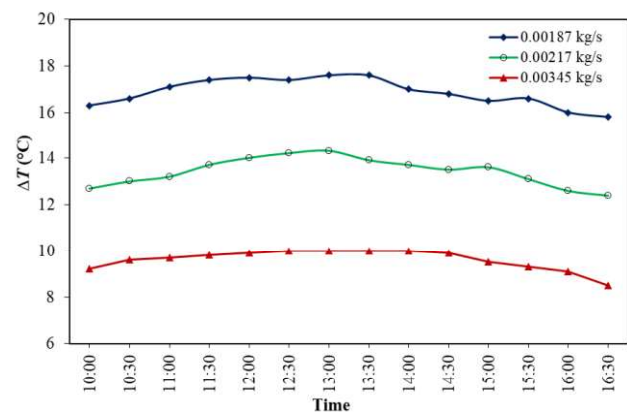
**Figure 5.** Time dependent distribution of solar radiation intensity

The temperature at outlet of absorber,  $T_o$  was measured during the investigation. The time dependent distribution of  $T_o$  for studied mass flow rate,  $\dot{m}$  cases can be seen in Fig. 6. Note that temperature of water at inlet of the absorber is 28°C for the covered cases. As expected,  $T_o$  reaches the highest value around noon for all  $\dot{m}$ . Furthermore,  $T_o$  is reduced obviously as  $\dot{m}$  increases such that average values of  $T_o$  can be determined from Fig. 6 as 44.9°C, 41.4°C and 37.7°C for  $\dot{m}$  cases of 0.00187, 0.00217 and 0.00345 kg/s, respectively.



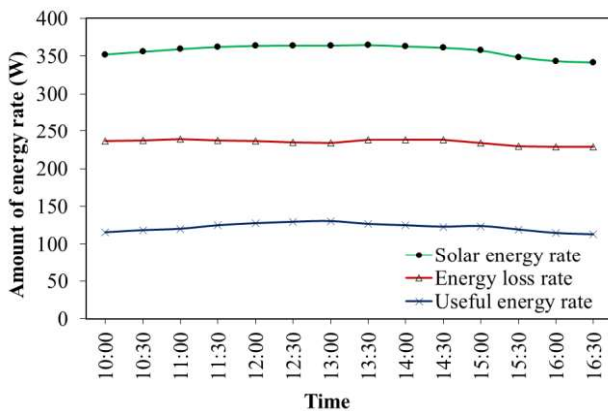
**Figure 6.** Time dependent distribution of temperature at outlet of the absorber

Water temperature difference between outlet and inlet of the absorber,  $\Delta T$  is demonstrated in Fig. 7 for three cases of mass flow rates,  $\dot{m}$ . Similar to the behaviour observed in Fig. 6,  $\Delta T$  is decreased as  $\dot{m}$  increases such that average  $\Delta T$  values are obtained as 16.9, 13.4 and 9.6°C for  $\dot{m}$  values of 0.00187, 0.00217 and 0.00345 kg/s, respectively. Depending on measured data time, it can be seen that the difference between maximum and minimum values of  $\Delta T$  is about 2°C for any case of  $\dot{m}$ . It should be noted also that  $\Delta T$  decreases as  $I$  is reduced and it is maximum for the highest measured magnitude of  $I$ .



**Figure 7.** Time dependent distribution of temperature difference between outlet and inlet of the absorber

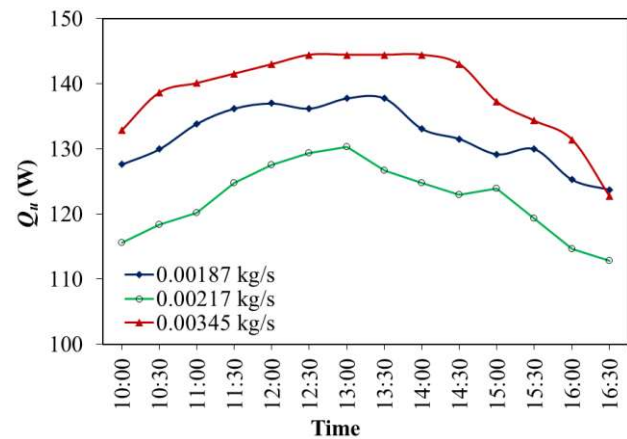
The solar energy captured by parabolic dish concentrator is not completely transferred to the water as a useful energy rate due to energy loss to surroundings. Therefore the rate of energy loss can be determined subtracting amount of useful energy from the solar energy (Eq. 1). As a result, the time dependent variations of solar energy rate, energy loss rate and useful energy rate are presented in Fig. 8 for the sample case of  $\dot{m} = 0.00217$  kg/s. Similar behaviours were observed for the other studied mass flow rate cases. It is evident that energy loss develops with a considerable amount such that about 65% of solar energy is not used in this case directly passing to the surrounds. The systems reducing these losses as much as possible should be designed in order to have the situations with improved efficiency.



**Figure 8.** Time dependent distribution of rate of energy amounts for the sample case of  $\dot{m} = 0.00217$  kg/s

The distribution of useful thermal energy amount ( $Q_u$ ) transferred to water is presented in Fig. 9. As expected from Eq. (1),  $Q_u$  increases for higher values of both  $\dot{m}$  and  $\Delta T$ . Although average  $\Delta T$  for  $\dot{m} = 0.00187$  kg/s is greater than that for  $\dot{m} = 0.00345$  kg/s as seen in Fig. 7,  $Q_u$  is the highest for the latter case as confirmed in Fig. 9 due to the fact that increase in  $\dot{m}$  is higher compared to that in  $\Delta T$ . Therefore, amounts of  $Q_u$  were determined nearly as 132, 122 and 139 W for  $\dot{m}$  values of 1.87, 2.17 and 3.45 g/s, respectively. Furthermore, it should be noteworthy to recall that generally useful energy transferred to water is about 37% of coming solar

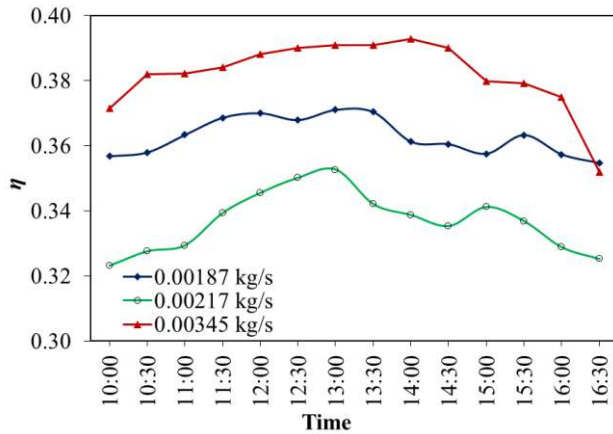
radiation energy and remaining part is thermal heat loss to the surroundings.



**Figure 9.** Variation of useful heat energy transferred to the water with time

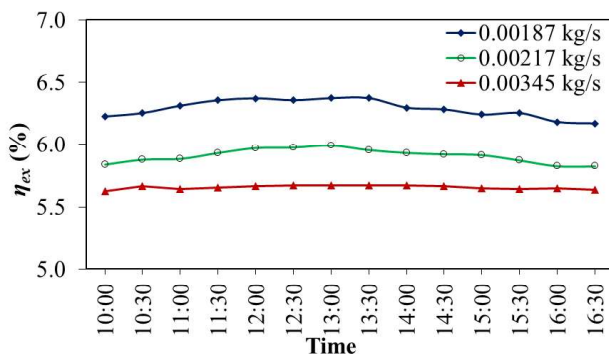
The thermal efficiency of the system,  $\eta$  which is defined as the ratio of useful thermal energy to the solar energy on the parabolic dish, is calculated using Eq. (1). Time dependent distribution of  $\eta$  is given in Fig. 10. First of all,  $\eta$  is enhanced around noon and it is highest at this time. Moreover, the distributions observed for  $Q_u$  in Fig. 9 are the same those seen for  $\eta$  in Fig. 10 as far as the effect of  $\dot{m}$  is considered. The highest efficiency values were obtained for  $\dot{m} = 0.00345$  kg/s as about 38% while  $\eta$  values were found as nearly 36% and 34% for  $\dot{m}$  values of 0.00187 kg/s and 0.00217 kg/s, respectively. Although a parabolic dish collector with a comparable small size was used in present investigation, the efficiency of the system is satisfactory and reasonable referring to the results in the available literature. Usually, the computed efficiency values are known to be 30% to 50%. The size of reflector (i.e., parabolic dish collector) has not significant effect on efficiency; however, it plays a major role on required outlet fluid temperature.





**Figure 10.** Time dependent distribution of the system thermal efficiency for covered  $\dot{m}$  cases

The exergy efficiency of the system, ( $\eta_{ex}$ ) was computed in the investigation using Eq. (2) and the distribution of  $\eta_{ex}$  versus time is shown in Fig. 11. Obviously, higher values of  $\eta_{ex}$  develop around noon time. In addition,  $\eta_{ex}$  is reduced as  $\dot{m}$  increases such that average amounts of  $\eta_{ex}$  can be detected from Fig. 11 as 6.3%, 5.9% 5.7% for 0.00187, 0.00217 and 0.00345 kg/s, respectively.



**Figure 11.** The behaviour of exergy efficiency over measurement period

### 3.1. Uncertainty analysis in the measurements

The area of parabolic dish collector,  $A$  and specific heat of water,  $C_p$  in Eq. (1) are constant parameters. Therefore, the uncertainty analysis in thermal efficiency of the system ( $U_\eta$ ) is performed as a function of measured parameters of  $\Delta T$ ,  $I$  and  $\dot{m}$  seen Eq. (1). Then,  $U_\eta$  is calculated as [24]

$$U_\eta = \left[ \left( \frac{\Delta T}{I} U_{\dot{m}} \right)^2 + \left( \frac{\Delta T \dot{m}}{I^2} U_I \right)^2 + \left( \frac{\dot{m}}{I} U_T \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

where  $U_{\dot{m}}$ ,  $U_I$  and  $U_T$  are uncertainties in rotameter, pyranometer and thermocouple instruments, respectively as provided in Table 1. Hence, uncertainty in efficiency of the system,  $U_\eta$  has been computed using Eq. (3) as 2.87% to 3.70% for the experimental work which can be considered as an acceptable error range for the engineering applications.

## Conclusion

The present investigation is directed to obtain hot water through a new design of solar collector system consisted of a sun-tracking parabolic dish mirror and a spiral absorber element. Parabolic dish collector is a mirror having a comparatively small diameter of 70 cm. Water steadily flows through the system. The system efficiency values are calculated for 3 cases of  $\dot{m}$  as 0.00187, 0.00217 and 0.00345 kg/s. The study is novel in term of designing a compact solar-tracking system of parabolic dish collector (mirror) and absorber element as well as different ambient conditions noted in literature. The basic results of the investigation can be recalled as follows:

- When solar radiation is 970 to 1040  $W/m^2$ , average thermal power amount of 130 W was obtained by parabolic dish collector tracking the sun in two axes.
- It was experienced that temperature of 0.5 L water was increased about by  $10^\circ C$  in 145 seconds.
- $\Delta T$  was higher at lowest  $\dot{m}$  case, but the heat energy amount transferred to water was maximum for greatest  $\dot{m}$  studied herein.
- The thermal efficiency of system was computed as 32 to 39% for the covered mass flow rates and  $\eta$  was highest for 0.00345 kg/s while it was lowest for 0.00217 kg/s.
- Depending on  $\dot{m}$ , average exergy efficiency was calculated as 5.7 to 6.3% and  $\eta_{ex}$  is increased as  $\dot{m}$  is reduced.

## Acknowledgements

The investigation was supported by Dicle University Scientific Research Projects Coordination Unit with research project no. MÜHENDİSLİK.18.013.



## References

- [1]Mahdi, K., & Bellel, N. (2014). Development of a spherical solar collector with a cylindrical receiver. *Energy Procedia*, 52, 438-448.
- [2]Sharma, M., Vaghani, J., Bihani, N., Shinde, N. and Gunge, V.C. (2015). Design, fabrication and analysis of helical coil receiver with varying pitch for solar parabolic dish concentrator. *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering*, 4(2), 49-54.
- [3]Pavlović, S. R., Bellos, E. A., Stefanović, V. P., Tzivanidis, C., & Stamenković, Z. M. (2016). Design, simulation and optimization of a solar dish collector with spiral-coil thermal absorber. *Thermal science*, 20(4), 1387-1397.
- [4]Prado, G. O., Vieira, L. G. M., & Damasceno, J. J. R. (2016). Solar dish concentrator for desalting water. *Solar Energy*, 136, 659-667.
- [5]Thirunavukkarasu, V and Cheralathan, M. (2016). Receivers of solar parabolic dish collector system for low and medium temperature applications: A review. *International Journal of Control Theory and Applications*, 9, 333-344.
- [6]Hijazi, H., Mokhiamar, O., & Elsamni, O. (2016). Mechanical design of a low cost parabolic solar dish concentrator. *Alexandria Engineering Journal*, 55(1), 1-11.
- [7]Pavlovic, S., Bellos, E., Le Roux, W. G., Stefanovic, V., & Tzivanidis, C. (2017). Experimental investigation and parametric analysis of a solar thermal dish collector with spiral absorber. *Applied Thermal Engineering*, 121, 126-135.
- [8]Stefanovic, V. P., Pavlovic, S. R., Bellos, E., & Tzivanidis, C. (2018). A detailed parametric analysis of a solar dish collector. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 25, 99-110.
- [9]Kumar, A., Sharma, M., Thakur, P., Thakur, V. K., Rahatekar, S. S., & Kumar, R. (2020). A review on exergy analysis of solar parabolic collectors. *Solar Energy*, 197, 411-432.
- [10]Pavlović, S. R., Stefanović, V. P., Janković, Ž. M., Bellos, E., & Vasiljević, D. M. (2019). Daily performance of a solar dish collector. *Thermal Science*, 23(3 Part B), 2107-2115.
- [11]Narasimha Rao, K.V., Saivesh, V.D. (2019). Effect of variation of mass flow rate on performance of solar parabolic dish collector with dome-cylindrical receiver. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 9, 965-980.
- [12]Shanmugam, S., & Christraj, W. (2005). The tracking of the sun for solar paraboloidal dish concentrators. *Journal of Solar Energy Engineering*, 127(1), 156-160.
- [13]Tharamuttam, J. K., & Ng, A. K. (2017). Design and development of an automatic solar tracker. *Energy Procedia*, 143, 629-634.
- [14]Natarajan, S.K. Thampi, V., Shaw, R., Kumar, V.S., Nandu, R.S., Jayan, V. Rajagopalan, N., Kandasamy, R.K. (2019). Experimental analysis of a two-axis tracking system for solar parabolic dish collector. *International Journal of Energy Research*, 43(2), 1012-1018.
- [15]Parthipan, J., Nagalingeswara, R. B., & Senthilkumar, S. (2016). Design of one axis three position solar tracking system for paraboloidal dish solar collector. *Materials Today: Proceedings*, 3, 2493-2500.
- [16]Ciobanu, D., & Jaliu, C. (2014). Innovative tracking system for parabolic dish solar collector. In *The 11th IFToMM International Symposium on Science of Mechanisms and Machines*, Springer, Cham, pp. 317-328.
- [17]Bellos, E., Korres, D., Tzivanidis, C., & Antonopoulos, K. A. (2016). Design, simulation and optimization of a compound parabolic collector. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 16, 53-63.
- [18]Kumar, N. S., & Reddy, K. S. (2008). Comparison of receivers for solar dish collector system. *Energy Conversion and Management*, 49(4), 812-819.
- [19]Imadojemu, H. E. (1995). Concentrating parabolic collectors: A patent survey. *Energy conversion and management*, 36(4), 225-237.
- [20]Kaushika, N. D., & Reddy, K. S. (2000). Performance of a low cost solar paraboloidal

- dish steam generating system. *Energy conversion and management*, 41(7), 713-726.
- [21] Seo, T., Cho, H., Oh, S., Lee, J., Kang, Y., & Han, G. (2009). Performance comparison of dish solar collector system with mirror arrays and receiver shapes. *Progress in Computational Fluid Dynamics*, 9, 208-216.
- [22] Li, L., & Dubowsky, S. (2011). A new design approach for solar concentrating parabolic dish based on optimized flexible petals. *Mechanism and machine theory*, 46(10), 1536-1548.
- [23] Kalogirou, S. A. (2004). Solar thermal collectors and applications. *Progress in energy and combustion science*, 30(3), 231-295.
- [24] Devocioğlu, A.G., Oruç, V. & Tuncer, Z. (2018). Energy and exergy analyses of a solar air heater with wire mesh-covered absorber plate. *International Journal of Exergy*, 26, 3-20.



Araştırma Makalesi / Research Article

# Fiber Takviyeli Yapıştırıcıların Kullanıldığı Tek Tesirli Yapışma Bağlantılarında Hasar Analizi

## Failure Analysis of Fiber Reinforced Adhesively Single Lap Joints

Kadir TURAN<sup>1\*</sup>, Sinan Barut<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, kturan@dicle.edu.tr

<sup>1</sup>Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, sinanbarut.1@gmail.com

### MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*

Geliş: 4 Ocak 2021  
Düzeltilme: 2 Şubat 2021  
Kabul: 11 Şubat 2021

*Anahtar kelimeler:*

Tek tesirli yapışma bağlantıları,  
kompozit levhalar, yapıştırıcıların  
güçlendirilmesi.

### ÖZ

Bu çalışmada; tek yön cam fiberlerle takviye edilmiş yapıştırıcılar kullanılarak üretilmiş tek tesirli yapışma bağlantılarının hasar davranışları deneysel yöntemlerle araştırılmıştır. Kompozit levhaların tek tesirli bağlantılar ile birleştirilmesinde epoksi yapıştırıcı emdirilmiş fiberler kullanılmıştır. İki kompozit levha arasında yapıştırıcı emdirilmiş fiber tabakaları kullanılarak bağlantının güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Takviye edilmiş yapıştırıcılar ile elde edilen bağlantıların hasar yükleri, takviye edilmemiş yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların hasar yükleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca fiber takviye açısının etkisini araştırmak için 0°, 15° 30° ve 45° fiber takviye açıları kullanılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda yapıştırıcıların takviye edilmesinin hasar yüklerini %7'ye varan oranlarda arttırabildiği belirlenmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.853260

### ARTICLE INFO

*Article history:*

Received: 4 January 2021  
Revised: 2 February 2021  
Accepted: 11 February 2021

*Keywords:*

Single –Lap Joints, composite  
plates, reinforcing of adhesive

### ABSTRACT

In this study; experimental failure analysis was investigated on adhesively single-lap joints produced using adhesives reinforced with uni-directional glass fibers. Epoxy adhesive impregnated fiber were used to join composite plates with single-lap joints. It is aimed to strengthen the joint by using fiber layers impregnated with adhesive between the two composite plates. The failure loads of the joints obtained with reinforced adhesives were compared with the failure loads of the joints attached to the non-reinforced adhesive. Also, 0°, 15° 30° and 45° fiber reinforcement angles were used to investigate the effect of fiber reinforcement angle. As a result of the experimental study, it was determined that reinforcing the adhesives can increase the damage loads by up to 7%.

\* Sorumlu yazar / Correspondence

Kadir TURAN  
✉kturan@dicle.edu.tr

## Giriş

Kompozit malzemelerin birleştirilmesinde yapışma bağlantıları oldukça yaygın bir uygulamadır. Yapışma bağlantısı; birbirine birleştirilecek iki yüzey arasına uygulanan yapıştırıcı ile elde edilir. Bu birleştirmenin geometrik yapısı bağlantının türünü belirler. Gerilme yığılmalarını azaltması ve birleştirilen parçalara zarar vermemesi bu bağlantı türünün en önemli avantajıdır. En büyük dezavantajlarından biri ise yapışma için belirli bir yüzey alanına duyulan ihtiyaçtır. Bindirme mesafesi olarak ta adlandırılan iki parçanın üst üste geldiği bu durum bağlantı mukavemetini etkilemektedir. Bağlantı mukavemetinin istenen seviyeye getirilmesi bindirme mesafesi, yapıştırıcı kalınlığı ve yapışan kalınlığı gibi geometrik parametrelere bağlıdır. Yapışma olayı hem kimyasal hemde fiziksel bağlar içerdiğinden geometrik parametrelerin yanı sıra kimyasal uyum ve yapıştırıcı mukavemeti de bağlantı mukavemeti üzerine belirleyici rol oynar. Bağlantı mukavemetinin artırılması için yapıştırıcının mukavemetini etkileyebilecek araştırmaların yapılması önemlidir.

Giv vd. (2018) yaptıkları derleme çalışmada mikro ve makro parçacıklarla takviye edilmiş yapıştırıcıların kullanıldığı bağlantıların mukavemeti üzerine kullanılan takviyelerin etkilerini tartışmışlardır [1]. Jojibabu vd. (2016) yaptıkları çalışmada farklı nano-karbon dolgular kullanılarak takviye edilmiş yapıştırıcıların kullanıldığı tek tesirli yapışma bağlantılarının mukavemetini, termal kararlılık ve reholojik özelliklerinin değişimlerini deneysel yöntemlerle araştırmışlardır. Bağlantı mukavemetinin ağırlıkça %1 oranında kullanılması ile bağlantı mukavemetinin saf yapıştırıcı kullanılan bağlantıya göre % 53'e varan oranlarda arttığını belirlemişlerdir[2]. Udatha vd. (2020) doğal fiberler ile güçlendirilmiş yapıştırıcılar kullanılarak birleştirilmiş 6061 alüminyum levhaların tek tesirli yapışma bağlantılarının mukavemeti üzerine etkilerini sayısal yöntemlerle araştırmışlardır. Sonuç olarak bağlantının kayma gerilmelerinin saf epoksi yapıştırıcıya göre içerisine eklenen takviyeler ile arttığını belirlemişlerdir [3].Hülagü vd. (2020) çift tesirli yapışma bağlantıları ile birleştirilmiş 2024

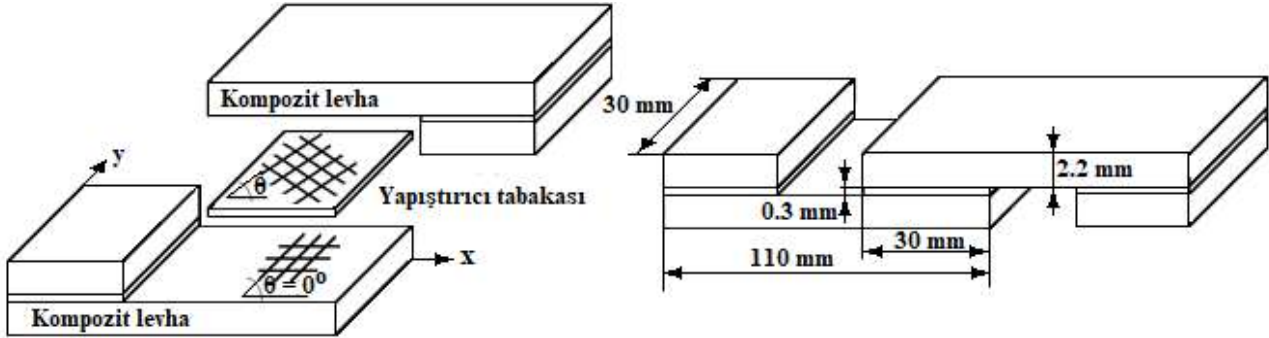
alüminyum levhaların bağlantı mukavemeti üzerine nano karbon dolguların etkilerini deneysel yöntemlerle araştırmışlardır. Bağlantı mukavemetinin nano karbon dolgular ile %81'e varan oranlarda arttığını belirlemişlerdir [4]. Khalili vd. (2008) tek tesirli yapışma bağlantıları ile birleştirilmiş cam fiber/epoksi kompozit levhalarda çekme, eğilme, darbe ve yorulma mukavemeti üzerine tek yönlü ve kırılmış cam fiber takviyeli yapıştırıcıların etkilerini araştırmışlardır. En yüksek bağlantı mukavemeti değerlerinin hacimce %30 yoğunluktaki takviye için elde edildiğini belirlemişlerdir. Bağlantı mukavemeti üzerine takviye etkisi olarak; çekme mukavemetinin %72, eğilme mukavemetinin % 112 ve çarpma mukavemetinin %63 oranlarında arttığını tespit etmişlerdir [5]. Turan (2016) tarafından yapılan çalışmada tek ve çift bindirmeli yapışma bağlantılarının mukavemeti üzerine fiber takviye açısının etkisini araştırmıştır. Örgülü cam fiber/epoksi kompozit levhaların birleştirilmesinde kullanılan yamaların fiber takviye açısının bağlantı mukavemeti üzerine etkileri incelenmiştir. Yama fiber takviye açısı olarak 0°, 15°, 30° ve 45° kullanılması ile bağlantı mukavemetinin % 10 ile % 45 arası değişen oranlarda arttığını belirlemiştir [6]. Ayatollahi vd. (2017) karbon nanotüp ve silika katkılı yapıştırıcılarla birleştirilmiş tek tesirli yapışma bağlantısı ile birleştirilmiş alüminyum levhalarda kesme mukavemeti ve kopma uzamasının değişimlerini araştırmışlardır. Yapıştırıcıların güçlendirilmesi sonucunda kesme mukavemetinin %27.2'ye kadar, kopma uzamasının ise %19.7 değerine kadar artabildiğini tespit etmişlerdir [7]. Khalili vd.(2010) nano kil katkılı epoksi yapıştırıcı ile tek tesirli yapışma bağlantısı ile birleştirilmiş kompozit levhalarda kesme ve darbe mukavemetinin değişimini araştırmışlardır. Nano kil katkının bağlantının kesme mukavemetini % 28, enerji yutma kapasitesini ise % 22'ye varan değerlerde arttırdığını belirlemişlerdir [8]. Meguid ve Sun (2003) tarafından yapılan çalışmada 6064 alüminyum levha ve karbon/epoksi kompozit levhanın tek tesirli yapışma bağlantıları ile birleştirmesinde takviye edilmiş yapıştırıcıların bağlantı mukavemeti üzerine etkilerini araştırmışlardır.

Yapıştırıcının takviye edilmesinde karbon nano tüpler ve alüminyum nano tüpler kullanılmıştır. Takviye edilmiş yapıştırıcılarla yapılan tek tesirli yapışma bağlantısının mukavemetinin %12.5 ile %50 arası değişen oranlarda arttırdığını belirlemişlerdir [9]. Turan ve Pekbey (2014) atık kompozit tozları ile takviye edilmiş yapıştırıcılarla birleştirilen cam fiber/epoksi kompozit levhaların tek tesirli yapışma bağlantı mukavemetinin değişimini araştırmışlardır. Atık karbon fiber/epoksi ve cam fiber/epoksi kompozitlerin tozları ile takviye edilmiş yapıştırıcılardan elde edilen bağlantı mukavemetinin % 1.3 ile %22.8 arası değişen oranlarda arttırdığını tespit etmişlerdir [10]. Silva vd. (2012) mikro mantar katılarak takviye edilen yapıştırıcılar ile üretilmiş tek tesirli yapışma bağlantısının kırılma davranışlarını araştırmışlardır. Takviye miktarının artmasına bağlı olarak hasar tiplerinin değiştiğini belirlemişlerdir [11].

Bu çalışmada, tek yönlü fiber kumaşı ile güçlendirilmiş yapıştırıcılar kullanılarak üretilmiş tek tesirli yapışma bağlantılarının hasar davranışları araştırılmıştır. Fiber takviye açısının etkilerini inceleyebilmek için  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  ve  $45^\circ$  açıları kullanılmıştır. Takviyeli yapıştırıcı ile elde edilen bağlantıların mukavemeti sadece yapıştırıcının kullanıldığı bağlantı mukavemeti ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

## Deneysel Çalışma

Tek tesirli yapışma bağlantılarını üretmek için örgülü cam fiber/epoksi kompozit levhalar, tek yön cam fiberler ve Loctite 9466 epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kompozit levhalar  $350 \text{ gr/m}^2$  ve yapıştırıcıyı güçlendirmek içinse  $250 \text{ gr/m}^2$  yoğunluğa sahip tek yön cam fiberler kullanılmıştır. Şekil 1'de problemin boyutları ve tek tesirli yapışma bağlantısının şekli gösterilmiştir.



Şekil 1. Problemin tanımı.

Şekil 1'de gösterilen bağlantıda yapıştırıcı kalınlığı olarak 0.3 mm, bindirme uzunluğu olarak ta 30 mm değeri kullanılmıştır. Yapıştırıcı kalınlığı ve bindirme uzunluğunun ayarlanabilmesi ve tüm numunelerde standart hale getirilebilmesi için Şekil 2'de gösterilen kalıplar kullanılmıştır. Üç boyutlu yazıcıdan üretilen kalıplarda her bir bağlantı türü için üçer adet numune üretilmiştir.



Şekil 2. Yapışma bağlantısının üretildiği kalıp.

Yapışma bağlantılarının hazırlanırken İzoreel firmasından temin edilen örgülü cam fiber/epoksi kompozit levhalar  $110\text{mm} \times 30\text{mm} \times 2.2\text{mm}$  boyutlarında kesilerek bağlantıya hazır hale getirilmiştir. Kompozit levhaların yapıştırılacak yüzeyleri 30 mm uzunluğunda 600grid kum zımpara ile düzleştirilmiştir. Pamuklu bez ve aseton kullanılarak silinen yüzeyler kurumaması için bekletilmiştir. Yapıştırıcıyı takviye etmek amacı ile kullanılacak tek yön cam fiberlere Loctite 9466 epoksi yapıştırıcı emdirilerek  $30\text{mm} \times 30\text{mm}$  boyutlarında kesilmiş ve yapışma bölgesine yerleştirilmiştir. Oda sıcaklığında bir hafta süre ile kurlaşması beklenmiştir. Kurlaşma süresi sonunda statik çekme deneyi ile yapışma bağlantıları kırılana kadar yüklenmiştir. Statik



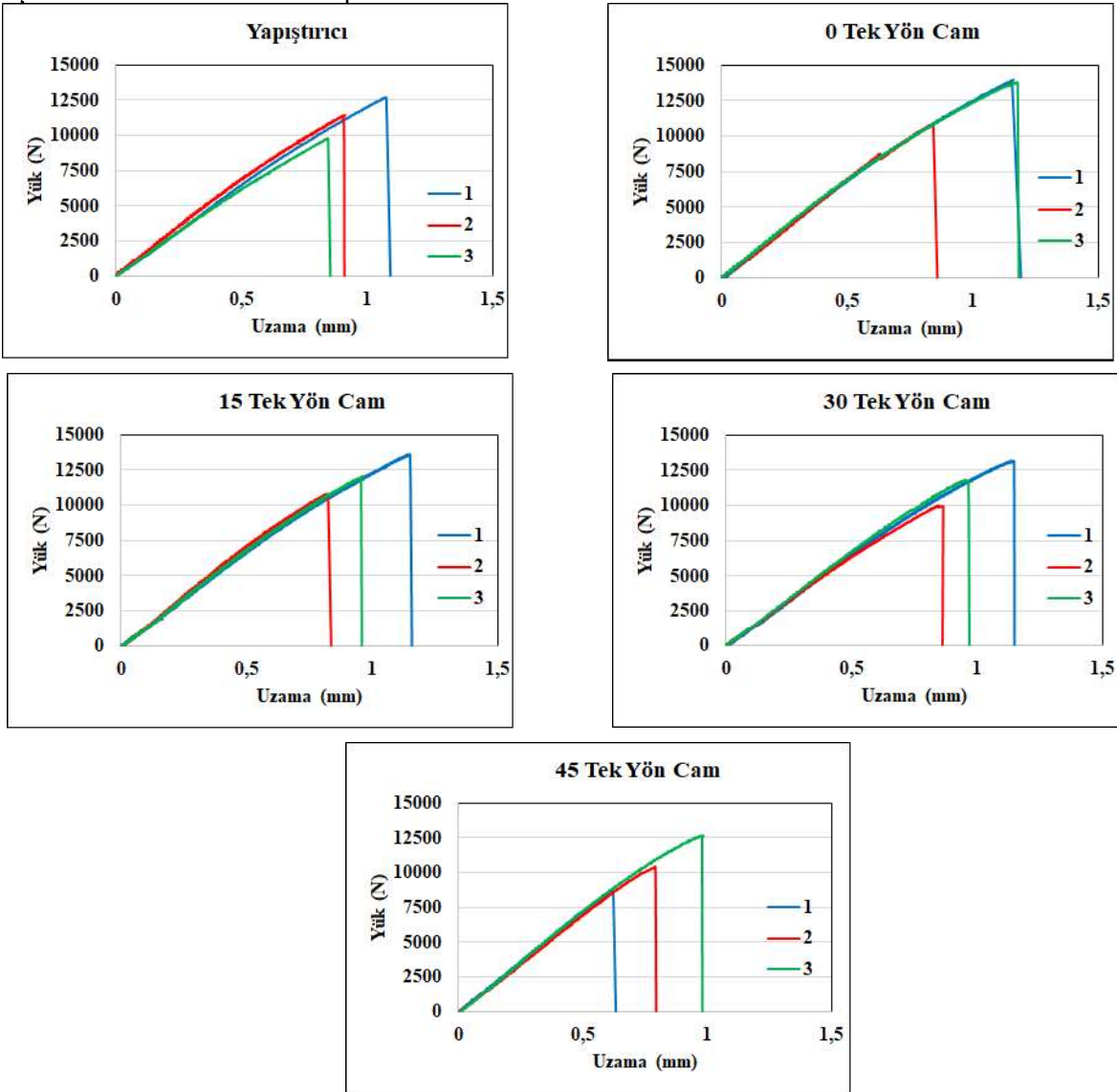
çekme deneyleri 100 kN kapasiteli İnstron BS8800 üniversal çekme test makinesinde 1 mm/dk çekme hızında ve oda sıcaklığı şartlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te deney düzeneği görülmektedir.

Statik çekme deneylerinden elde edilen yük/uzama sonuçları kullanılarak bağlantının hasar davranışlarının görülebileceği grafikler elde edilmiştir. Deneylerde üst çene sabit olmak üzere alt çeneden statik çekme yükü uygulanmıştır. Deneyler sırasında tek tesirli yapışma bağlantılarının eksantrik yapısının sonuçları etkilememesi için bağlantıların serbest uçlarının ters kısımlarına pabuçlar yapıştırılmıştır. Bu bağlantı pabuçları bağlantı için kullanılan kompozit levhalardan

30mx30mm boyutlarında imal edilmiştir.



Şekil 3. Deney düzeneği.



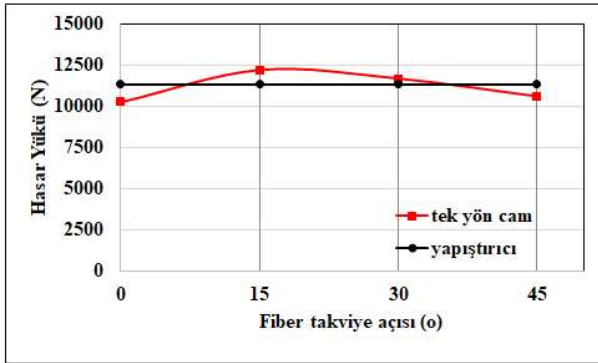
Şekil 4. Deneysel çalışma sonuç grafikleri.

Şekil 4'te deneysel çalışma sonucunda katkısız yapıştırıcı ve 0°, 15°, 30° ve 45° fiber takviye açılı fiberler kullanılarak takviye edilmiş yapıştırıcıların yük/uzama sonuç grafikleri gösterilmiştir.

Şekil 4'ten görüldüğü gibi yük ile uzama değerleri tek tesirli yapışma bağlantılarının genel davranışlarına uygun olarak lineer olarak artmış ve belirli bir yük değerine (en büyük hasar yükü) ulaşıldığında aniden düşmüştür. Grafiklerde 1, 2 ve 3 olarak deney numunelerinin numaraları gösterilmiştir. Görülen bu davranış tek tesirli yapışma bağlantılarının hasar yüklerinin araştırıldığı [1-10] numaralı referans çalışmalarda da gözlemlenmiştir.

## Sonuçlar

Şekil 4'te sunulmuş olan deneysel çalışma sonuç grafiklerindeki her bir numuneye ait en büyük yük değerlerinin aritmetik ortalamaları alınarak hasar yükü değerlerine ulaşılmıştır. Bu sonuçlar kullanılarak Şekil 5'te yer alan grafik çizilmiştir.



Şekil 5. Hasar yüklerinin karşılaştırılması.

Şekil 5'ten görüldüğü gibi yapıştırıcının tek yön cam fiber kullanılarak takviye edilmesi

Takviyesiz Yapıştırıcı	0° Cam fiber Takviyeli Yapıştırıcı	15° Cam fiber Takviyeli Yapıştırıcı	30° Cam fiber Takviyeli Yapıştırıcı	45° Cam fiber Takviyeli Yapıştırıcı
Adhezyon + kohezyon hasarı	Adhezyon hasarı	Adhezyon + kohezyon hasarı	Adhezyon + kohezyon hasarı	Adhezyon hasarı

Şekil6. Deneysel çalışma sonucunda gözlemlenen numunelerde meydana gelen hasar tipleri.

sonucunda hasar yüklerinin değiştiği görülmektedir. Hasar yüklerinin takviye açısından değerlendirmesinde 0° ve 45° fiber takviye açısı değerleri için yapışma bağlantısı mukavemetinin sadece yapıştırıcı kullanılmış numunelere göre düşük olduğu, 15° ve 30° fiber takviye açıları içinse hasar yüklerinin artış gösterdiği belirlenmiştir. En yüksek hasar yükünün 15° fiber takviye açılı yapıştırıcı için 12163.06 N olarak elde edilirken, en düşük hasar yükü ise 0° fiber takviye açısına sahip yapıştırıcı için 10261.51N olarak elde edilmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarının daha iyi anlaşılması açısından elde edilen değerler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Hasar yüklerinin karşılaştırılması tablosu

Fiber takviye açısı (°)	Takviyeli Yapıştırıcı Hasar Yükü (N)	Takviyesiz Yapıştırıcı Hasar Yükü (N)	Değişim Oranı %
0	10261.51	11308.9	-9.25
15	12163.06	11308.9	+7.56
30	11658.5	11308.9	+3.09
45	10608.53	11308.9	-6.19
+ Artış oranı		- Azalma oranı	

Tablo 1' incelendiğinde; fiber takviye açısının bağlantı mukavemetini %7 civarında değişen oranlarda arttırabildiği görülmüştür. Yapışma bağlantılarının hasar yükleri değişiminin önemli olduğu kadar hasar tiplerinin değişimi de önem arz etmektedir. Şekil 6'da deneysel çalışma sonucunda kırılmış yüzeylerin fotoğrafları sunulmuştur.

Şekil 6'dan görüldüğü gibi sadece yapıştırıcı, 15° ve 30° fiberler ile takviye edilmiş yapıştırıcılar kullanılarak üretilen bağlantılarda adhezyon ve kohezyon hasarının birlikte gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum hasar yüklerinin artışına sebep olmaktadır. Fiber takviye açısı olarak 0° ve 45° fiber takviye açılarının kullanıldığı bağlantılarda ise sadece adhezyon hasarı meydana gelmiştir. Bu takviye açılarının hasar yüklerinin düşük olma sebebi de sadece adhezyon hasarı meydana gelmiş olmasıdır.

### Tartışma.

Bu çalışmanın ana amacı sürekli fiberler kullanılarak takviye edilmiş yapıştırıcıların tek tesirli yapışma bağlantısı ile birleştirilmiş kompozit levhalarda hasar davranışlarının araştırılmasıdır. Yapışma bağlantılarında genellikle yapışan mukavemeti yapıştırıcı mukavemetinden büyük olduğu için bağlantının mukavemeti yapışma mukavemetine bağlı olmaktadır. Yapışma mukavemetinin artırılabilmesi ancak adhezyon ve kohezyon kuvvetlerinin dengeli bir kullanımı ve bağlantı türü ile ilgili olmaktadır. Yapıştırıcıların takviye edilmesinde ana amaç aynı yapıştırıcı kullanılarak daha mukavemetli bağlantılar elde edilebilmesidir. Bu amaçla yapılan araştırmada sürekli fiberler ile takviye edilmiş yapıştırıcıların bağlantı mukavemetini özellikle fiber takviye açısına bağlı olarak değiştirdiği görülmüştür. Sonuç olarak 15° ve 30° fiber takviye açılı tek yön cam fiber kumaşlar kullanılarak yapılan güçlendirmenin başarılı olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen değişimlerin göz önüne alınarak farklı fiber takviye çeşitlerinin kullanılması bağlantı mukavemeti açısından yapılacak farklı çalışmalara ışık tutacaktır.

### Teşekkür

Bu çalışmayı MÜHENDİSLİK 18.014 numaralı proje ile desteklediği için DÜBAP birimine teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

[1] Giv A.N., Ayatollahi M.R., Ghaffari S.H., Silva L.F.M., (2018). Effect of reinforcements at different scales on mechanical properties of epoxy adhesives

- and adhesive joints: a review, *Journal of Adhesion*, **94**, 13, 1082-1121.
- [2] Jojibabu P., Jagannatham M., Haridoss P., Ram G.D. J., Deshpande A.P., Bakshi S.R., (2016). Effect of different carbon nano-fillers on rheological properties and lap shear strength of epoxy adhesive joints, *Composites Part: A*, **82**, 53-64.
- [3] Udatha P., Babu Y.N., Satyadev M., Bhagavathi L.R., (2020). Effect of natural fibers reinforcement on lap-shear strength of adhesive bonded joints, *Materials Today: Proceedings*, **23**, 541-544.
- [4] Hülügü B., Acar V., Aydın M.R., Aydın O.A., Gök S., Ünal H.Y., Pekbey Y., Akbulut H., (2020). Experimental modal analysis of graphene nanoparticle reinforced adhesively bonded double strap joints, *Journal of Adhesion*, <https://doi.org/10.1080/00218464.2020.1734793>.
- [5] Khalili S.M.R., Shokuhfar A., Hoseini S.D., Bidkhorji M., Khalili S., Mittal R.K., (2008). Experimental study of the influence of adhesive reinforcement in lap joints for composite structures subjected to mechanical loads, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, **28**, 436-444.
- [6] Turan K., (2016). Kompozit malzemelerde yapışma bağlantılarının mukavemeti üzerine yama fiber takviye açısı etkisi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, **7**, 1, 129-136.
- [7] Ayatollahi M. R., Giv A. N., Razavi S. M. J., Khoramshad H., (2017). Mechanical properties of adhesively single lap bonded joints reinforced with multi walled carbon nanotubes and silica nanoparticles, *Journal of Adhesion*, **93**, 11, 816-913.
- [8] Khalili S.M.R., Tavakolian M., Sarabi A., (2010). Mechanical Properties of Nanoclay Reinforced Epoxy Adhesive Bonded Joints Made with Composite Materials, *Journal of Adhesion Science and Technology*, **24**, 1917-1928.
- [9] Meguid S.A., Sun Y., (2004). On the tensile and shear strength of nano-reinforced composite interfaces, *Materials and Design*, **25**, 289-296.
- [10] Turan K., Pekbey Y., (2015). Progressive Failure Analysis of Reinforced-Adhesively Single-Lap Joint, *Journal of Adhesion*, **91**, 962-977.
- [11] Silva C.I., Barbosa, A.Q., Carbas R.J.C., Marques E.A.S., Safar A.A., Da Silva L.F.M., (2012). Influence of cork microparticles on the fracture type in single lap joints, *Journal of Adhesion*, **88**, 452-470.



## Çevresel şartların tek tesirli yapışma bağlantılı kompozitler üzerinde etkisi

*The Effects of Environmental Conditions on Single-Lap Adhesively Bonded Composites*Gurbet Örcen<sup>1\*</sup>, Engin Koyun<sup>2</sup><sup>1</sup> Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, gurbetorcen@dicle.edu.tr<sup>2</sup> Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, engin.kyun@gmail.com

## MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 07 Ocak 2021  
Düzeltilme: 8 Şubat 2021  
Kabul: 8 Şubat 2021

Anahtar kelimeler:

Tek tesirli bağlantı, yapışma bağlantı, hidrotermal etki, hasar yükü, kompozit malzeme

## ÖZET

Fiber takviyeli kompozitlerin birçok alanda kullanımları giderek artmaktadır. Bu alanlarda kullanımı etkileyen çevresel şartlar, kompozitlerin dayanımları ve bağlantı performansları üzerindeki etkilerinin anlaşılması açısından önemlidir. Ayrıca daha uygun tasarımların oluşmasında da etkin rol oynamaktadırlar. Bu çalışmada, farklı bindirme uzunlukları ve fiber takviye açılarında sahip, tek tesirli bindirme yapışma bağlantılı kompozitlerin hidrotermal ortamda davranışları incelenmiştir. Bu davranışları tahmin etmek için 40 °C, 60 °C ve 80 °C sabit bir su sıcaklığında ve değişken daldırma periyotlarında (15 gün, 30 gün ve 45 gün ) bir deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Fiber takviye açıları [0°]<sub>8</sub> ve [45°/-45°/0°/90°]<sub>8</sub> olan cam epoksi kompozit levhalar kullanılmıştır. Bu iki levhadan bindirme uzunlukları 25 mm ve 35 mm olan numuneler hazırlanmıştır. Hidrotermal ortama yerleştirilen bu numunelerden, emilim oranları, hasar yükleri ve hasar tipleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar kendi aralarında ve oda sıcaklığında bekletilen numuneler ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada; [45°/-45°/0°/90°]<sub>8</sub> fiber dizilimli numunelerden elde edilen hasar yük değerlerinin, [0°]<sub>8</sub> fiber dizilimli numunelerden elde edilen değerlerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. En düşük hasar yük değerleri, 80 °C sıcaklığa maruz kalan numunelerden elde edilmiştir. Tüm numunelerin hidrotermal ortamda bekleme süresi ve ortamın sıcaklığı arttıkça zaman hasar yüklerinin düştüğü ancak nem emilim oranlarının arttığı tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak, genel olarak hasar tiplerinde, fiber hasarı ve yapıştırıcı hasarı beraber elde edilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.855501

## ARTICLE INFO

Article history:

Received: 7 January 2021  
Revised: 8 February 2021  
Accepted: 8 February 2021

Keywords:

Single-lap joint, adhesively bonded, hydrothermal effect, failure load, composite materials

## ABSTRACT

The use of fiber-reinforced composites is increasing in many application areas. Environmental conditions that affect usage in these areas are important to understand the effects of composites on their strength and bonding performance. They also play an effective role in creating more suitable designs.

In this study, the behaviors of single lap adhesively bonded composite joint which has different lap lengths and different fiber reinforcement angles are investigated in the hydrothermal environment. To predict these behaviors, an experimental study was carried out at a constant water temperature of 40 °C, 60 °C and 80 °C and variable immersion periods (15, 30 and 45 days). Glass epoxy composite plates with fiber reinforcement angles [0°]<sub>8</sub> and [45°/-45°/0°/90°]<sub>8</sub> were used. Specimens with lap lengths of 25 mm and 35 mm were prepared from these two plates. Absorption rates, failure loads and failure modes were obtained from these specimens placed in hydrothermal environment. These results were compared with each other and with specimens kept at room temperature.

In this study; it has been determined that the failure load values obtained from specimens with the fiber sequence [45°/-45°/0°/90°]<sub>8</sub> are lower than the values obtained from specimens with the fiber sequence [0°]<sub>8</sub>. The lowest failure load values were obtained from specimens exposed to a temperature of 80 °C. It was determined that when the waiting time of all specimens in the hydrothermal environment and the temperature of the environment increased, the failure loads decreased but the moisture absorption rates increased. Accordingly, in general, in failure modes, fiber failure and adhesive failure were achieved together.

\* Sorumlu yazar / Correspondence  
Gurbet ÖRÇEN  
✉ gurbetorcen@dicle.edu.tr

## Giriş

Kompozit yapılarda yapıştırıcı yardımıyla yapılan bağlantıların; uygun tasarım esnekliği, geometrileri, yük taşıma kapasiteleri, düşük maliyet, hafiflik vb. özelliklerinden dolayı pimli/civatalı vb. bağlantılara göre kullanımları artmıştır. Yapıştırıcı yardımıyla yapılan bağlantılarda, geometrik parametreler (yapıştırıcı kalınlığı, bindirme uzunluğu, bağlantı konfigürasyonu), malzeme parametreleri (yapıştırıcı ve yapışkan malzeme), çevresel parametreler (bağlantı öncesi ve bağlantı sonrası nem, sıcaklık, ıslaklık), üretim yöntemi, yüzey hazırlama ve hasar tipleri gibi parametreler yapıların performansını doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedirler [1]. Bu parametrelerin bağlantı mukavemeti üzerindeki etkisi ile ilgili literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Özellikle kompozit-kompozit ile yapılan tek tesirli yapışma bağlantıları ile ilgili deneysel [2,4-6, 8, 9,11,15-21-28,32] ve sayısal [1-5,7-14,20] çalışmalar yapılmıştır. Sanz ve arkadaşları [2]; yapışkan bölge modeli (CZM) kullanılarak, tek eksenli çekme yüküne maruz kalan, tek tesirli yapışma bağlantılarının mekanik dayanımı üzerinde; yapıştırıcı ve yapıştırıcının geometrisindeki değişikliklerin etkilerini Abaqus/Standard' ta değerlendirmişlerdir. Yea ve arkadaşları [3], farklı bindirme uzunluklarına sahip tek tesirli yapışma bağlantılı kompozitlerde üç boyutlu (3D) sonlu elemanlar metodu ve deneysel yöntemlerle hasar davranışlarını incelemişlerdir. Silva ve Adams [4], düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa doğru dayanıklılık için iki yapıştırıcı kombinasyonu ile uygun bir bağlantıyı araştırmışlardır. Özel ve arkadaşları [5], çekme yükü altında alt ve üst yapışkanların farklı konfigürasyonları ile tek tesirli yapışma bağlantısının mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Neto ve arkadaşları [6], farklı yapıştırıcı ve farklı bindirme uzunlukları ile bağlantısı yapılmış tek tesirli yapışma bağlantısında dayanım ve hasar prosesi açısından bir karakterizasyon belirlemeye çalışmışlardır. Lin ve arkadaşları [7], yapıştırıcı ile bağlantısı yapılmış CFRP bağlantılarında, bindirme uzunlukları, yapışma kalınlığı gibi parametreleri seçerek gerilme performansını araştırmışlardır. Magalhaesa ve arkadaşları [8], tek tesirli yapışma bağlantılı tabakalı kompozitlerde gerilme konsantrasyon etkilerini

iki boyutlu sonlu eleman yöntemi ile araştırmışlardır.

Tek tesirli bindirme bağlantılı kompozitlerde, bağlantıların güvenliğini sağlamak için, çevresel şartların etkisini ve özellikle hidrotermal etkiyi anlamak oldukça önemlidir [16-28,32]. Bu alanda deneysel olarak çalışma yapan bazı araştırmacılardan; Barker [16]; epoksi yapıştırıcılarla bağlanmış CFRP-CFRP bağlantılarının dayanımı ve hasar tipleri üzerinde sıcak ve nemli ortamın etkisini araştırmıştır. Hem nem emiliminin hem de test sıcaklığının artırılmasıyla bağlantıların dayanımının düştüğünü belirtmiştir. Armstrong [17]; farklı yapıştırıcı tipleri kullanılarak yapıştırılan CFRP kompozitlerin kuru hallerini ve su içerisinde bekletilerek performanslarını araştırmıştır. Performansın uzun süreli beklentilerde düştüğünü ve hasar tiplerini etkilediğini belirtmiştir. Park ve arkadaşları [18], tek tesirli bindirme bağlantılı karbon epoksi kompozitlerin dayanımları üzerinde çevresel şartların etkisini araştırmışlardır. Yüksek sıcaklık ve nemin tabakanın mukavemetini artırdığını ancak yapışkan kayma mukavemetini azalttığını belirtmişlerdir. Taib ve arkadaşları [19]; tek tesirli bindirme bağlantıların dayanımı üzerinde; yapıştırıcı kalınlığı, bağlantı geometrisi ve nem etkilerini araştırmışlardır. Soykok [20] ise yapıştırıcı yardımıyla elde edilmiş tek tesirli cam fiber takviyeli epoksi kompozitlerin belli sıcaklık aralıklarına sahip su içindeki davranışlarını araştırmıştır. Su emiliminin mukavemeti azalttığını belirtmiştir. Assarar ve arkadaşları [23], keten ve cam fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde suyun etkisini incelemişlerdir. Suda kalma süresi arttıkça keten fiber kompozitlerin çekme modülü çok az etkilenirken, cam fiber takviyeli kompozitlerin çekme mukavemetinde düşüş olduğunu belirtmişlerdir. Zhang ve arkadaşları [24], yapıştırıcı yoluyla yapılan bağlantılarda kullanılan iki farklı epoksi bazlı yapıştırıcının; 80 °C-90 °C ile 80 °C-95 °C aralığındaki nem emilimlerini ve mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Nem ve sıcaklık etkisinin, yapıştırıcının çekme ve kayma özellikleri üzerinde olumsuz etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Bellini ve arkadaşları [25], iki farklı yapıştırıcı ile üretilen tek tesirli yapışma bağlantılı CFRP numunelerin mekanik dayanımları üzerinde, -28 °C ile 85 °C



sıcaklığına sahip hava, damıtılmış su ve tuzlu suyun etkisini incelemişlerdir [25]. Ayrıca 25 °C, 70 °C ve 120 °C sıcaklıklarda çekme testine tabi tutmuşlardır [26]. Her iki tip yapıştırıcının damıtılmış suyun içerisinde yaşlanma sonrası elde edilen ortalama gerilmelerinin birbirine yakın olduğunu belirtmişlerdir [25]. Alarcon ve arkadaşları [27], tek tesirli bağlantılı kompozit numuneleri 9 ay ve 12 ay boyunca doğal yaşlandırmaya tabi tutarak, yapıştırıcı ve bağlantı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Doğal yaşlanma sürecinde yapıştırıcı ve tek tesirli bağlantının mekanik özelliklerinde düşüş olduğunu belirtmişlerdir. Mariam ve arkadaşları [28], yapıştırma yoluyla tek tesirli olarak elde edilen cam fiber takviyeli epoksi kompozitlerin, 50 °C 'lık sıcak suyun içerisinde 20, 40, 60, 80, 100 ve 120 gün bekleterek etkilerini araştırmışlardır. Sıcak suda bekleme süresi arttıkça dayanımlarının düştüğünü belirtmişlerdir.

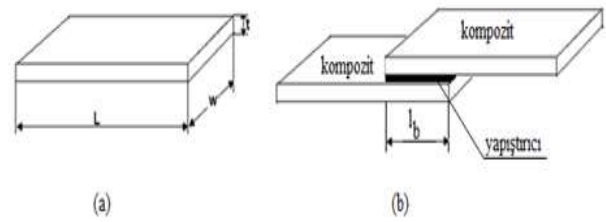
Literatürde görüldüğü gibi nem veya sıcaklığın yapışma bağlantıları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ancak bu iki etkinin aynı anda hareket etmesi durumunda elde edilen sonuçlar her zaman net değildir. Bu birleşik etkinin incelenmesi, daha fazla araştırma yapılması gereken bir konudur [25]. Bağlantı ve yapıştırıcı dayanımı ile hasar davranışları üzerinde bu etkinin anlaşılması ve aynı zamanda uygulama alanlarına yönelik çözümler sunulması önemlidir.

Bu çalışmamızda çevresel şartlardan olan hidrotermal ortamın, farklı fiber dizilimlerine sahip tek tesirli bindirme bağlantılı kompozit numunelerin hasar davranışları üzerindeki etki seviyesi incelenmiştir. Üç farklı sıcaklığa sahip suyun içerisinde yine üç farklı bekleme zamanı içerisinde bekletilen numunelerden elde edilen hasar yükleri, hasar tipleri ve emilim oranlarının sonuçları karşılaştırılmıştır.

## Deneyel Metot

Bu çalışmada  $[0^{\circ}]_8$  örgülü (woven) ve  $[45^{\circ}/-45^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}]_s$  dizilimlere sahip cam fiber takviyeli epoksi kompozit levhalar, İzoreel Tic. A.Ş. firmasından elde edilmiştir. Kompozit levhaların kalınlığı (t) 2 mm olarak üretilmiştir. Her iki fiber dizilimine sahip kompozit levhalardan; levha uzunluğu ( $L=175$  mm) ve levha genişliği ( $w=30$  mm) ölçülerinde numuneler kesilmiştir

(Şekil 1.a). Bu numunelerden, bindirme mesafeleri ( $l_b$ ); 25 mm ve 35 mm olmak üzere tek tesirli bindirme bağlantıları elde edilmiştir (Şekil 1.b). Her numuneden üçer adet hazırlanmış olup,  $l_b$ : 25 mm' lik bağlantıdan 60 adet ve  $l_b$ : 35 mm' lik bağlantıdan da 60 adet olmak üzere, toplamda 120 adet numune hazırlanmıştır. Eğilme etkisini en aza indirmek, gerilme yığılmalarını önlemek için aynı malzemeden kesilen sekmeler, numune uçlarına yapıştırıcı yardımıyla yapıştırılmış.



Şekil 1.(a) Levha numunesinin geometrik ölçüleri. (b) Tek tesirli bindirme bağlantılı numunelerin geometrik ölçüleri.

Figure 1.(a) Geometric dimensions of the plate specimen. (b) Geometric dimensions of specimens with single-lap adhesively bonded.

Tek tesirli bindirme bağlantılı numuneler elde edilirken, yapıştırılacak yüzeylerin yüzey temizliği ASTM D2093-03 [29], standardına göre gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yapıştırıcı olarak, Loctite EA 9466 tipindeki epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırıcı kalınlığı tüm işlemlerde 0,25 mm olarak alınmıştır. Yapıştırıcı kalınlığının tüm numunelerde aynı olabilmesi için, yapıştırma işlemi için özel kalıplar imal edilmiştir. Şekil 2 ' de görülen bu kalıplar 3D printer cihazıyla üretilmiştir. Yapıştırıcı yardımıyla elde ettiğimiz  $[0^{\circ}]_8$  ve  $[45^{\circ}/-45^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}]_s$  fiber dizimli tek tesirli bindirme bağlantılı kompozit numuneler, oda sıcaklığında 15 gün süre ile kurumaya bırakılmıştır. Kompozit numuneler, 40 °C, 60 °C ve 80 °C sıcaklığa ayarlı termostatlı sıcak su dolu kapalı kazanlarda üç gruba ayrılarak yerleştirilmiştir. Numunelerin kazanlara yerleşimi için ek askılıklar yaptırılmıştır (Şekil 3). Her sıcaklıkta 15 gün, 30 gün ve 45 gün süre ile bekletilmişlerdir.



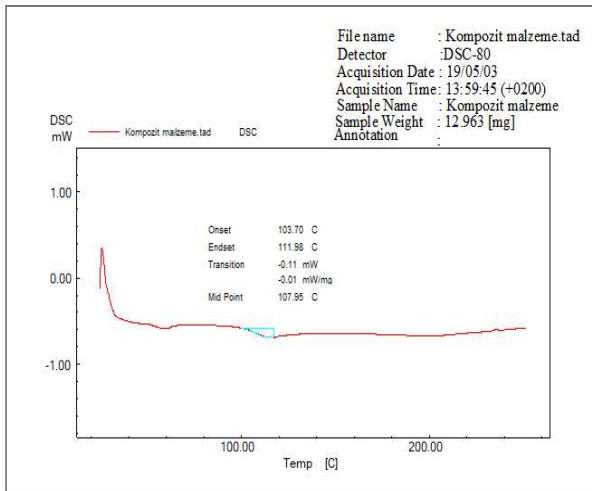
Şekil 2.  $l_b = 25 \text{ mm}$  ve  $l_b = 35 \text{ mm}$  için üretilen kalıplar  
Figure 2. Molds produced for  $l_b = 25 \text{ mm}$  and  $l_b = 35 \text{ mm}$



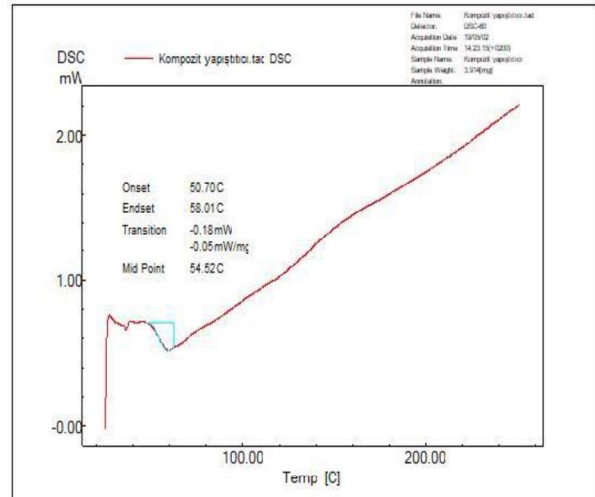
Şekil 3. Numuneler için hazırlanan termostatlı kazanlar  
Figure 3. Thermostat boilers prepared for specimens

Süre bitiminde numuneler sudan çıkartılıp, üzerlerindeki fazla su silinerek, hassas terazide tartılmış ve bir saat içerisinde çekme testine tabi tutulmuşlardır. Çekme testi; instron marka, 100 kN 'luk test cihazında, 1 mm/dk hızında yapılmıştır. Aynı zamanda kuru haldeki cam

fiber takviyeli kompozit malzemenin ve Loctite EA 9466 tipindeki yapıştırıcının camsı geçiş sıcaklıkları DSC analizi ile sırasıyla; 107,95 °C ve 54,52 °C olarak tespit edilmiştir (Şekil 4(a),(b)).



(a)



(b)

Şekil 4. (a) Kompozit malzemenin [33] (b) Yapıştırıcının  $T_g$  sıcaklığı tespiti  
Figure 4.(a) Composite materials [33] (b) Adhesive  $T_g$  temperature detection

## Sonuçlar ve Tartışma

### Hidrotermal ortamın emilim oranları üzerine etkisi

Her numunenin; sıcak su kazanına konulmadan önceki ilk ağırlıkları ( $w_0$ ) ve sudan çıkarıldıktan sonraki ağırlıkları ( $w_s$ ), 0,01 gr kapasiteli hassas terazi ile ölçülmüştür. Böylelikle her numunenin nem emilim oranı ( $M_t$ ) aşağıdaki formülasyon ile hesaplanmıştır.

$$M_t = [(w_s - w_0) / w_0] \times 100 \quad [30]$$

Her numuneden üçer adet üretildiği için ortalama değer alınarak, numunelerin nem emilim oranları Tablo 1' e aktarılmıştır. Birçok polimerik matris kompozit; su ortamlarına maruz kaldığında, önce yüzey emilimi ve daha sonrada matris içinden difüzyonla nemi

emmektedirler. Epoksi matrisli kompozitlerde nem konsantrasyonu başlangıçta zamanla artmakta ve nemli ortamlara maruz kaldıktan bir süre sonra doygunluk seviyesine yaklaşmaktadır [31]. Tablo 1 'de görüldüğü gibi suda bekleme zamanı arttıkça nem emilim oranının arttığı görülmektedir. Suyun reçine matrisine daha fazla sızması, nem emme hassasiyeti, yüksek sıcaklıklarda daha da artmaktadır [1]. Bu durum fiber takviyeli kompozitler içinde su moleküllerinin yayılabilirliğinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir [20]. Burada da en fazla emilim oranının, 80 °C sıcaklıkta bekletilen numunelerden elde edildiği tespit edilmiştir.

Tablo 1. Numunelerin nem emilim oranları (%)

Table 1. Moisture absorption rates of specimens (%)

Su sıcaklığı	Süre(gün)	$l_b:25 \text{ mm}$		$l_b:35 \text{ mm}$	
		$[0^0]_8$	$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$	$[0^0]_8$	$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$
40 °C	15	0,35	1,74	0,58	1,59
	30	0,63	1,85	0,7	1,81
	45	0,8	2,03	1,74	1,85
60 °C	15	0,38	2,17	0,36	1,25
	30	0,58	2,48	1,21	1,42
	45	0,68	2,69	1,66	1,94
80 °C	15	0,95	3,23	1,21	3,45
	30	1,08	3,67	1,24	3,57
	45	1,53	3,71	1,6	3,71

Tablo 1' den de görüldüğü gibi  $l_b=25 \text{ mm}$  ve  $l_b=35 \text{ mm}$  olan  $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$  fiber dizilimine sahip numunelerden elde edilen emilim oranlarının, aynı geometrideki  $[0^0]_8$  fiber dizilimine sahip numunelerden elde edilen emilim oranlarından daha fazla olduğu hesaplanmıştır.  $l_b=25 \text{ mm}$  olan  $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$  dizilimli numunelerden elde edilen emilim oranlarının,  $[0^0]_8$  dizilimli numunelerden elde edilen emilim oranlarına göre minimum 2,42 ile maksimum 5,71 katı kadar daha fazla gerçekleştiği tespit edilmiştir.

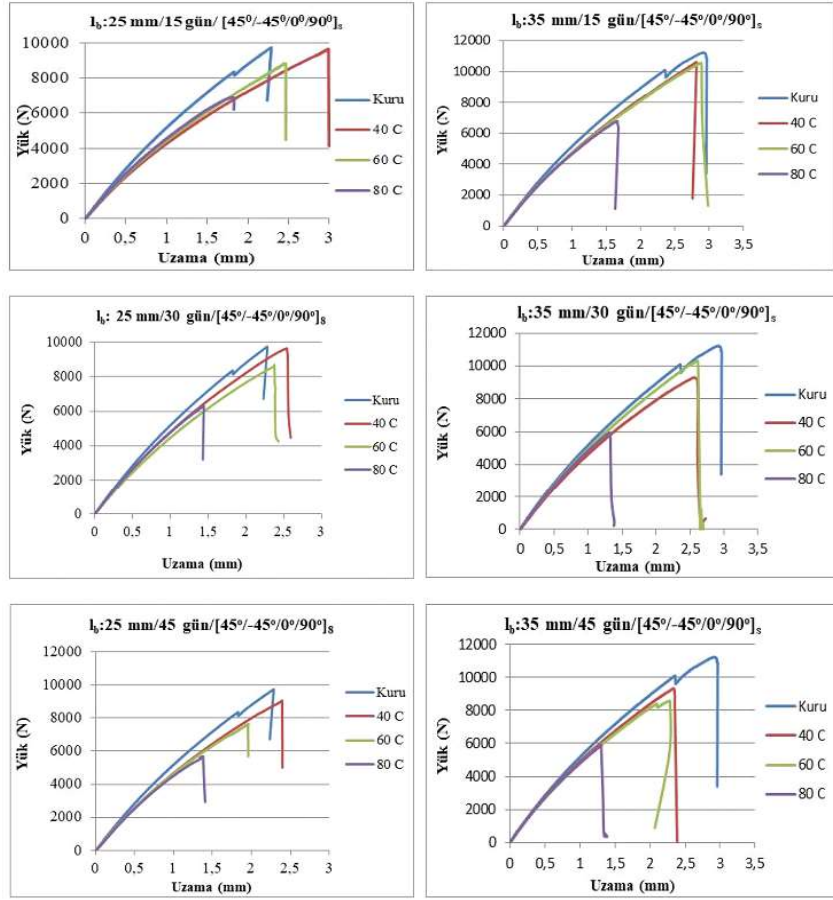
### Hidrotermal ortamın hasar yükleri üzerine etkisi

Yüksek sıcaklık ve yüksek nem konsantrasyonunun bir arada olması kompozit malzemelerin yük-uzama davranışlarını etkilemektedir [1]. Şekil 5' te örnek olarak en fazla emilimin olduğu  $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$  dizilimli gruptaki numunelerin yük-uzama grafikleri toplu olarak verilmiştir.  $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$  dizilimli bu gruptaki numunelerin uzama oranlarının, sıcaklık derecesi ve emilim oranları arttıkça genelde düştüğü görülmektedir.

$l_b=25 \text{ mm}$  'de 40 °C ve 60 °C ' de 15 gün ve 30 gün süre ile bekletilen numunelerde hasar yükleri düşerken, uzama miktarının kuru numuneye göre arttığı görülmektedir.  $l_b=35 \text{ mm}$  'de

deki numunelerde kuru numuneye göre hem uzama miktarı hem de hasar yüklerinde düşüş olarak görülmektedir. Dolayısıyla başlangıçtaki emilim oranı ile daha sonraki emilim oranları

arasındaki fark, uzama miktarı arasında küçük farkla da olsa kendini gösterdiği grafiklerde de görülmektedir.



Şekil 5.  $l_b=25$  mm,  $l_b=35$  mm numunelerin fiber dizilimine göre yük-uzama grafikleri

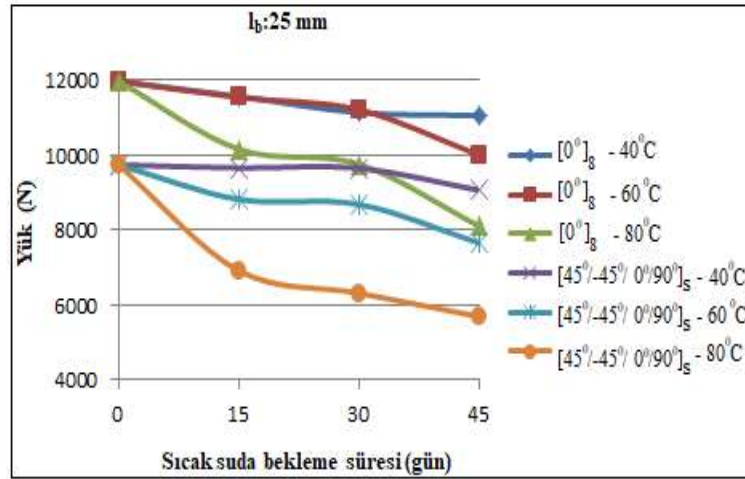
Figure 5. Load-elongation graphs based on fiber sequence of  $l_b=25$  mm,  $l_b=35$  mm specimens

Kompozit tabakalarda su emiliminin, matrisin plastikleşmesi, polimerik zincirlerin kırılmasıyla moleküler bozulma, şişme ve iç gerilmeler, su durumunun değişmesi nedeniyle çatlama ve yapışma konusu ile ilgili fiber/matrix arayüzünde oluşan hasarlar üzerinde etkilidir [32]. Nem emiliminin artması ile fiber matris ara yüzeylerinde ve bağlantı bölgelerinde hasar olarak kendini göstermekte ve daha fazla hasarlı yapıya yol açmaktadır [1]. Dolayısı ile en fazla nem emilim oranının gerçekleştiği  $[45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$  dizilimli numunelerde bağlantı mukavemetinde düşüş olarak görülmektedir (Tablo 2).

$[0^\circ]_8$  fiber dizilimine sahip cam fiber takviyeli epoksi ( $l_b=25$  mm) kompozit numunelerin; 80 °C 'lık suda 45 gün bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, 60 °C ve 40 °C 'lık suda 45 gün bekletilenlere göre sırasıyla %18,91 ve %26,62 oranlarında daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Bu durum aynı bağlantı mesafesine sahip  $[45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$  fiber dizilimli numunelerde; 80 °C 'lık suda 45 gün bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, 60 °C ve 40 °C 'lık suda 45 gün bekletilenlere göre sırasıyla % 34,33 ve %58,99 oranlarında daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2, Şekil 6) .

Tablo 2. Bekleme zamanı ve sıcaklığa bağlı olarak elde edilen hasar yük değerleri  
Table 2. Failure load values obtained depending on waiting time and temperature

		$l_b:25\text{ mm}$				$l_b:35\text{ mm}$			
Bekleme zamanı	$[0^\circ]_8$	Std.Sapma (%)	$[45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$	Std.Sapma (%)	$[0^\circ]_8$	Std.Sapma (%)	$[45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$	Std.Sapma (%)	
Kuru	0	11955,7	6,54	9731,2	3,49	18729,2	2,55	11228,1	3,17
	15 gün	11554,6	5,24	9650,85	3,75	17715,3	4,85	10879,25	4,48
40 °C	30 gün	11121,01	6,64	9641,75	3,37	17582	5,01	10551,45	3
	45 gün	11043,5	3,31	9055,9	5,3	16500,6	5	9317,4	4,31
	15 gün	11527,7	3,87	8812,65	3,8	17643,03	4,34	10653,14	5,19
60 °C	30 gün	11200,09	5,11	8678,17	3,6	17204,9	3,44	10157,66	4,5
	45 gün	9993,15	3,97	7651,3	4,45	16268,85	5,6	8578,5	4
	15 gün	10147,5	3,75	6913,5	4,68	15704,5	3,65	6349,6	4,39
80 °C	30 gün	9746,9	4,38	6316,35	5,52	13115,66	5,84	5939,7	5,47
	45 gün	8103,45	4,25	5695,85	4,64	11167,16	4,27	5892,5	6,01



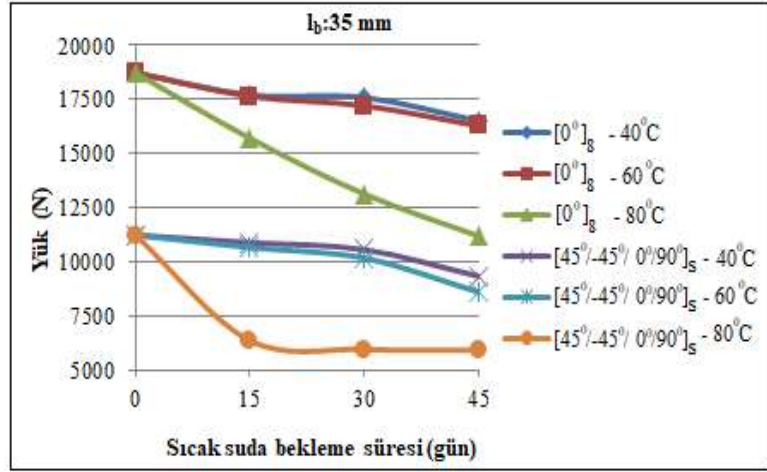
Şekil 6.  $l_b=25\text{ mm}$  için, bekleme zamanı ve sıcaklığın hasar yükleri üzerindeki etkisi

Figure 6. Effect of waiting time and temperature on failure loads for  $l_b=25\text{ mm}$

Bindirme mesafesi uzunluğu arttığı zaman ( $l_b=35\text{ mm}$ ), hasar yüklerinde de artış beklenen bir sonuçtur. Ancak sıcaklık derecesi ve bekleme zamanına bağlı olarak elde edilen değerler arasındaki orana baktığımız zaman  $[0^\circ]_8$  fiber dizilimine sahip numuneler, 30 gün boyunca 80 °C sıcaklıkta bekletildiğinde elde edilen yük değeri; 60 °C, 40 °C sıcaklıkta aynı süre ile bekletildiğinde ve kuru haldeki numunelerden elde edilen yük değerine göre sırasıyla % 23,77,

%25,40 ve %29,97 oranlarında düştüğü görülmüştür. Aynı bekleme zamanında  $[45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$  fiber dizimli numunelerde ise 80 °C sıcaklıkta bekletildiğinde elde edilen yük değeri; 60 °C, 40 °C sıcaklıkta aynı süre ile bekletildiğinde ve kuru haldeki numuneden elde edilen yük değerine göre sırasıyla %41,52, % 43,71 ve %47,10 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir (Tablo 2, Şekil 7).





Şekil 7.  $l_b=35$  mm için, bekleme zamanı ve sıcaklığın hasar yükleri üzerindeki etkisi

Figure 7. Effect of waiting time and temperature on failure loads for  $l_b=35$  mm

Elde edilen deneysel sonuçlarla; hidrotermal ortamın yapışma yoluyla yapılan bağlantılarda bağlantı bölgesini, kompozit malzeme dayanımını etkilediği ve malzeme dayanımının düştüğü görülmektedir. Dolayısıyla bu sonucun 16, 20, 25, 28 ve 32 nolu referans çalışmalarıyla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

#### Hidrotermal ortamın hasar tipleri üzerine etkisi

Bindirme mesafeleri, fiber dizilimleri, bekleme süresi ve sıcaklığa bağlı olarak elde edilen hasar

tipleri Tablo 3'te verilmiştir. Hızlı bir şekilde yapışkan ara yüzeye yayılan nem etkisi, daha sonra bir kimyasal reaksiyonu tetiklemekte ve bunun sonucunda yapışma ayrışmalarına neden olmaktadır [28]. Bu durum numunelerin hasar tiplerinde, fiber hasarı (FH), yapıştırıcı hasarı (YH), malzeme hasarı (MH), az fiber hasarı (LFH) ya da her ikisinin görüldüğü karma hasar tipi (FH+YH, LFH+YH) olarak elde edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Numune geometrine bağlı elde edilen hasar tipleri

Table 3. Failure modes obtained depending on the specimen geometry

Numune geometrisi	Fiber dizilimi	40 °C			60 °C			80 °C			
		Kuru	15 gün	30 gün	45 gün	15 gün	30 gün	45 gün	15 gün	30 gün	45 gün
$l_b:25$ mm	$[0^\circ]_s$	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	LFH+YH	Y.H	MH
		FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	LFH+YH	LFH+YH	MH
		FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	LFH+YH	FH+YH	MH
	$[45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	M.H	FH+YH	M.H	M.H	LFH+YH
		FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	M.H	M.H	FH+YH	M.H	M.H	LFH+YH
		FH+YH	FH+YH	M.H	FH+YH	FH+YH	LFH+YH	FH+YH	M.H	M.H	LFH+YH
$l_b:35$ mm	$[0^\circ]_s$	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH
		FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	LFH+YH	FH+YH
		FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH	FH+YH
	$[45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$	FH+YH	FH+YH	M.H	M.H	M.H	FH+YH	FH+YH	Y.H	LFH+YH	M.H
		FH+YH	FH+YH	M.H	M.H	M.H	M.H	M.H	M.H	M.H	M.H
		FH+YH	M.H	M.H	M.H	M.H	M.H	M.H	M.H	M.H	M.H

Elde edilen hasar tiplerinden bazıları örnek olarak Şekil 8’de verilmiştir. Nem emiliminin matris malzemesinin bütünlüğüne zarar verirken, özellikle camsı geçiş sıcaklığı üzerinde daldırıldığında epoksi matris malzemesi için daha şiddetli olduğu görülmektedir [20]. En yüksek sıcaklığın 80 °C olduğu bu çalışmada kompozitin camsı geçiş sıcaklığına ( $t_g=107,85$  °C ) yaklaşılmış ancak yapıştırıcının camsı geçiş sıcaklığı ( $t_g=54,52$  °C) aşılmıştır. Su emilimi yapıştırıcının fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir [28]. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş numunelerin bağlantı bölgelerindeki mukavemet ile kompozit malzeme mukavemeti hem sıcaklık hem de nem emilimi ile etkilenmiştir. Hidrotermal ortamın numuneler üzerinde oluşturduğu hasarlar göz önüne alındığında, yapıştırıcı ve bağlantı bölgesi dışında özellikle 80 °C sıcaklıkta kompozit malzemede hasarlar oluştuğu tespit edilmiştir.

Bu oluşan hasar, malzeme kırılması hasarı (MH) olarak elde edilmiştir. Bu hasar kompozit tabakanın aşırı bozulmasının, epoksi matrisindeki kalıcı bir kimyasal değişiklikten kaynaklanmaktadır [20]. Özellikle  $[45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$  dizilimli,  $l_b=25$  mm ve  $l_b=35$  mm olan numunelerde daha fazla gözlemlenmiştir. Tablo 1 ve Tablo 3’ teki veriler karşılaştırıldığında; 80 °C sıcaklıkta 45 gün bekletildiğinde %3,71, 30 günde %3,57, 15 günde ise %3,45 olarak gerçekleşen nem emilim oranlarında, M.H. tipi elde edilmiştir. Benzer durum 40 °C ve 60 °C sıcaklıklarda aynı fiber dizilimli numunelerde de ortaya çıkmıştır.

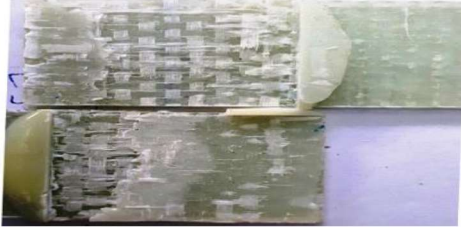
Elde edilen bu hasar tipinin, Soykok [20] tarafından yapılan çalışma sonucu ile uyumlu olduğu görülmüştür.



a)  $l_b=25$  mm /  $[45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$  /15 gün /40 °C/FH+YH



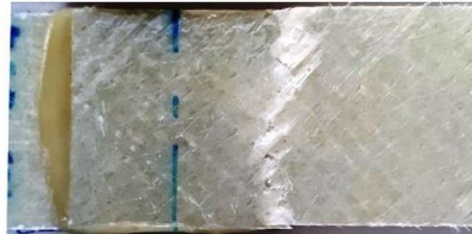
b)  $l_b=25$  mm /  $[0^\circ]_s$  /15 gün /40 °C/F.H+Y.H



c)  $l_b=35$  mm /  $[0^\circ]_s$  /15 gün/40 °C/FH+YH



d)  $l_b=35$  mm /  $[45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$  /15 gün/ 60 °C/M.H



e)  $l_b=25$  mm /  $[45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$  /15 gün/ 80 °C/M.H

Şekil 8. Hasar tiplerine ait örnekler

Figure 8. Examples of failure modes

## Sonuçlar

Tek tesirli bindirme yapışma bağlantılı ( $l_b:25$  mm ve  $l_b:35$  mm ),  $[0^\circ]_8$  ve  $[45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$  fiber dizilimli cam fiber takviyeli epoksi kompozit numuneler  $40^\circ\text{C}$ ,  $60^\circ\text{C}$  ve  $80^\circ\text{C}$  sıcaklıkta, 15 gün, 30 gün ve 45 gün süre ile bekletilmiştir. Sıcaklık ve nemin birleşik etkisinin numunelerin emilim oranları, hasar yükleri ve hasar tipleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada;

-Kuru haldeki numunelerin dayanımlarının, sıcaklık ve neme maruz bırakılan numunelerin dayanımlarından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

-Bekleme süreleri ve sıcaklıklar göz önüne alındığında, en düşük hasar yük değerleri; 45 gün süre ile  $80^\circ\text{C}$  suda bekletilen numunelerden elde edilirken,  $40^\circ\text{C}$  suda 15 gün süre bekletilen numunelerden de en yüksek hasar yük değerleri elde edilmiştir.

- $[0^\circ]_8$  fiber dizilimine sahip numunelerden elde edilen hasar yük değerlerinin,  $[45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ]_s$  numunelerden elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

-Numunelerden en fazla karma (FH+ YH) hasar tipi elde edilmiştir.

-Suyun sıcaklık derecesi ile numunelerin bu ortamda bekletilme süreleri arttığı zaman, nem emme oranlarının arttığı fakat numunelerin dayanımlarının düştüğü tespit edilmiştir.

-Bu anlamda yapıştırıcı ile yapılan kompozit bağlantılar bu çevresel şartlar göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır.

## Teşekkür

Bu çalışma, DÜBAP, MÜHENDİSLİK.17.018 numaralı proje desteği ile yapılmıştır.

## Kaynaklar

- [1] Budhea, S., Baneaa, M.D., Barrosa, S., Silva, L.F.M., "An updated review of adhesively bonded joints in composite materials", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 72, 30–42, 2017.
- [2] Sanz E.M.M., Ivañez I., Garcia-Castillo, S. K., "Effect of the geometry in the strength of single-lap adhesive joints of composite laminates under

uniaxial tensile load", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 72, 23-29, 2017.

- [3] Yea J., Yan Y., Lia J., Honga Y., Tiana Z., "3D explicit finite element analysis of tensile failure behavior in adhesive bonded composite single-lap joints", *Composite Structures*, 201, 261–275, 2018.
- [4] Silva L. F.M., Adams R.D., "Joint strength predictions for adhesive joints to be used over a wide temperature range", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 27, 362–379, 2007.
- [5] Ozel A., Yazici B., Akpınar S., Aydın M. D., Temiz S., "A study on the strength of adhesively bonded joints with different Adherends", *Composites: Part B*, 62, 167–174, 2014.
- [6] Neto J.A.B.P., Campilho R.D.S.G., Silva L.F.M., "Parametric study of adhesive joints with composites", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 37, 96–101, 2012.
- [7] Lin J., Yan Y., Zhang T., Liang Z., "Experimental study of adhesively bonded CFRP joints subjected to tensile loads", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 57, 95–104, 2015.
- [8] Magalhaesa A.G., Mourab M.F.S.F., Gonc-alves J.P.M., "Evaluation of stress concentration effects in single-lap bonded joints of laminate composite materials", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 25, 313–319, 2005.
- [9] Turan K., Pekbey Y., "Progressive failure analysis of reinforced- adhesively single-lap joint", *The Journal of Adhesion*, 91:962-977, 2015.
- [10] Hunter R., Ibacache N., Möller J., Betancourt R., Mora T., Diez E. & Pavez B., "Influence of Roughness on the Mechanical Adhesion of Single Lap Joints", *The Journal of Adhesion*, 88:376–390, 2012.
- [11] Rao, M.V., Rao, K.M., Raju, R.C., Murthy, V.B., Raju V.V.S., "Analysis of Adhesive Bonded Single Lap Joints in Hybrid Composites Subjected to Transverse Load With LC-US End Conditions", *International Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, Vol: 4 (1), 39–48, 2009.
- [12] Apalak, Z. G., Apalak, M. K and Genç, M., "Progressive Damage Modeling of an Adhesively Bonded Unidirectional Composite Single – lap Joint in Tension at the Mesoscale Level", *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, (19), 671-702, 2006.
- [13] Luo, Q., and Tong, L., "Analytical Solutions for Nonlinear Analysis of Composite Single-Lap Adhesive Joints", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 29: 144-154, 2009.

- [14] Her, S.C., "Stress Analysis of Adhesively bonded Lap Joints", *Composite Structures*, 47, 673-678,1999.
- [15] Panigrahi S.K., Pradhan B., "Through-the-width delamination damage propagation characteristics in single-lap laminated FRP composite joints", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 29, 114-124,2009.
- [16] Parker B.M., "Some effects of moisture on adhesive-bonded CFRP-CFRP joints", *Composite Structures*, Vol:6, 1-3, Pages 123-139,1986.
- [17] Armstrong K.B., "Effect of absorbed water in CFRP composites on adhesive bonding", *Int. J. Adhesion and Adhesives*, 16, 21-28,1996.
- [18] Park Y.B., Song M.G., Kim J.J., Kweon J.H., Choi J.H., "Strength of carbon/epoxy composite single-lap bonded joints in various environmental conditions", *Composite Structures*, 92, 2173-2180,2010.
- [19] Taib A. A., Boukhili R., Achiou S., Gordon S., Boukehili H., "Bonded joints with composite adherends. Part I. Effect of specimen configuration, adhesive thickness, spew fillet and adherend stiffness on fracture", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol:26, Issue 4, Pages 226-236,2006.
- [20] Soykok I.F., "Degradation of single lap adhesively bonded composite joints due to hot water ageing", *The Journal of Adhesion*. <http://dx.doi.org/10.1080/00218464.2015.1076340>, 2015.
- [21] Hu P., Han X., Silva L.F.M. , Li W.D., "Strength prediction of adhesively bonded joints under cyclic thermal loading using a cohesive zone model ", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 41, 6-15,2013.
- [22] Soykok, I.F., Sayman, O., Pasinli, A., " Effects of hot water aging on failure behavior of mechanically fastened glass fiber/epoxy composite joints", *Composites: Part B*, 54, 59-70,2013.
- [23] Assarar, M., Scida, D., El Mahi, A., Poilâne, C., Ayad, R., "Influence of water ageing on mechanical properties and damage events of two reinforced composite materials: Flax-fibres and glass-fibres", *Materials and Design* 32, 788-795,2011.
- [24] Zhang,J. Cheng,X., Guo,X., Bao,J.,Huang,W., "Effect of environment conditions on adhesive properties and material selection in composite bonded joints", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2018.12.001>.2018.
- [25] Bellini, C., Parodo, G., Polini, W., Sorrentino, L., "Experimental investigation of hydrothermal ageing on single lap bonded CFRP joints", *Procedia Structural Integrity* ,9, 101-107,2018.
- [26] Bellini, C., Parodo, G., Sorrentino, L., "Effect of operating temperature on aged single lap bonded joints", *Defence Technology*, <https://doi.org/10.1016/j.dt.2019.05.015>. 2019.
- [27] Alarcón, R.A.H., Vizán, A., Pérez, J., Leyrer, J., Hidalgo, P. , Pavez, B., Silva, L.F.M., "Effect of the natural aging process on the shear strength of FRP composite single lap joints", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 86 ,4-12,2018.
- [28] Mariam, M., Afendi, M., Abdul Majid, M.S., Ridzuan, M.J.M., Azmi, A.I., Sultan, M.T.H., "Influence of hygrothermal ageing on the mechanical properties of an adhesively bonded joint with different adherends", *Composites Part B: Engineering*, 165, 572-585,2019.
- [29] ASTM Standard D2093-03. 1962, "Standard Practice for Preparation of Surfaces of Plastics Prior to Adhesive Bonding", ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/D2093-03R11,2011.
- [30] ASTM International, Standard Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials,2004.
- [31] P.K.Mallick, *Fiber-reinforced composites materials, manufacturing, and design*, Second edition, revised and expanded, Marcel Dekker, U.S.A, ISBN: 0-8247-9031-6, 1993.
- [32] Alessi, S., Pitaresi, G., Spadaro, G., "Effect of hydrothermal ageing on the thermal and delamination fracture behaviour of CFRP composites", [Composites Part B: Engineering](https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.05.015) ,67, 145-153,2014.
- [33] Örcen, G., Turan,K., Bingöl,S., "Mechanical properties of composite plates at different conditions", *European Journal of Technique*,10(1),2020.



Research Article

# Identification of Dry Sliding Wear Behaviour of PLA Parts Manufactured by Fused Deposition Modelling

Ilyas Istif<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Yildiz Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering, ORCID: 0000-0003-0792-249X

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 7 January 2021  
Received in revised form 3  
February 2021  
Accepted 3 February 2021  
Available online 30 March 2021

### Keywords:

Additive Manufacturing, Wear,  
PLA, Identification, Modelling

## ABSTRACT

In this study, wear behavior of Poly Lactic Acid (PLA) parts manufactured by one of the additive manufacturing techniques Fused Deposition Modelling (FDM) is investigated and modelled via linear and non-linear identification. Transfer Function, Process Model and Nonlinear Autoregressive with Exogenous Input (NARX) model are used as modelling. Identified wear models are established according to wear tests conducted on Pin-on-disc test apparatus under constant load and constant sliding distance. Two different manufacturing orientations are chosen for the PLA pin specimens and wear tests are performed against steel and cast iron discs. Obtained results from the identified models are compared with the experimental results to select most efficient and reliable model structure.

Doi: 10.24012/dumf.855768

\* Corresponding author  
Ilyas, Istif  
✉ ilyasistif@yahoo.com  
+ 90 532 611 5437



## Introduction

Functionally used mechanical components are conventionally manufactured from metals and their alloys. Mechanical performances of these materials are remarkably improved over the years. However, parts manufactured from polymers show better performance in terms of lightweight and ease in production. Due to their good tribological properties, light weight and low cost polymers are widely used in many engineering applications such as journal bearings, seals, bushes, gears, electrical applications, etc. [1–6]. Due to adhesive transfer film that occurs during the friction polymeric materials show great wear resistance in dry sliding conditions [6]. The other advantage of the polymers is that they could be manufactured by using rapid prototyping techniques like Fused Deposition Modelling (FDM). FDM is one of the additive manufacturing processes that is cost effective and fast. Parts manufactured by this technique have lack of strength. In recent years, functional use in machine elements has come into use. For this reason, it is important to investigate the mechanical properties of these parts. Researches in the literature about wear characteristics of these parts are very limited. There are studies about wear behavior of polymers built by Fused Deposition Modelling [7–10]. These studies mostly focus on improving wear resistance of polymer by adding wear resistant materials as reinforcement such as Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, Graphene etc.

Beside these experimental studies, there are studies investigating the influences of different process parameters on test specimens' wear behavior, which are manufactured by FDM. Sood et al. [11] have considered five process parameters to understand the effect on the wear behavior of the test specimens. Parameters are layer thickness, part build orientation, raster angle, raster width and air gap. ABS P400 is used as material. A statistically validated predictive equation is developed. Since process parameters have great impact on the responses in a nonlinear manner, artificial neural network (ANN) is used for the verification of the results. Mohamed et al. [12] have studied the effect of different production parameters of FDM on wear mechanism of manufactured prototypes by using definitive screening design and partial least squares regression. Layer thickness, air gap, raster angle, build orientation, road width and

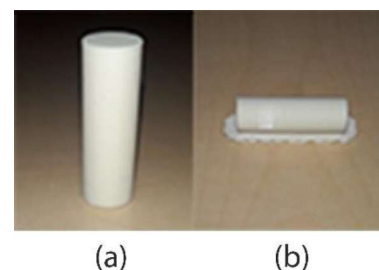
number of contours are taken as process parameters.

The studies on PLA (Poly Lactic Acid)'s wear behavior is very limited in the literature. Bustillos et al. [8] have studied the wear properties of PLA and PLA-Graphene composites. In mechanical engineering applications, ABS material is preferable than PLA as a plastic material, because PLA's glass transition temperature range is smaller than ABS. However, PLA is used frequently in Biomechanical applications due to its biodegradability [13–15].

In this work, wear mechanism of PLA parts manufactured by Fused Deposition Modelling (FDM) is investigated. Wear rates of the each test calculated and plotted against sliding distance. For the identification three different model structures were chosen, which are Transfer Function, Process Model and Nonlinear ARX model. Simulation results made by these models are compared with the experimental results.

## Materials and Methods

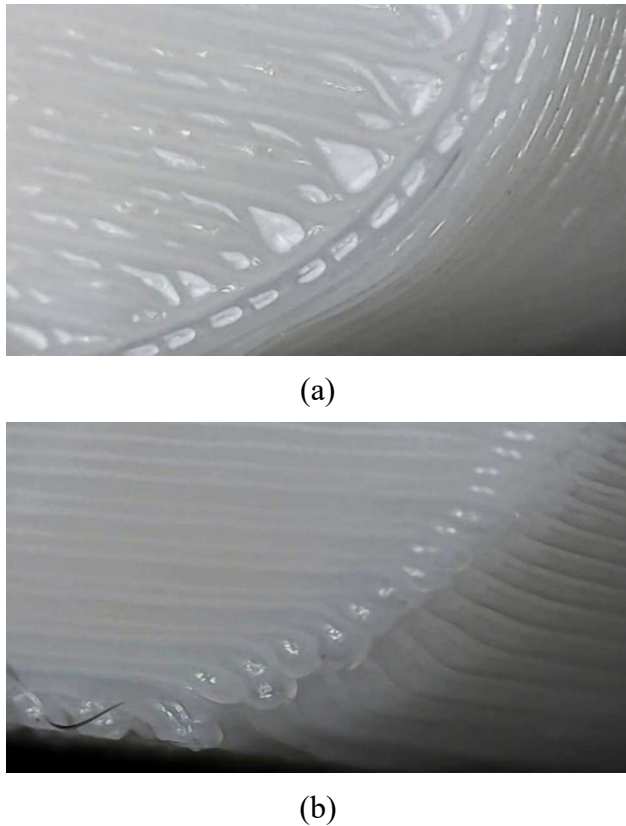
The solid model of the pin specimens is created in the three-dimensional (3D) modelling software SolidWorks and exported as a stereolithography (STL) file. The MakerBot Desktop software is used to slice the STL file vertically and horizontally by choosing two different directions, parallel and vertical to the build platform. These two files are used to produce vertical and horizontal oriented pin specimens. Pin specimens for wear tests are fabricated in the form of test bars by using 3bfab PLA filament and the MakerBot Replicator 2 desktop printer. As the manufacturing parameters, layer height is 0.1 mm, extruder temperature is 230 °C and infill ratio is 100%, are chosen. Manufacturing orientations are shown in Figure 1.



**Figure 1.** (a) Vertical, (b) Horizontal oriented manufactured PLA pin specimen

For the vertically produced specimen (a), the FDM layers of the PLA material are in a parallel

position to the build platform, while those produced horizontally (b) are in an upright position. Microscopic images of PLA layer lines are also shown in Figure 2.



**Figure 2.** Digital microscope images of PLA layer lines for FDM parts: (a) Vertical, (b) horizontal oriented pin specimens

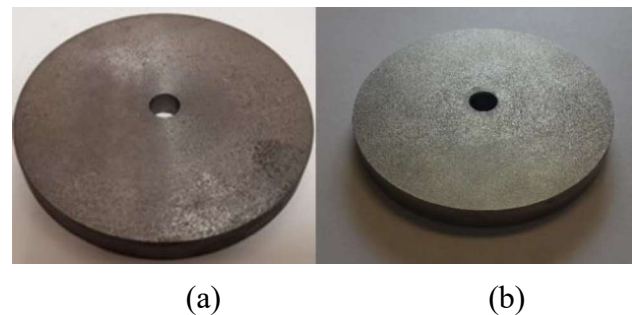
### Wear Tests

Coefficient of friction and the wear rate of 3D printed PLA specimens were evaluated for dry sliding conditions using pin on disc method at room temperature. Tests were conducted under the guidance of ASTM G99 standard [16]. Cast iron and steel has been chosen for the abrasive counter disc materials which have varying surface roughness and hardness. Specification of counter discs and 3D-printed PLA specimens are shown in Table 1 along with the wear test parameters.

For each the disc which is shown in Figure 3, surface roughness was measured three times and the arithmetic average of the roughness profile was calculated. Figure 4 shows surface textures for the counter discs. The graphs of surface roughness is also shown in Figure 5.

**Table 1.** Wear test parameters and specifications of pin specimens and counter discs.

Parameters	Values
Steel disc material	AISI 1040
Steel disc diameter (mm)	100
Steel disc thickness (mm)	10
Steel disc hardness (HV)	211
Steel disc roughness (Ra)	3.2
Cast disc material	White Cast Iron
Cast disc diameter (mm)	100
Cast disc thickness (mm)	10
Cast disc hardness (HV)	526
Cast disc roughness (Ra)	6.2
Normal Force (N)	10
Sliding Distance (m)	500
Sliding Speed (m/s)	$2 \times 10^{-1}$
Pin diameter (mm)	10
Pin length (mm)	30
Test Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	23

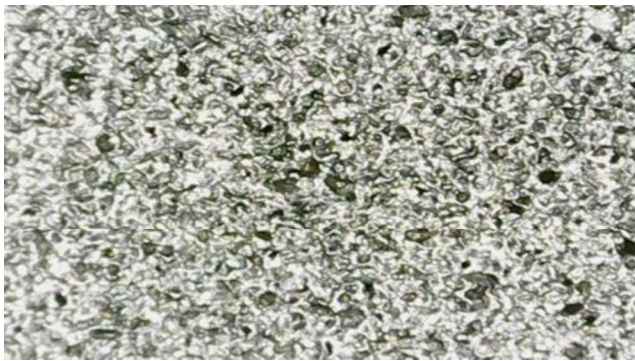


**Figure 3.** Counter discs: (a) Cast iron, (b) Steel

The load was applied to the specimen and the arm of the machine was balanced by a counterweight. The specimens were weighted before each experiment, on a sensitive balance with sensitivity of  $1 \times 10^{-4}$  g. Test apparatus where the tests are carried out are shown in Figure 6. During the test, the tangential frictional force was measured with a load cell and recorded by the computer. The wear tests were performed using a normal load of 10 N at a sliding speed of  $22 \times 10^{-2}$   $\text{ms}^{-1}$  and the total sliding distance was 500 m. After each period of the test, the test machine was stopped, the samples were cleaned and weighted again to calculate the weight loss. All the weight measurements were done using an electronic weighing machine, AND GR 202, with an accuracy of 0.1 mg. For each test condition, at least three samples were tested to obtain the average.

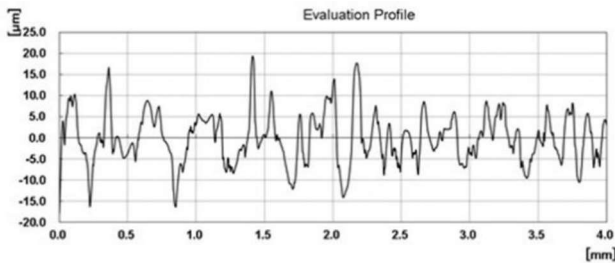


(a)

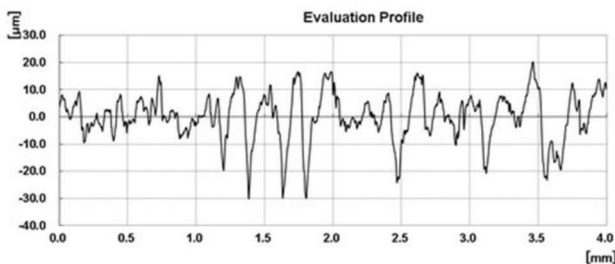


(b)

**Figure 4.** Digital microscope images of counter disc surfaces: (a) Cast iron, (b) Steel disc



(a)



(b)

**Figure 5.** Surface roughness: a) Cast iron disc, b) steel disc

Specific wear rate ( $K$ ) was calculated using the following expression (1):

$$K = \frac{\Delta m}{\rho \cdot L \cdot F} \quad (1)$$

where  $\Delta m$  was the lost weight of a pin specimen in kg,  $\rho$  was the density in  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $F$  was the load in N and  $L$  was the sliding distance in meter.



**Figure 6.** Pin on disc test apparatus

### Identification Procedure and Modelling

System identification uses statistical methods to build mathematical models of dynamical systems from measured data. Identification procedure was involved in four stages: Preparation, analysis, model structures preselection and identification.

For the identification process single input single output system was studied. The measured frictional force was chosen as input whereas calculated wear rate was the output for identification process.

Linear and nonlinear models which are Transfer Function model and Process model and NARX model were obtained by using MATLAB software. Transfer Function model which is described by the equation (2):

$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_{p1}s} \quad (2)$$

Second model was Process model which is described by the equation (3):

$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_{p1}s} e^{-T_d s} \quad (3)$$

For both models,  $G(s)$  is the transfer function of the wear process,  $K_p$  is the steady-state gain,  $T_{p1}$  is a time constant,  $s$  is the Laplace operator and  $T_d$  is the time delay in Equation (3). To determine the model parameters in linear models the Levenberg–Marquardt optimization algorithm was used.

The third model structure was chosen as nonlinear autoregressive exogenous (NARX) model. Sigmoid network with one unit in a hidden layer was used to model wear behavior. The sigmoid function is given with Equation (4):



$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (4)$$

Nonlinear sigmoid function curve is given in Figure 7. Levenberg-Marquardt algorithm was used as optimization of the network weights. NARX model structures also given in Figure 8.

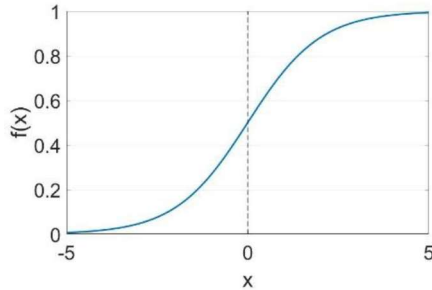


Figure 7. Sigmoid function

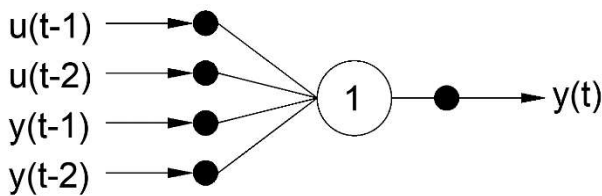


Figure 8. Nonlinear ARX model structure of the wear process

### Results and Discussion

Manufacturing orientation of FDM parts play important role in wear mechanism as seen in Figure 9. Although, friction of coefficient values which is shown in Figure 10 seems to be higher in horizontal oriented pins, weight loss amounts are much less than the vertical oriented pins. This is because, layers perpendicular to the counter surface tend to split up due to nature of layer by layer manufacturing process. Despite the fact that cast iron has rougher surface than steel discs, there is a slight difference between friction coefficient values against cast iron and steel discs which can be observed in Figure 10. This result can be explained by the self-lubricating mechanism of cast iron due to its carbon content.

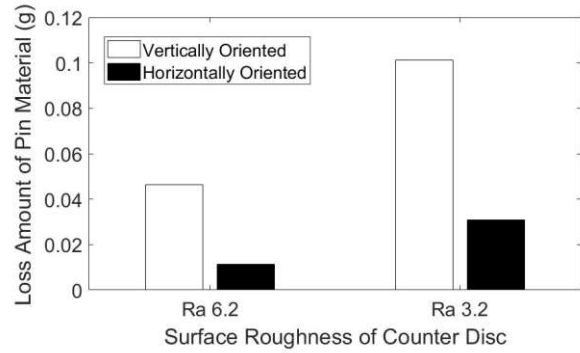


Figure 9. The graph of weight loss of pins

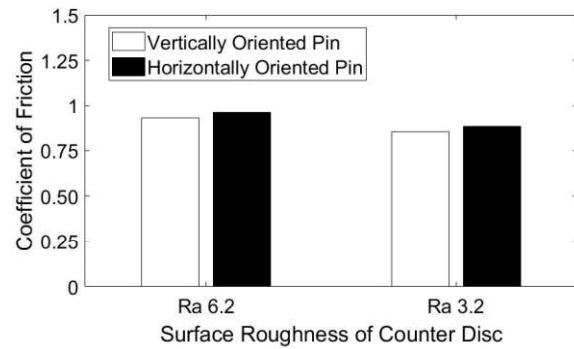


Figure 10. The graph of frictional force

In Figure 9, weight fraction of the vertical and horizontal oriented specimens against cast iron and steel discs could be seen. Revealed results indicate that surface roughness doesn't play an important role when it comes to weight loss.

Figure 11 to Figure 14 shows the typical variation of the friction force for each experiment.

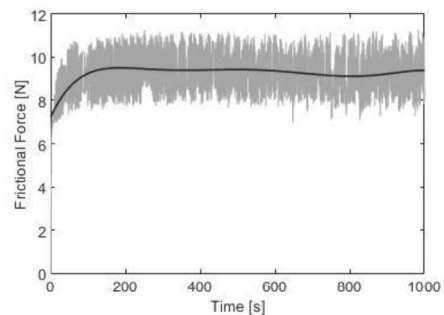
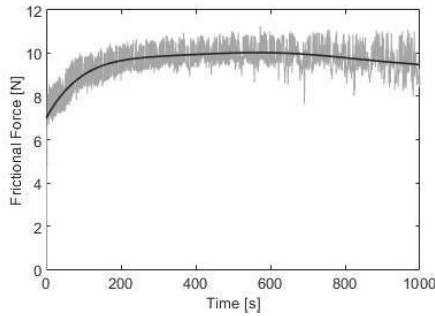
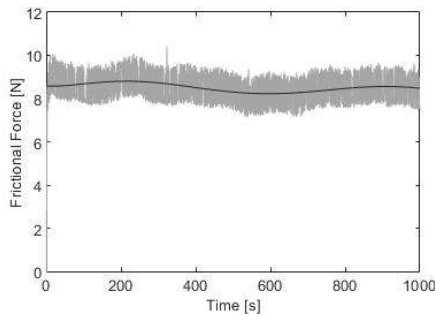


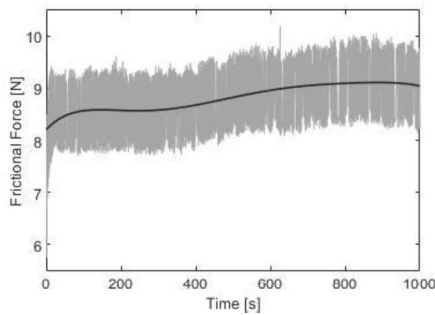
Figure 11. Vertical Orientation- Cast iron as counter material (Ra 6.2)



**Figure 12.** Horizontal Orientation- Cast iron as counter material (Ra 6.2)

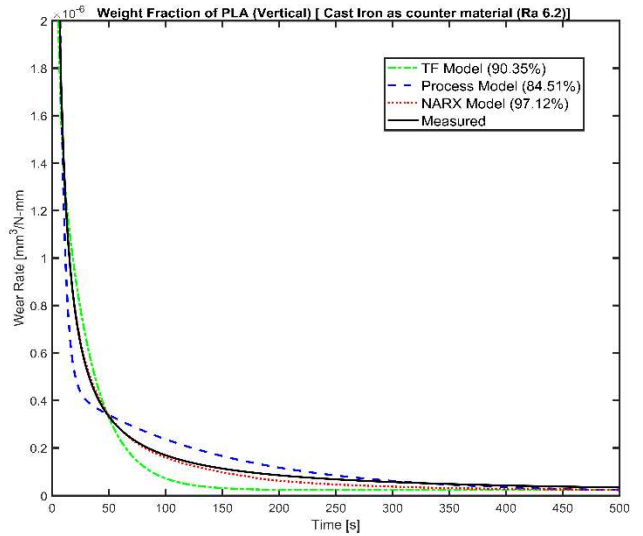


**Figure 13.** Vertical Orientation- Steel as counter material (Ra 3.2)

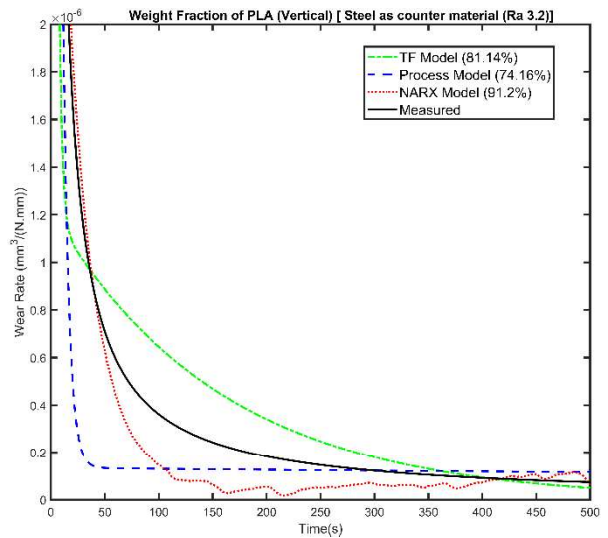


**Figure 14.** Horizontal Orientation- Steel as counter material (Ra 3.2)

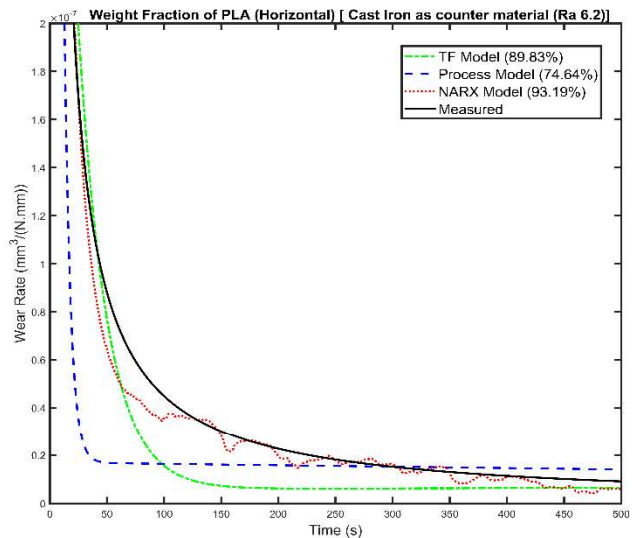
The wear rate calculated for each experiment and the identified model simulations are shown in Figures 15 to 18. As it is shown in the figures, simulations with NARX models show better performance to predict the wear rate than transfer function and process models.



**Figure 15.** Weight fraction against cast iron (vertical orientation)



**Figure 16.** Weight fraction against steel (vertical orientation)



**Figure 17.** Weight fraction against cast iron (horizontal orientation)



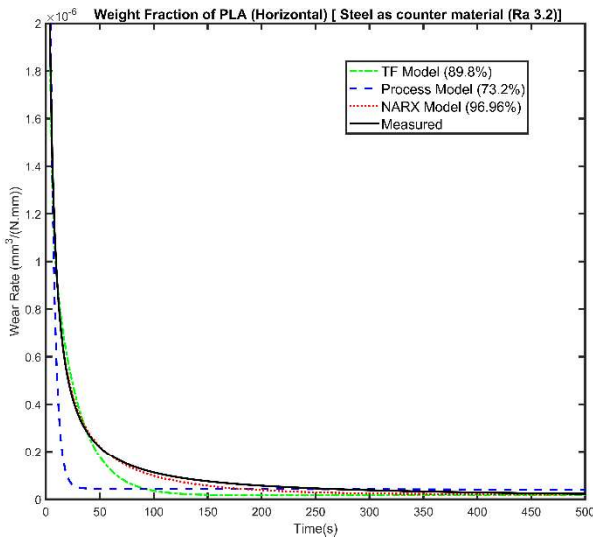


Figure 18. Weight fraction against steel (horizontal orientation)

Identification results and identified models are given in Table 2. NARX models fit to estimation data between 91.2% and 97.12%. The NARX model of vertical manufactured pin specimen against cast-iron friction pair fits 97.12% to estimation data which is the best fit value of the modelling results. Transfer function and process models show second and third better performance (81.14–90.35% and 73.2-84.51%) respectively.

Table 2. Modelling results and coefficient of friction

Disk Material / Surface finishing (Ra)	Pin Production Method	Transfer Function Models	Process Models	Nonlinear ARX models (Fit to estimation data %)	Coefficient of friction
		$G(s) = \frac{K_p}{1 + T_{p1} \times s}$ (Fit to estimation data %)	$G(s) = \frac{K_p}{1 + T_{p1} \times s} \times e^{-\tau_d \times s}$ (Fit to estimation data %)		
Cast-iron Ra=6.2	Vertical	$G_0(s) = \frac{-2.6653 \times 10^{-9}}{1 + 27.334s}$ (90.35%)	$G_0(s) = \frac{5.8286 \times 10^{-10}}{1 + 10000s} e^{-0.01s}$ (84.51%)	Sigmoid Network with 1 neuron (97.12%)	0.926319
Cast-iron Ra=6.2	Horizontal	$G_0(s) = \frac{-2.4628 \times 10^{-9}}{1 + 10000s}$ (89.93%)	$G_0(s) = \frac{-1.3345 \times 10^{-9}}{1 + 4724.6s} e^{-0.014s}$ (74.64%)	Sigmoid Network with 1 neuron (93.19%)	0.9619
Steel Ra=3.2	Vertical	$G_0(s) = \frac{8.3894 \times 10^{-9}}{1 + 4452.6s}$ (81.14%)	$G_0(s) = \frac{3.9717 \times 10^{-9}}{1 + 2446.8s} e^{-0.034s}$ (74.16%)	Sigmoid Network with 1 neuron (91.2%)	0.850786
Steel Ra=3.2	Horizontal	$G_0(s) = \frac{5.8368 \times 10^{-9}}{1 + 10000s}$ (89.8%)	$G_0(s) = \frac{2.5272 \times 10^{-9}}{1 + 1906s} e^{-0.104s}$ (73.2%)	Sigmoid Network with 1 neuron (96.96%)	0.88188

### Conclusions

In this study, relationship between wear resistance of PLA specimens manufactured by FDM process and manufacturing orientations which are vertical and horizontal positions were investigated. Standard pin-on-disc wear tests conducted on cast iron disc and steel disc with Ra 6.2 and Ra 3.2 surface roughness values respectively. Then, system identification procedures were implemented for linear and nonlinear modelling of wear rates under dry

sliding test conditions. MATLAB Identification Toolbox is used for the identification procedure. Wear rates versus time of the each tests were plotted and process model, transfer function model and NARX model structures were chosen to identify wear rates. Model parameters were identified to develop an appropriate model for wear loss estimation and simulations. Following conclusions can be listed from this study:

- Since the cast iron counter discs have higher surface roughness (Ra 6.2) which is more

than steel discs (Ra 3.2), material loss for the cast iron discs expected to be higher than steel discs. However results show the opposite, weight loss against cast iron disc in vertically and horizontally oriented specimens are 0.042 gr and 0.01 gr respectively and against steel disc 0.1 gr and 0.03 gr respectively. These results could be explained with the filled PLA particles on cast iron porous surface which decreases the loss amount of pin material.

- Effect of manufacturing orientation to the weight fraction could be observed in the experimental results. While loss amounts of material are 0.042 gr and 0.1 gr in vertical oriented pins against Ra 6.2 and Ra 3.2 counter discs respectively. In horizontal oriented ones these values decreases to 0.01 gr and 0.03 gr.

- In vertically oriented pins, loss amount of weight is much higher than horizontally oriented ones. It emerges that layer's direction relative to the counter surface plays important role in wear mechanism. Layers perpendicular to the counter surface tend to damage and shear off more than layers parallel to the counter surface.

- Although weight fraction is much higher in vertically oriented specimens than horizontally oriented ones, it couldn't be concluded as such with friction of coefficient values. In the results, friction coefficient values of vertically oriented specimens were slightly less than horizontally oriented ones. While horizontal oriented pins against cast iron and steel discs have friction coefficient values of 0.9619 and 0.88188 respectively, ones with vertical orientation have friction coefficient values of 0.926319 and 0.850786 respectively. This is because contacting surface area of pins with counter surface is larger in horizontally oriented specimens due to parallel layers upon the counter surfaces.

- It is expected that friction coefficient values of pins against cast iron would be higher than pins against steel when surface roughness values taken into the consideration. Nevertheless, friction coefficient values in vertically and horizontally orientations are 0.926319 and 0.9619 respectively. These are slightly higher than values of pins against steel discs which are 0.850786 and 0.88188. The difference is minor as it seen. It could be explained with carbon content and the porous structure of cast iron. Porous structure give rise to fill of PLA particles into these pores.

These particles on the disc surface and the lubricating effect of carbon element makes a positive impact on friction coefficient.

- The results of simulations showed adequate agreement with the experiments. Wear loss of friction material could be predicted at any sliding distance and time without conducting further experiments by using these simulations.

- NARX model shows better performance to predict wear weight fraction than transfer function and process models.

- The best fit with the experimental results were obtained in the case of vertical oriented pins and Ra 6.2 surface roughness. In this case, NARX model, Process model and transfer function model coincided with experimental results by 97.12%, 84.51% and 95.30% respectively.

## References

- [1] V. S. Aigbodion, S. B. Hassan, and J. O. Agunsoye, "Effect of bagasse ash reinforcement on dry sliding wear behaviour of polymer matrix composites," *Mater. Des.*, vol. 33, no. 1, pp. 322–327, 2012, doi: 10.1016/j.matdes.2011.07.002.
- [2] J. Bijwe and Nidhi, "Potential of fibers and solid lubricants to enhance the tribotility of PEEK in adverse operating conditions," *Ind. Lubr. Tribol.*, vol. 59, no. 4, pp. 156–165, Jun. 2007, doi: 10.1108/00368790710753545.
- [3] S. S. Kim, M. W. Shin, and H. Jang, "Tribological properties of short glass fiber reinforced polyamide 12 sliding on medium carbon steel," *Wear*, vol. 274–275, pp. 34–42, 2012, doi: 10.1016/j.wear.2011.08.009.
- [4] L. Mu *et al.*, "Comparative study of tribological properties of different fibers reinforced PTFE/PEEK composites at elevated temperatures," *Tribol. Trans.*, vol. 53, no. 2, pp. 189–194, 2010, doi: 10.1080/10402000903097460.
- [5] B. Naga Raju, K. Ramji, and V. S. R. K. Prasad, "Studies on tribological properties of ZnO filled polymer nanocomposites," *ARPN J. Eng. Appl.*

- Sci.*, vol. 6, no. 6, pp. 75–82, 2011.
- [6] H. Unal and F. Findik, “Friction and wear behaviours of some industrial polyamides against different polymer counterparts under dry conditions,” *Ind. Lubr. Tribol.*, vol. 60, no. 4, pp. 195–200, 2008, doi: 10.1108/00368790810881542.
- [7] K. Boparai, R. Singh, and H. Singh, “Comparison of tribological behaviour for Nylon6-Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and ABS parts fabricated by fused deposition modelling: This paper reports a low cost composite material that is more wear-resistant than conventional ABS,” *Virtual Phys. Prototyp.*, vol. 10, no. 2, pp. 59–66, 2015, doi: 10.1080/17452759.2015.1037402.
- [8] J. Bustillos, D. Montero, P. Nautiyal, A. Loganathan, B. Boesl, and A. Agarwal, “Integration of graphene in poly(lactic) acid by 3D printing to develop creep and wear-resistant hierarchical nanocomposites,” *Polym. Compos.*, vol. 39, no. 11, pp. 3877–3888, 2018, doi: 10.1002/pc.24422.
- [9] H. K. Garg and R. Singh, “Comparison of wear behavior of ABS and Nylon6—Fe powder composite parts prepared with fused deposition modelling,” *J. Cent. South Univ.*, vol. 22, no. 10, pp. 3705–3711, 2015, doi: 10.1007/s11771-015-2913-z.
- [10] R. Singh, N. Singh, A. Amendola, and F. Fraternali, “On the wear properties of Nylon6-SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> based fused deposition modelling feed stock filament,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 119, pp. 125–131, 2017, doi: 10.1016/j.compositesb.2017.03.042.
- [11] A. K. Sood, A. Equbal, V. Toppo, R. K. Ohdar, and S. S. Mahapatra, “An investigation on sliding wear of FDM built parts,” *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 48–54, 2012, doi: 10.1016/j.cirpj.2011.08.003.
- [12] O. A. Mohamed, S. H. Masood, J. L. Bhowmik, and A. E. Somers, “Investigation on the tribological behavior and wear mechanism of parts processed by fused deposition additive manufacturing process,” *J. Manuf. Process.*, vol. 29, pp. 149–159, 2017, doi: 10.1016/j.jmapro.2017.07.019.
- [13] C. M. Agrawal, G. G. Niederauer, and K. A. Athanasiou, “Fabrication and Characterization of PLA-PGA Orthopedic Implants,” *Tissue Eng.*, vol. 1, no. 3, pp. 241–252, 1995, doi: 10.1089/ten.1995.1.241.
- [14] K. A. Athanasiou, C. M. Agrawal, F. A. Barber, and S. S. Burkhart, “Orthopaedic applications for PLA-PGA biodegradable polymers,” *Arthroscopy*, vol. 14, no. 7, pp. 726–737, 1998, doi: 10.1016/S0749-8063(98)70099-4.
- [15] J. C. Middleton and A. J. Tipton, “Synthetic biodegradable polymers as orthopedic devices,” *Biomaterials*, vol. 21, no. 23, pp. 2335–2346, 2000, doi: 10.1016/S0142-9612(00)00101-0.
- [16] S. T. Method, “Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus 1,” *Wear*, 2011.



## The adsorption of Cr(VI) and organic matter by new generation pyrolysis char

Merve KALEM<sup>1,\*</sup>, Esra YEL<sup>2</sup>, Zafer ARIKAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Konya Technical University, Environmental Engineering Department, 0000-0002-8874-1801

<sup>2</sup>Konya Technical University, Environmental Engineering Department, 0000-0002-1019-4182

<sup>3</sup>Selcuk University, Environmental Engineering Department

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 24 July 2020  
Received in revised form 6 January 2021  
Accepted 6 January 2021  
Available online 30 March 2021

#### Keywords:

Char, adsorbent, waste tire, pyrolysis

### ABSTRACT

Waste vehicle tires (WT) and high density polyethylene (HDPE) were pyrolyzed at 300, 500 and 700°C by slow pyrolysis. Solid product (pyrolysis char) were collected and pyrolysis char was used as adsorbent for COD and Cr(VI) removal. The char samples were characterized by BET, EDS, SEM and XRD analysis. Based on the BET, SEM and XRD results of the char samples, WT 700 can be used as adsorbents for Cr (VI) and organic material adsorptions. Cr(VI) and COD removal efficiency of char adsorbent were investigated. In the adsorption experiments, char was used as 0.1-0.5 g/100 mL doses and at 50°C and 80°C adsorption temperatures. The effects of adsorption temperature and char dosage on the adsorption efficiency were investigated. The maximum Cr(VI) adsorption capacity of this new generation char was found to be 14.09 mg/g for 80°C adsorption temperatures. 0.5 g/100 mL adsorbent dose was better in COD and Cr (VI) removals. The correlation of PSD1 (pseudo first order kinetic model) was better than PSD2 (pseudo second order kinetic model) for all doses. The Temkin and Langmuir isotherms were better isotherm for COD and Cr(VI) removals, respectively. A new approach were present to evaluation of waste HDPE and waste tires with this study.

Doi: 10.24012/dumf.773523

### Introduction

Vehicle tires are important production for automotive industry. Today, a significant amount of waste vehicle tires are produced in the world. Turkey generates 300000 tons of waste tires per year [1]. These waste tires can cause serious environmental as well as health problems because they are not biodegradable. Tyre manufacturing companies use different toxic chemical additives like styrene-butadiene and polybutadiene within tires depending on its intended use [2] Vehicle tires are produced rubber and various additive materials.

Rubber material contain styrene-butadiene (~65%), carbon black (~31%), zinc oxide (~3%), and sulphur (~2%) [3]. The storage of waste tires in landfills and the incineration of those tires is prohibited according to Regulation of End of Life Tires in Turkey [4]. Until the 1960's, the produced vehicle tires used to be processed mechanically since raw rubber was used in the vehicle tire production and these tires could have been used in vehicles. When the using of synthetic rubber was increased, the production costs and the need for mechanical recycling reduced.

\* Corresponding author  
Merve KALEM  
✉ [msogancioglu@ktun.edu.tr](mailto:msogancioglu@ktun.edu.tr)

## Introduction

Consequently, the rate of rubber recycling fell to only 2 % after 1995 [5]. Pyrolysis of waste tires is one of the recent technologies in using of pyrolysis oil and solid products as an alternative fuel and adsorbent material. In this process, the organic compounds of the waste tire are decomposed to oil (liquid) and gas products while the inorganic compounds like metal compounds remain practically unaltered, allowing their separation to be recovered. Pyrolysis process is a significant recycling method for waste vehicle tires, Formation of toxic compounds in the environment can be prevented by this process. The usefull products are obtained from this process as fuels and/or adsorbent.

In scientific literature, there are many studies on using of pyrolysis oil as fuel [6-9]. Hurdogan and his colleagues investigated using of pyrolysis oil in diesel engines as fuel. They were determined engine emissions and engine performance. As a result, waste tire oil can be used as fuel [6]. Murugan et al. researched a study of pyrolysis oil obtained from waste tires, as a fuel in diesel engine. The results of the study showed that it is possible to start the engine filled with 70% pyrolytic oil [6,7].

Adsorption has long been used as a wastewater treatment technique for the removal of some

pollutants at industrial scale [10]. Activated carbon (AC) has been known since the middle ages to be able to remove dissolved substances from liquids. Many factors affect the amount of adsorption; chemical properties of the adsorbate, activated carbon properties, and liquid phase characteristics such as pH and temperature [11]

There are studies in which waste tire pyrolysis char is used in wastewater treatment [12,13]. In these studies, organic matter and heavy metals were successfully removed with char [12,13,14]. Some of these studies were given in Table 1.

A number of scientific studies showed that waste tire chars display strong adsorption capabilities for substances such as organic chemicals, dyes, heavy metals in wastewater or aqueous solution (Table 1). Generally, char samples that obtained from high pyrolysis temperature were shown to have high adsorption efficiency [12,13]. In the study of Amri et al. (2009), char was used as adsorbent for the adsorption of phenol. The maximum adsorption capacity of Langmuir isotherm was obtained as 156.250 mg / g [12]. The kinetics of  $\text{Cu}^{+2}$  removal by oxygenated and unoxxygenated char adsorbent obtained from waste tires was modeled with different kinetic models.

Table 1. Some adsorption studies from literature

Reference	Pyrolysis Process System	Pyrolysis Temperature	Specific Surface Area	Activation /Preprocessing (for char)	Adsorbed element/compound
Amri et al., 2009	Muffle furnace	800°C	273 m <sup>2</sup> /g	+	Phenol
Mui et al., 2010	Muffle furnace	1023-1323 °K	99 m <sup>2</sup> /g -48 m <sup>2</sup> /g	+	Dye
Quek et al., 2011	Horizontal tubular reactor	550°C	73.3 m <sup>2</sup> /g	+	$\text{Cu}^{+2}$
Lian et al., 2013	Horizontal cylindrical furnace	200°C-800°C	-	+	$\text{Cu}^{+2}$ /Naphthalene
Gupta et al., 2014	Muffle furnace	500°C	562 m <sup>2</sup> /g	+	p-cresol
Wang et al., 2014	Stainless tube	450°C - 800°C	114 m <sup>2</sup> /g	-	Methylene blue
Li et al., 2015	Fixed bed quartz reactor	500°C - 700°C	54.9 m <sup>2</sup> /g -73.5 m <sup>2</sup> /g	+	Elementel mercury

The char samples were obtained as oxygenated and unoxxygenated. According to study results,

adsorption of char samples were determined to occur via three and two distinct stages for



oxygenated and unoxygenated chars, respectively [14]. In a study adsorption of methylene blue by activated tire char was investigated. Reserchers were found the second-order model as the best fit [11].

As seen in Table 1 and in other studies, tire char samples have mesoporous-microporous structure with high specific surface area of 55 m<sup>2</sup>/g to 562 m<sup>2</sup>/g. Furthermore, these char samples were obtained by activation or pre-processing for increasing their surface area. In the production of activated tire char, energy source and chemical materials are used. The non-activated tire chars may also be used for water and wastewater treatment.

Industrial wastewaters contain toxic heavy metals in which high amounts are remained in the natural environment [16]. Cr (VI) is an important heavy metal pollutant in surface water and groundwater. This metal is originated from wastewater discharge of industrial facilities such as the metal coating and processing, otomotive industry, dye production [17]. The toxicity of Cr (VI) is high. Therefore, wastewater containing Cr (VI) must be treated before discharging into biological systems. Forms in which this element is toxic are Cr (VI), chromate (CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) and dichromate (Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>). It has a mutogenic and teratogenic effect especially for kramat creatures [18].

The best heavy metal treatment method must be cost effective and capable of decreasing the metal. Adsorption is the most economic method for heavy metal removal using different adsorbents [19-20]. Many studies on AC adsorption have been carried out for enhancement of the Cr(VI) adsorption performance [21-22]. Activated carbon is generally obtained from natural sources such as coal and wood. Therefore, studies are still being carried out to produce higher effective, low-cost and environment-friendly adsorbent materials. In the last years, adsorbents have been prepared from solid wastes such as waste plastics, waste tires, biomass wastes [23-24].

In the scope of this study, firstly the waste vehicle tires and HDPE wastes were pyrolyzed in fixed bed pyrolysis reactor and the structure of pyrolytic chars were analyzed by FTIR, EDS,

SEM and BET analysis. The non-activated char samples were used as adsorbent for adsorption of toxic Cr(VI) anions and organic matter from synthetic wastewater. The adsorption capacity of pyrolysis char and kinetic parameters were evaluated.

## Experimental

### Preparation of pyrolytic chars

Fixed bed pyrolysis system was preferred for the pyrolysis of waste tires. Pyrolysis temperatures are 300, 500 and 700°C. Heating rate is 5°C/min. The pyrolytic chars were passed through a 250 mesh sieve to obtain uniform powder before using as adsorbent. All the char samples were non-activated (used as they are generated).

### Characterization of pyrolytic chars

Char samples that obtained from pyrolysis process were characterized by different analyses. The surface properties of char materials were examined using an BET (Brunauer-Emmett-Teller) analyzer. Functional groups of char samples were determined by FTIR analyzer. The surface topography and EDS (Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy) elemental composition of char samples were scanned by SEM (Scanning Electron Microscope). XRD analyses were carried out on ray diffractometer with ID detector and furnace (up to 600 0C annealing). The XRD patterns were determined in range of  $2\theta = 10-90^\circ$ .

### Adsorption studies

In Cr (VI) and organic matter removal studies, 170 mg/L potassium dichromate (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) and 700 mg/L Sodium acetate (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub>) standard solutions were used, respectively. Concentrations of the Cr(VI) and organic matter were determined using Standart Methods [25]. Chars that obtained at 700°C pyrolysis temperature were evaluated as adsorbent. Adsorption studies were performed in batch system at 50°C and 80°C for 0.1 g/100 mL, 0.3 g/100 mL and 0.5 g/100 mL adsorbent doses in 120 minutes. After the adsorption process, homogeneous liquid was seperated for COD

(Chemical Oxygen Demand) and Cr (VI) analyses.

### Kinetic models of adsorption studies

The pseudo-first order kinetic model (Eq.1) and pseudo-second order (Eq.2) kinetic models were performed for the kinetic calculations of the adsorption study.

$$\log(qe - qt) = \log qe - \frac{k_1 t}{2.303} \quad (1)$$

where  $q_e$ : amounts of removed Cr (VI) or organic matter (mg/g),  $q_t$ : amounts of removed Cr (VI) or organic matter (mg/g) at any time,  $k_1$ : rate constant ( $\text{min}^{-1}$ )

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2} \cdot qe^2 + \frac{t}{qe} \quad (2)$$

where  $k_2$ : rate constant ( $\text{min}^{-1}$ )

### Adsorption isotherms

The adsorption capacities were calculated according to Eq.3.

$$q = \frac{V(C_0 - C_e)}{m} \quad (3)$$

where  $V$ : volume of sample (L),  $m$ : amount of adsorbent (g),  $C_0$ : initial Cr(VI) concentrations (mg/L) and  $C_e$ : the and equilibrium Cr(VI) concentrations (mg/L)

Different theoretical models could be applied to experimental data for find a model which describes equilibrium data. Langmuir, Freundlich and Temkin isotherms have been generally used to describe the equilibrium determined between removed ions on the adsorbent ( $q_e$ ) and ions in water ( $C_e$ ) at equilibrium [26]. A monolayer adsorption onto a surface is explained by Langmuir model. This model is represented by Eq.4 [31]. The Freundlich isotherm (Eq. 5) is a multilayer adsorption isotherm. This isotherm supposes that the removed of ions occurs on a heterogeneous surface of adsorbent. According to Temkin isotherm, the heat of adsorption

would change linearly [27]. The Temkin isotherm assumes that taking into the account of between the adsorbent and adsorbate interactions by Eq.6 [28].

$$qe = \frac{q_{\max} \cdot b \cdot Ce}{(1 + b \cdot Ce)} \quad (4)$$

$$qe = k \cdot Ce^{1/n} \quad (5)$$

$$qe = B \cdot \ln A t + B \cdot \ln C e \quad (6)$$

where  $q_{\max}$ (mg/g): value of maximum adsorption capacity,  $b$ : rate constant of Langmuir adsorption,  $k$  and  $n$ : constants of Freundlich,  $A$ : equilibrium binding constant of Temkin isotherm (L/g),  $B$ : Constant (J/mol) (related to heat of sorption).

## Results and discussion

### Characterization of pyrolysis char

In the scope of the study, waste tire (WT) samples and waste HDPE and waste tire mixtures (for different mixture ratio) were pyrolysed at 300°C, 500°C and 700°C. Firstly, BET and FTIR analyses were performed for char characterization. FTIR spectras were given in Fig.1. These results were summarized in Table 2, together with pyrolysis yields. In waste tire pyrolysis, as the pyrolysis temperature increases the pyrolysis yield increases for each group. Furthermore, the pyrolytic char became more porous with the increase of specific surface area and specific porosity. Generally, the porosity increases and the specific surface area increases with the increase of decomposition.  $S_{BET}$  values were char samples (405-519  $\text{m}^2/\text{g}$ ) were higher than activated tire chars were obtained from other scientific studies [30].

HDPE wastes were shown significantly effective on co-pyrolysis with WT. In WT-HDPE co-pyrolysis, as HDPE ratio increased, pyrolysis yields increased. Also pyrolysis temperature and decomposition increased, carboxylic and lactonic acid groups were converted to phenolic groups for WT pyrolysis and WT-HDPE co-pyrolysis. The peaks observed in FTIR spectra of WT-HDPE char samples represented the aliphatic C-H groups

and aromatic C-C groups. Chars obtained from WT-HDPE co-pyrolysis were showed higher aromatic structure from WT pyrolysis char samples. When the temperature increased from 300°C to 700°C, specific surface area and specific pore volume of WT-HDPE chars increased by 4-6.5% and 4-5%, respectively. During depolymerization, a physical change become at the surface of the char samples. The complex functional groups (carboxylic and lactonic acid grups) decomposed to phenolic acid groups. As result, the large number of pores were generated in the char structure.

Because that char samples were found to be mesoporous and macroporous materials, they may show good adsorption properties. In WT-HDPE pyrolysis, highest pyrolysis yields were obtained at 700°C pyrolysis temperature for all ratios. WT chars (300°C,500°C,700°C) and WT-HDPE chars (700°C) were analysed by EDS, XRD and SEM. Table 3 shows the composition some pyrolytic chars. According to EDS results, C peak is the biggest peak at a binding energy of 285-290 eV. Another major elements are O (545-550 eV), S (591-597 eV), Zn (1020-1021 eV) and Si (624-628eV). In WT pyrolysis, when pyrolysis temperature increase from 300°C to 700°C, C elements content of WT chars increases from 79.53% to 85.89%, whereas the O contents increase from 11.94% to 21.57%. Intense deoxygenation and dehydrogenation reactions occur during depolymerization. Accordingly, the wedge becomes more aromatic at 700C [32].

Waste tyre pyrolysis char composition was mainly 78.9 wt.% of carbon, 6.9 wt.% of volatiles compounds and 13.7 wt.% of ashes. Thus, the waste tire char becomes a good source of activated carbon [24].

When HDPE ratio increased, these C elements ratio increased for WT-HDPE pyrolysis. These

result were supported by Table 2 and Fig.1. When HDPE ratio increased, phenolic, carboxylic acid groups and aliphatic groups were decomposed to aromatic C-C groups. C elements ratio increase as pyrolysis temperatures increase and pyrolysis yields increase (Table 2 and Fig.1). Besides this, it is notable the WT char samples has higher Zn and Si compared with WT-HDPE char samples. These elements are from additives of tire structure. When WT ratio was decreased phenolic and carboxylic acid, these other elements decreased. WT25+HDPE75 char samples has higher C and O ratios compared with its WT char samples. Consequently, according to pyrolysis yields (Table 2) and elemental composition (Table 3) results, WT-HDPE waste mixtures in co-pyrolysis showed higher elemental decomposition and higher aromatic structure as compared to WT samples pyrolysis. X-Ray diffraction (XRD) analyses results for char samples are shown in Fig. 2. In Fig.2(A), two peaks are observed at 22° and 46°, which related to the 002 and 10 bands (diffuse graphite bands). The peak is binded to the graphitic structures of crystallites of pyrolytic char and the two-dimensional band (at 46°) is added to atomic order (like graphite) within a single plane structure [33]. According to (Fig.2 (B)), the broad bands (at 22°) show that HDPE-WT char samples have a disordered structure. This disordered carbon structure occurs from aliphatic side chains and morphous carbon.

The intensity of the XRD spectra of all char samples became weaker as the pyrolysis temperature increased. As result, the peak of spectras became sharper and more symmetric.

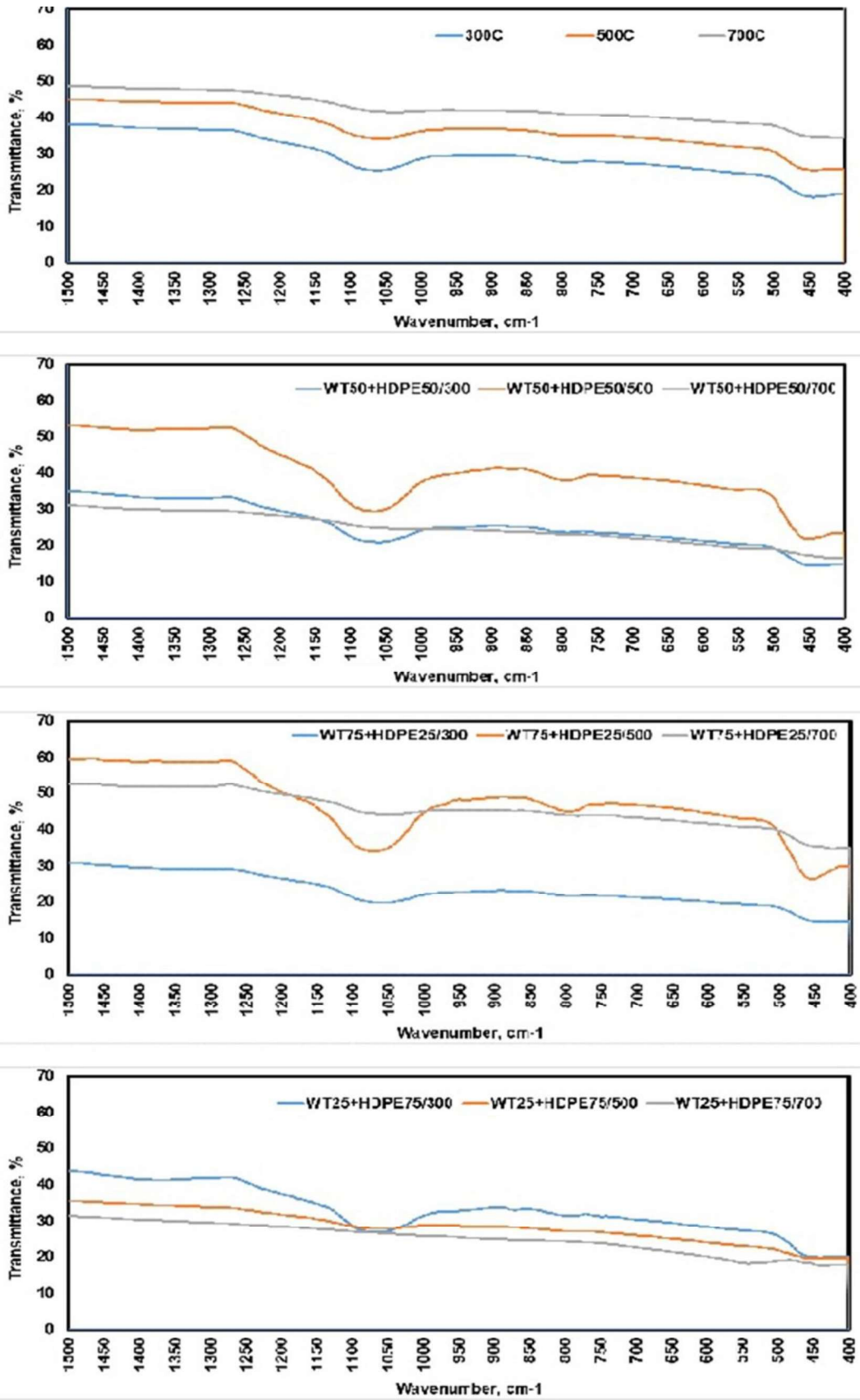


Figure 1. FTIR spectras of char samples

Table 2. Pyrolysis yields and different properties of char samples

Char Name	Yield (%)	Different properties of char samples		
		Specific Surface Area $S_{BET}$ ( $m^2/g$ )	Specific Pore Volume V ( $cm^3/g$ )	Functional Groups (Determined from FTIR spectrums)
WT/300	59.18	424	0.108	Phenolic groups, carboxylic groups, lactonic acid groups
WT/500	64.07	497	0.119	Phenolic groups, carboxylic acid groups
WT/700	60.79	519	0.135	Phenolic acid groups
WT25+HDPE75/300	86.23	411	0.123	Phenolic acid groups, aliphatic C-H groups, aromatic C-C groups
WT25+HDPE75/500	89.45	405	0.123	Phenolic acid groups, aliphatic C-H groups, aromatic C-C
WT25+HDPE75/700	90.06	428	0.129	Phenolic acid groups, aliphatic C-H groups, aromatic C-C groups
WT50+HDPE50/300	76.50	442	0.103	Phenolic groups, carboxylic acid groups, aliphatic C-H, aromatic C-C groups
WT50+HDPE50/500	79.10	423	0.110	Phenolic groups, carboxylic acid groups, aliphatic C-H groups, aromatic C-C groups
WT50+HDPE50/700	83.56	417	0.109	Phenolic acid groups, aliphatic C-H groups, aromatic C-C groups
WT75+HDPE25/300	70.82	431	0.128	Phenolic groups, carboxylic groups, lactonic acid groups, aromatic C-C groups
WT75+HDPE25/500	71.64	445	0.130	Phenolic groups, carboxylic groups, aliphatic C-H groups, aromatic C-C groups
WT75+HDPE25/700	75.43	459	0.133	Phenolic groups, aliphatic C-H groups, aromatic C-C groups

\*[WT(X)+HDPE(Y)/(C) : X: WT ratio – Y: HDPE ratio – C:Pyrolysis temperature]

Table 3. Elemental composition of char samples

Char Name	Elemental Composition (wt%)						
	C	O	S	Zn	Cu	Ca	Si
WT/300	79.53	11.94	0.84	2.38	0.81	0.57	3.71
WT/500	67.96	12.43	0.56	1.75	0.69	0.15	6.85
WT/700	85.89	21.57	0.946	4.87	-	0.44	6.73
WT25+HDPE75/700	88.72	4.5	1.84	3.06	0.25	1.01	0.25
WT50+HDPE50/700	84.41	7.92	1.12	1.43	0.81	1.77	1.46
WT75+HDPE25/700	72.25	15.80	0.20	0.58	0.54	0.27	0.73

Morphology of the chars obtained from pyrolysis of WT and WT-HDPE were given in Fig. 3. It is seen that there are developed pores over the surface of WT char samples. There are more pores on the surfaces of the WT char compared to WT-HDPE char, due to the aromatic structure of HDPE. It was apparent that at higher pyrolysis temperature, a larger

number of developed pores were observed for all samples.

Based on the BET, SEM and XRD results of the char samples, WT 700 can be used as adsorbents for Cr (VI) and organic material adsorptions, due to the importance of mesopore structure to many adsorption methods.



### Adsorption kinetics results

COD and Cr(VI) removal efficiencies were given in Fig. 4 for all samples. The rate of change in COD and Cr(VI) removal showed a much faster increase for 50°C than for 80°C.

COD removal efficiencies were between 60-90% and 40-60% for 50°C and 80°C, respectively. Similarly, maximum Cr(VI) removal efficiencies were %80 and %70 for 50°C and 80°C adsorption temperatures. As the reason for these results, it can be say that when adsorption temperature increased, poro size of char decreased. Consequently, it can be say that adsorption efficiencies of COD and Cr (VI) decreased.

Because of the porous morphology of char samples, as the adsorbed COD and Cr(VI) increased, char surface area decreased and adsorption efficiencies decreased for all samples. In removal of COD and Cr (VI), 0.5 g/100 mL adsorbent dose were better than other doses. According to the adsorption results, COD and Cr (VI) adsorption was rapid in the first 20 minutes. Afterwards, the adsorption rate decreased for all doses and temperature values. While all samples showed a decreasing adsorption rate with increasing contact time, the adsorption capacity for the WT700 has increased significantly.

The parameters of the kinetic models are calculated and given in Table 4. Pseudo first order model parameters for all doses showed better results than pseudo second order model parameters. According to Pseudo first order model results, adsorption rate and surface adsorption are closely related. It is known that the adsorption capacity depends on the active pores on the surface of the char [34,35]. The adsorption rates increased with adsorbent dose, as shown by the increasing rate constants from Table 4. However, increasing rate of adsorption with increasing to 80°C adsorption temperature was not observed for all doses. The decreasing in adsorption could be due to the increasing of precipitation, which decreasing of the concentration of Cr (VI) and COD for 80°C. Another reason could be the increased external

resistance with higher temperature. This resistance occurs against to metal transport by the boundary layer. As result, lower rates of metal removal occurs for higher adsorption temperature[18]. The isotherm constants of the Langmuir, Freundlich and Temkin models were given in Table 5. According to  $R^2$  values, the Temkin isotherm were better than Langmuir and Freundlich isotherm for COD removal. However, the data fit Langmuir isotherm better than other isotherm models for Cr (VI). Therefore, the these isotherms shows that the Cr(VI) was adsorbed in monolayers of WT700. According to Langmuir analysis, the maximum Cr(VI) adsorption capacity of WT700 was was determined as 0.486 mg/g and 14.09 mg/g for 50°C and 80°C adsorption temperatures, respectively. These results show that the Cr (VI)adsorption is monolayer adsorption on homogeneous surfaces of WT700 rather than multilayer adsorption on heterogeneous surfaces of WT700.

### Ecological and Economic Advantages of Study

Among the industrial adsorbents, activated carbon having high porosity is the most important of the adsorbents currently used for controlling environmental pollution. Commercially active carbons are obtained by activating carbon obtained from wood, lignite, charcoal, through various processes.

Energy and chemical gases are used in the activation of these adsorbents Activation temperatures are between the 500-800°C. Commercial active carbon surface area is between 400-1600 m<sup>2</sup>/g. Natural resources are being destroyed in the production of activated carbon. In addition, activated carbon production cause high energy costs. Therefore, new of adsorbents generation from wastes can be preferred instead of these commercial activated carbons. Moreover, the activation process was not carried out in the production of these chars. By using only electrical energy, both waste tires have been removed and a new adsorbent

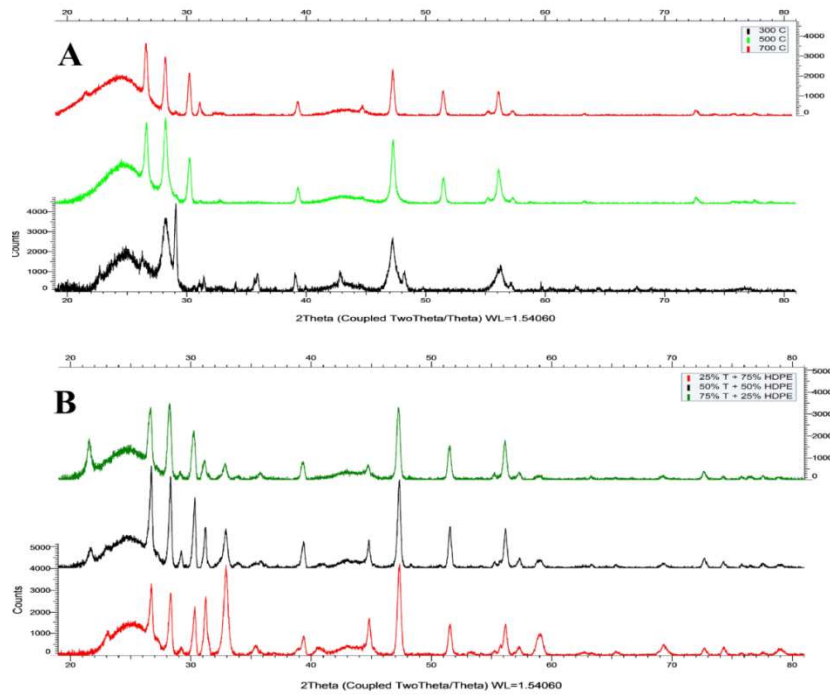


Figure 2. X-Ray diffraction (XRD) characterization for char samples

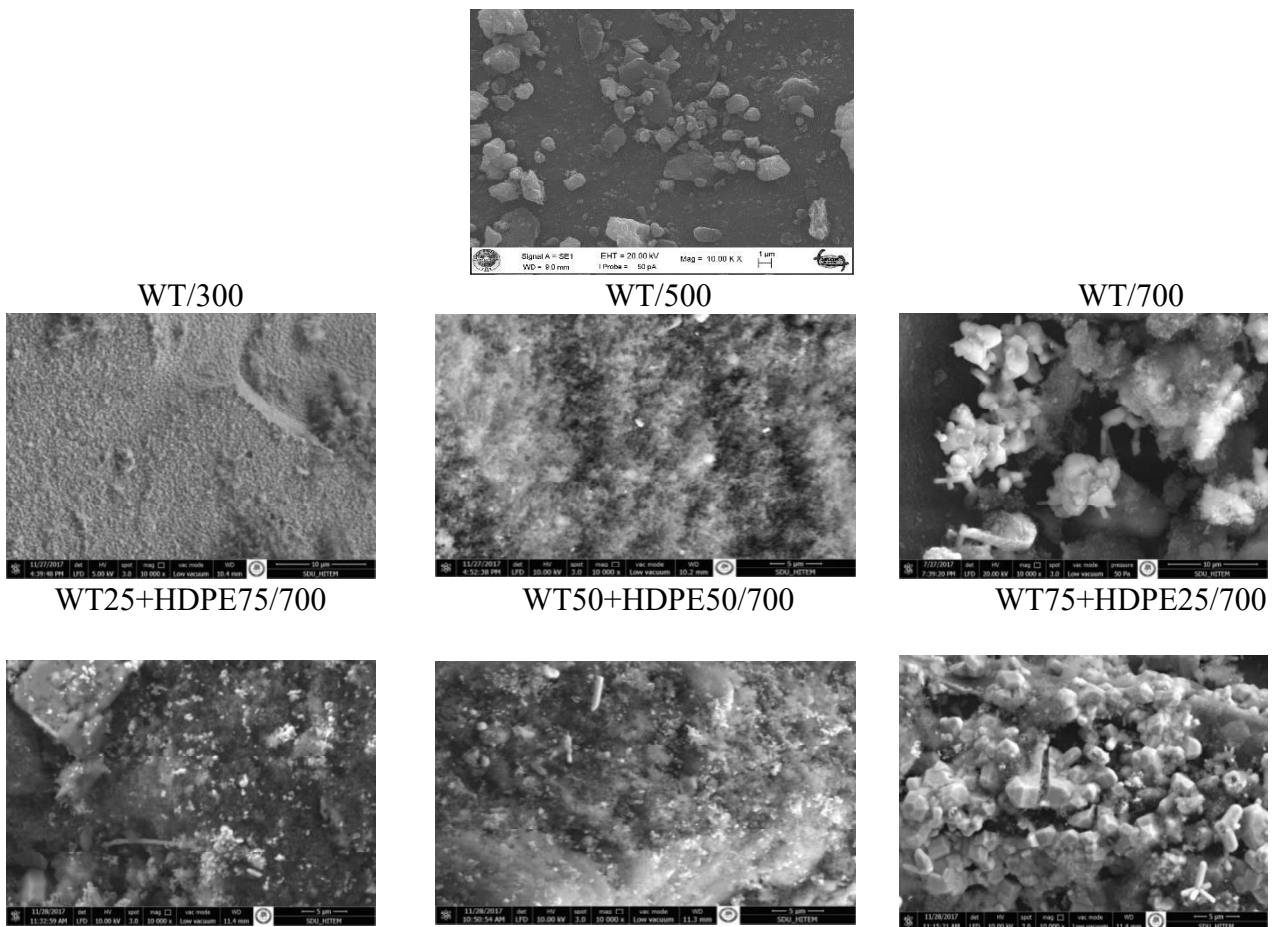


Figure 3. SEM images of WT and WT-HDPE char samples (X10000)

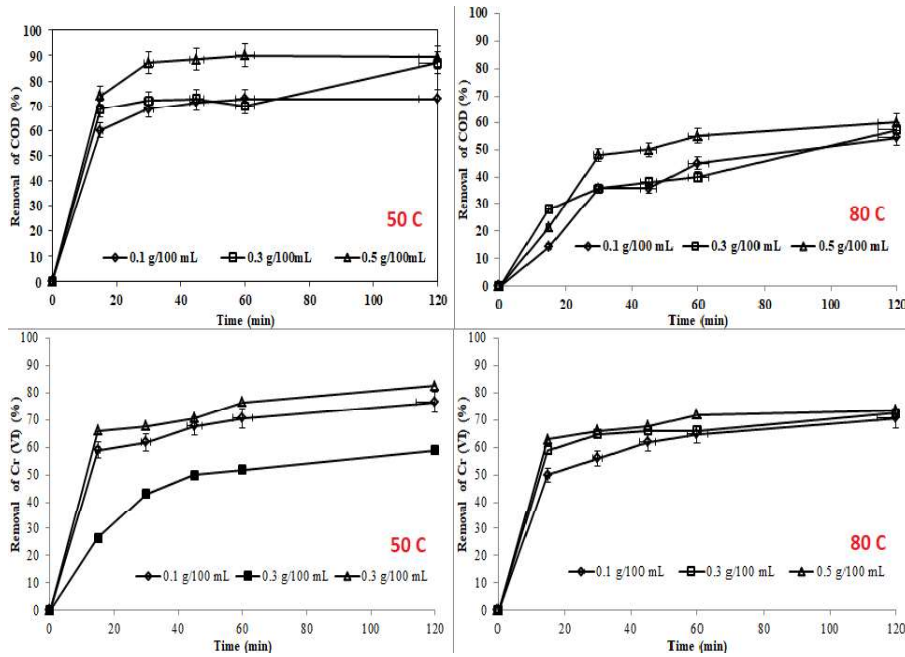


Figure 4. Adsorption efficiencies of COD and Cr (VI) with time

material has been obtained from these wastes. In addition, a natural resource has not been destroyed. A cost analysis has been carried out for application of this study in a medium-scale pyrolysis facility. In Table 6, costs were given for pyrolysis facility [36]. In Turkey, cost of commercial activated carbon is changed between the 890-1115 \$/tone. According to

Table 6, WT tire char cost is 540 \$/tone. The adsorbent obtained from waste tire pyrolysis are more economic than commercial activated carbon. This study provides environmental friendly and economic benefits in production of adsorbent.

Table 4. Kinetic parameters of kinetic models

	Pseudo First Order				Pseudo Second Order			
	50°C		80°C		50°C		80°C	
	0.1 g/100 mL							
	$k_1$	$R^2$	$k_1$	$R^2$	$k_2$	$R^2$	$k_2$	$R^2$
COD	0.0065	0.825	0.0078	0.995	0.0075	0.942	0.0081	0.924
Cr(VI)	0.0075	0.994	0.0063	0.991	0.0088	0.987	0.0075	0.988
	0.3 g/100 mL							
	$k_1$	$R^2$	$k_1$	$R^2$	$k_2$	$R^2$	$k_2$	$R^2$
COD	0.0025	0.974	0.0033	0.991	0.0035	0.975	0.0045	0.977
Cr(VI)	0.0029	0.990	0.0047	0.997	0.0029	0.963	0.0061	0.954
	0.5 g/100 mL							
	$k_1$	$R^2$	$k_1$	$R^2$	$k_2$	$R^2$	$k_2$	$R^2$
COD	0.0074	0.997	0.0045	0.998	0.0091	0.994	0.0081	0.988
Cr(VI)	0.0082	0.993	0.0059	0.994	0.0088	0.987	0.0075	0.990

Table 5. Isotherm constants in adsorption of COD and Cr(VI)

Constants	50 °C		80 °C	
	COD	Cr(VI)	COD	Cr(VI)
<b>Langmuir</b>				
Q <sub>m</sub> (mg/g)	0.651	0.486	6.950	14.09
K <sub>L</sub> (L/mg)	0.001	0.002	0.0142	0.274
R <sup>2</sup>	0.661	0.993	0.9471	0.993
<b>Freundlich</b>				
K <sub>F</sub>	1.430	1.087	3.349	23.517
1/n	0.542	0.241	0.622	15.055
R <sup>2</sup>	0.974	0.989	0.966	0.988
<b>Temkin</b>				
B	413.0	8.071	597.90	927.0
A <sub>t</sub>	1657.0	0.101	3281.4	3512.9
R <sup>2</sup>	0.999	0.976	0.998	0.931

Table 6. Costs for pyrolysis facility

Facility Capacity (tone/day)	70-270
Cost of Capital (\$)	16-90
Operating and maintenance cost (\$/7 year)	80-150
Facility Capacity (tone/7 year)	178850
Capital+Operating+Maintenance Cost (\$/7 year)	96000000
Unit Cost (\$/tone)	540

## Conclusions

Pyrolysis chars which are generated from waste tire were used as a recycled adsorbent material for the adsorption of Cr(VI) and organic materials from water in this study. When pyrolysis temperature increase from 300°C to 700°C, C elements content of WT chars increase. The according to BET analysis, the char produced from 700°C pyrolysis temperature (WT700) showed high specific surface. As result, these adsorbent successfully adsorbed Cr(VI) anions from water. The maximum Cr(VI) adsorption capacity of WT700 was found to be 14.09 mg/g for 80°C adsorption temperatures. 0.5 g/100 mL adsorbent dose was better in COD and Cr (VI) removals. The correlation of pseudo first order model was better than pseudo second order model for all doses. The Temkin and Langmuir isotherms were better isotherm for COD and Cr(VI) removals, respectively. The chars obtained from this study can adsorb Cr(VI) and organic matter. As result, WT700 adsorbent obtained from waste tire pyrolysis is non-activated. No other chemicals and energy were

used as in other production process of active carbon. These non-activated char were show good adsorbent properties. Successful results were obtained from adsorption experiments. This study might significantly provide the economic and environmental benefits in the production of adsorbent. Waste tires can also be studied for the removal of other pollutant parameters in the subsequent studies after this work. In this study, only WT was used in adsorption experiments. However, adsorption experiments of co-pyrolysis char can be performed for evaluation of waste HDPE in water treatment.

## References

- [1] LASDER, 2018. Turkey Vehicle Tires Industry Associations, <http://www.lasder.org.tr/> (accessed 15 April 2020).
- [2] T. McQuade <https://itstillruns.com/chemical-properties-tires-8176244.html> (accessed 15 April 2020).
- [3] G. Li, B. Shen, F. Lu, "The mechanism of sulfur component in pyrolyzed char from waste tire on the elemental mercury removal", *Chemical Engineering Journal*, vol. 273, pp. 446–454, 2015.
- [4] Ministry of Environment and Urbanization, Regulation of End of Life Tires" 2015.

- [5] K. Reschner, "Scrap Tire Recycling: A Summary of Prevalent Disposal and Recycling Methods", [http://www.entire\\_engineering.de/Scrap\\_Tire\\_Recycling.pdf/](http://www.entire_engineering.de/Scrap_Tire_Recycling.pdf/) (accessed 15 April 2020).
- [6] E. Hurdogan, C. Özalp, O. Kara, M. Özcanlı, "Experimental investigation on performance and emission characteristics of waste tire pyrolysis oilediesel blends in a diesel engine", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, pp. 23373-23328, 2017.
- [7] S. Murugan, M.C. Ramaswamy, G. Nagarajan, "Assessment of pyrolysis oil as an energy source for diesel engines", *Fuel Process Technol.* vol.90, pp.67-74, 2007.
- [8] C. Wongkhorsub, N.A. Chindaprasert, "Comparison of the use of pyrolysis oils in diesel engine", *Energy Power Eng.* vol.5, pp.350-355, 2013.
- [9] A.B. Koc, M. Abdullah, "Performance of a 4-cylinder diesel engine running on tire oil biodiesel blend", *Fuel Process Technol.* vol.118, pp.264-269, 2014.
- [10] E. Manchón-Vizuete, A. Macías-García, A. Nadal Gisbert, C. Fernández-González, V. Gómez-Serrano, "Adsorption of mercury by carbonaceous adsorbents prepared from rubber of tyre wastes", *J. Hazard. Mater.* vol.119, pp.231-238, 2005.
- [11] F. Rozada, M. Otero J.B. Parra, A. Moran, A.I. Garcia, "Activated carbons from sewage sludge and discarded tyres: production and optimization", *Chem. Eng. J.* vol.114, pp.1-3, 2005.
- [12] L.A. Alamo-Nole, O. Eroles-Perez, F.R. Roman-Velazquez, "Sorption study of toluene and xylene in aqueous solutions by recycled tires crumb rubber", *J. Hazard. Mater.* vol.185, pp.107-111, 2011.
- [13] N. Amri, R. Zakaria, M.Z. Abu Bakar, "Adsorption of phenol using activated carbon adsorbent from waste tyres", *Pertanika J. Sci. & Technol.* vol.17, pp.371-380, 2009.
- [14] A. Quek, R. Balasubramanian, "Removal of copper by oxygenated pyrolytic tire char: Kinetics and mechanistic insights", *Journal of Colloid and Interface Science.* vol.356, pp.203-210, 2011.
- [15] N.K. Hamadi, X.D. Chen, M.M. Farid, M.G.Q. Lu, *Chem. Eng.*, pp.84-95, 2001.
- [16] J.P. Chen, L.L. Lim, "Key factors in chemical reduction by hydrazine for recovery of precious metals", *Chemosphere.* vol.49, pp.363-370, 2002.
- [17] S.D. Kim, K.S. Park, M.B. Gu, "Toxicity of hexavalent chromium to *Daphnia magna*: influence of reduction reaction by ferrous iron", *J. Hazard. Mater.* vol.A93, pp.155-164, 2002.
- [18] D.E. Cummings, S. Fendorf, N. Singh, B. Peyton, T.S. Magnuson, "Reduction of Cr(VI) under acidic conditions by the facultative Fe(III)-reducing bacterium *Acidiphilium cryptum*", *Environ. Sci. Technol.* vol.41 (2007) pp.146-152.
- [19] M. Song, Y. Wei, S. Cai, L. Yu, Z. Zhong, Z. Jin, "Study on adsorption properties and mechanism of Pb<sup>2+</sup> with different carbon based adsorbents", *Science of the Total Environment.* vol.618, pp.1416-1422, 2018.
- [20] Z. Wang, Y. Tian, X. Wang, "Adsorption performance to methylene blue by non-activated tire based pyrolytic char", *Applied Mechanics and Materials.* vol. 508, pp.35-39, 2014.
- [21] M. Gupta, H. Gupta, D.S. Kharat, "Adsorption of Cu(II) by low cost adsorbents and the cost analysis", *Environmental Technology & Innovation.* vol.10, pp.91-101, 2018.
- [22] V.K. Gupta, A. Nayak, S. Agarwal, I. Tyagi, "Potential of activated carbon from waste rubber tire for the adsorption of phenolics: Effect of pre-treatment conditions", *Journal of Colloid and Interface Science.* vol.417, pp.420-430, 2014.
- [23] A.Kumar, H.M. Jena, "Adsorption of Cr(VI) from aqueous phase by high surface area activated carbon prepared by chemical activation with ZnCl<sub>2</sub>", *Process Safety and Environmental Protection.* vol.109, pp.63-71, 2017.
- [24] K.A. Adegoke, O.S. Bello, "Dye sequestration using agricultural wastes as adsorbents", *Water Resources and Industry.* vol.12, pp.8-24, 2015.
- [25] *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*, American Public Health Association, 2005.
- [26] Freundlich H.M.F., "Über die adsorption in losungen", *Z Phys Chem.*, vol.57, pp.385-470, 1906.
- [27] I.Langmuir, "The constitution and fundamental properties of solids and liquids", *J. Am. Chem. Soc.* vol.38, pp.2221-2295, 1916.
- [28] A.C. Martins, O. Pezoti, A.L. Cazetta, K.C. Bedin, D.A. Yamazaki, G.F. Bandoch, T. Asefa, J.V. Visentainer, V.C. Almeida, "Removal of tetracycline by NaOH-activated carbon produced from macadamia nut shells: kinetic and equilibrium studies", *Chemical Engineering Journal.* vol.260 pp.291-299, 2015.
- [29] M.I. Temkin, V. Pyzhev, V., "Kinetics of ammonia synthesis on promoted iron catalyst", *Acta Phys. Chim. USSR* vol.1, pp.327-356, 1940.
- [30] P. Fu, W. Yi, X. Bai, Z. Li, S. Hu, J. Xiang, "Effect of temperature on gas composition and char structural features of pyrolyzed agricultural residues", *Bioresour. Technol.* vol.102, pp.8211-8219, 2011.
- [31] H. Teng, Y. Lin, L. Hsu, "Production of activated carbons from pyrolysis of waste tires impregnated with potassium hydroxide", *J. Air Waste Manag.* vol.50, pp.1940-1946, 2000.
- [32] G. San Miguel, G.D. Fowler, M. Dall'Orso, C.J. Sollars, "Porosity and surface characteristics of activated carbons produced from waste tyre rubber", *J. Chem. Technol. Biot.* vol.77, pp.1-8, 2001.
- [33] F. Lian, Z. Song, Z. Liu, L. Zhu, B. Xing, "Mechanistic understanding of tetracycline sorption on waste tire powder and its chars as affected by Cu<sup>2+</sup> and pH", *Environ. Pollut.* vol.178, pp.164-270, 2013.
- [34] Q. Yu, R.Q.Zhang, S.B. Deng, J. Huang, G. Yu, "Sorption of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoate on activated carbons and resin: kinetic and isotherm study", *Water Res.* vol.43, pp.1150-1158, 2008.
- [35] P.K. Malik, "Dye removal from wastewater using activated carbon developed from sawdust: adsorption equilibrium and kinetics", *J. Hazard. Mater.* vol.113, pp.1-3, 2004.





Research Article

## The Activated Carbon from Walnut Shell Using CO<sub>2</sub> and Methylene Blue Removal

İlhan KÜÇÜK<sup>1</sup>, Yunus ÖNAL<sup>2</sup>, Canan AKMİL BAŞAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Chemistry, Faculty of Art and Science, Inonu University, 44280 Malatya, Turkey, [kckilhan@gmail.com](mailto:kckilhan@gmail.com) [orcid.org/0000-0003-2876-3942](https://orcid.org/0000-0003-2876-3942)

<sup>2</sup> Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Inonu University, 44280 Malatya, Turkey, [yunus.onal@inonu.edu.tr](mailto:yunus.onal@inonu.edu.tr), [orcid.org/0000-0001-6342-6818](https://orcid.org/0000-0001-6342-6818)

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Inonu University, 44280 Malatya, Turkey, [canan.basar@inonu.edu.tr](mailto:canan.basar@inonu.edu.tr), [orcid.org/0000-0003-3574-0773](https://orcid.org/0000-0003-3574-0773)

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 27 October 2020  
Received in revised form 28  
December 2020  
Accepted 28 December 2020  
Available online 30 March 2021

#### Keywords:

*Biomass, Carbonization, Physical  
activation, Activated carbon.*

### ABSTRACT

In this study, activated carbon with strong adsorption property was synthesized from lignocellulosic structured walnut shell. Active carbon synthesis was realized in two stages: carbonization and physical activation. Carbonization was carried out at eight different temperatures (300-1000°C), 500 mL/min N<sub>2</sub> gas flow and 10°C/min heating rate for 1 hour. Activation was done at two different temperatures (800-900 °C) at 100 ml/min CO<sub>2</sub> gas flow for 1 hour. Characterization of activated carbons was carried out and their adsorption capacities were examined with methylene blue. The surface areas of the activated carbons were investigated by BET analysis and the surface areas ranged from 56,79 to 652,22 m<sup>2</sup>/g. Amounts of micro and mesoporous in these surface areas were calculated. Besides, SEM analysis indicates the porous structure and XRD analysis confirms that the structure is amorphous. Methylene blue adsorption was performed in the aqueous phase and the capacities of the activated carbons were calculated. The methylene blue adsorption capacity of activated carbons varies between 15,96 -174,81 mg/g.

Doi: 10.24012/dumf.816317

\* Corresponding author  
Yunus ÖNAL  
✉ e-mail: [yunus.onal@inonu.edu.tr](mailto:yunus.onal@inonu.edu.tr)

## Introduction

Activated carbons are one of the most widely used adsorbents due to their high surface areas and pores [1]. Even if it has many applications such as energy storage [2], purification [3], water treatment [4], pharmaceutical [5], chemical and petroleum industries [6], separation, catalysis [7], nuclear power stations [8], electrodes for electric double-layer capacitors [9], batteries, fuel cells [10], hydrometallurgy [11], it is preferable in adsorption because it is cheaper than other adsorbents and thanks to the diversity in raw material usage, the importance of activated carbon are increasing every year [12].

One of the most important applications of active carbons is the adsorption of liquid-phase organic and inorganic compounds [13]. In addition, the use of activated carbon in the purification of polluted waters and groundwater is increasing [14]. Activated carbons are used in pre-treatments of purification processes or advanced purification. Adsorption in liquid phase applications results from the interaction of adsorbed material and activated carbon. An electrostatic interaction with activated carbon occurs when the adsorbed substance is an electrolyte. The push and pull forces in these electrostatic interactions vary with the electron charge on the surface of the activated carbon, the chemical structure of the substance to be adsorbed, and the ion charge in the solution. In non-electrolyte fluids, these interactions occur via Van der Waals interactions, hydrophobic, hydrophilic interactions and hydrogen bonds [15].

Activated carbon synthesis was generally synthesized from coal, lignite, wood and animal bones in ancient times. Nowadays, these products are not preferable because they are expensive and not renewable. These products have been replaced by agricultural products and their wastes. Some of these wastes are pistachio-nut [16], hazelnut shell [17], corn cob [18], bamboo [19], pruning mulberry shoot [20], olive stone [21], Jojoba seed [22], coconut shell [23], Jatropha husk [24], hazelnut bagasse [25], Chinese fir sawdust [26] and many others. When activated carbon synthesis is made from these

products, the yield is lower than that produced from coal and lignite. This is because the amount of carbon in these products is less than others.

The synthesis of activated carbon is generally carried out in two ways: carbonization and activation. Activation is usually realized in two different ways: physical and chemical activation [27]. However, physicochemical activation has also emerged in recent years [28]. Chemical activation can be done by mixing the sample with the chemical substance after carbonization or by placing the chemical substance on the raw sample. In case chemical substance is placed on raw sample, activated carbon synthesis is performed in one step by passing carbonization step. In both cases, the atmosphere is made inertly with  $N_2$  gas. Chemicals commonly used in chemical activation are  $ZnCl_2$ ,  $H_3PO_4$  [29],  $H_2SO_4$ ,  $K_2S$ ,  $KCNS$  [25],  $HNO_3$ ,  $H_2O_2$ ,  $KMnO_4$ ,  $(NH_4)_2S_2O_8$  [30],  $NaOH$ ,  $KOH$  [31], and  $K_2CO_3$  [32]. In physical activation, the sample is carbonized in an inert atmosphere (with  $N_2$  gas). After carbonization, the sample which is subjected to physical activation is usually exposed to  $CO_2$ , water vapor,  $CO_2$ -water vapor mixture or  $CO_2$ -air mixture and the activation process is completed.

In physicochemical activation, activated carbon synthesis is made by placing a chemical agent either on the raw sample or on the carbonized material and placed in the gas atmosphere used in physical activation. It is a kind of mixture of chemical and physical activation [28]. Activated carbons expand the surface areas thanks to the pores on their surfaces. These pores are generally defined in three different ways: Micropores ( $<2\text{nm}$ ), mesopores ( $2 < > 50\text{ nm}$ ) and macropores ( $>50\text{ nm}$ ) [12].

Biomasses with lignocellulosic structure are suitable materials for active carbon synthesis. Since these biomasses are both renewable and cheap, they can be used continuously in the synthesis of activated carbon [15]. Additionally, since these materials are inexpensive to store, biomasses are suitable for activated carbon synthesis. Lignocellulosic structures consist of three basic units: cellulose, hemicellulose, and lignin. These units decompose with temperature and form a porous structure [12].

In this study, activated carbon synthesis was performed in different conditions from walnut shell and properties of these activated carbons were investigated. The decrease in the amount of methylene blue in the aqueous phase was investigated by making use of adsorption which is one of the most used fields.

## Materials and Methods

### Preparation of the Samples

The supplied walnut shell (Malatya, Hekimhan region) was weighed approximately 325 g without any pre-treatment and placed in a three-zone oven.

### Carbonization

Walnut shells were placed at Protherm PZF 12/50/700 model 3-zone furnace at eight different temperatures (300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 ° C) with 10 °C/min heating under 500 mL/min N<sub>2</sub> gas flow for 60 min. The liquid yield was calculated by means of the back cooler and the collecting vessel attached to the furnace outlet and the gas yield was calculated from the difference.

### Physical Activation

The carbonized materials were activated through a 3-zone furnace model Protherm PZF 12/60/600. CO<sub>2</sub> was used during the activation process and the gas flow was set to 100 mL/min. The process was operated at two different temperatures (800, 900 ° C) and activated for 1 hour with a heating rate of 10 ° C.

### Preparation of Methylene Blue

The methylene blue was placed in a petri dish and placed in a furnace at 105 °C for 1 day. 1 grams of methylene blue was weighed with precision scales, and 1000 ppm stock solution was prepared.

### Adsorption

100 mL methylene blue solution which is diluted from 1000 ppm stock solution to 200 ppm, was placed in 200 mL conical flasks and 0,1 grams of activated carbon added to the flask under magnetic stirring. The flasks were sealed and mixed for 24 hours. After 24 hours, the samples

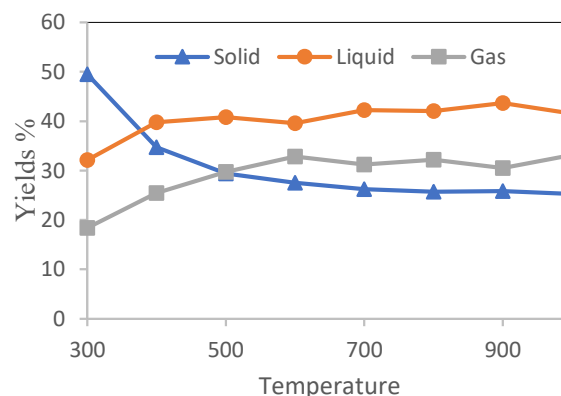
were filtered through syringe tip filters and analyzed using UV-VIS analyzer at 660 nm.

### Analysis

The surface area of activated carbon samples determined on Micromeritics TriStar 3000, XRD measurements were realized using Japanese Rigaku Rad B-DMAX II (Cu K-alpha) instrument, SEM measurements were carried out using Leo EV040 scanning electron microscope and element analyze were done with CHNS- 932 (LECO) Elemental Analyzer.

## Results and Discussion

Biomasses transform into 3 different forms as solid, liquid and gas when exposed to heat under an inert atmosphere. Solid, liquid and gas transformations of walnut shells with temperature are shown in Figure 1. The percentages of solid, liquid and gas form were calculated and plotted from Figure 1. According to the graphic, the amount of the solid product decreases with increasing temperature while the amount of the liquid and gas product generally increased. The decrease in the solid product occurred rapidly up to 600°C and after 600°C, this reduction almost stopped. The highest solid yield was seen at 300°C as expected. Although there is no regular increase in liquid and gas yields, there is generally an increment. The highest liquid yield was achieved at 900°C. Liquid yield decreases again after 900°C. The gas yield is highest at 600°C where the increment is not common overall.



There is a decrease after 600 °C.

Figure 1: Solid (char), liquid and gas yields of carbonized samples.

Table 1: BET analysis of activated carbon

Code	Carbonization		Physical Activation						
	Temperature (°C/ 500 mL/dk N <sub>2</sub> )	Temperature (°C/100 mL CO <sub>2</sub> )	S <sub>BET</sub> m <sup>2</sup> /g	S <sub>micro</sub> %	S <sub>meso</sub> %	V <sub>T</sub> cm <sup>3</sup> /g	V <sub>micro</sub> cm <sup>3</sup> /g	V <sub>mezo</sub> cm <sup>3</sup> /g	dp nm
AC1	300	800	369,24	97,12	2,88	-	0,188	-	-
AC2	300	900	629,13	81,52	18,48	0,343	0,273	0,070	2,182
AC3	400	800	425,16	86,21	13,79	0,239	0,192	0,047	2,256
AC4	400	900	516,86	86,41	13,59	0,286	0,235	0,051	2,218
AC5	500	800	382,93	88,01	11,99	0,215	0,177	0,038	2,252
AC6	500	900	652,22	82,42	17,58	0,365	0,284	0,081	2,238
AC7	600	800	387,04	88,78	11,22	0,215	0,180	0,035	2,225
AC8	600	900	584,94	78,6	21,4	0,324	0,243	0,081	2,221
AC9	700	800	380,97	95,43	4,57	0,200	0,191	0,008	2,103
AC10	700	900	557,20	85,21	14,79	0,305	0,250	0,055	2,196
AC11	800	800	411,74	92,5	7,5	0,213	0,200	0,013	2,077
AC12	800	900	644,31	83,77	16,23	0,350	0,285	0,065	2,177
AC13	900	800	320,01	100	-	-	0,173	-	-
AC14	900	900	564,52	84,18	15,82	0,306	0,251	0,055	2,173
AC15	1000	800	56,79	100	-	-	0,07	-	-
AC16	1000	900	400,42	94,54	5,46	0,19	0,19	-	1,97

BET analysis of the synthesized activated carbons is shown in Table 1. The highest surface area seen in Table 1 is 652,22 m<sup>2</sup>/g. According to Table 1, changes in carbonization temperature caused changes in the surface area. Although the elevation of the carbonization temperature causes a partial increase in the surface area, there is a decrease in the surface area after a certain temperature [33]. The effect belongs mostly to the activation conditions. It is seen that the surface area increases with the increase of activation temperature in samples obtained at the same carbonization temperature. The increased activation temperature increases the kinetic energy of the gas used during activation, further

impacting the carbonized product, causing the surface area of the activated carbon to widen [34]. These phenomena partly explains the increase in the surface area. In addition, two types of pores which are micro and mesopores were found in activated carbon with the increased surface area. Increased activation temperature leads to an increase in the amount of micropore and mesopore which is common in all samples. Besides, it is seen that the percentage of micropore decreases in all samples and the percentage of mesopore increases with increasing activation temperature. Increased temperature positively affected mesopore formation of all samples. Looking at the total volumes of the

synthesized activated carbons, it is possible to observe the effect of the activation temperature. There is an increase in the total volumes as a result of the activation temperature increase. This increment can be observed both in micro and meso volumes. The average pore diameter is about 2 nm in all samples.

$N_2$  adsorption isotherm of different activated carbons is given in Figure 2. According to the classification of the IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), all activated carbons have type I hybrid shape isotherms. In such isotherms,  $N_2$  adsorption rapidly increases at low  $P/P_0$  pressures, then this rapidly increases slow and remains constant. Such activated carbons are generally activated carbons with the low surface area, narrow pore diameters, and high micropore content. Table 1 show that the amount of micropore is high. The graph shows an increase in the last sections, in the regions where  $P/P_0$  is approaching 1, and it can be shown as a proof that there is a small amount of mesopore in this structure.

The pore distribution graphs of different activated carbons were calculated by the BJH method and given in Figure 3. As shown in this graph, pore diameters are usually around 2 nm and the amount of micropore is greater than the amount of mesopore. These results confirm the BET results in Table 1 and the  $N_2$  adsorption results in Figure 2.

Another important method of analysis for activated carbons is SEM images. SEM images of some activated carbons are shown in Figure 4. Porous structure formation can be seen in the synthesized activated carbons as SEM images shows.

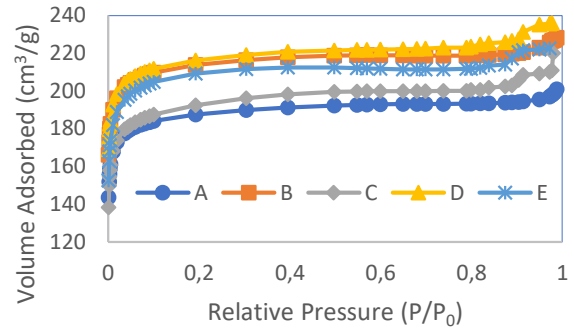


Figure 2. Adsorption isotherms of  $N_2$ . A. AC14. B. AC12. C. AC8. D. AC6. E. AC2.

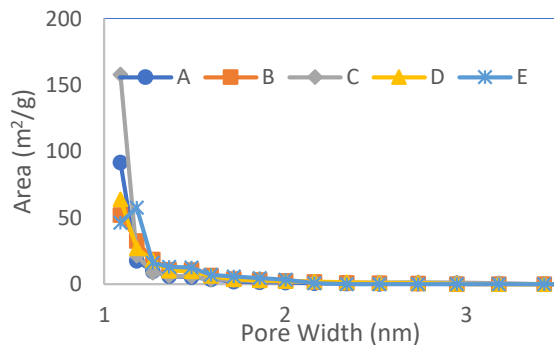
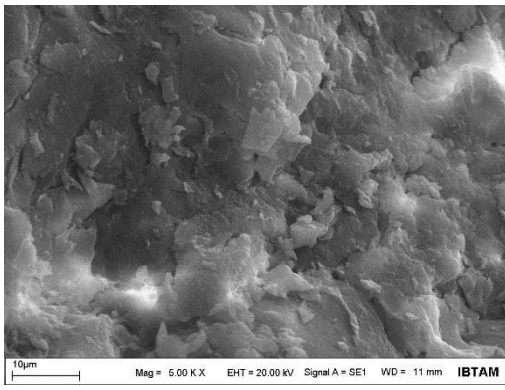
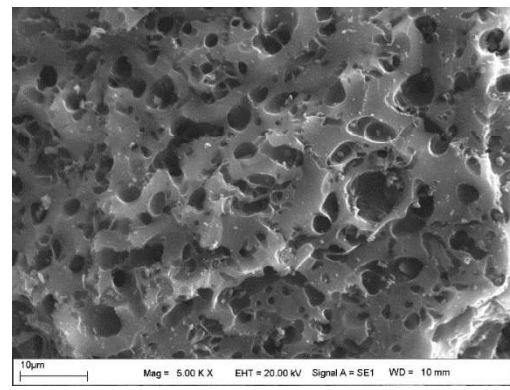


Figure 3. Pore size distribution of activated carbon sample. A. AC14. B. AC12. C. AC8. D. AC6. E. AC2.

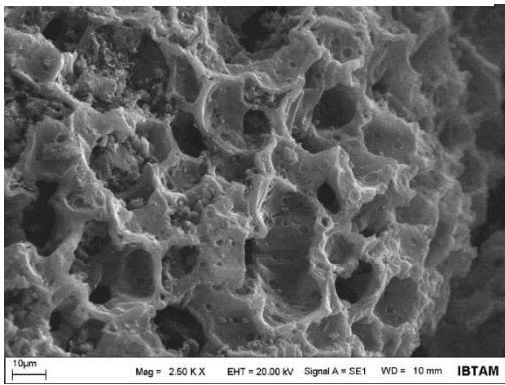




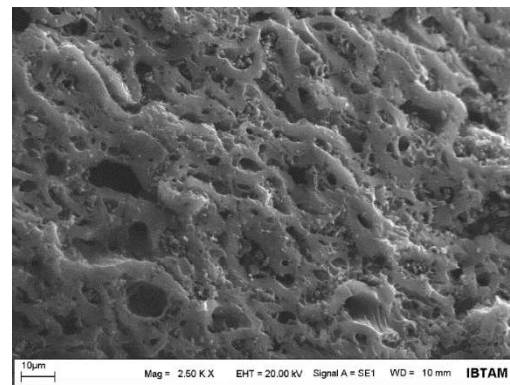
A



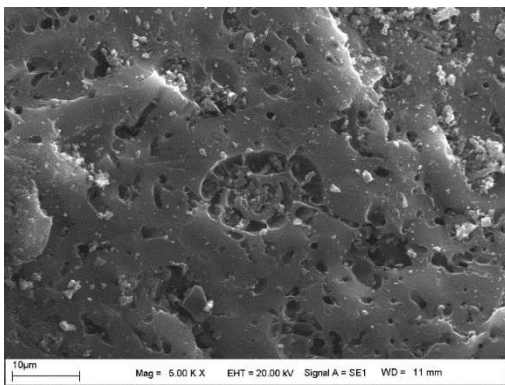
B



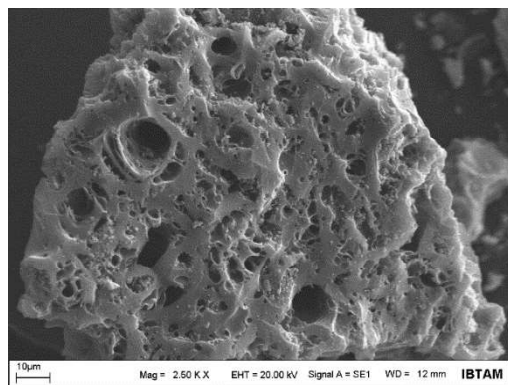
C



D



E



F

Figure 4. A. SEM image of raw walnut shell. B. AC6. C. AC2. D. AC14. E. AC12. F. AC8.

Figure 5 shows the results of the XRD analysis of activated carbons. The raw material used has a less organized structure that does not show any specific crystalline structure indication, probably due to the various organic impurities and volatile substances present in the structure. When XRD results are considered, there is no crystal region in the structure of activated carbon and the structure is amorphous. In particular, the peak observed at about  $23^\circ$  in raw material analysis generally belongs to the cellulose peak seen in cellulose-based materials. The FTIR spectrum was used to determine the surface chemical groups of the raw material and some activated carbons and the results are given in Figure 6. Characteristic lignocellulosic structure peaks can be seen at the raw material spectrum. These peaks, approximately  $3500\text{ cm}^{-1}$  the peak OH is caused by stress vibration and occurs in phenolic or alcohol groups. These groups are generally present in the structure of glycosidic chains. Also, the peak in the spectrum of approximately  $2900\text{ cm}^{-1}$  C-H asymmetric and symmetrical vibration peaks are caused by the methylene groups, such as  $-\text{CH}_2$ . The peak seen at about  $1700\text{ cm}^{-1}$  originates from carbonyl groups ( $\text{C}=\text{O}$ ) and comes from ester, ketones and carboxylic acids. The peak at about  $1600\text{ cm}^{-1}$  belong to the  $\text{C}=\text{C}$  bond vibration of alkenes. The peak at approximately  $1450\text{ cm}^{-1}$  is due to the stretching vibrations of the ether groups in the stevioside structure. The peak around  $1260\text{ cm}^{-1}$  belongs to the stretching vibration of ester groups. Finally, the peak at about  $1000\text{ cm}^{-1}$  is the vibrations caused by C-OH and C-O-C bonds. When the FTIR spectra of the activated carbons were compared with the raw material, these peaks either disappeared or decreased in intensity.

Table 2 shows the element analysis of all activated carbons and element analysis of the raw material. According to the analysis results, the amount of carbon increases in all activated carbons compared to raw materials. Besides, there is a decrease in the amount of hydrogen and an increase in the amount of nitrogen. No sulphur was detected in activated carbons except for only one sample.

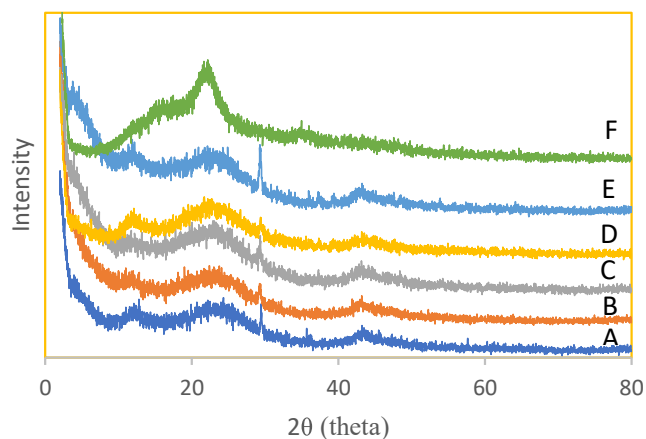


Figure 5. XRD chart of samples A. AC14. B. AC12. C. AC8. D. AC6. E. AC2. F. XRD chart of walnut Shell

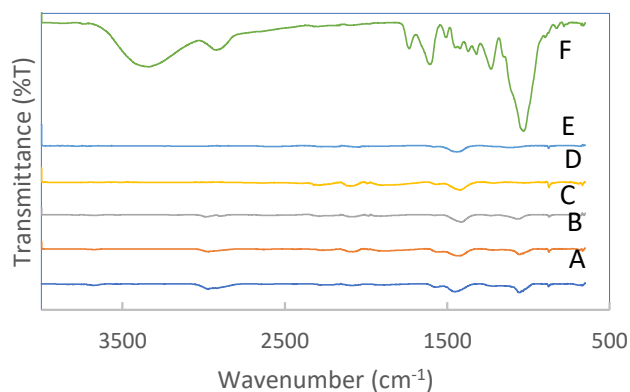


Figure 6. FTIR spectrum of raw material and activated carbon samples A. AC14. B. AC12. C. AC8. D. AC6. E. AC2. F. FTIR spectrum of raw material

Table 2: Elemental analysis of activated carbon.

Carbonization		Physical Activation			
Temperature (°C/500 mL/dk N <sub>2</sub> )	Temperature (°C/100 mL CO <sub>2</sub> )	C	H	N	S
	Raw Material	48,74	5,664	0,149	-
300	800	64,80	1,170	0,237	-
300	900	43,12	0,611	-	0,094
400	800	88,21	1,232	0,220	-
400	900	70,03	0,874	0,204	-
500	800	86,48	1,324	0,245	-
500	900	84,19	1,120	-	-
600	800	71,18	1,210	0,228	-
600	900	76,71	0,605	-	-
700	800	53,84	1,031	0,156	-
700	900	67,89	0,935	0,213	-
800	800	73,77	0,983	0,287	-
800	900	72,13	1,261	0,182	-
900	800	65,91	0,884	0,345	-
900	900	54,00	0,988	0,164	-
1000	800	62,22	0,660	0,655	-
1000	900	72,35	0,779	0,339	-

One of the important points during the adsorption process is the length, width and thickness of the molecule to be adsorbed. If the molecule to be adsorbed is too large to pass through the pores of the synthesized activated carbons, adsorption does not occur or takes place very little. Therefore, the adsorbent used in adsorption studies is important.

The methylene blue molecule used in this study is length, width and width of 1.43, 0.61 and 0.4 nm, respectively. It is shown in Table 1 that the average pore diameters of the synthesized active carbons are greater than the methylene blue molecule. Therefore, adsorption was realized.

In this study, the removal of impurities in aqueous solutions, which is one of the application fields of activated carbons, was carried out with methylene blue, and the adsorption capacity of methylene blue was determined. The methylene blue adsorption capacities of the activated carbons are shown in Table 3. Adsorption capacity increased in increasing surface areas generally. The highest surface area is 652 m<sup>2</sup>/g. However, the highest adsorption capacity is seen for activated carbon with a surface area of 644 m<sup>2</sup> / g. The reason for this is that this activated carbon has a higher micropore pore area (83.77%) compared to the other.

Table 3: Methylene blue adsorption capacity of activated carbon.

Carbonization		Physical Activation	
Temperature (°C/500 mL/dk N <sub>2</sub> )	Temperature (°C/100 mL CO <sub>2</sub> )	S <sub>BET</sub> m <sup>2</sup> /g	Adsorption Capacity q <sub>e</sub> (mg/g)
300	800	369,24	23,99
300	900	629,13	154,46
400	800	425,16	45,55
400	900	516,86	65,68
500	800	382,93	26,19
500	900	652,22	155,45
600	800	387,04	40,93
600	900	584,94	149,62
700	800	380,97	16,29
700	900	557,20	96,51
800	800	411,74	39,5
800	900	644,31	174,81
900	800	320,01	24,1
900	900	564,52	132,02
1000	800	56,79	15,96
1000	900	400,42	55,45

Adsorption capacity was calculated according to equation 1.

$$q_e = \frac{C_0 - C}{W} \times V \quad (\text{Eq.1})$$

where  $C_0$  and  $C$  (mg L<sup>-1</sup>) are the initial and equilibrium liquid phase concentrations of MB, respectively,  $V$  (L) is the volume of the solution, and  $W$  (g) is the mass of dry adsorbent used.

## Conclusions

In this study, the changed parameters in the experiments caused changes in the surface areas of the activated carbons. The changing carbonization and activation temperatures caused a change in the type and amount of pores formed in the activated carbon. Activated carbon has the highest surface area was collected at 500 ° C carbonization and 900°C activation temperature.

Additionally, the increased activation temperature had a positive effect on the surface area but caused a decrease in the percentage of micropore. If it is desired to keep the amount of micropores in the structure excess, a low activation temperature should be used. Since chemical activation is generally used in previous

studies, the surface areas of those activated carbons are higher than this study. Active carbon synthesized by chemical activation has less micropore, while the amount of mesopore is high. At this point, it is clear that the activation used in the synthesis of activated carbon is important. As a result, physical activation with the CO<sub>2</sub> can be used in a study aimed to increase the amount of micropore. In addition, that, the pore distributions of the formed activated carbons will vary on a smaller scale.

**Acknowledgments:** This study was supported by the unit of Scientific Researches of Inonu University in Malatya, Turkey; Project No: FDI-2017-680

## REFERANSLAR

1. Fulazzaky MA, Omar R (2012) Removal of oil and grease contamination from stream water using the granular activated carbon block filter Clean Technologies and Environmental Policy 14: pp.965-971
2. Shi K, Ren M, Zhitomirsky I (2014) Activated carbon-coated carbon nanotubes for energy storage in supercapacitors and capacitive water purification ACS Sustainable Chemistry Engineering 2: pp.1289-1298
3. Ao C, Lee S (2005) Indoor air purification by photocatalyst TiO<sub>2</sub> immobilized on an activated carbon filter installed in an air cleaner Chemical engineering science 60: pp.103-109
4. Bhatnagar A, Hogland W, Marques M, Sillanpää M (2013) An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications Chemical Engineering Journal 219: pp.499-511
5. Baccar R, Sarrà M, Bouzid J, Feki M, Blánquez P (2012) Removal of pharmaceutical compounds by activated carbon prepared from agricultural by-product Chemical engineering journal 211: pp.310-317
6. Anirudhan T, Sreekumari S, Bringle C (2009) Removal of phenols from water and petroleum industry refinery effluents by activated carbon obtained from coconut coir pith Adsorption 15:439
7. Heidenreich RG, Krauter JG, Pietsch J, Köhler K (2002) Control of Pd leaching in Heck reactions of bromoarenes catalyzed by Pd supported on activated carbon Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 182: pp.499-509
8. Matsuo T, Nishi T (2000) Activated carbon filter treatment of laundry waste water in nuclear power plants and filter recovery by heating in vacuum Carbon 38: pp.709-714
9. Hasegawa G (2013) Monolithic electrode for electric double-layer capacitors based on macro/meso/microporous S-containing activated carbon with high surface area. In: Studies on Porous Monolithic Materials Prepared via Sol-Gel Processes. Springer, pp 79-89.
10. Bai Y, Liu Y, Tang Y, Xie Y, Liu J (2011) Direct carbon solid oxide fuel cell—a potential high performance battery international journal of hydrogen energy 36: pp.9189-9194
11. Abbruzzese C, Fornari P, Massidda R, Vegliò F, Ubaldini S (1995) Thiosulphate leaching for gold hydrometallurgy Hydrometallurgy 39: pp.265-276
12. Yahya MA, Al-Qodah Z, Ngah CZ (2015) Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review Renewable Sustainable Energy Reviews 46: pp.218-235
13. Radovic LR, Moreno-Castilla C, Rivera-Utrilla J (2001) Carbon materials as adsorbents in aqueous solutions. Chemistry physics of carbon.
14. Meidl J (1997) Responding to changing conditions: how powdered activated carbon systems can provide the operational flexibility necessary to treat



- contaminated groundwater and industrial wastes Carbon 35: pp.1207-1216
15. Dias JM, Alvim-Ferraz MC, Almeida MF, Rivera-Utrilla J, Sánchez-Polo M (2007) Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: a review Journal of environmental management 85: pp.833-846
  16. Lua AC, Yang T (2005) Characteristics of activated carbon prepared from pistachio-nut shell by zinc chloride activation under nitrogen and vacuum conditions Journal of colloid interface science 290: pp.505-513
  17. Örkün Y, Karatepe N, Yavuz R (2012) Influence of temperature and impregnation ratio of H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> on the production of activated carbon from hazelnut shell Acta Physica Polonica-Series A General Physics pp.121:277
  18. Tsai W-T, Chang C, Lee S (1998) A low cost adsorbent from agricultural waste corn cob by zinc chloride activation Bioresource Technology 64: pp.211-217
  19. Ademiluyi F, Amadi S, Amakama NJ (2009) Adsorption and Treatment of Organic Contaminants using Activated Carbon from Waste Nigerian Bamboo Journal of Applied Sciences Environmental Management 13(3), pp.39-47
  20. Wang J, Wu F, Wang M, Qiu N, Liang Y, Fang S, Jiang X (2010) Preparation of activated carbon from a renewable agricultural residue of pruning mulberry shoot African Journal of Biotechnology 9: pp.2762-2767
  21. Spahis N, Addoun A, Mahmoudi H, Ghaffour N (2008) Purification of water by activated carbon prepared from olive stones Desalination 222: pp.519-527
  22. Tawalbeh M, Allawzi M, Kandah MI (2005) Production of activated carbon from jojoba seed residue by chemical activation residue using a static bed reactor Journal of Applied Sciences 5: pp.482-487
  23. Yusufu M, Ariahu C, Igbabul B (2012) Production and characterization of activated carbon from selected local raw materials African Journal of Pure Applied Chemistry 6: pp.123-131
  24. Ramakrishnan K, Namasivayam CJJEEM (2009) Development and characteristics of activated carbons from Jatropha husk, an agro industrial solid waste, by chemical activation methods J Environ Eng Manage 19: pp.173-178
  25. Demiral H, Demiral I, Tümsek F, Karabacakoğlu B (2008) Pore structure of activated carbon prepared from hazelnut bagasse by chemical activation Surface Interface Analysis 40: pp.616-619
  26. Qiu K, Yang S, Yang J (2009) Characteristics of activated carbon prepared from Chinese fir sawdust by zinc chloride activation under vacuum condition Journal of Central South University of Technology
  27. Jutakridsada P, Prajaksud C, Kuboonya-Aruk L, Theerakulpisut S, Kamwilaisak K (2016) Adsorption characteristics of activated carbon prepared from spent ground coffee Clean Technologies and Environmental Policy 18: pp.639-645
  28. Oubagaranadin J, Murthy Z (2011) Activated carbons: Classifications, properties and applications.
  29. Donald J, Ohtsuka Y, Xu CC (2011) Effects of activation agents and intrinsic minerals on pore development in activated carbons derived from a Canadian peat Materials Letters 65: pp.744-747
  30. Al-Qodah Z, Shawabkah R (2009) Production and characterization of granular activated carbon from activated sludge Brazilian Journal of Chemical Engineering 26: pp.127-136
  31. Gu Z, Wang X (2013) Carbon materials from high ash bio-char: a nanostructure

- similar to activated graphene Am Trans Eng Appl Sci 2: pp.15-34
32. Adinata D, Daud WMAW, Aroua MK (2007) Preparation and characterization of activated carbon from palm shell by chemical activation with  $K_2CO_3$  Bioresource technology 98: pp.145-149
33. Daud WMAW, Ali S.W, Sulaiman MZ (2000) The effects of carbonization temperature on pore development in palm shell based activated carbon Carbon 38 : pp.1925-1932
34. Chang CF, Chang CY, Tsait WT, (2000) Effects of burn off and activation temperature on preparation of activated carbon from corn cob agrowaste by  $CO_2$  and steam Journal of Colloid and Interface Science 232: pp.45-49



## Eskişehir Bastnasit Cevherinde Bulunan Seryumun Zenginleştirilmesi

### *Enrichment of Cerium from Eskişehir Bastnaesite Ore*

**İbrahim Dolak**

Dicle Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kimya Teknolojileri Bölümü, Diyarbakır,  
[idolak@dicle.edu.tr](mailto:idolak@dicle.edu.tr) ORCID: 0000-0002-2095-7614, Tel: +90 542 531 21 21

#### MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*

Geliş: 7 Aralık 2020  
Düzeltilme: 28 Aralık 2020  
Kabul: 28 Aralık 2020

*Anahtar kelimeler:*

Seryum Zenginleştirme, Bastnaesit cevheri, Flotasyon,

#### ÖZET

Bu çalışma, Eskişehir ili Sivrihisar ilçesi sınırları içinde bulunan ve ülkemiz ekonomisi açısından oldukça büyük bir öneme sahip olan nadir toprak element içerikli bastnasit cevherinde bulunan seryumun flotasyon işlemi ile seçici olarak cevherden ayırdıktan sonra çözelti ortamında zenginleştirilmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında temin edilen cevherin bileşen analizi yapılmış ve cevher içerisinde bulunan toryum, seryum ve lantan gibi nadir toprak elementlerinin miktarları tespit edilmiştir. Çalışmanın devamında cevher içerisinde bulunan seryumu flotasyon işlemi ile cevher yapısından ayırmak ve zenginleştirmek amaçlanmıştır. Bu çalışmanın en önemli tarafı ise flotasyondan önce cevherin kristal yapısını değiştirerek belli bir tanecik boyutunda serbestleşme derecesini sağlamak ve daha sonra elde edilen örneğin flotasyonla seryum içeriğini ana mineralden yüksek verimle ayırmak olmuştur. Cevherin kristal yapısını değiştirerek belli bir boyutta serbestleşme derecesini artırmak amacıyla yaptığımız işlem sülfürleme işlemidir. Bu amaçla yapılan deneylerde sülfürleme işlemine sıcaklık, süre ve H<sub>2</sub>S miktarının etkisi, flotasyon verimine ise pH, toplayıcı miktarı, pülp yoğunluğu ve canlandırıcı-bastırıcı reaktiflerin etkisi incelenmiş olup, tespit edilen optimum koşullarda cevher içerisinde bulunan seryumun flotasyon verimi %96,1 olarak tespit edilmiştir. Bu şekilde elde edilen konsantrde seryum tenörü % 1,0'dan % 10,35'lere kadar çıktığı tespit edilmiştir.

*Doi: 10.24012/dumf.837091*

#### ARTICLE INFO

*Article history:*

Received: 7 December 2020  
Revised: 28 December 2020  
Accepted: 28 December 2020

*Keywords:*

Enrichment of Cerium,  
Batnaesite Ore, Flotation

#### ABSTRACT

This study was carried out in order to enrich the cerium in bastnaesite ore containing rare earth elements, which is located within the boundaries of Sivrihisar district of Eskişehir province and which is of great importance for our country's economy, in solution environment after selectively separating it from the ore by flotation process. In the first stage of the study, the component analysis of the supplied ore was made and the amounts of rare earth elements such as thorium, cerium and lanthan in the ore were determined. In the continuation of the study, it is aimed to separate and enrich the cerium contained in the ore from the ore structure by the flotation process. The most important aspect of this study was to change the crystal structure of the ore before flotation to provide a certain particle size freeing degree and then to separate the cerium content from the main mineral with high efficiency by flotation. The process we do in order to increase the degree of liberation at a certain size by changing the crystal structure of the ore is the sulfurization process. In the experiments conducted for this purpose, the effect of temperature, time and H<sub>2</sub>S amount on the sulfurization process, the effect of pH, collector amount, pulp density and some stimulating and suppressing reagents on the flotation efficiency were examined, and the flotation efficiency of cerium in the ore was determined as 96.1% in the determined optimum conditions. has been. It has been determined that the cerium grade in the concentrate obtained in this way increases from 1.0% to 10.35%.

\* Sorumlu yazar / Correspondence  
İbrahim Dolak  
✉ [idolak@dicle.edu.tr](mailto:idolak@dicle.edu.tr)

## Giriş

Seryum doğada diğer nadir toprak elementleriyle beraber karışık olarak bulunur. Pek çok mineral içinde yer alabilen seryum özellikle monazit ve bastnasit içerisinde bulunur. Uranyum, toryum ve plutonyum'un fisyon ürünleri içinde de seryum bulunmaktadır [1]. Seryum lantanid serisinin ikinci ve en aktif olan üyesidir. Oldukça elektropozitif bir elementtir.  $Ce^{+3}$ 'da dahil olmak üzere +3 değerli lantanitlerin birbirine çok benzer kimyasal davranışları bulunur [2,3]. Seryumun tetravalent hali olan  $Ce(IV)$  lantanidler arasında trivalent olmadığı halde sulu çözeltisi kararlı olan tek elementtir.  $Ce(IV)$  tuzlarının çözeltileri oldukça asidiktir. Seryumun tetravalent hali güçlü bir yükseltgendir ve okzalik asitle, halojen asitlerle, hidrojen peroksitle ya da demir(II) tuzlarıyla indirgenebilir [4]. Yüksek indirgenme potansiyeline sahip olmasına rağmen sulu çözeltiler içindeki  $Ce(IV)$  türleri büyük olasılıkla kinetik nedenlerden dolayı kararlıdır [5]. Seryum, Metalürji endüstrisinde, Cam ve seramik endüstrisinde, Katalizör ve kimyasalların yapımında Fosforesans ve lüminesans özellikli cihazların yapımında kullanılmaktadır [1].

Eskişehir ili Sivrihisar ilçesi sınırları içerisinde bulunan cevher yatağı ülkemizde bulunan en önemli bastnasit, fluorit ve barit yatağıdır. Yatakta ortalama %3 tenörlü 4,000,000 ton nadir toprak cevheri bulunmaktadır. Cevherde bulunan nadir toprak elementleri bastnasit mineraline bağlıdır. Ancak cevher fluorit ve barit ile birlikte oldukça kompleks bir yapıya sahiptir. Yapısında bulunan nadir toprak elementleri ve özellikle de düşük tenörlü toryum, seryum ve lantan içeriğinden dolayı devletçe işletilecek madenler kapsamında tutulan söz konusu cevherdeki mevcut nadir toprak elementleri ve seryum, kompleks cevher içinde bulunan bastnasit mineralinde bulunmakta olup, cevher % 1 dolaylarında seryum tenörüne sahiptir. Saha üzerinde yapılan çalışmalar 1959 yılına kadar uzanır. İlk aşamada yapılan çalışmalar, cevherleşmenin oluşumu ve yatağın rezervi konularında yoğunlaşmıştır [6,7]. Bununla beraber cevher yatağının teknolojik sorunlarını çözmek amacıyla da bazı ön teknolojik çalışmalar da gerçekleştirilmiştir [8]. Nadir toprak elementlerini içeren minerallerin oluşumlarının çok ince taneli olmaları, fiziksel yollar ile

zenginleştirilebilmesini ve onların mineral olarak tespit edilmelerini zorlaştırmıştır. Nadir toprak elementlerinin MTA genel müdürlüğü laboratuvarlarında analizleri yapılmış, analiz sonucu seryum, lantan, neodimyum, niyobyum gibi nadir toprak elementleri ve toryum tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda nadir toprak minerallerinin bastnasit şeklinde olduğu tespit edilmiştir [9].

Cevher içerisinde bulunan seryumun cevherden ayrılması için yapılan çalışmalarda, asit liçi [5] ve flotasyon [10-13] gibi metotlar kullanılmış olup yapılan tüm çalışmalarda istenilen düzeyde seryum zenginleştirilmesi yapılamamıştır. Çözelti ortamında bulunan metal iyonlarının ve seryumun seçici olarak ayrılmaları için adsorpsiyon/biyosorpsiyon [14-16], ekstraksiyon [17-24] gibi metotlar kullanılır. Flotasyon ve liç işleminden sonra cevher yapısından çözelti ortamına alınmış seryumun diğer bileşenlerden seçici olarak ayırmak için bu metotlardan bazıları kullanılmış ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir [21].

Bu çalışma, Eskişehir ili Sivrihisar ilçesi sınırları içinde bulunan ve ülkemiz ekonomisi açısından oldukça büyük bir öneme sahip olan seryum içerikli bastnasit cevherinden seryumun flotasyon işlemi ile zenginleştirilmesi ve liç işlemi ile çözeltilmeye alınması amacıyla yapılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında temin edilen cevher örnekleri önce belirli tanecik boyutuna getirilmiştir. Bu şekilde öğütülmüş numunelerin homojen hale gelmesi için elek işlemi yapılmış ve tüm numune homojen hale getirilmiştir. Bu işlemden sonra cevherin bileşen analizi gerçekleştirilmiş ve bunun sonucunda cevherde bulunan toryum, seryum ve lantan gibi nadir toprak elementlerinin miktarları tespit edilmiştir. Çalışmanın devamında cevher içerisinde bulunan seryumun flotasyon işlemi ile cevher yapısından ayırmak ve zenginleştirmek amacıyla yapılan deneylerde, cevherin serbestlik derecesini artırıp flotasyon verimini artırmak amacıyla flotasyon öncesi cevher sülfürleme işlemine tabi tutulmuş ve bu sayede flotasyon verimi artırılmıştır. Sülfürleme optimizasyonu yapmak amacıyla yapılan deneylerde, sülfürleme işlemine sıcaklık, süre ve  $H_2S$  miktarının etkisi gibi parametreler incelenmiş olup optimum sülfürleme koşulları belirlenmiştir. Flotasyon verimine ise pH, toplayıcı miktarı, pülp yoğunluğu ve bazı canlandırıcı ve bastırıcı reaktiflerin etkileri

incelenmiş olup optimum koşullar tespit edilmiştir. Tespit edilen optimum koşullarda cevher içerisinde bulunan seryumun flotasyon veriminin %96 olduğu tespit edilmiştir. Bu şekilde elde edilen konsantride seryum tenörü % 10,35'lere çıkarılmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise flotasyon işlemiyle cevher yapısından ayrılmış ve zenginleştirilmiş seryumun sülfatlaştırıcı kavurma ve H<sub>2</sub>O liçi metodları ile çözelti ortamına alınması için deneyler yapılmıştır. Bu amaçla konsantride numuneler yüksek sıcaklıklarda kavurma işlemine tabi tutulmuş olup kavurma sıcaklığı ve kavurma süresi gibi parametreler incelenmiştir. Elde edilen optimum koşullarda seryumun tamamına yakınının çözelti ortamına alındığı tespit edilmiştir.

### DeneySEL Bulgular

Araştırma kapsamında yapılan deneysel çalışmaları 5 ana başlık altında toplayabiliriz. Bu başlıklar;

- ✓ Temin edilen cevher numunelerinin kırılıp, öğütülüp deneysel işlem için uygun tanecik boyutuna getirilmesi ve uygun tanecik boyutuna getirilmiş cevher numunelerinin elek işlemi ile homojenleştirilmesi: Cevher numunelerinin öğütülmesinde Baysan Marka kırıcı kullanılmıştır.
- ✓ Uygun tanecik boyutuna getirilmiş ve homojenleştirilmiş cevher numunelerinin bileşim analizi: Cevher numunelerinde bulunan toryumun ve diğer nadir toprak elementlerinin miktarlarını belirlemek amacıyla cevher numunelerinin çözünürleştirme işlemleri HNO<sub>3</sub>-HF çözücü karışımında Berghow marka MWS-2 model sıcaklık ayarlı mikrodalga içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu elementlerin tayinleri Perkin Elmer marka 2100 model ICP-OES spektrometresi kullanılarak yapılmış olup yapılan analizler sonucunda % 1.23 Lantan, % 1.01 Seryum ve % 0.029 Toryum olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ Cevherdeki seryumun flotasyon verimini arttırmak amacıyla sülfürleme işleminin yapılması ve sülfürleme koşullarının optimizasyonu: Cevher numunelerinin sülfürleme işlemi Cr-Ni çeliğinden yapılmış, 1,3 L iç hacim ve 2 cm et kalınlığındaki bir hücreye sahip, 350 °C sıcaklığa ve 250 atm basınca

dayanıklı özel tasarım otoklav içerisinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Sülfürleme işlemlerinin yapıldığı Otoklav

- ✓ Sülfürlenmiş cevher numunelerinde bulunan seryumun flotasyon işlemi ile cevher yapısından ayrılıp konsantride edilmesi; flotasyon işleminde Denwer tipi flotasyon cihazı kullanılmıştır. Flotasyon işlemi sonrası konsantride ve artık numunelerde kalan seryum ve diğer nadir toprak elementlerinin analizleri Perkin Elmer marka 2100 model ICP-OES spektrometresi kullanılarak yapılmıştır.
- ✓ Flotasyon işlemiyle cevher yapısından ayrılmış ve konsantride edilmiş seryumun çözelti ortamına alınması; bu işlemde sülfatlaştırıcı kavurma ve H<sub>2</sub>O liçi metodları kullanılmış olup kavurma işleminde Carbolite marka tünel fırın kullanılmıştır. Kavurma işlemi sonrası çözeltiye geçen ve artıktaki kalan seryum ve diğer nadir toprak elementlerinin analizleri Perkin Elmer marka 2100 model ICP-OES spektrometresi kullanılarak yapılmıştır.

### 2.1.Sülfürlemede kullanılan reaktifler

Sülfürleme işlemi, sıcaklık ve basınç ayarlı otoklav içerisinde aşağıdaki reaksiyon gerçekleştirilerek yapılmıştır.

- ✓  $FeS_2 \rightarrow FeS + S$  (Havasız ortamda 725 °C'de kavurma işlemi) (1)
- ✓  $2FeS + H_2SO_4 \rightarrow H_2S(g) + FeSO_4$  (2)

Reaksiyon (1) ve (2)'den görüldüğü üzere sülfürleme işleminde sülfür kaynağı olarak pirit, asit olarak da teknik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılmıştır.

### Flotasyon işleminde kullanılan reaktifler

Seryum flotasyonunda, toplayıcı olarak Merck marka potasyum amil ksantat, köpürtücü olarak DW-250, canlandırıcı olarak Merck marka FeCl<sub>3</sub>, pH ayarlamalarında NaOH (Merck marka



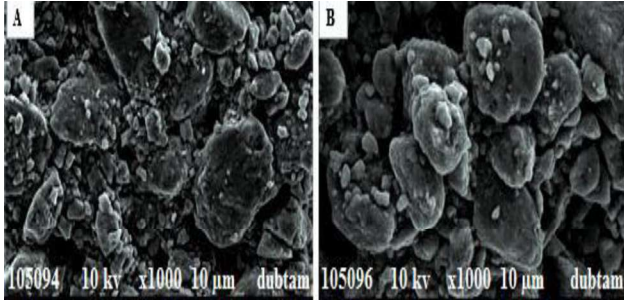
tuzundan hazırlanmış 0.1 M çözeltisi) ve HNO<sub>3</sub> (Merck marka % 65'lik HNO<sub>3</sub>'ten gerekli seyreltmeler yapılarak hazırlanmış 0.1 M'lik çözeltisi) ve bastırıcı olarak Merck marka Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> çözeltisi kullanılmıştır. Sülfatlaştırıcı kavurma liç işleminde Fluka marka % 98'lik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve bidistile saf su, çözünürleştirme işleminde Sigma Aldrich marka HF ve Merck marka HNO<sub>3</sub> kullanılmıştır.

Bastnasit cevherinin karakterizasyon çalışmalarında SEM görüntüleri marka FEI marka Quanta FEG 250 model SEM cihazı ile, IR spektrumları Perkin Elmer marka Spectrum 400 FT-IR model IR spektrofotometresi ile yapılmıştır.

Çalışma süresince yapılan seryum analizlerinde kullanılan seryum standartları Merck marka Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O tuzundan hazırlanmıştır. Ce(III) bakımından 100 mg/L'lik stok çözelti hazırlanmış olup analizlerde 1.0, 5.0, 10.0 ve 20.0 mg/L'lik standartlar kullanılmıştır. Yapılan bütün deneylerde işlem öncesi ve işlem sonrası pH ölçümleri Mettler Toledo marka dijital pHmetre kullanılarak yapılmıştır.

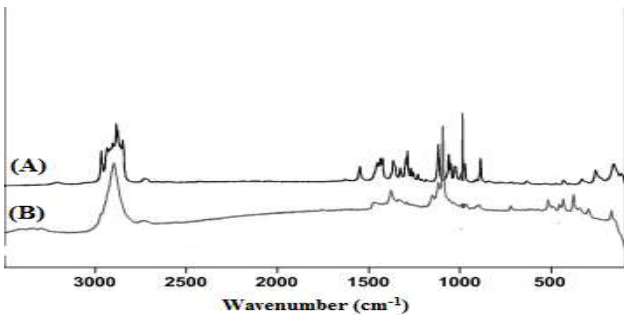
### Cevher numunesi ile ilgili karakterizasyon çalışmaları

#### SEM görüntüleri



Şekil 2. Bastnasit cevherinin SEM görüntüleri (A) sülfürleme öncesi (B) sonrası

#### IR spektrumları



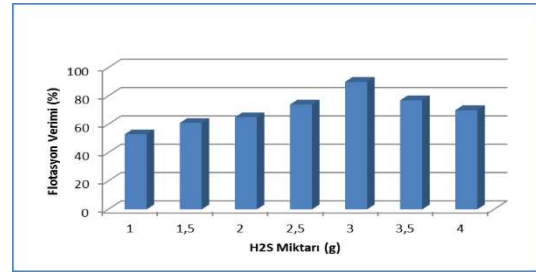
Şekil 3. Bastnasit cevherinin IR spektrumları (A) sülfürleme öncesi (B) sülfürleme sonrası

### Flotasyon Öncesi Optimum Sülfürleme Koşullarının Belirlenmesi

Çalışmanın ilk aşamasında bastnasit cevherinden seryumu ayırmak amacıyla flotasyon işlemi uygulanmış ancak flotasyon veriminin oldukça düşük seviyelerde kaldığı gözlenmiştir. Flotasyon veriminin düşük kalmasının nedeninin cevherin minerolojik yapısından kaynaklandığı düşünülmüş ve bunun çözümü amacıyla serbestleşme derecesini arttırmak amacıyla sülfürleme işlemi yapılmış ve seryumun flotasyon verimi artırılmıştır.

### Sülfürlemede kullanılan Optimum H<sub>2</sub>S Miktarının Tespiti

Yapılan deneylerde sülfürleme ortamındaki H<sub>2</sub>S miktarının flotasyon verimine etkisi incelenmiş olup elde edilen sonuçlar Şekil 4'de verilmiştir.

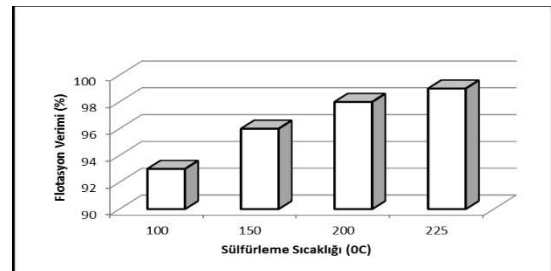


Şekil 4. Seryumun flotasyon verimine H<sub>2</sub>S miktarı etkisi

Şekil 4'de görüldüğü üzere belirlenen koşullarda elde edilen optimum noktada (100 g cevher numunesi için 3g H<sub>2</sub>S) seryumun flotasyon veriminin % 90.1 olduğu tespit edilmiş olup elde edilen konsantredeki seryum içeriğinin %8.82 olduğu yapılan analizler sonucunda tespit edilmiştir.

### Optimum Sülfürleme Sıcaklığı Tespiti

Elde edilen optimum H<sub>2</sub>S miktarı koşullarında yapılan deneylerde flotasyon verimine sülfürleme sıcaklığı etkisi incelenmiş olup elde edilen sonuçlar Şekil 5'de verilmiştir.

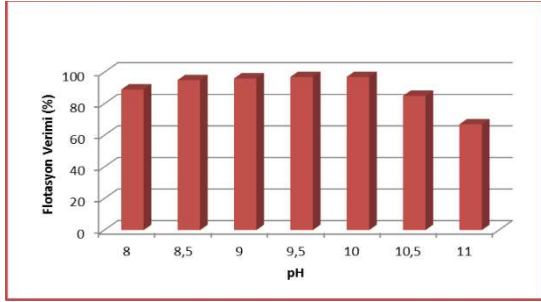


Şekil 5. Seryumun flotasyon verimine sülfürleme sıcaklığının etkisi

Şekil 5'te görüldüğü üzere sülfürleme sıcaklığının artmasıyla seryumun flotasyon veriminin arttığı tespit edilmiştir. Belirlenen koşullarda elde edilen optimum noktada toryumun flotasyon veriminin % 93.41 olduğu tespit edilmiş olup elde edilen konsantredeki seryum tenörünün %9,65 olduğu yapılan analizler sonucunda tespit edilmiştir.

### Flotasyon işleminde optimum pH tespiti

Seryumun flotasyon verimine pH'nın etkisini incelemek amacıyla deneyler yapılmış elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir.

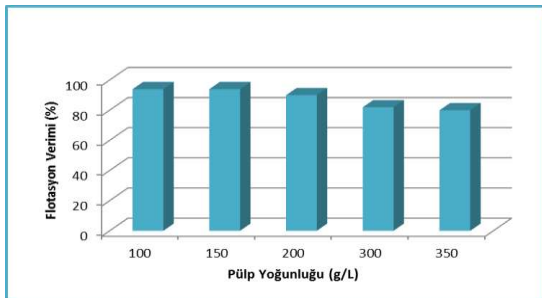


Şekil 6. Seryumun Flotasyon verimine pH etkisi

Şekil 6'da görüldüğü üzere, en iyi flotasyon veriminin pH 9.50'de olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu pH'da yüzen madde miktarı fazla olduğundan dolayı elde edilen konsantredeki seryum tenörleri pH 8.50'de elde edilen konsantre tenörlerinden düşük olmuştur. Bu yüzden flotasyon verimi yanında yüzen miktarda önemli olduğu için en ideal pH'nın yüzen madde miktarını da göz önüne alınmasıyla 8.50 olduğu sonucuna varılmıştır.

### Flotasyon işleminde optimum pülp yoğunluğu tespiti

Seryumun flotasyon işleminde optimum pülp yoğunluğunu belirlemek amacıyla elde edilen optimum koşullarda deneyler yapılmış olup sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir.

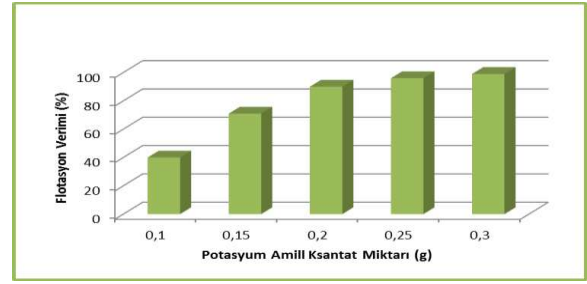


Şekil 7. Seryumun flotasyon verimine pülp yoğunluğu etkisi

Şekil 7'de görüldüğü üzere, 150 g/L pülp yoğunluğuna kadar seryumun flotasyon veriminin değişmediği tespit edilmiş olup, pülp yoğunluğunun 200 g/L'e çıkmasıyla flotasyon veriminin azaldığı yapılan analizler sonucunda tespit edilmiştir.

### Flotasyon verimine toplayıcı (Potasyum amil ksantat) etkisi

Seryumun flotasyon işlemlerinde uygun toplayıcı miktarını tespit etmek amacıyla elde edilen optimum koşullarda deneyler yapılmış olup sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Seryumun flotasyon verimine toplayıcı miktarı etkisi

Şekil 8'den görüldüğü üzere, elde edilen optimum koşullarda yapılan deneylerde 0.25 g toplayıcı kullanıldığında seryumun flotasyon veriminin sırasıyla 96,11 olduğu tespit edilmiş olup bu koşullarda oluşan konsantredeki tenörü % 10,35 olarak bulunmuştur.

### Flotasyon sonrası elde edilen konsantrelerden seryumun çözelti ortamına alınması

Flotasyon sonrası elde edilen konsantrelerden seryumun çözelti ortamına alınması amacıyla sülfatlaştırıcı kavurma ve sonrasında yapılan liç işleminde ilk aşamada H<sub>2</sub>O, ikinci aşamada 0.1 M'lık H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi kullanılmış bu amaçla kavurma süresi ve kavurma sıcaklığına bağlı olarak deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Liç işlemi sonucu çözelti ortamına geçen seryum miktarları

Süre (Saat)	H <sub>2</sub> O'ya geçen Ce	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 'e geçen Ce	Artıkta kalan Ce
1	19,12	73,58	8,40
2	20,41	74,69	4,90
3	21,33	76,67	2,00
4	27,62	71,57	0,81
5	30,48	68,12	1,40

Tablo 1’den de görüldüğü üzere flotasyon işlemi sonucu elde edilen konsantredeki seryumun çözelti ortamına alınması için uygulanan sülfatlaştırıcı kavurma işleminde en uygun sıcaklığın 650 °C, en uygun süreninde 4 saat olduğu sonucuna varılmıştır. Bu koşullarda yapılan kavurma işlemi sonucunda konsantredeki seryumun toplamda % 99.19’unun çözelti ortamına alındığı yapılan analizler sonucu tespit edilmiştir.

## Sonuçlar

Eskişehir Sivrihisar-Beylikahır yöresinden temin edilen ve özellikle nadir toprak elementi içeriğine göre ülkemiz ekonomisi açısından oldukça büyük bir öneme sahip olan nadir toprak element içerikli bastnasit cevherinde bulunan seryumun zenginleştirilmesi amacıyla yapılan çalışmada, cevher bünyesinde bulunan % 1.01 oranındaki seryum içeriğini flotasyon işlemi ile konsantre etmek amaçlanmıştır. Cevher numunesi olduğu gibi flotasyon işlemine tabi tutulduğunda flotasyon veriminin düşük kaldığı görülmüş bu yüzden cevherin serbestlik derecesini arttırmak için flotasyon öncesi sülfürleme işlemine tabi tutulmuştur. Sülfürleme işlemi sonrası yapılan flotasyon işlemlerinde elde edilen optimum koşullarda seryumun % 96.1’i flote edilmiş bu şekilde elde edilen konsantredeki seryum içeriği % 10.35’lere kadar yükseldiği tespit edilmiştir. Ana cevherdeki yüzdesine bakıldığında yaklaşık 11 katlık bir zenginleştirme işlemi yapılmıştır. Çalışmanın devamında konsantre edilen seryum, sülfatlaştırıcı kavurma liçi ile elde edilen optimum koşullarda % 99.19’u çözeltiye alınmıştır. seryumun özellikle bir çok alanda yaygınca kullanımı yapılan çalışmanın önemini ayrıca ortaya çıkmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] Dolak, İ., (2010). Nadir Toprak Elementleri İçeren Barit ve Fluorit Cevherinin Değerlendirilmesi, *Doktora Tezi*, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye
- [2] Dolak, İ., Teğin, İ., Güzel, R., Ziyadanoğulları, R., (2010). Removal and Preconcentration of Pb(II), Cr(III), Cr(VI) from the Aqueous Solution and Speciation of Cr(III)-Cr(VI) by Using Functionalized Amberlite XAD-16 Resin with Dithioethylenediamine, *Asian Journal Of Chemistry*, **22**, 8, 6117-6124.
- [3] Zou, D., Chen, Ji., Li, D., (2014). Separation chemistry and clean technique of cerium(IV): A review, *Journal of Rare Earths*, **32**, 8, 681-685.
- [4] Dolak, İ., Teğin, İ., Güzel, R., Ziyadanoğulları, R., (2010). Removal and Preconcentration of Pb(II), V(V), Cr(VI) from the Aqueous Solution and Selective Separation of V(V)-Cr(VI) by Using Functionalized Amberlite XAD-16 Resin with Dithioethylenediamine, *Asian Journal Of Chemistry*, **22**, 8, 6107-6116.
- [5] Mioduski, T., Hao, D., Luan, H., (2005). Separation of cerium from other lanthanides by leaching with nitric acid rare earth(III) hydroxide-cerium(IV) oxide mixtures, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **132**, 1, 105-113.
- [6] Kaplan H., (1977). MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, *MTA Dergisi*, Ankara, Türkiye.
- [7] Kulaksız S., (1977). Eskişehir toryum cevherinin değerlendirilmesi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, Ankara, Türkiye.
- [8] Çiftçi M.S., (1985). Eskişehir-Sivrihisar-Beylikahır fluoritli kompleks cevher yatağının fluorit yönünden değerlendirilmesine ilişkin ön teknolojik çalışmalar *MTA Dergisi*, **103**, 82-83.
- [9] Elgin G., (1983). MTA Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, *MTA Dergisi*, Ankara, Türkiye.
- [10] Lobacheva, O.L., Chirkist, D.E., Dzhevega, D.V., Bazhin, V.Y., (2014). Ion flotation of cations of cerium group, *Russian Journal of Applied Chemistry*, **86**, 1862-1866.
- [11] Dolak, İ., Ziyadanoğulları, R., (2019). Eskişehir bastnasit cevherinde bulunan toryumun zenginleştirilmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, **10**, 1, 211-220.
- [12] Chamsaz M., Hosseini M.S., Arbab-Zavar M.H., (2002). Synergic Flotation Spectrophotometric Investigation of Rare Earth(III) Ions with Alizarin and 1,10-Phenanthroline, *Journal of Colloid Interface Science*, **256**, 472-476.
- [13] Ren J., Song S., Lopez-Valdivieso A., Lu S., (2000). Selective flotation of bastnaesite from monazite in rare earth concentrates using potassium alum as depressant, *International Journal of Mineral Processing*, **59**, 237,245.
- [14] Oral, E.V., Özdemir, S., Dolak, İ., Okumus, V., Dundar, A., Ziyadanoğulları, B., Aksoy, Z., Onat, R., (2015). Anoxybacillus sp. SO B1-Immobilized Amberlite XAD-16 for Solid-Phase Preconcentration of Cu(II) and Pb(II) and Their Determinations by Flame Atomic Absorption

- Spectrometry, *Bioremediation Journal*, **19**, 2, 139-150.
- [15] Yener, İ., Varhan, E.V., Dolak, İ., Özdemir, S., Ziyadanogullari, R., (2017). A new method for preconcentration of Th (IV) and Ce (III) by thermophilic *Anoxybacillus flavithermus* immobilized on Amberlite XAD-16 resin as a novel biosorbent, *Ecological Engineering*, **103**, 43-49.
- [16] Baran, M.F., Duz, M.Z., Uzan, S., Dolak, İ., Celik K.S., Kılınç, E. (2018). Removal of Hg (II) from Aqueous Solution by *Bacillus subtilis* ATCC 6051 (B1), *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*, **8**, 4, 1-7.
- [17] Dolak İ., Karakaplan M., Ziyadanogulları B., Ziyadanogulları R., (2011). Solvent Extraction, Preconcentration and Determination of Thorium with Monoaza 18-Crown-6 Derivative, *Bulletin of the Korean Chemical Society*, **32**, 5, 1564-1568.
- [18] Dolak İ., Keçili R., Hür D., Ersöz A., Say R., (2015). Ion-imprinted polymers for selective recognition of neodymium (III) in environmental samples, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **54**, 19, 5328-5335.
- [19] Oral E.V., Dolak İ., Temel H., Ziyadanogulları B., (2011). Preconcentration and determination of copper and cadmium ions with 1,6-bis(2-carboxy aldehyde phenoxy)butane functionalized Amberlite XAD-16 by flame atomic absorption spectrometry, *Journal of Hazardous Materials*, **186**, 1, 724-730.
- [20] Dolak İ., (2018). Selective Separation and Preconcentration of Thorium (IV) in Bastnaesite Ore Using Thorium (IV)-Imprinted Cryogel Polymer, *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, **46**, 2, 187-197.
- [21] Keçili R., Dolak İ., Ziyadanogulları B., Ersöz A., Say R. (2018). Ion imprinted cryogel-based supermacroporous trapsfor selective separation of cerium (III)in real sample, *Journal of Rare Earths*, **36**, 8, 857-862.
- [22] Dolak, İ., (2018). Selective Adsorption of U(VI) by using U(VI)-imprinted poly-hydroxyethyl methacrylate-methacryloyl-L-histidine (p-[hema(mah)3]) cryogel polymer, *Aplied Ecology and Environmental Research*, **17**, 2, 3165-3178.
- [23] Baysal Z., Aksoy E., Dolak İ., Ersöz A., Say R., (2018). Adsorption behaviours of lysozyme onto poly-hydroxyethyl methacrylate cryogels containing methacryloyl antipyrine-Ce(III), *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, **67**, 4, 199-204.
- [24] Dolak, İ., (2019). Ion Imprinted AffinityCryogels for the Selective Adsorption Uranium in Real Samples, *Iranian journal of chemistry and chemical engineering*, **38**, 6, 115-125.



## Araştırma Makalesi / Research Article

## Yaşlanma Karşıtı Kozmetikler İçin Taşıyıcı Sistemler Olarak Yeni Yumuşak Malzemelerin Kullanımı

*Use of new soft material as a carrier system for anti-aging Cosmetics*Mehmet Çolak<sup>1</sup><sup>1</sup> Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi Kimya Bölümü, Diyarbakır, mcolak@dicle.edu.tr

## MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*Geliş: 14 Aralık 2020  
Düzeltilme: 5 Ocak 2021  
Kabul: 5 Ocak 2021*Anahtar kelimeler:*Soft Malzemeler, Jel sistemleri,  
Vitamin E ve C, Kozmetik

## ÖZET

Bu çalışmanın amacı, topikal uygulama için uygun organoleptik ve reolojik özelliklere (yayılabirlik, doku ve viskozite) sahip aktif maddenin kontrollü salınımına izin verecek şekilde tasarlanmış bir jel matrisini oluşturmaktır. Bu çalışma, yaşlanma karşıtı kozmesötikler için jel matrisi geliştirmek için sistematik olarak ayarlanmış amino asit bazlı organojelatorün rasyonel tasarımını ve sentezini açıklamaktadır. Amino alkol bazlı bis- (fenilalaninol) diglikolamid (DGA), organik sıvılar için iyi bilinen bir jelatörlerdir. Farklı zincir uzunluklarına sahip FAE (Yağ asidi etil ve izopropil ester), etil laurat (LEE), etil miristat (MEE), etil palmitat (PEE), izopropil laurat (LIE), izopropil miristat (MIE), izopropil palmitat (PIE); kozmetik endüstrisinde kullanılan biyoyumlu organik çözücülerden olan sıvı parafin, dodekan ve 1-dekanol soft malzemelerin hazırlanması için kullanılan çözücüler olarak seçilmiştir. Bu bağlamda, E ve C vitamini gibi kozmesötikler için yeni bir topikal uygulama aracı olarak bu jel bazlı materyali ilk kez kullanmaya çalışılmıştır. Reolojik davranışı optimize etmek, dermal kozmesötiklerin dağıtım sistemlerinin geliştirilmesindeki önemli adımlardan biridir. Topikal kozmetik uygulama araçları için bir taşıyıcı olarak yeni tasarlanmış jelatörün uygunluğunu anlamak için; bu sistemlerin reolojik özelliklerini, jelleşme sınırları, vitamin / jelatör oranları ve vitamin - jelatör etkileşimi ve formülasyon stabilitesi açısından araştırılmıştır. Formülasyon stabilitesi, reolojik özellikler ve cilt uygulaması için uygun matris, reometrik teknik çalışmaları ile değerlendirilmiştir. DGA / MIE jel sisteminin reolojik özelliklerinin incelenmesi sonucunda, deri uygulamaları için yaşlanma karşıtı E ve C vitamini gibi kozmesötikler için uygun taşıyıcı sistemler olduklarının sonucuna varılmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.840481

## ARTICLE INFO

*Article history:*Received: 14 December 2020  
Revised: 5 January 2021  
Accepted: 5 January 2021*Keywords:*Bridge pier, local scour, clear  
water scour, steady flow

## ABSTRACT

The aim of this work was to identify a gel with suitable organoleptic and rheological properties (spreadability, texture and viscosity) for topical administration, designed to allow controllable release of the active principle. In this study describes the rational design and synthesis of amino acid-based organogelator, which were systemically fine-tuned at the head group to develop gel matrix for anti-aging cosmeceutical. A great variety of organic self-assemblies are known and several of them provide cosmeceutical delivery matrices. Amino alcohol based bis-(phenylalaninol)diglycolamide (DGA), a well-known LMWGs for organic fluids whose properties have been reported in several papers, has been explored to develop depot systems and illustrated as a topically delivery vehicle for well known anti aging vitamins E and vitamin C. FAE (Fatty acid ethyl and isopropyl ester) with different chain lengths, ethyl laurate (LEE), ethyl myristate (MEE), ethyl palmitate (PEE), isopropyl laurate (LIE), isopropyl myristate (MIE), isopropyl palmitate (PIE); liquid paraffine, dodecane and 1-decanol were chosen as biocompatible organic fluids which are used in cosmetic industry. In this context, we attempted for the first time, using these gel base material as a novel topical delivery vehicle for cosmeceuticals. Optimizing rheological behavior is therefore one of the crucial steps in development of dermal cosmeceuticals delivery systems. In order to understand the convenience of newly designed gelator as a carrier for topical cosmeceutical delivery vehicles; we investigated rheological properties of these systems with respect to the, the gelation fluids, vitamin/ gelator ratios and vitamin – gelator interaction and formulation stability. Formulation stability, rheological properties and matrix convenient for skin application were evaluated with IR spectroscopy reometric technique Fourier transform infrared spectrophotometric studies indicated absence of gelator-drug chemical interactions. The rheological properties of DGA/ MIE gel system was implied as a carrier anti aging cosmeceutical for skin application.

\* Sorumlu yazar / Correspondence

Mehmet Çolak

✉ mcolak@dicle.edu.tr



## Giriş

Kozmesötik terimi, kozmetik veya ilaç olarak kabul edilemeyen aktif maddeler içeren ürünleri tanımlamak için 25 yıldan uzun bir süre önce oluşturulmuştur. Bunlardan biri olan E Vitamini ( $\alpha$ -tokoferol) lipitte çözünür ve ağızdan alındığında membran lipidlerini peroksidasyona karşı korur. Deride, UV'ye maruz kaldıktan sonra güneş yanığı hücrelerini azalttığı, serbest radikalleri nötralize ettiği ve ayrıca nemlendirici görevi gördüğü gösterilmiştir. Topikal kullanım amacıyla C ve E Vitaminlerinin birleştirilmesinin, kendi antioksidanlarının yanı sıra foto koruyucu etkilerini de arttırdığına dair önemli kanıtlar vardır [1]. Topikal olarak uygulanan vitaminleri içeren kozmetikler cilt bakımında artan bir role sahiptir. Kozmesötik formülasyonların birçoğu C vitamini ve / veya E vitamini içerse de, çok azı aslında cilt uygulamasında etkilidir. Bu bağlamda yeni soft malzeme olan Dioksalamidin (DOA) analogu olan Bis-digycolamide (DGA) bu çalışmada kozmesötik bir taşıyıcı sistem olarak değerlendirilmiştir. Aynı zaman bu çalışma, geleneksel organojellerin geliştirilmesi için alternatif olarak Yağ asidi etil ve izopropil esterler içeren DGA jellerini sunmaktadır. Farklı zincir uzunluklarına sahip Yağ asidi etil ve izopropil esterler, etil laurat, etil miristat, etil palmitat, izopropil laurat, izopropil miristat, izopropil palmitat, tipik olarak kozmetik endüstrisinde kullanılan biyoyumlu organik sıvılar olarak seçilmiştir. Bu nedenle, bu çalışmanın bir başka amacı, topikal uygulama için en iyi organoleptik ve reolojik özelliklere sahip jeli belirlemektir [2].

## Materyal ve Metod

Tüm kimyasallar ticari kaynaklardan (Merck, Fluka ve Sigma-Aldrich) satın alındı ve aksi belirtilmedikçe daha fazla saflaştırma yapılmadan kullanıldı. Laurik asit etil ester (LEE), laurik asit izopropil ester (LIE), miristik asit etil ester (MEE) ve miristik asit izopropil ester (MIE), palmitik asit etil ester (PEE), palmitik asit izopropil ester (PIE) literatürde açıklanan protokollerle hazırlandı. Arzu edilen yağ asidi izopropil esterleri, katalitik miktarda dehidrate p-toluen sülfonik asit varlığında uygun

yağ asidi alkol ile büyük molar fazlalıkta işlenerek yüksek verimle (% 88-94) elde edildi [3].

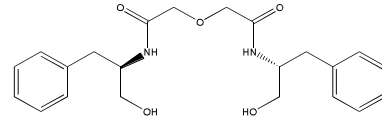
**Teknikler:** (400 MHz) ve <sup>13</sup>C (100 MHz) NMR spektrumları BRUKER AV-400 Yüksek Performanslı Dijital FT-NMR üzerinde kaydedildi ve kimyasal kaymalar ppm olarak rapor edildi. Reolojik ölçümler, bir koni plakalı (20 mm çaplı) Anton PAR MCR 301 gerilme reometresi ile gerçekleştirilmiştir.

## Jelatörlerin Sentezi

### Dimetildiglikolat'ın Sentezi

Literatürde tarif edilen sentetik prosedürler, bu esterlerin hazırlanmasında uygulanmıştır [4]. Kuru nitrojen altında 500 mL metanol ve piridin karışımına, 250 mL benzen içinde bir diglikolik asit diklorür (17.1 g, 100 mmol) çözeltisi, 3 saat süre boyunca basınç kontrollü bir damlatma hunisi yoluyla damla damla ilave edildi. Çöken tuz, süzülerek çıkarıldı ve çözücü, döner buharlaştırıcı yardımıyla uzaklaştırıldı. Kalan tortunun özü, soğuk eter (3 x 50 mL) ile ekstaksiyon yapılarak organik faza geçirildi. Sonra beyaz bir katı ürün elde edildi. Ürünler dietil eter-petrol eterinden (2:1) yeniden kristallendirildi, verim: diglikolat ester için % 80.

### N-(1-benzil-2hidroksi-etil)-2[(1-benzil-2hidroksi-etilkarbomil-metoksi)]-asetamid.

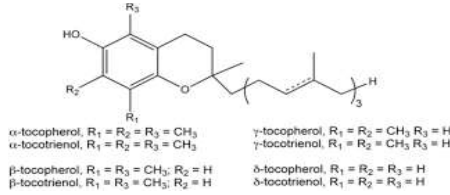


DGA

DGA'nın sentezi literatürde bildirilmiştir [5]. Dimetildiglikolat (0.16 g, 1.2 mmol), toluen 25 mL içindeki L-fenilalanilol (0.71 g, 2.5 mmol) süspansiyonuna eklendi. Deney düzeneğine geri soğutucu ve Dean-Stark aparatı bağlanarak 2 gün boyunca karıştırıldı. Reaksiyonun ilerleyişi TLC eter / petrol eteri (2: 1) ile izlendi. Çözücü, vakumla buharlaştırılarak uzaklaştırıldı ve kalan tortu, eter ile yıkandı. Ham materyalin saflaştırılması, silikajel üzerinde kolon kromatografisiyle (yıkama sıvısı: eter / petrol eteri 2: 1) gerçekleştirildi. Verim:72% ; erime noktası: 128-130 °C;  $[\alpha]^{20} = -39.2$  (c = 0.03, MeOH). C<sub>22</sub>H<sub>28</sub>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> için hesaplanan kütle verileri: C, 65.98; H, 7.05; N, 7.00. Bulunan: C, 65.97; H, 7.09; N, 6.97. IR (KBr):  $\nu$ : 3413, 3316, 3243, 3070, 3031, 2931,

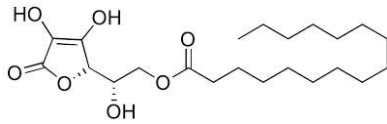
2873, 1643, 1546, 1110, 1045  $\text{cm}^{-1}$ ;  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta$  (ppm) = 2.70 (2H, dd,  $J = 16$ ,  $J = 8.4$  Hz), 2.90 (2H, dd,  $J = 8.4$ ,  $J = 7.4$  Hz), 3.39{3.46 (4H, m), 3.77{3.89 (4H, m), 3.91{4.06 (2H, m), 4.91 (br s 2H, ), 7.15-7.29 (10H, m) 7.91 (2H, d,  $J = 8.4$ );  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta$  (ppm) = 37.01, 52.71, 62.89, 70.84, 126.46, 128.62, 129.54, 139.50, 169.01.

### E vitamini ( $\alpha$ -tokoferol)



E vitamini ( $\alpha$ -tokoferol), yağda çözünür ve ağızdan alındığında membran lipidlerini peroksidasyondan korur. Deride, UV'ye maruz kaldıktan sonra güneş yanığı hücrelerini azalttığı, serbest radikalleri nötralize ettiği ve ayrıca nemlendirici görevi gördüğü gösterilmiştir. Topikal uygulamalar için C ve E Vitaminlerinin birleştirilmesinin hem bireysel antioksidanlarını hem de foto koruyucu etkilerini arttırdığına dair önemli kanıtlar vardır [6].

### C Vitamini



Askorbik asit veya C vitamini, özellikle sulu ortamda oksidasyonla kolayca parçalanır. Bu nedenle askorbil palmitat gibi daha kararlı türevlerin kullanılması tercih edilir [7].

### Yükleme Deneyleri

Vitaminlerin jel sistemlerine yüklenmesi literatürde açıklanan prosedürle gerçekleştirildi [8]. 1 mL jelleşme sıvısı içerisine minimum oranda eklenerek jel sisteminin oluşumu sağlanır ve buna minimum jel konsantrasyonu (MGC) denir. Minimum jel konsantrasyonunda hazırlanan jellere vitaminlerin yüklenmesi ard arda ve yavaşça eklenerek gerçekleştirilir. Daha sonra aşağıdaki denklem kullanılarak yüklenme kapasitesi hesaplanır [9].

$$\text{Yüklenme Kapasitesi} = \% w_c/w_g \times 100$$

$w_d$ , jele yüklenen kozmetik maddenin ağırlığıdır ve  $w_g$  ise jel matrisindeki toplam ağırlıktır.

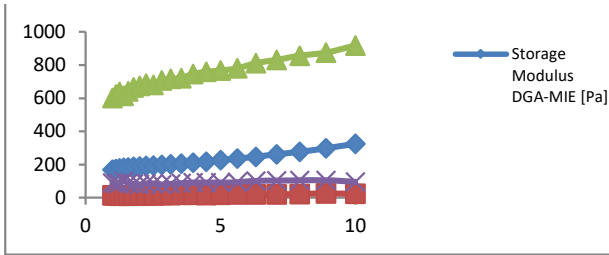
### Reolojik Ölçümler

jel formülasyonuna vitamin yüklemenin önemli bir yönü olarak, reolojik performanslarındaki bozunma davranışına ışık tutmak için fiziksel ve yapısal stabiliteyi ölçmektir. Reolojik analiz, farmasötik yarı katıların karakterizasyonunda iyi bilinen bir metodolojidir. Modern reolojik ekipmanlar ve ayrıca matematiksel hesaplamalar, reolojiiyi, topikal malzeme geliştirmede ve ürün parametrelerini takip etmede güçlü bir araç haline getirmektedir. Kozmesötik formülasyonun amaca uygun olması için minimum düzeyde eksipyanlar (jelatör, sıvı vb.) kullanılması istenmektedir. DGA jelatörün minimum jel konsantrasyonu göz önünde bulundurularak; sıvı parafin, MIE ve PEE, kozmesötik yüklemelerde kullanılmış ve kozmesötik taşıyıcı matris olarak değerlendirilmiştir [6]. Bu nedenle LEE ve MIE jellerinde DGA jelleştiricisinin viskoelastik özellikleri gerilim kontrollü reometrede (Anton PAR MCR 301) boşluğun genişliği 0.047 mm olan ve 20 mm'lik bir koni plakada ölçüldü. Numune, reometrenin düz yüzeyine yerleştirildi. Deney, frekans taramasının yanı sıra gerinim taraması modunda yapıldı. Viskoelastik özelliklerin ölçülmesinden önce, doğrusal viskoelastik bölge (VLR), gerinimin bir fonksiyonu olarak depolama veya elastik modülü ve kayıp veya viskoz modülü ölçülerek belirlendi. Ardından,  $G'$  ve  $G''$  ölçümleri, bir frekans tarama testi ile gerçekleştirildi. Frekans tarama testleri, 25 °C'de dinamik gerinim tarama ölçümlerinden belirlenen organojel numunelerin doğrusal viskoelastik sisteminde gerçekleştirilmiştir. Bu frekans tarama testlerinde, elastik modül doğrusal bölge içinde ölçülmüştür, bu nedenle sonuçlar bozulmamış bir jelin özelliklerini açıklamıştır. Salınım deneyler, 1–10 Hz frekans aralığında, sabit gerilimde (0,5 Pa), oda sıcaklığında (yani 25 °C) ölçülmüştür. Bu salınlı ölçümler, her bir DGA formülasyonu için elastik modülü ( $G'$ ), viskoz modülü ( $G''$ ) ve karmaşık viskoziteyi ( $\eta^*$ ) elde etmek için kullanılmıştır. LEE ve MIE içinde silindirik şekilli jeller hazırlandı ve 2-3 saat bekletildi. Jel sistemleri için derinlemesine bilgi elde etmek için frekans tarama testinden karmaşık viskozite  $\eta^*$ , karmaşık modül  $G^*$  ve kayıp faktörü ( $\text{kayıp} \delta = G''/G'$ ) yeniden elde edildi. Bu bağlamda, jelleşme sıvısına bağlı olarak çeşitli organojellerin reolojisi araştırıldı.

Hazırlanan jellerin elastik modülü ( $G'$ ) ve viskoz modülü ( $G''$ ) Tablo 1'de listelenmiştir. Minimum jel konsantrasyonu 4 mg/mL'den daha yüksek konsantrasyonlar sırasıyla MIE ve LEE'deki reolojik ölçümleri keşfetmek için kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, salınımlı ölçüm testi, MIE içinde hazırlanmış farklı DGA jelatör konsantrasyonları ile yapılmıştır; benzer şekilde formülasyonların stabilitesini değerlendirmek için frekans süpürme testi DGA / MIE jel sistemi ile yapıldı.

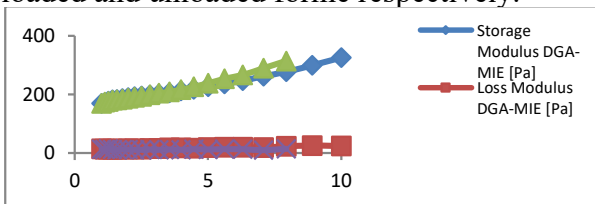
**Şekil 1.** 25 °C'de frekansın bir fonksiyonu olarak viamin C yüklü (1 mg/mL-1) ve yüklenmemiş formlarla DGA / MIE jelinin (4 mg/mL-1) salınım frekansı ölçümü. Elastisite modülü ( $G'$ , yeşil ve mavi) ve viskozite modülü ( $G''$ , mor ve kırmızı), sırasıyla C vitamini yüklü ve boş form.

**Figure 1.** Oscillating frequency measurement of DGA/MIE gel (4 mg/mL-1) with viamine C loaded (1 mg/mL-1) and unloaded forms as a function of frequency at 25 oC. Elasticity modulus ( $G'$ , green and blue) and viscosity modulus ( $G''$ , purple and red), vitamine C loaded and unloaded forme respectively.



**Şekil 2.** 25 °C'de frekansın bir fonksiyonu olarak viamin E yüklü (1 mg/mL-1) ve yüklenmemiş formlarda DGA / MIE jelinin (4 mg/mL-1) salınım frekansı ölçümü. Elastisite modülü ( $G'$ , yeşil ve mavi) ve viskozite modülü ( $G''$ , mor ve kırmızı), E vitamini sırasıyla yüklü ve boş form.

**Figure 2.** Oscillating frequency measurement of DGA/MIE gel (4 mg/mL<sup>-1</sup>) with viamine E loaded (1 mg/mL<sup>-1</sup>) and unloaded forms as a function of frequency at 25 °C. Elasticity modulus ( $G'$ , green and blue) and viscosity modulus ( $G''$ , purple and red), vitamine E loaded and unloaded forme respectively.



**Tablo 1.**  $G'$  (elastik) ve  $G''$  (viskoz) modüllerinin reolojik parametre değerleri, 25 °C'de kompleks viskozite ( $\eta^*$ ), Vitamin yüklü ve yüksüz jel formları ile farklı jelatörler / sıvı kombinasyonu elde edilen reolojik veriler. (n = 10, 2,82 Hz).

Bu sonuçlar, bize bu sistemleri E vitamini ve C vitamini (ester türevi, askorbil palmitat) için yeni bir taşıyıcı olarak denemeye teşvik etti. Buna ek olarak, bu organojelatör, diğer kozmetik ajanların taşıyıcıları olarak hizmet edebilir çünkü karşılıklı herhangi bir vitamin jelleştirici etkileşimi olmadığı anlaşılmıştır. Bu da Kozmesötik-taşıyıcı matrisler için en önemli ön koşullardan biridir. Bu sonuçlar, diglikolamidin iyi bir organojelatör olduğunu ve orta enerji ile yeterince kararlı jeller ürettiğini göstermektedir.

Cözünü / MGC (mg/mL)	Vitamin/jelatör <sup>a</sup> (Formülasyon <sup>b</sup> )	$G'/G''$ yüklenmemiş/yüklenmiş	$Tg\delta=G''/G'$ E Vitamini yüklenmemiş/yüklenmiş	$\eta^*$ Kompleks viskozitesi yüklenmemiş/yüklenmiş	kompleks modulus yüklenmemiş/yüklenmiş $G^*/G^*$
MIE/DGA	35 (0,17) <sup>b</sup>	198/199	0.06/0,07	11.2/11.2	206/211=0,97
LEE/DGA		18/12.5	0.22/0.21	1/15.7	22.5/15.7=1.43
LEE/DGA	83 (0,29) <sup>b</sup>	18/1660	1.0/0.04	22.6/348	22.6/1728=0,013
MIE/DGA		213.6/788.6	0.08/0.11	11.2/40.2	213.6/788.6=0,27

## Sonuçlar

Preparatların organoleptik özellikleri, bileşimlerine bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Bu formüller topikal kullanım için tasarlandığından tat belirlenmemiştir. Bu gözlemler, DGA jellerinin yaşlanmayı geciktiren vitamin E için uygun taşıyıcı görevi görebileceğini ve vitamin C (askorbil palmitat) moleküllerinin ester türevinin, her iki sistem için kozmesötik yüklü ve yüklenmemiş jel formlarıyla mükemmel Tgα değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca reolojik verilerin doğru DGA-yağ asidi esteri kombinasyonu seçimi ile ince ayarlanabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada, DGA –FAE'leri yaşlanmayı geciktiren malzemeler için taşıyıcı olacak yeni bir platform olarak tanımlama girişiminde bulunulmuştur. Bu amaçla, DGA'nın yeni bir düşük molekül ağırlıklı organojelator olarak yapılandırılmış doğal malzemelerden hazırlanması ve kozmetik çözücülerde araştırılan jelleşme davranışları incelenmiştir. Farklı sıvılardaki DGA'nın hazırlanan taşıyıcının reolojik performansının kontrol edilmesini sağladığı gösterilmiştir.

## Teşekkür

Yazar, bu araştırmayı mali olarak desteklediği için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür eder (Proje No. 113Z142). Projelerini destekledikleri için Dicle Üniversitesi Araştırma ve Proje Konseyi'ne teşekkürlerini sunar (No. FEN.17.005). Bu araştırmada yapılan reolojik ölçümlerden dolayı Prof. Dr. Adnan Hayaloğlu ve ekibine teşekkür eder. Aynı zamanda reolojik dataların analizinde yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Halil Hoşgören'e teşekkürlerini sunar.

## Kaynaklar

1. AR Mullaicharam , Geetali Deori , R Uma maheswari, *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences (RJPBCS)*. **2013**,4, (1)1092-1101. ISSN: 0975-8585
2. Welin-Berger, Katayoun, The effect of rheological behaviour of a topical anaesthetic formulation on the release and permeation rates of the active compound, *European journal of pharmaceutical sciences*. **2001**,13,(3), 309-318. DOI:10.1016/S0928-0987(01)00118-X
3. Sanna, V.; Mariani, A.; Caria, G.; Sechi, M. Synthesis and Evaluation of Different Fatty Acid Esters Formulated into Precirol® ATO-Based Lipid Nanoparticles as Vehicles for Topical Delivery. *Chem. Pharm. Bull.* **2009**, 57 (7), 680—684.
4. Mehmet Çolak, Deniz BARIŞ, Necmettin PRİNÇÇİOĞLU, Halil HOŞGÖREN Novel Barış, D.; Şeker, S.; Hoşgoren, H.; Toğrul, M. *Tetrahedron-Asymmetry*. **2010**, 21, 1893-1899.
5. bis(aminoalcohol)oxalamide organogelators and their diglycolylamide analogs: evaluation of gelation efficiency in various organic fluids. *Turk J Chem.* 2017, 41: 658-671 doi:10.3906/kim-1701-76
6. Pinnell SR. Pinnell SR. Cutaneous photodamage, oxidative stress, and topical antioxidant protection. *J. Am. Acad Dermatol.* **2003**; 48:1-19.
7. Gallarate, M.; Carlotti, M.E.; Trotta, M.; Bovo, S. On the stability of ascorbic acid in emulsified systems for topical and cosmetic use. *Int. J. Pharm.* **1999**, 188, 233—241.
8. Serhat Uzan, Deniz Barış, Mehmet Çolak, Haluk Aydın, Halil Hoşgören. Organogels as novel carriers for dermal and topical drug delivery vehicles. *Tetrahedron*. **2016**, 72, 7517-7525.
9. Suzuki, M., Saito, H., and Hanabusa, K. Two component organogelators based on two L-amino acids: effect of combination of L-lysine with various L-amino acids on organogelation behavior. *Langmuir*. **2009**, 25, 8579—8585. doi:10.1021/la8040924.



## ErB<sub>6</sub> and Ce doped ErB<sub>6</sub> hexaborides: A computational material study

Mikail Aslan<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Metallurgical and Material Science Engineering, Gaziantep University, Gaziantep, Turkey, ORCID ID: 0000-0003-0578-5049

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 8 February 2021  
Received in revised form 14 March 2021  
Accepted 15 March 2021  
Available online 30 March 2021

#### Keywords:

*Metal Hexaborides, Computational Material Science, Advanced Materials, Ab initio calculation.*

### ABSTRACT

Erbium hexaboride is one of the heavy rare earth hexaborides that indicate superior chemical and physical properties. In this study, Erbium hexaboride and Ce doped Erbium hexaboride crystal structures have been investigated systematically employing ab initio material modeling. The effects of Ce doping (wt.%10) on Erbium hexaboride structure in terms of optical, thermal, mechanical and electronic properties including band properties, enthalpy of formation energies and bulk modules were investigated. Results show that the Ce doping leads to an increase in the bandgap of the structure. Furthermore, the bulk modules calculations show that Ce doping to the structure leads to an increase in mechanical properties.

Doi: 10.24012/dumf.876829

\* Corresponding author  
Mikail, Aslan  
✉mikailsln@gmail.com



## Introduction

Metal Rare Earth Hexaborides (REB<sub>6</sub>) consisting of octahedral boron units are fascinating advanced materials due to their superior electrical[1], thermal[2], magnetic[3], optical[4, 5], and mechanical[6] properties. Thus, such properties have been used in a variety of applications, such as electron emitters[7], thermoelectric materials[8], coatings[9], single-photon detectors[10] and superconductors[11].

REB<sub>6</sub> are cubic crystal structures with the symmetry Pm3m (Oh). This type is under the group of the simple CsCl-type structure. Erbium atoms are located at the corners of the unit cell while an octahedral B cage occupies the center position of the structure. The superior properties of (Erbium hexaboride) ErB<sub>6</sub> are mostly due to the three-dimensional boron-framework. The strong covalent bonding within the boron polyhedron leads to the range of homogeneity, stability, hardness, and high melting point[12, 13, 14, 15]. Baranovskiy et al.[12] studied the electronic structure, bulk and magnetic properties REB<sub>6</sub> and REB<sub>12</sub>, including ErB<sub>12</sub> materials based on the ab initio material modeling method. They calculated the elastic properties of some metal hexaborides and dodecaborides. Raymond[16] synthesized ErB<sub>6</sub> successfully. They found that ErB<sub>6</sub> stayed stable for a limited temperature range. Gernhart et al. [17] produced ErB<sub>6</sub> nanowires via palladium nanoparticle-assisted chemical vapor deposition. They determine the length of the crystal structure.

Due to the shared crystal structure, all rare-earth metal hexaborides including ErB<sub>6</sub> can form solid solutions, allowing for fine-tuning of electrical, optical and thermal properties with mixed-metals. This paper presents an overview of the electronic, magnetic, and optical properties of ErB<sub>6</sub> and Ce (wt.%10) doped ErB<sub>6</sub> rare-earth hexaboride crystals to

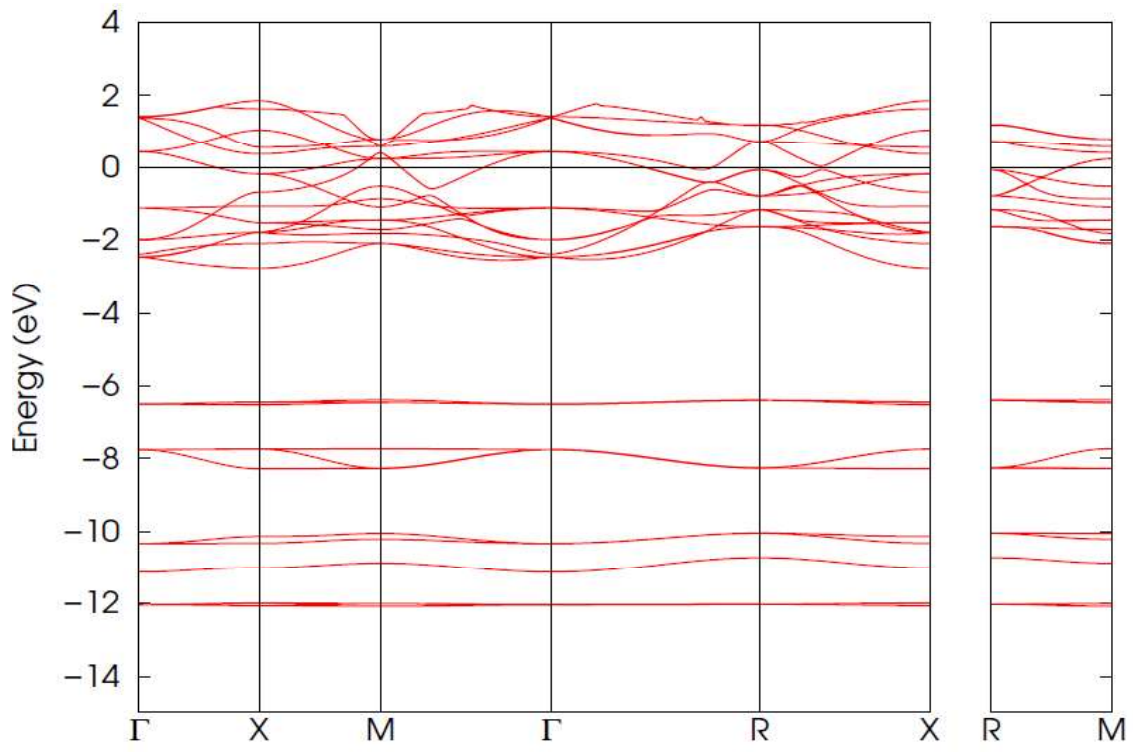
guide researchers with the first step in pursuing these interesting and unique materials by ab initio material modeling. To the best of our knowledge, this is the first time ab initio material study related to the ErB<sub>6</sub> rare-earth hexaborides crystals. Like many other REB<sub>6</sub>, ErB<sub>6</sub> presents certain synthesis and processing challenges. Hence, there exist a few experimental studies related to crystallized ErB<sub>6</sub> materials. We believe that this study enlightens future experiments as a preliminary process to a certain degree.

## Materials and Methods

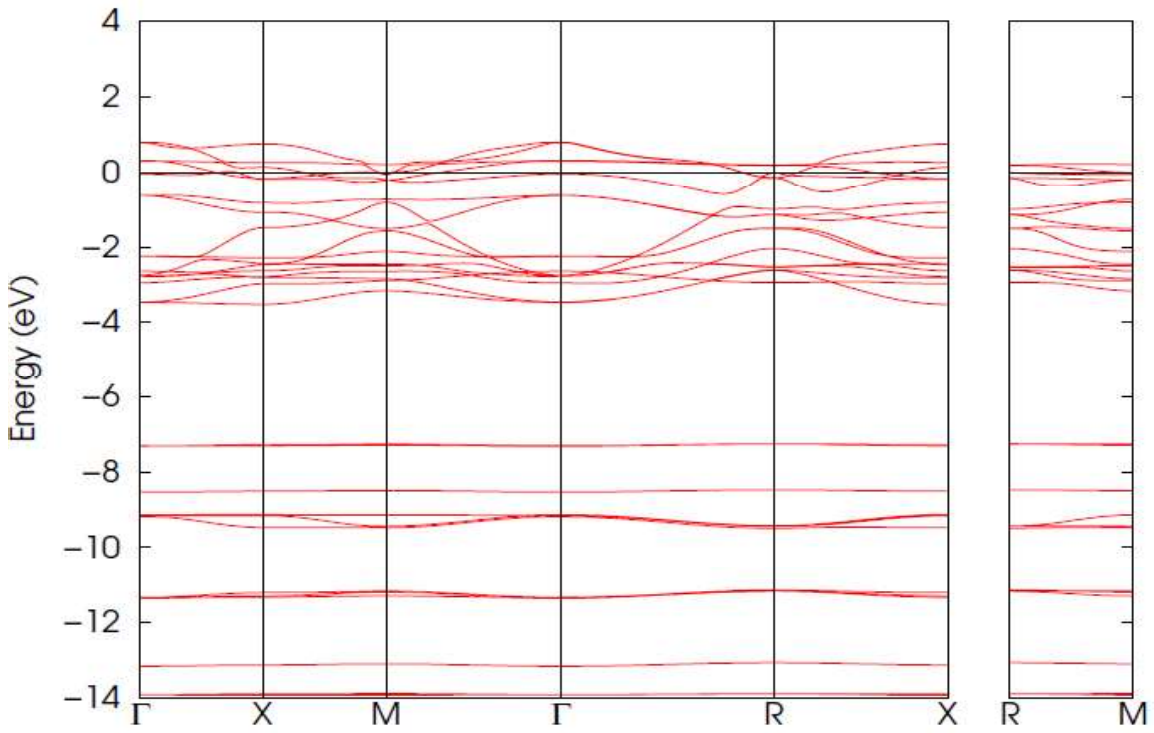
Density functional theory-based ab initio material modeling has been performed using Quantum Espresso Software (QE) packages based on the modeling of the material at the nanoscale or atomistic scale[18]. The generalized gradient approximations (GGA) of Perdew–Burke–Ernzerhof (PBE) exchange-correlation functional and the projector augmented wave (PAW) method were preferred. The plane-wave basis set was determined by a kinetic energy cutoff of 500 R<sub>y</sub>. The Brillion zone integration was performed at the 3×3×3 k mesh points using a methfessel-paxton smearing with a width of 0.02 R<sub>y</sub>. For geometry optimization, all forces on the atoms were converged to less than 0.01 eVÅ<sup>-1</sup>, the maximum ionic displacement was within 0.001 Å. Furthermore, Mechanical and thermal properties and band structures were calculated by thermo\_pw software[19] that is used for the computation of material properties using QE routines.

## Results and Discussion

For the evaluation of electronic band structures of ErB<sub>6</sub> and Ce doped ErB<sub>6</sub>, the band structures along the high-symmetry directions of the cubic Brillion zone (BZ) are given in Figure 1. Figure 1 indicates the simple cubic BZ with  $\Gamma$ , X, M, and R high symmetry points.

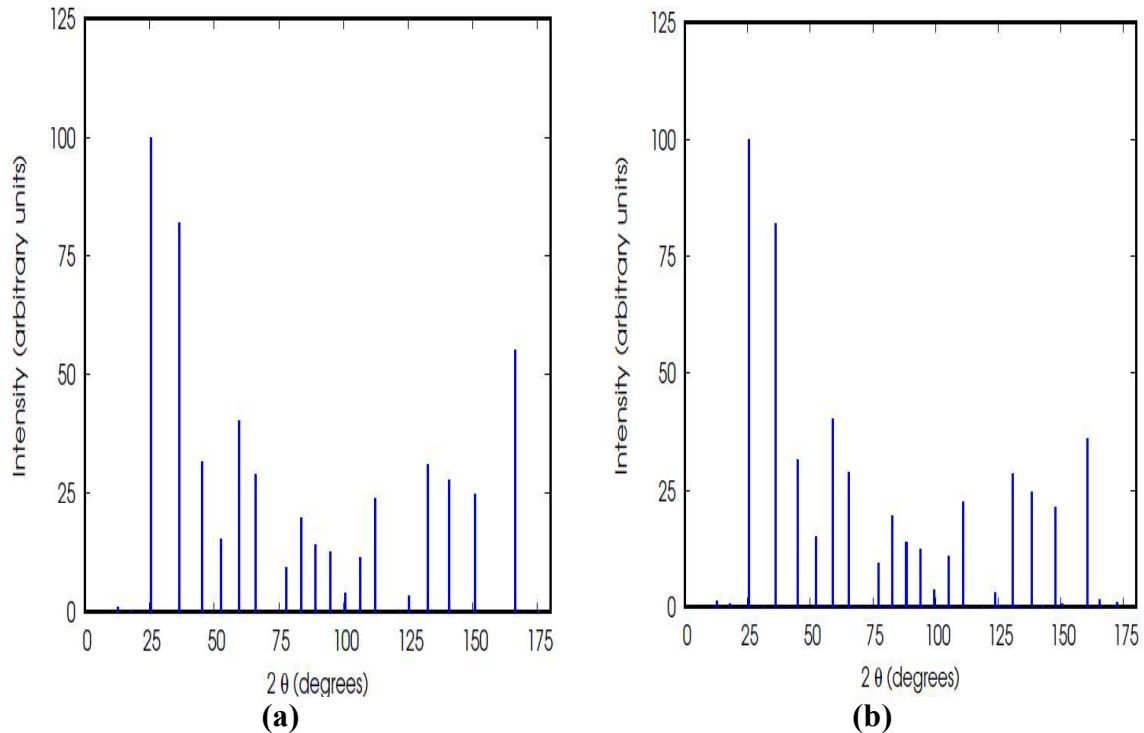


(a)



(b)

**Figure 1** The band structure of (a)  $\text{ErB}_6$  and (b) Ce doped  $\text{ErB}_6$



**Figure 2** The XRD structure of (a)  $\text{ErB}_6$  and (b) Ce doped  $\text{ErB}_6$  structures.

For simplicity, the band structures along with high symmetry directions in the BZ were only plotted in this part. It can be concluded that Ce doping to the  $\text{ErB}_6$  structure leads to an increase in bandgap (see Figure 1). Also, due to the Ce doping, the energy levels of the bands decreased.

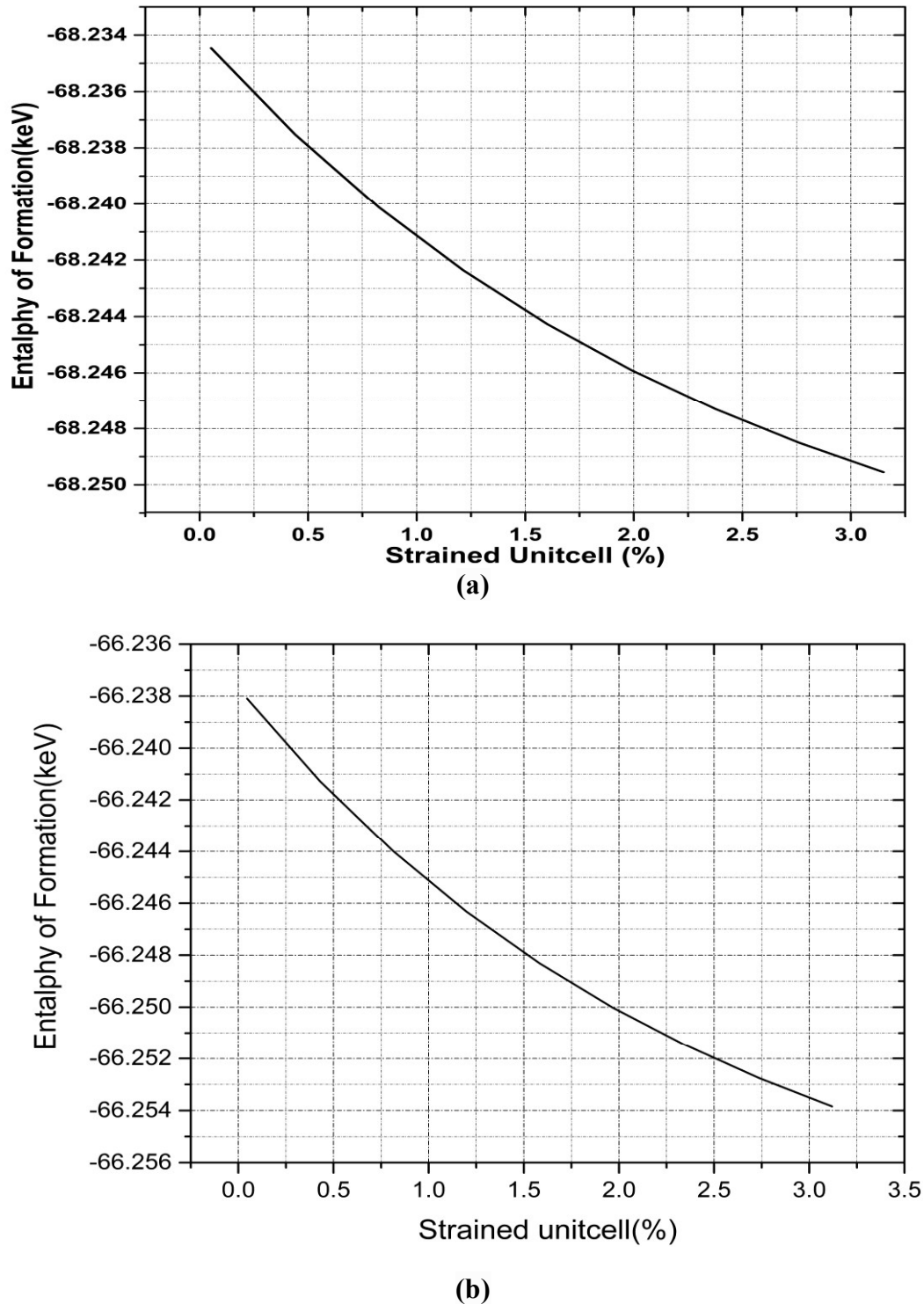
For the microstructural characterization, we calculated the XRD analyzes of the structures (see Figure 2). The peaks in the XRD pattern are indexed to the tetragonal system with the space group  $\text{Pm}\bar{3}\text{m-O}$ . Ce peak was not observed in the Ce doped structure since the addition of one Ce atom by removing one Er atom does not lead to any differences in the geometry or crystallographic direction of the structure, i.e., Ce atom occupies the same position as the removed Er atom. Except for some peaks, the XRD results of  $\text{ErB}_6$  are generally consistent with previous studies.

The bulk modulus of the structures has also been calculated. The values of  $\text{ErB}_6$  and Ce doped  $\text{ErB}_6$  are 149 GPa and 154 GPa respectively. The results show that doping to the  $\text{ErB}_6$  leads to an increase in the mechanical properties of the  $\text{ErB}_6$ .

The relationship between thermal stability and mechanical properties has been investigated. Various ranges of elongated structures to examine the degree of thermal stability were calculated by applying tensile forces on doped and undoped  $\text{ErB}_6$  nanocrystal structures. Figure 3 indicates the relation between enthalpy energy and elongation percentages of the structures. As the ratio of elongation increases, the thermal stability of both structures increases according to the enthalpy energy calculations. For a comparison of doped and undoped  $\text{ErB}_6$  crystal structure, the applied tensile stress leads to more effect on Ce doped  $\text{ErB}_6$  than pure  $\text{ErB}_6$  in terms of stability.

## Conclusions

A computational material study of  $\text{ErB}_6$  crystal structures within the framework of ab initio material modeling at the level of DFT has been investigated. The Ce doped  $\text{ErB}_6$  structures were also investigated. The optical properties calculations indicate that alloying of  $\text{ErB}_6$  with Ce leads the material to have



**Figure 3** The Enthalpy formation energies of (a)  $ErB_6$  and (b) Ce doped  $ErB_6$  structures concerning the elongated volume.

more insulating properties. Furthermore, the XRD of the structures was computed for microstructural evaluation. The XRD analyses support the studied crystal structures having

the space group  $Pm\bar{3}m-O$ . The enthalpy calculations show that the enthalpy energies of undoped  $ErB_6$  are higher values than doped ones.

## References

- [1] B. Matthias, T. Geballe, K. Andres, E. Corenzwit, G. Hull, and J. Maita, "Superconductivity and antiferromagnetism in boron-rich lattices," *Science*, vol. 159, no. 3814, pp. 530-530, 1968.
- [2] H. Xiang and Y. Zhou, "Phonon engineering in tuning the thermal conductivity of alkaline-earth hexaborides," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 40, no. 4, pp. 1352-1360, 2020.
- [3] S. Demishev *et al.*, "Electron nematic effect induced by magnetic field in antiferroquadrupole phase of CeB<sub>6</sub>," *Scientific reports*, vol. 7, no. 1, pp. 1-8, 2017.
- [4] C. Kursun, M. Gogebakan, H. Eskalen, S. Uruş, and J. H. Perepezko, "Microstructural Evaluation and Highly Efficient Photocatalytic Degradation Characteristic of Nanostructured Mg<sub>65</sub>Ni<sub>20</sub>Y<sub>15-x</sub>Lax (X = 1, 2, 3) Alloys," *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, vol. 30, no. 2, pp. 494-503, 2020/02/01 2020, doi: 10.1007/s10904-019-01209-w.
- [5] Q. Li, Y. Zhao, Q. Fan, and W. Han, "Synthesis of one-dimensional rare earth hexaborides nanostructures and their optical absorption properties," *Ceramics International*, vol. 43, no. 14, pp. 10715-10719, 2017.
- [6] Y. Wang, X. Yang, S. Ning, J. Zhao, B. Xu, and J. Zhang, "Crystal growth and thermionic emission properties of Ce<sub>1-x</sub>Y<sub>x</sub>LaxPryB<sub>6</sub> single crystals," *Vacuum*, vol. 165, pp. 157-162, 2019.
- [7] L. Koroglu and E. Ayas, "In-situ synthesis and densification of CeB<sub>6</sub> ceramics by spark plasma sintering from CeO<sub>2</sub> and B powders: Effect of boron content and boron particle size on microstructural, mechanical and electrical properties," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 240, p. 122253, 2020.
- [8] J. T. Cahill and O. A. Graeve, "Hexaborides: a review of structure, synthesis and processing," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 8, no. 6, pp. 6321-6335, 2019.
- [9] G. Boissonnet, C. Chalk, J. R. Nicholls, G. Bonnet, and F. Pedraza, "Thermal Insulation of YSZ and Erbium-Doped Yttria-Stabilised Zirconia EB-PVD Thermal Barrier Coating Systems after CMAS Attack," *Materials*, vol. 13, no. 19, p. 4382, 2020.
- [10] A. Kuzanyan, "Nanosensor for thermoelectric single-photon detector," *Nano Studies*, pp. 93-102, 2014.
- [11] S. Gabani, K. Flachbart, K. Siemensmeyer, and T. Mori, "Magnetism and superconductivity of rare earth borides," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 821, p. 153201, 2020.
- [12] A. Baranovskiy *et al.*, "Electronic structure, bulk and magnetic properties of MB<sub>6</sub> and MB<sub>12</sub> borides," *Journal of alloys and compounds*, vol. 442, no. 1-2, pp. 228-230, 2007.
- [13] L. Swanson and D. McNeely, "Work functions of the (001) face of the hexaborides of Ba, La, Ce and Sm," *Surface Science*, vol. 83, no. 1, pp. 11-28, 1979.
- [14] P. Popov, V. Novikov, A. Sidorov, and E. Maksimenko, "Thermal conductivity of LaB<sub>6</sub> and SmB<sub>6</sub> in the range 6–300 K," *Inorganic Materials*, vol. 43, no. 11, pp. 1187-1191, 2007.
- [15] K. Niihara, "The preparation and nonstoichiometry of samarium hexaboride," *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, vol. 44, no. 4, pp. 963-967, 1971.
- [16] R. W. MAR, "Conditions for Formation of ErB<sub>6</sub>," *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 56, no. 5, pp. 275-278, 1973.
- [17] Z. C. Gernhart *et al.*, "Existence of erbium hexaboride nanowires," *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 95, no. 12, pp. 3992-3996, 2012.
- [18] P. Giannozzi *et al.*, "Advanced capabilities for materials modelling with Quantum ESPRESSO," *Journal of Physics: Condensed Matter*, vol. 29, no. 46, p. 465901, 2017.
- [19] A. Dal Corso, "Elastic constants of beryllium: a first-principles investigation," *Journal of Physics: Condensed Matter*, vol. 28, no. 7, p. 075401, 2016.





Araştırma Makalesi / Research Article

Gümüş nano malzemelerin çevre dostu, hızlı sentezi ve biomedikal uygulamaları

*Eco-friendly, rapid synthesis of silver nanomaterials and their use for biomedical applications*

Ayşe Baran

Artuklu Üniversitesi, Lisansüstü Eğitimler Enstitüsü, Mardin, ayse.gorgec43@gmail.com

MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*

Geliş: 15 Şubat 2021  
Düzeltilme: 23 Şubat 2021  
Kabul: 23 Şubat 2021

*Anahtar kelimeler:*

XRD, anti-mikrobiyal, mikro dilusyon, özüt

ÖZET

Bu çalışmada, ceviz yaprakları kullanılarak hazırlanan özüt ile gümüş nano malzemeler çevre dostu hızlı ve basit bir şekilde sentezlendi. Elde edilen bu malzemelerin karakterizasyonu UV-visiblespektrofotometre (UV-Vis.), Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), X- Işınımı Kırınımı Diffraktometresi(XRD), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), zeta potansiyeli analiz verileri ile belirlendi. Gümüş nano malzemelerin 454.01 nm dalga boyunda maksimum absorpsiyon, 23.66 nm kristal nano boyut, küresel görünüm ve -11.53 mV zeta potansiyeline sahip oldukları belirlendi. Biomedikal uygulamalar için anti-mikrobiyal etkileri patojen türler üzerinde incelendi. Bu türler üzerinde Minimum İnhibisyon Konsantrasyonları (MİK) 0.25-1.0 mg/L olarak mikrodilüsyon yöntemi ile belirlendi.

Doi: 10.24012/dumf.880878

ARTICLE INFO

*Article history:*

Received: 15 February 2021  
Revised: 23 February 2021  
Accepted: 23 February 2021

*Keywords:*

Bridge pier, local scour, clear water scour, steady flow

ABSTRACT

In this study, silver nanomaterials were synthesized in an environmentally friendly, rapid and simple way with the extract prepared using walnut leaves. Characterization of these materials was determined by UV-visiblespectrophotometer (UV-Vis.), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-Ray Diffraction Diffractometer (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Zeta potential analysis data. It was determined that silver nanomaterials have a maximum absorbance at 454.01 nm wavelength, 23.66 nm crystal nano size, spherical appearance and -11.53 mV zeta potential. For biomedical applications, anti-microbial effects were studied on pathogenic species. The Minimum Inhibition Concentrations (MIC) of these species were determined as 0.25-1.0 mg / L by microdilution method.

\* Sorumlu yazar / Correspondence  
Ayşe BARAN  
✉ayse.gorgec43@gmail.com

## Giriş

Nanoteknoloji, özellikle materyal biliminde aktif olması ile modern bilim dünyasında önemli bir yere sahiptir. Farklı boyut ve şekillere sahip nano materyallerin sentezlenmesi ve karakterizasyonu gibi konular çalışma alanını oluşturur [1], [2]. Nano materyallerin (nano partiküller) geniş yüzey alanına sahip olmaları, yüksek ısılara dayanıklı olmaları onları üstün yapan niteliklerden bazılarıdır. Bu özellikleri ile materyal bilimi, ilaç endüstrisi, elektronik gibi daha birçok alanda kullanımları mevcuttur [3], [4].

Metalik nanopartiküllerin kullanım alanlarının geniş olması ile kıymetli malzemelerdir. Gümüş (Ag), altın (Au), demir (Fe), çinko (Zn) bunlardan bazılarıdır. Nanopartikülleri elde etmek için ısı işlemler, fotokimyasal ve kimyasal işlemler gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır [5],[6],[7]. Bu yöntemlerin uygulama aşamaları yüksek maliyetler gerektirir. Aynı zamanda işlem sürecinde toksik kimyasalların kullanılmasında bu yöntemlerin dezavantajlı olduklarını göstermektedir. Son zamanlarda biyolojik yöntemler kullanılarak metalik nanopartiküllerin sentezlemesi uygulama kolaylığı çevre dostu oluşu ve maliyetin oldukça düşük olması ile ilgi görmektedir [8], [9].

Gümüş nanopartiküllerin çevre dostu yöntemler ile sentezinde birçok biyolojik kaynak kullanılmaktadır. Mantarlar [10], algler [11], bakteriler [12], bitkiler [13] bunlar arasında yer almaktadır. Bitkiler ile sentezinde daha fazla, hızlı ve hızlı nanopartiküller elde edilir. Ayrıca bu partiküllerin elde edilmesi daha kolay ve medikal uygulamalar için biyoyumlu olma özelliği gösterirler [3], [14], [15].

Bitkilerin yapısında bulunan alkoller, fenolik bileşikler, aromatik gruplar, aminler gibi fitokimyasallar sulu ortamda  $Ag^+$  iyonunu indirgeyerek  $Ag^0$  formunun oluşması ile nanopartikülleri meydana getirirler [16], [17].

Bu çalışmada Mardin bölgesinde yetişen *Juglans regia L.* (ceviz) ağacının yeşil yaprakları ile gümüş nanopartiküllerin (AgNP'leri) çevre dostu, basit, hızlı bir şekilde sentezlenmesi ve patojen mikroorganizmalar üzerinde üreme inhibisyonunun incelenmesi hedeflenmektedir.

## Materyal ve metot

### Kullanılan kimyasallar ve cihazlar

AgNP'leri sentezinde Sigma aldrich markalı  $AgNO_3$ (gümüş nitrat) tuzu kullanılarak 5 mM (milimolar) çözelti hazırlandı. Mikro dilüsyon yönteminde karşılaştırma yapmak için ticari olarak alınmış vankomisin, kolistin ve flukonazol antibiyotikleri kullanıldı.

Perkin elmer one markalı UV-visible spektrofotometre (UV-Vis.) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi spektroskopisi (FTIR), RadB-DMAX II bilgisayar kontrollü X-ışını Diffraktometresi (XRD), EVO 40 LEQ Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), RadB-DMAX II bilgisayar kontrollü Enerji Dağılımlı X-ışınımı Kırınımı, Malvern marka Zeta potansiyeli cihazları kullanıldı. Partikülleri çöktürmek için de yüksek devirli OHAUS FC 5706 marka model cihaz ile santrifüj yapıldı.

### Sentez ve karakterizasyon

Ceviz yaprakları yeşil formda ağustos ayı sonunda toplandı. Önce musluk suyu ve ardından distile su ile bir kaç kez yıkandı oda koşullarında kurutuldu. Kuruyan yapraklardan 100 gr alındı ve 500 ml distile su ile kaynatıldı. Oda koşullarında soğutulup süzgeç kağıdı ile süzme yapılarak sentez için kullanılmak üzere özüt elde edilmiş oldu.

250 ml 5 mM  $AgNO_3$  çözeltisi ile 500 ml özüt karıştırılarak basit bir elle karıştırmanın ardından oda koşullarında sabit bir zemin üzerinde bırakıldı. Renk değişimi izlendi.

AgNP'lerin oluşum ve varlığını belirlemek için renk değişimine bağlı olarak belli aralıklar ile alınan numunelerle UV-vis. spektrofotometre cihazında dalga boyu taramaları yapılarak absorbanslar okundu. İndirgemedi sorumlu biyoaktif bileşenlere ait fonksiyonel grupları değerlendirmek amacıyla FTIR cihazı dataları incelendi. Sentez sonunda sulu ortamdan AgNP'leri çöktürmek için yüksek devirli santrifüj cihazı ile 9000 rpm de santrifüj yapıldı. Elde edilen partiküller 75°C'de kurutuldu. Kristal boyutlarını ve yapılarını değerlendirmek üzere XRD verileri incelendi. Morfolojik görünümleri ve element içerikleri SEM-EDX

verileri ile belirlendi. AgNP'lerin yüzey yük dağılımı Zeta potansiyeli analiziyle belirlendi.

### AgNP'lerin medikal uygulamalar için anti-mikrobiyal etkilerinin incelenmesi

AgNP'lerin anti-mikrobiyal etkileri patojen suşlar üzerinde Mikro Dilüsyon yöntemi kullanılarak Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu (MİK) ile belirlendi.

Patojen suşlardan *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) ATCC 29213, *Escherichia coli* (*E. coli*) ATCC25922 ve *Candida albicans* (*C. albicans*) İnönü Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Mikrobiyoloji Laboratuvarından, *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) ATCC 11774 ve *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) suşları ise Mardin Artuklu Üniversitesi Mikrobiyoloji Araştırma Laboratuvarından tedarik edildi.

Katı formadaki besiyeri plaklarından üretilmiş olan patojen suşların her biri için Mc Farland standardı 0.5 [18] bulanıklığa göre mikroorganizma süspansiyonları hazırlandı. 96'lık mikro plakala kuyucuklarına bakteriler için Muller Hinton sıvı besiyeri, maya için Roswell Park Memorial Institute (RPMI) sıvı besiyeri eklendi. İlk kuyucuğa  $16 \mu\text{g/mL}^{-1}$  konsantrasyonda hazırlanan AgNP çözeltisi eklenip ilk kuyucuktan başlayarak bir seri mikro dilüsyon yapıldı. Sonrasında her suş için Mc Farland 0.5 standart bulanıklık ile hazırlanan mikroorganizma süspansiyonundan kuyucuklara ekleme yapıldı.

AgNP'lerin aktivitelerini karşılaştırmak için ticari olarak temin edilen gram pozitif suşlar (*S. aureus* ve *B. subtilis*) için vankomisin, gram negatif suşlar (*E. coli* ve *P. aeruginosa*) için kolistin antibiyotikleri ile maya *C. albicans* için de flukanozol antibiyotiklerine aynı şekilde mikro dilüsyon uygulandı. Mikro plakalar  $37^\circ\text{C}$  de 24 saat inkübasyona bırakıldı. Ardından üreme kontrolü yapılarak üremenin başladığı kuyucuktan bir önceki kuyucuk MİK olarak belirlendi.

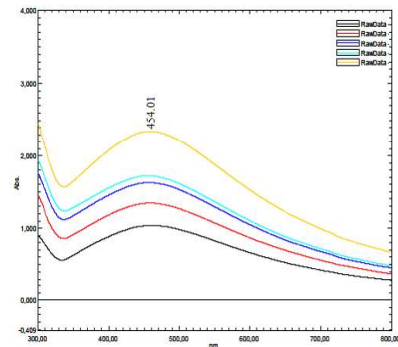
### Bulgular ve tartışma

#### Sentez ve karakterizasyon verileri

Özüt ve  $\text{AgNO}_3$  çözeltisi karıştırıldıktan bir kaç dakika sonra sarıdan kahverengiye olan hızlı renk dönüşümü izlendi (Şekil 1.) [19]. AgNP'lerin oluşumu sırasında indirgemeye bağlı olarak plazma yüzeyinde meydana gelen titreşimler (SPR) ile renk değişimi meydana gelmektedir [20]. Renk değişimine bağlı olarak UV-vis. spektroskopide yapılan okumalarda  $454.01 \text{ nm}$  dalga boyunda maksimum absorpsiyon değeri bulundu (Şekil 2). Yapılan benzer çalışmalarda  $450 \text{ nm}$  [21] ve  $451 \text{ nm}$  [22] maksimum dalga boyları ve sarıdan kahverengiye olan renk değişimi [23] AgNP'lerin oluşumu ve varlığı ile ilişkilendirilmiştir.



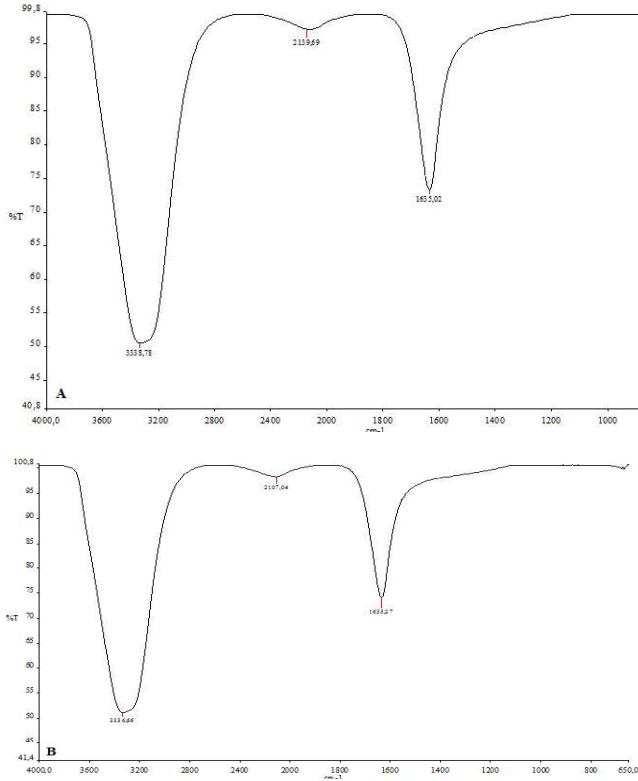
Şekil 1. A. Reaksiyondan sonra AgNP'lerin oluşumuna bağlı meydana gelen renk değişimi B. Özüt görünümü



Şekil 2. AgNP'lerin oluşum ve varlığını gösteren UV-vis. Spektrofotometre verileri

FTIR datalarında indirgemeye katılan fonksiyonel gruplar incelendiğinde  $3338.78$ - $3336.66 \text{ cm}^{-1}$  ve  $2139.69$ - $2107.04 \text{ cm}^{-1}$  meydana gelen frekans kaymaları sırası ile –OH(hidroksil) grupların [24] ve  $\text{C}\equiv\text{C}$  alkin

grupların [25] indirgemenen sorumlu olabileceğini göstermektedir (Şekil 3.).



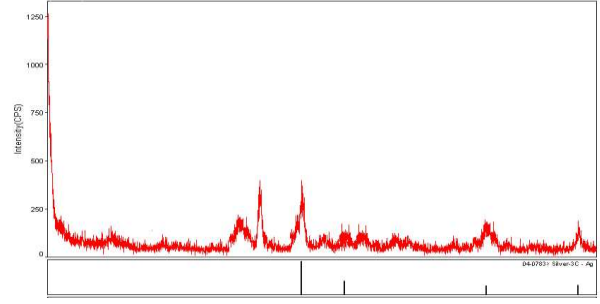
**Şekil 3.** İndirgemenen sorumlu fonksiyonel grupların değerlendirilmesi **A.** özüt, **B.** sentez sonrası reaksiyon sıvı içeriğinin ait FTIR dataları

AgNP'lerin kristal yapıları ve nano boyutları XRD ile  $2\theta$  da bulunan sonuçlara göre değerlendirildi.  $111^\circ$ ,  $200^\circ$ ,  $220^\circ$  ve  $311^\circ$  pikler gümüş nano kristallerin kubik yapıda olduklarını belirtir [26]. Bu piklere ait değerler sırası ile 38.01, 44.32, 64.51 ve 77.20 olarak okunarak kristal nano boyut belirlemek için kullanıldı (Şekil 4.). Kristal nano boyutu Debye-Scherrer eşitliği ile hesaplandı [27],[28].

$$D = K\lambda / (\beta \cos\theta) \quad (1)$$

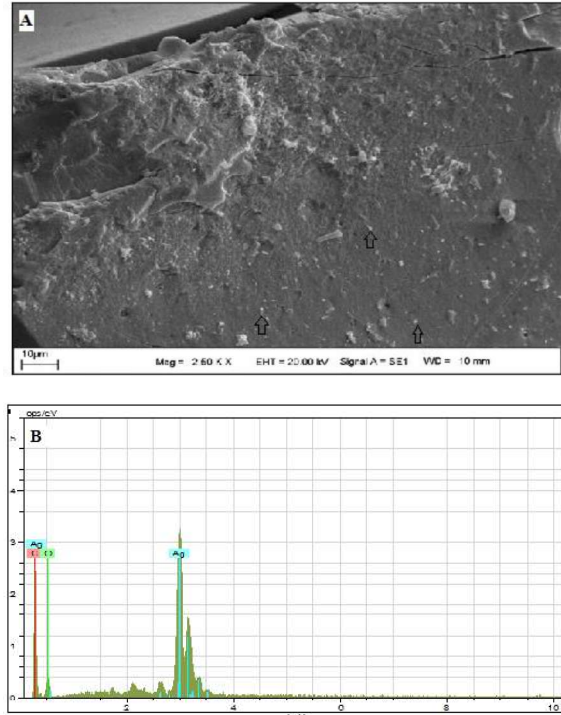
Eşitlikte; D= partikül boyutu, K=sabit değeri (0.90),  $\lambda$  =X-ray dalga boyu değeri ( $1.5418 \text{ \AA}$ ),  $\beta$ =maksimum yüksekliğe sahip pikin FWHM değerinin yarısı,  $\theta$ = yüksek pike ait Bragg açısını ifade etmektedir.

Elde edilen AgNP'lerin 23.66 nm kristal nano boyuta sahip oldukları hesaplandı. Bazı çalışmalarda AgNP'lerin bu eşitlik kullanılarak 30.25 nm [8] ve 18.17 [25] nm kristal nano boyutta oldukları belirtilmiştir.



**Şekil 4.** AgNP'lerin XRD dataları

Şekil 5' de AgNP'lerin morfolojik yapıları ve element kompozisyonlarını belirlemek için SEM-EDX verileri incelendi. SEM grafisinde AgNP'lerin küresel görünümde [29] oldukları tespit edildi. EDX verilerinde ise gümüşe ait güçlü pikler AgNP'lerin varlığını göstermektedir. Carbon ve oksijenden gelen zayıf pikler ise özütten gelen kirlilikten kaynaklanmaktadır [30].

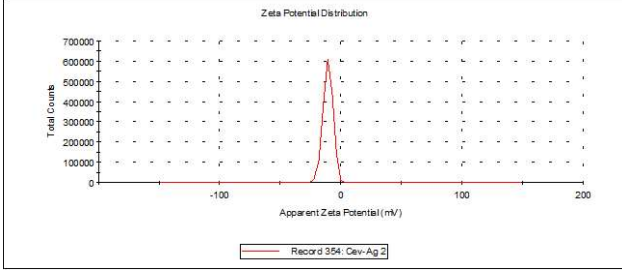


**Şekil 5.** AgNP'lerin SEM-EDX grafiği; **A.** Morfolojik görümleri **B.** Element kompozisyonları

Elde edilen AgNP'lerin yüzey yüklerini belirlemek için yapılan zeta potansiyeli analizi sonucu – 11.53 mV olarak bulundu (Şekil 6).

Çevre dostu sentez çalışmalarında elde edilen AgNP'lerin zeta potansiyelleri -14 mV [24] ve - 19 mV [31] olarak tespit edilmiştir.

AgNP'lerin yük bakımından negative dağılım göstermeleri önemlidir. Elde edilen AgNP'lerin sadece negatif yüke sahip olmaları kümelenmenin ve topaklanmanın olmadığını ve kararlı olduklarını belirtir [32].



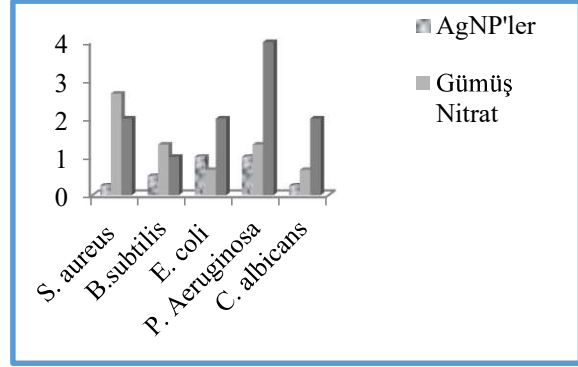
**Şekil 6.** AgNP'lerin yüzey yüklerini gösteren zeta potansiyeli analiz verileri

### AgNP'lerin anti-mikrobiyal etkilerinin incelenmesi

Patojen suşlar üzerinde AgNP'lerin, antibiyotiklerin ve 5 mM gümüş nitrat çözeltisinin anti-mikrobiyal etkileri mikro dilüsyon yöntemi ile MİK belirlenerek karşılaştırıldı. Patojen suşlar üzerinde 0.25-1.0 µg/mL konsantrasyonların etkili olduğu tespit edildi. Bu konsantrasyonlar antibiyotik ve gümüş nitrat çözeltisi ile kıyaslandığında daha düşük konsantrasyonda etkili olduklarını göstermektedir (Tablo 1 ve Şekil 7).

**Tablo 1.** Mikro dilüsyon yöntemi ile elde edilen MİK değerleri

Patojen Suş	AgNPs µg/mL	Silver Nitrat µg/mL	Antibiyotik µg/mL
<i>S. aureus</i> ATCC 29213	0.25	2.65	2
<i>B. subtilis</i>	0.5	1.32	1
<i>E. coli</i> ATCC25922	1.0	0.66	2
<i>P. aeruginosa</i>	1.0	1.32	4
<i>C. albicans</i>	0.25	0.66	2



**Şekil 7.** Patojen suşlar üzerinde MİK uygulamalarının değerleri

Metalik gümüş iyonları kuru haldeyken inört özellik gösterirler. Sulu bir yapı içerisinde iyonize olurlar ve yüksek reaktivite gösterirler. İyonize olmuş gümüşler elektro statik çekim kuvveti ile mikroorganizmalar ile temas kurarlar [21], [33]. Reaktif oksijen türlerinin (ROS) artışına sebep olurlar. Artan ROS ile hücre duvarı, hücre membranı ve nükleus membranının yapısı bozulur [34]. Önemli biyomoleküllerin DNA, RNA gibi yapıların bu türlere karşı affinitesi bulunmaktadır. Dahası vital enzimlerin tiyol gruplarının bu türler ile güçlü bağ kurma özellikleri bulunmaktadır. Bu yapılarında faaliyetlerine etki ederek işlevlerini bozar ve hücre yıkımı ile ölümüne neden olurlar [35].

Yapılan benzer çalışmada yeşil çay özütü ile elde edilen AgNP'lerin *S. aureus*, *E. coli* ve *P. aeruginosa* bakterileri için sırası ile MİK değerleri 250 µg/mL, 15 µg/mL ve 30 µg/mL olarak belirtilmiştir [28]. *Zea mays* L. yaprak özütü ile elde edilen AgNP'lerin *S. aureus* üzerinde 0.33 µg/mL [36] ve bir diğer çalışmada ise *C. albicans* ve *B. subtilis* türleri için MİK 50 µg/mL ve 25 µg/mL olarak raporlanmıştır [37].

### Sonuçlar

Nano malzemelerin birçok kullanım alanı mevcuttur. Bu malzemelerin farklı elde etme metodları mevcuttur. Çevre dostu biyoaktif bileşiklerin kullanıldığı yöntemler büyük ilgi görmektedir. Bu yöntemin maliyeti düşük ve uygulama aşamaları kolay ve basittir. Özel şartlar gerektirmez ayrıca toksik kimyasalların uygulama sürecinde olmayışı da avantaj sağlamaktadır.



*Juglans regia* L. (ceviz) ağacının yeşil yaprakları ile elde edilen özüt ile AgNP'ler özütte bulunan fitokimyasalların indirgeme kapasitesi ile hızlı, ekonomik ve basit bir şekilde yüksek enerji gereksinimi olmadan sentezlendi. Bu AgNP'ler UV-vis., FTIR, EDX, XRD, SEM ve Zeta potansiyeli cihaz verileri ile karakterize edildi. AgNP'lerin küresel görünümde oldukları, 454.01 nm dalga boyunda maksimum absorbans ve 23.66 nm kristal nano boyut sahip oldukları belirlendi.

AgNP'lerin medikal uygulamalar için patojen türler üzerinde anti-mikrobiyal etkileri mikro dilüsyon yöntemi kullanılarak MİK tespit edildi. Antibiyotiklerden daha düşük 0.25-1.0 µg/mL konsantrasyonların etkili olduğu belirlendi.

Uygulama adımları geliştirilerek biyomedikal ve ilaç endüstrisi gibi alanlarda kullanımları anti-mikrobiyal ajan arayışına katkı sağlayabilir.

## Kaynaklar

- [1] Narayan, S., Dipak, S., (2015). Green synthesis of silver nanoparticles using fresh water green alga *Pithophora oedogonia* ( Mont .) Wittrock and evaluation of their antibacterial activity. *Applied Nanoscience*. **5**, 703–709.
- [2] Sudhakar, C., Selvam, K., Govarthanan, M., (2015). *Acorus calamus* rhizome extract mediated biosynthesis of silver nanoparticles and their bactericidal activity against human pathogens. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. **13** (2), 93–99.
- [3] Ojo, O.A., Oyinloye, B.E., Ojo, A.B., Afolabi, O.B., Peters, O.A., Olaiya, O., Fadaka, A., Jonathan, j., Osunlana, O., (2017). Green Synthesis of Silver Nanoparticles ( AgNPs ) Using *Talinum triangulare* ( Jacq .) Willd . Leaf Extract and Monitoring Their Antimicrobial Activity. *Journal of Bionanoscience*. **11**, 292–296.
- [4] Baran, M.F., Keskin, C., Atalar, MN., Baran, A., (2021). Environmentally Friendly Rapid Synthesis of Gold Nanoparticles from *Artemisia absinthium* Plant Extract and Application of Antimicrobial Activities. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. **11** (1), 365–375.
- [5] Mohammadi, F., Yousefi, M., and Ghahremanzadeh, R., (2019). Green Synthesis , Characterization and Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles ( AgNPs ) Using Leaves and Stems Extract of Some Plants. *Advanced Journal of Chemistry-Section A*. **2** (4), 266–275.
- [6] Baran, M.F., Saydut, A., Umaz, A., (2019). Gümüş nanomalzeme sentezi ve antimikrobiyal uygulamaları. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*. **10** (2), 689–695.
- [7] Baran, M., (2019). *Prunus avium* kiraz yaprağı özütü ile gümüş nanopartikül ( AgNP ) sentezi ve antimikrobiyal etkisinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*. **10** (1), 221–227.
- [8] Ali, Z.A., Yahya, R., Sekaran, S.D., Puteh, R., (2016). Green synthesis of silver nanoparticles using apple extract and its antibacterial properties. *Advances in Materials Science and Engineering*. **2016**, 1–6.
- [9] Baran, M. F., Saydut, A., (2019). Altın nanomalzeme sentezi ve karakterizasyonu. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*. **10** (3), 1033–1040.
- [10] S, Majeed., Mohd, S. A., Gouri K. D., Mohammed, T.A., Anima, N., (2016). Biochemical synthesis of silver nanoparticles using filamentous fungi *Penicillium decumbens* (MTCC-2494) and its efficacy against A-549 lung cancer cell line. *Chinese Journal of Natural Medicines*. **14** (8), 615–620.
- [11] Mousavi, S.A., Almasi, A., Navazeshkh, F., Falahi, F., (2019). Biosorption of lead from aqueous solutions by algae biomass: Optimization and modeling. *Desalination and Water Treatment*. **148**, 229–237.
- [12] Gopalu, K., Matheswaran J., Alexander,



- G., Juan, Antonio LT., Evgeny, K., D.K., (2016). Rapid Biosynthesis of AgNPs Using Soil Bacterium *Azotobacter vinelandii* With Promising Antioxidant and Antibacterial Activities for Biomedical Applications. *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*. **69**, 1206–1212.
- [13] Eren, A., Baran, M.F., (2019). Fıstık (*Pistacia vera* L.) Yaprağından Gümüş Nanopartikül (AgNP) 'lerin Sentezi, Karakterizasyonu ve Antimikrobiyal Aktivitesinin İncelenmesi Synthesis, Characterization and Investigation of Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles (AgNP). **6** (2), 165–173.
- [14] Ramkumar, V.S., Pugazhendhi, A., Gopalakrishnan, K., Sivagurunathan, P., Saratale, G.D., Dung, T.N.B., Kannapiran, E., (2017). Biofabrication and characterization of silver nanoparticles using aqueous extract of seaweed *Enteromorpha compressa* and its biomedical properties. *Biotechnology Reports*. **14**, 1–7.
- [15] Ahmed, M.J., Murtaza, G., Rashid, F., Iqbal, J., (2019). Eco-friendly green synthesis of silver nanoparticles and their potential applications as antioxidant and anticancer agents. *Drug Development and Industrial Pharmacy*. **45** 1682–1694.
- [16] Patil, M.P., Singh, R.D., Koli, P.B., Patil, K.T., Jagdale, B.S., Tipare, A.R., Kim, G.D., (2018). Antibacterial potential of silver nanoparticles synthesized using *Madhuca longifolia* flower extract as a green resource. *Microbial Pathogenesis*. **121**, 184–189.
- [17] Song, J.Y., Kim, B.S., (2009). Rapid biological synthesis of silver nanoparticles using plant leaf extracts. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. **32** (1), 79–84.
- [18] Baran, M.F. (2019) Synthesis and Antimicrobial Applications of Silver Nanoparticles From *artemisia absinthium* plant. *Biological and Chemical Research*. **6**, 96–103.
- [19] Li, G., He, D., Qian, Y., Guan, B., Gao, S., Cui, Y., (2012). Fungus-Mediated Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Aspergillus terreus*. *International Journal of Molecular Sciences*. **13**, 466–476.
- [20] Kumar, V., Gundampati, R.K., Singh, D.K., Bano, D., Jagannadham, M. V., Hasan, S.H., (2016). Photoinduced green synthesis of silver nanoparticles with highly effective antibacterial and hydrogen peroxide sensing properties. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. **162**, 374–385.
- [21] Swamy, M.K., Akhtar, M.S., Mohanty, S.K., and Sinniah, U.R., (2015). Synthesis and characterization of silver nanoparticles using fruit extract of *Momordica cymbalaria* and assessment of their in vitro antimicrobial, antioxidant and cytotoxicity activities. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. **151**, 939–944.
- [22] Baran, M.F., (2019). Alıç Bitkisinin Yaprak Özütü Kullanılarak AgNP'erin Yeşil Sentezi ve Anti Mikrobiyal Aktivitelerinin Değerlendirilmesi. in: Gece Kitaplığı, pp. 113–119.
- [23] Pechyen, C., (2020). A flower shape-green synthesis and characterization of silver nanoparticles (AgNPs). *Integrative Medicine Research*. **9** (5), 11003–11012.
- [24] Remya, R.R., Rajasree, S.R.R., Aranganathan, L., Suman, T.Y., (2015). An investigation on cytotoxic effect of bioactive AgNPs synthesized using *Cassia fistula* flower extract on breast cancer cell MCF-7. *Biotechnology Reports*. **8** 110–115.
- [25] Baran, M.F., Koç, A., Uzan, S., (2018). Kenger (*Gundelia tournefortii*) Yaprağı İle Gümüş Nanopartikül(Agnp) Sentezi, Karakterizasyonu ve Antimikrobiyal Uygulamaları. *International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*. **5**, 44–52.

- [26] Sampaio, S., Viana, J.C., (2018). Production of silver nanoparticles by green synthesis using artichoke (*Cynara scolymus* L.) aqueous extract and measurement of their electrical conductivity. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. **9** (4), 1–10.
- [27] Baran., M.F., (2019). Synthesis , Characterization And Investigation Of Antimicrobial Activity Of Silver Nanoparticles From *Cydonia Oblonga* Leaf. *Applied Ecology and Environmental Research*. **17** (2), 2583–2592.
- [28] Rolim, W.R., Pelegrino, M.T., de Araújo Lima, B., Ferraz, L.S., Costa, F.N., Bernardes, J.S., Rodrigues, T., Brocchi, M., Seabra, A. B., (2019). Green tea extract mediated biogenic synthesis of silver nanoparticles: Characterization, cytotoxicity evaluation and antibacterial activity. *Applied Surface Science*. **463**, 66–74.
- [29] Thomas, B., Vithiya, B.S.M., Prasad, T.A.A., Mohamed, S.B., Magdalane, C.M., Kaviyarasu, K., Maaza, M., (2018). Antioxidant and Photocatalytic Activity of Aqueous Leaf Extract Mediated Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* . *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. **19** (5), 2640–2648.
- [30] Arumai Selvan, D., Mahendiran, D., Senthil Kumar, R., Kalilur Rahiman, A., (2018). Garlic, green tea and turmeric extracts-mediated green synthesis of silver nanoparticles: Phytochemical, antioxidant and in vitro cytotoxicity studies. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. **180**, 243–252.
- [31] Oliveira, A.C. de J., Araújo, A.R. de, Quelemes, P.V., Nadvorny, D., Soares-Sobrinho, J.L., Leite, José Roberto Sousa, A. S., Edson Cavalcanti, S., Durcilene A., (2019). Solvent-free production of phthalated cashew gum for green synthesis of antimicrobial silver nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*. **213**, 176–183.
- [32] Patil, M.P., Singh, R.D., Koli, P.B., Patil, K.T., Jagdale, B.S., Tipare, A.R., Gun D., (2018). Antibacterial potential of silver nanoparticles synthesized using *Madhuca longifolia* flower extract as a green resource. *Microbial Pathogenesis*. **121**, 184–189.
- [33] Durán, N., Durán, M., Jesus, M.B. De, Seabra, A.B., Fávoro, W.J., Nakazato, G., (2015). Silver Nanoparticles: A New View on Mechanistic Aspects on Antimicrobial Activity. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*. **12** (3), 789–799.
- [34] Singh, P., Garg, A., Pandit, S., Mokkapati, V.R.S.S., (2018). Antimicrobial Effects of Biogenic Nanoparticles. *Nanomaterials*. **8** (12), 1–19.
- [35] Gopinath, V., Priyadarshini, S., Loke, M.F., Arunkumar, J., Marsili, E., MubarakAli, D., Vadivelu, J., (2017). Biogenic synthesis, characterization of antibacterial silver nanoparticles and its cell cytotoxicity. *Arabian Journal of Chemistry*. **10** (8), 1107–1117.
- [36] Eren, A., Baran, M.F, (2019). Green Synthesis , Characterization And Antimicrobial Activity Of Silver Nanoparticles ( Agnps ) From Maize ( *Zea mays* L .). *Applied Ecology and Environmental Research*. **17** (2), 4097–4105.
- [37] Emmanuel, R., Palanisamy, S., Chen, S., Chelladurai, K., Padmavathy, S., Saravanan, M., Fahad M.A, (2015). Antimicrobial ef fi cacy of green synthesized drug blended silver nanoparticles against dental caries and periodontal disease causing microorganisms. *Materials Science & Engineering C*. **56** 374–379.



Araştırma Makalesi / Research Article

## Diyarbakır Karacadağ Kırmızı Tepe Skoryası ile Cu(II) Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi

### Investigation of Cu(II) Adsorption Kinetics by Diyarbakır Karacadağ Kırmızı Tepe Scoria

Mehmet Can DAL<sup>1</sup>, Nilgün ONURSAL<sup>2</sup>, Enes ARICA<sup>3</sup>, Ömer YAVUZ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Diyarbakır, [mcandal123@gmail.com](mailto:mcandal123@gmail.com), [orcid.org/0000-0001-6474-6053](https://orcid.org/0000-0001-6474-6053)

<sup>2</sup> Siirt Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Temel Eğitim Bölümü, Siirt, [nilgun.onursal@gmail.com](mailto:nilgun.onursal@gmail.com), [orcid.org/0000-0002-2460-6475](https://orcid.org/0000-0002-2460-6475)

<sup>3</sup> Dicle Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Adli Tıp Anabilim Dalı, Diyarbakır, [enesarica@gmail.com](mailto:enesarica@gmail.com), [orcid.org/0000-0002-8663-4826](https://orcid.org/0000-0002-8663-4826)

<sup>4</sup> Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Diyarbakır, [omer@dicle.edu.tr](mailto:omer@dicle.edu.tr), [orcid.org/0000-0002-5618-2881](https://orcid.org/0000-0002-5618-2881)

#### MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*

Geliş: 16 Şubat 2021  
Düzeltilme: 5 Mart 2021  
Kabul: 5 Mart 2021

*Anahtar kelimeler:*

Adsorpsiyon, kinetik, Cu(II), skorya, mineraloji, karacadağ

#### ÖZET

Bu çalışmada Diyarbakır bölgesinin Karacadağ Kırmızı Tepe volkan konisinden alınan bazaltik pomza (BR1) adsorplayıcı olarak kullanılmıştır. BR1'in mikroskopik ve makroskopik özellikleri belirlendi. BR1, XRD, XRF, BET, FTIR, BET ve SEM gibi yöntemlerle karakterize edildi. Adsorpsiyona etki eden parametrelerden olan farklı süre ve sıcaklıklarda çalışıldı. Adsorpsiyon miktarları 298, 313 ve 328 K için sırasıyla 1.97, 2.15 ve 2.58 mg g<sup>-1</sup> olarak bulundu. Deneden elde edilen veriler; Lagergren yalancı birinci dereceden kinetik modeli (pseudo first model), Ho-McKay yalancı ikinci dereceden modeli (pseudo second model), parçacık içi difüzyon modeli (Weber-Morris model), ve Elovich kinetik modeli olmak üzere 4 kinetik modele uygulandı. Cu(II) nin adsorpsiyon kinetik mekanizmasının, en çok Ho McKay modeli olarak bilinen ikinci dereceden hız denklemine uyduğu görülmekle beraber, Elovich hız denklemine de uyduğu değerlendirildi.

Doi: 10.24012/dumf.881650

#### ARTICLE INFO

*Article history:*

Received: 25 January 2021  
Revised: 5 March 2021  
Accepted: 5 March 2021

*Keywords:*

Adsorption, kinetics, Cu(II), scoria, mineralogy, karacadağ

#### ABSTRACT

In this study, basaltic pumice (BR1) taken from the red hill volcano cone from the Karacadağ's Ovabağ region in Çınar District of Diyarbakır is being used as the absorber. Microscopic and macroscopic properties of BR1 were determined. BR1 was characterized through methods such as XRD, XRF, BET, FTIR, BET and SEM. Different temperatures and contact times among the parameters affecting the adsorption were studied. Adsorption amounts were found as 1.97, 2.15 and 2.58 mg g<sup>-1</sup> respectively for 298, 313 and 328 K. Data obtained from the experiment were applied to 4 kinetic models; Lagergren pseudo first-order model, Ho-McKay pseudo-second model, intra-particle diffusion model (Weber-Morris model), and Elovich kinetic model. The adsorption kinetic mechanism of Cu(II) was evaluated to mostly comply with the second order velocity equation - known as the Ho McKay model, yet it also comply with the Elovich kinetic equation.

\* Sorumlu yazar / Correspondence  
Ömer YAVUZ  
✉ [omer@dicle.edu.tr](mailto:omer@dicle.edu.tr)

## Giriş

Yeryüzüne çıkmış akışkan haldeki magmaya lav adı verilir. Magmanın bir volkan ağzından yüzeye çıkarak akmasına lav akıntısı; gaz, toz ve lav parçalarından oluşan bir karışım halinde atmosfere püskürerek bir bulut halinde dönüşmesine ise piroklastik akıntı denir.. Yüzeyle katılaştınca ise volkanik kaya adını alır (Mibe, 2014). Kayaçlar, oluşum şartlarına ve kökenlerine göre, magmatik, metamorfik (başkalaşım) ve sedimanter (tortul) olmak üzere başlıca üç gruba ayrılmaktadırlar (Kılıç, 2009). Magmatik kayaçlar, volkanik ortamda magmanın katılması ve soğumasıyla oluşur. Asidik ve bazik volkanik faaliyetler neticesinde iki tür pomza oluşmaktadır. Bunlar asidik pomza ve bazik pomzadır. Bazik pomza, koyu renkli, kahverengimsi, siyahımsı olabilmektedir. Özgül ağırlığı 1-2 civarındadır.

Asidik pomza, beyaz, kirli görünümde ve grimsi beyaz renkte olup yoğunluğu bazik pomzadan hafif özgül ağırlığı 0,5-1 civarındadır. Pomza silisyum, alüminyum, potasyum ve sodyum ihtiva eder ve bu bileşimler nedeniyle açık renkli görünüm sergilemektedirler (Yanık, 2007).

Bazik pomzaya skorya denir. Skorya, lavın ana malzemesinden oluşur. Yüksek veziküller (boşluklu) bir yapıdadır ve pomzadan çok yüksek yoğunluğa sahiptir. Skorya, pomzadan farklı olarak, silisyum oksit oranı düşük olduğu için bazik özelliğe sahiptir. Skorya, çimentonun yapısında, puzolan olarak inşaat malzemesinde, yol yapımında ve adsorplayıcı olarak kullanılır (Tapan, 2012), (Erdoğan, 2007). Skoryanın kullanım alanındaki etkinliği, fiziksel ve kimyasal özelliklerine sıkı bir şekilde bağlıdır. Bu nedenle Karacadağ Skoryasının karakterizasyonu sadece bilimsel analiz olmakla kalmayıp, aynı zamanda uygulamada da yeri olan kritik öneme sahip bir çalışmadır. (Kılıç, 2009), (Binici, Bahşude, Durgun, 2010), (Day, 1990).

Çok eskiye dayanan ağır metal kullanımı, dünyada sanayinin ve teknolojinin gelişimi ile birlikte hızla artırmıştır. Böylece çevre sorununun kaynağı olmaya başlamıştır. Çünkü doğrudan doğaya salınan bu ağır metaller hava, su ve toprağa karışarak tüm canlılara zarar vermektedir (Onursal, Dal, Kul, Yavuz, 2020). Bakır metali M.Ö. 5000'li yıllardan beri

bilinmektedir. Bakır bulunduktan sonra Bakır Çağı (Kalkolitik Çağ) başlamış ve insanlığın medeniyet yürüyüşü başka bir aşamaya geçmiştir. Bakırın kullanım alanı oldukça geniştir. Bunlar arasında elektrik ve yapı endüstrisi, iletim araçları, endüstriyel makineler, silâh ve savunma sanayisi, gıda endüstrisi, hassas alet ve optik malzeme yapımı sayılabilir. Bakırın kullanımı ile çevreyi kirletmesi arasındaki ilişki yıllardır bilinmekle beraber, bakır atıkları kara, su ve hava kirliliğine yol açmaktadır. Bu durum çevresi ile temas halinde bulunan insan ve diğer canlılara zarar vermekte ve aşırı doz alımında ise toksik ve kanserojen etki gösterebilmektedir. Bakır elementi kolaylıkla dövülüp şekillendirilebilir ve soğuk işleme vasıtası ile sertliği artırılabilir. Oksijen, azot, karbondioksit ve sülfür dioksit gibi yaygın gazlar, erimiş bakırda çözünür ve katılmış metalin mekanik ve elektriksel özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir (Onursal, 2019).

Bu atıkların suya karışması sonucu oluşan doz aşımı suları kirleterek tüm doğaya ve canlılara zarar verebilmektedir. Bu nedenle atık sulardan ağır metal giderimi yöntemleri son dönemlerde oldukça önemsenmekte ve bu yöntemlerden biri olan adsorpsiyon oldukça önem arz etmektedir. Adsorpsiyon, farklı fazlarda bulunan sıvı ya da gaz moleküllerinin katı ya da sıvı fazdaki maddelerin yüzeyine tutunması işlevidir (Onursal, 2019).

Adsorpsiyon kinetiği konusunda Lagergrenin yalancı Birinci Dereceden Hız Denklemi, Ho ve McKay'ın İkinci Dereceden Hız Denklemi, Parçacık İçi Difüzyon Modeli (Weber-Morris difüzyon modeli) ve Elovich kinetik modelleri ön plana çıkmaktadır. Bunlara ait denklemler ise aşağıdaki şekilde verilebilir.

### Adsorpsiyon Kinetiği Modelleri

Adsorpsiyon olayı zamana bağlı olarak gelişen bir süreç olduğundan, adsorpsiyon kinetiğinde, adsorplayıcı ile adsorplanan arasında denge temas süresi vardır. Denge temas süresi adsorplayıcının adsorplanan madde ile doyuma eriştiği ana kadar geçen süredir ve bu süre adsorpsiyon hızı ile ters orantılıdır (Baran & Düz, 2019).

1. Pseudo-First order Model (Lagergen Denklemi)
2. Pseudo-Second order Model (Ho-Mckay Denklemi)
3. Elovich Kinetik Modeli
4. Weber-Morris Modeli ( Parçacık İçi Difüzyon Modeli)

**Lagergren Modeli (Yalancı Birinci Derece Kinetik Model):** Lagergren'in (Lagergren, 1898) geliştirdiği kinetik model, first order kinetik modelidir. Bu modelin hesaplaması aşağıda verilen 1.1 denklemi ile yapılmaktadır. (Ho and Mckay, 1998a), (Yavuz, 2003). Burada  $k_1$  adsorpsiyonun birinci derece hız sabitini;  $q_e$ , dengede adsorplanmış olan madde miktarını ve  $q_t$  ise t süre sonunda adsorplanan madde miktarını belirtmektedir.

$$\ln(q_m - q_t) = \ln q_m - k_1 t \quad (1.1)$$

**Ho McKay Modeli (İkinci Derece Kinetik Model):** Pseudo second order modeli ise Ho ve McKay'ın geliştirdiği kinetik modeldir. (Ho, Mckay, 1998b ). Adsorplama kapasitesinin zamana bağlı olarak nasıl değiştiğini gösteren ifade 1. 2 de verilmiştir.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (1.2)$$

**Elovich Kinetik Modeli:** Bu modelin temel amacı katının yüzeyinde adsorpsiyon işlevinin nasıl gerçekleştiğini açıklamaktır. Bu model aynı zamanda Roginsky ve Zeldovich'in geliştirdiği model olarakta literatürde yer bulmuş ve 1.3 no'lu denklem şeklinde formülize edilmiştir. (Baytar ve ark., 2018)

$$qt = \frac{1}{\beta} (\ln \alpha \beta) + \frac{1}{\beta} \ln t \quad (1.3)$$

**Weber-Morris Kinetik Modeli:** İç partiküler difüzyon olayını incelemek amacıyla Weber-Morris modeli tercih edilmiştir. Bu modelde sınır tabaka direnci, çözelti adsorpsiyonun da ki parametrelerden denge, hız ve bunlara bağlı olarak temas süresine etki etmektedir. (Onursal, Kul, & Baran, 2019), (McKay ve ark., 1987).

$$q_t = k_i \sqrt{t} + C \quad (1.4)$$

## Materyal ve Metot

### Materyal

Adsorplayıcı olarak Diyarbakır Karacadağ bölgesi skoryası kullanıldı. Kinetik çalışmada Cu(II) stok çözeltisi için, Sigma marka  $Cu(NO_3)_2$  kullanıldı.

### Metod

Adsorplayıcı, Diyarbakır İli' nin 30 Km güneyinde, Çınar ilçesi Ovabağ mahallesinin 850 m kuzeyinde bulunan, Kırmızı Tepe adlı volkan konisinden 37°43'19.54'' K ve 39°59'33.18'' D koordinatlarına ve 1055 rakıma sahip noktadan alınmıştır. Örneklene kaya parçaları, çeneli kırıcıda ilk önce çakıl büyüklüğündeki parçalara ayrıldı. Daha sonra bu parçalarda bilyeli öğütücüde öğütülerek toz haline getirildi. Toz haline getirilen adsorplayıcı, +80, 80-100, 100-140 ve -140 mesh büyüklüğündeki 4 ayrı tanecik büyüklüğüne ayrıldı. Bunlardan, +80, -100 mesh boyutundaki numune, çalışma için seçildi.

### Adsorplayıcının Karakterizasyonu

BR1'in özelliklerinin belirlenmesi için, minerolojik ve petrografik analizi yapıldı. BR1, 373 K'da (110 °C) 24 saat desikatörde bekletilerek kurutuldu. Ardından XRD, XRF, SEM-EDX ve FTIR analizleri yaptırıldı. Yapılan bu analizlerle makroskobik ve mikroskobik özellikler tespit edildi.

### Bulgular

#### Minerolojik ve Petrografik Analizler

BR1'in minerolojik ve petrografik analizi ile makroskobik ve mikroskobik tanımlamaları yapıldı.

Yapılan makroskobik tanımlamada;

- Renk: Grimsi siyah (N2- Geological Rock – Color Chart,2009)
- Doku: Boşluklu (cüruf dokusu)
- Tane büyüklüğü: Küçük
- Boşluklar: Çok bol oranda; küçük-orta-iri büyüklüklerde; küresel-oval-düzensiz şekillerde; birbirinden ince çeperlerle ayrılmış, yer yer de birbiriyle bağlantılı; heterojen dağılım lokal olarak değişmekte)

Mikroskobik tanımlamada;

- Doku: Cüruf dokusu; Porfirik doku
- Bileşenler: Feno- mikrofeno-kristaller: Piroksen mineraller: Piroksen mineralleri

Alt zemin: Hamur.

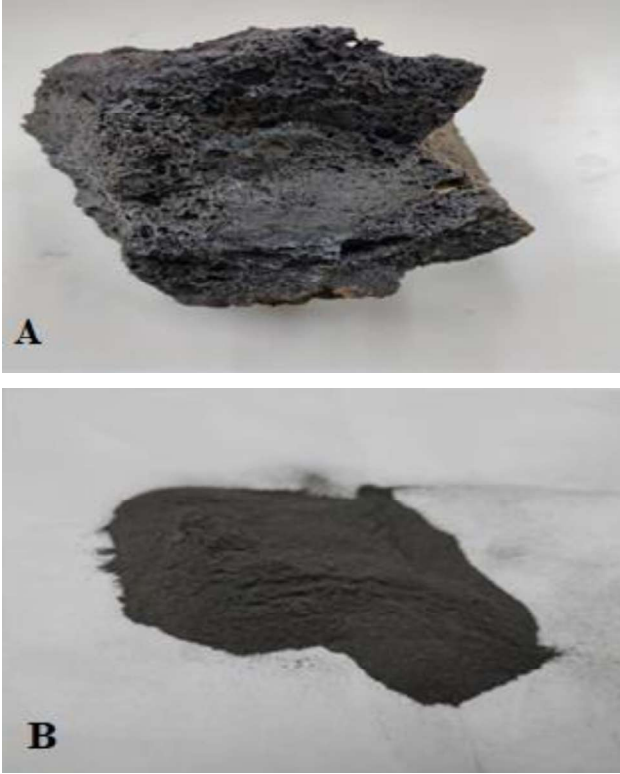
**Piroksen mineralleri:** Tahmini %10-15 oranında, küçük taneli, çoğunlukla hipidiyomorfik-idiyomorfik, prizmatik şekilli, homojen dağılımlı.

**Hamur:** Tahmini %35-40 oranında, hipokristalin dokulu, çok ince kristalli/submikroskopik, (çok bol orandaki) opak minerallerden, plajyoklaz kristalit- mikrolitlerden, (yer yer, az orandaki) piroksen minerallerinden ve volkan camından oluşmakta.

- Süreksizlikler:

**Boşluklar:** Çok bol oranda (tahmini olarak kayacın %50'sini oluşturmakta); küçük orta-iri büyüklüklerde; değişik şekillerde (küresel- oval- düzensiz şekillerde, yer yer birbiriyle bağlantılı) şeklinde tanımlanmıştır.

Şekil 1'de BR1'in kayaç ve tanecikli hali görülmekte.



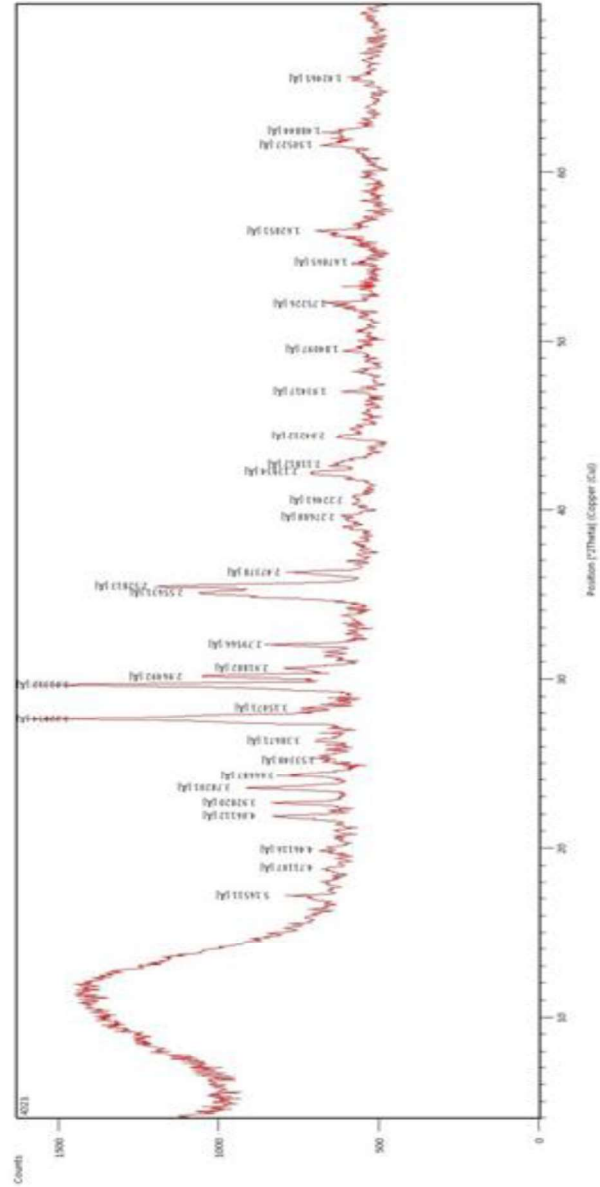
Şekil 1. (A) BR1'in kayaç hali. (B) BR1'in (-80, +100 mesh) tanecik boyutlu hali.

### XRD Analizi

Yapılan XRD analizinde skorya numunesinde tespit edilen mineraller yüksek sayım değerinden, düşük sayım değerine göre şöyle sıralanmıştır:

1. Piroksen,
2. Plajyoklaz,
3. Alkali feldispat,
4. Olivin,
5. Amorf malzeme.

Şekil 2.de XRD analizine ait diagram verilmiştir.

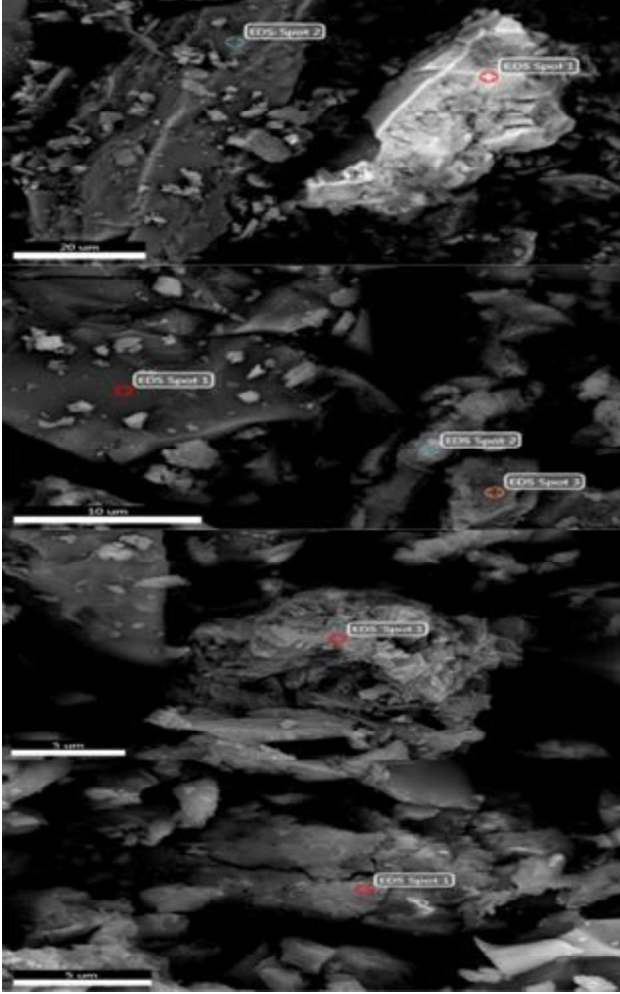


Şekil.2. BR1'e ait XRD verileri.

### SEM-EDX Analizi

Şekil.3'de verilen görüntülerden, BR1'in pek çok amorf maddeyi heterojen olarak bünyesinde barındırdığı görülmektedir.

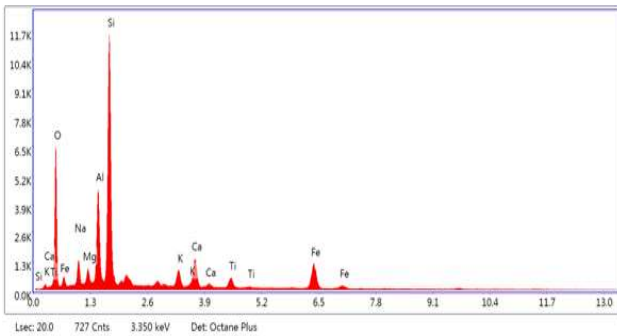




kV: 20 Mag: 10013 Takeoff: 35 Livetime:20 Amp  
Time(µs): 7.68Resolution(eV): 125.9

Şekil.3. BR1'in değişik nokta ve mesafeden SEM-EDX görüntüleri

Şekil 4'de BR1'e ait spot 1 noktası için EDX spektrumu verilmiş olup, çizelge 1.'de ise BR1'e ait spot 1 noktası için EDX analizi verileri gösterilmektedir.

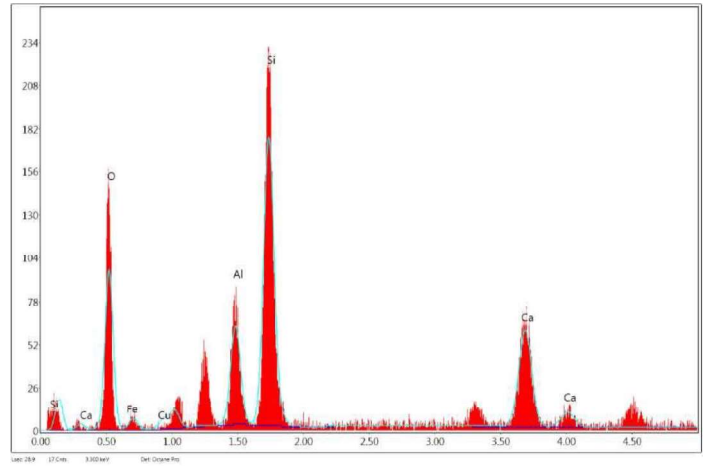


Şekil.4. BR1'e ait Spot 1 noktası için EDX spektrumu

Çizelge .1. BR1'e ait Spot 1 noktası için EDX analizi verileri.

Element	Weight %	Atomic %	Net Int	Error %	Kratio	Z	A	F
O K	35.65	52.10	1287.14	9.19	0.0967	1.0828	0.2506	1.0000
NaK	3.84	3.91	251.92	9.81	0.0131	0.9855	0.3461	1.0018
MgK	2.16	2.08	249.93	9.12	0.0103	1.0028	0.4749	1.0032
AlK	11.41	9.89	1624.47	5.71	0.0667	0.9661	0.6028	1.0041
SiK	25.92	21.58	3865.33	5.12	0.1626	0.9877	0.6339	1.0021
KK	1.30	0.78	159.58	12.08	0.0108	0.9171	0.8881	1.0228
CaK	7.62	4.45	818.87	3.64	0.0667	0.9340	0.9200	1.0183
TiK	2.12	1.03	195.29	7.60	0.0175	0.8469	0.9442	1.0330
FeK	9.98	4.18	538.16	3.64	0.0850	0.8338	0.9904	1.0314

kV: 20 Mag: 10013 Takeoff: 35 Livetime:20 Amp  
Time(µs): 7.68Resolution(eV): 125.9



Şekil.5. Adsorpsiyon sonrası BR1'e ait Cu piki veren EDX spektrumu

### XRF Analizi

BR1'in XRF analiz sonuçları çizelge 2.1 ve 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Skorya numunesinin XRF ve EDX % sonuçları

Oksitler (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
XRF	39,85	15,46	17,55	1,38	4,254
EDX-1	48,7	21,6	14,26	1,57	5,18
EDX-2	44,00	15,71	19,12	1,41	7,77
EDX-3	48,11	19,02	21,53	0,89	7,05
EDX ort	46,94	18,78	18,30	1,29	6,67

Çizelge 2.2. Skorya numunesinin XRF ve EDX sonuçları

Oksitler (%)	CaO	MgO	MnO	TiO <sub>2</sub>
XRF	9,45	8,80	0,26	1,95
EDX-1	10,67	3,60	-	-
EDX-2	11,77	7,62	1,50	3,20
EDX-3	10,29	6,48	-	2,23
EDX ort	10,91	5,90	0,5	1,81

Çizelge.2.1 ve 2.2'de görüldüğü üzere, XRF, SEM-EDX sonuçları ile makroskobik ve mikroskobik verileri birbirilerini desteklemektedir. Gill'e göre SiO<sub>2</sub> oranlarına göre kayaların asitlik durumu çizelge 3.'de verilmiştir.

Çizelge.3. Gill'e göre SiO<sub>2</sub> oranlarına göre kayaların asitlik durumu

SiO <sub>2</sub> Oranı (%)	Cinsi
>63	Asidik
63-52	Orta
52-45	Bazik
<45	Ultrabazik

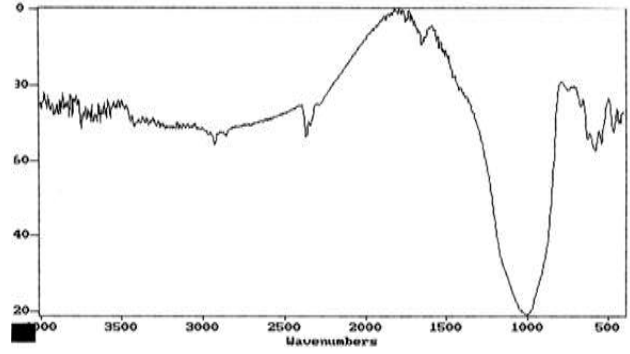
EDX ve XRF verileri çizelge 3' teki ölçütlerle karşılaştırıldığında, numune EDX göre bazik, XRF sonuçlarına göre ise ultra bazik niteliktedir.

### Yüzey Alanının Belirlenmesi

77 K sıcaklığında azot gazı adsorpsiyonu ile Braun Emmet Teller (BET) metodunun uygulanmasıyla, BR1'in yüzey alanı 4.98 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> olarak belirlendi.

### FT-IR Analizi

BR1'in FTIR spektrumu şekil 6'da verilmiştir. FTIR spektrumunda 1000 cm<sup>-1</sup> civarında gözlenen kuvvetli pik silikanın karakteristik pikidir. Pikin yayvan olması skorya numunesinde yüksek oranda silika olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu bölgede Si-O-M diye adlandırılan, metal oksite ait pikler gözlenebilir. Bunlarda pik genişlemesine neden olmaktadır.



Şekil.6. BR1'in FTIR spektrumu.

1002 cm<sup>-1</sup> frekansında görülen geniş pik, Si-O-Si bağından kaynaklanmaktadır. Bandın geniş olmasının nedeni, başta bağı olmak üzere metallerin Si-O-M bağlarının bu bölgede pik vermesidir. Ayrıca 500 cm<sup>-1</sup> civarında görülen pikler Si-O-Al esneme pikleri, 1600 cm<sup>-1</sup> civarındaki pikler H-O-H eğilme frekansına tekabül eder.

### Deneyel Çalışmalar

Başlangıç konsantrasyonu 250 mg L<sup>-1</sup> ve tanecik büyüklüğü +80,-100 mesh olarak belirlendi. Dakikada 140 vuruş hızıyla ısıtılmalı su banyosunda 298, 313 ve 328 K olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta kinetik çalışma yapıldı. Denge için temas süresinin 5 saat olduğu, maksimum adsorpsiyon kapasitesine 298 K sıcaklığında 45dk'da, 313 K ve 328 K sıcaklıklarında ise 10'ar dakikada ulaşıldı. Her 3 sıcaklık için adsorplanan maksimum miktar (q<sub>m</sub>) sırasıyla; 1,97, 2,15 ve 2,58 mgg<sup>-1</sup> olarak bulundu. Başlangıç konsantrasyonu (C<sub>i</sub>); 250 ppm, adsorban miktarı ise 1g olarak belirlendi.

Kinetik çalışmada kullanılan bakır (II) stok çözeltisi için, Sigma marka Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> kullanıldı. 50 mL'lik erlenmayer kaplara 25'er mL 250 mg.L<sup>-1</sup> Cu(II) çözeltisi konulup, ısıtıcılı su banyosunda,140 rpm hız ile sıcaklık dengesine gelmesi sağlandı.

Deney koşulları oluştuğunda, belirli zaman aralıklarında, önceden numaralandırılmış kaplara 1'er g BR1 eklendi. Süresini dolduran çözeltiler deneyin sonlandırılması için santrifüjlenerek, adsorplayıcının çözeltiden ayrılması sağlandı. Çözelti konsantrasyonları (C<sub>f</sub>), AAS(UNICAM 920) cihazında ölçüldü. Gram adsorplayıcı başına adsorplanan madde

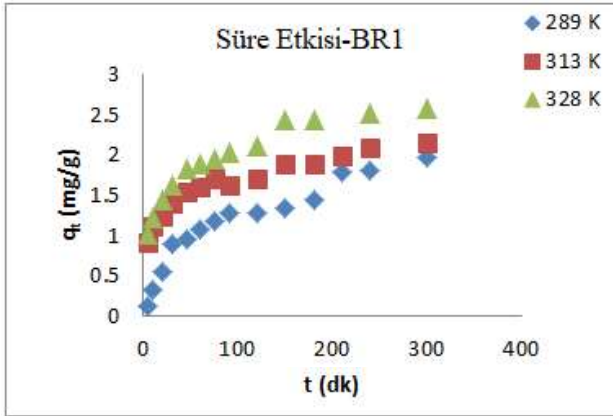
miktarları aşağıda verilen bağıntı ile hesaplandı: Elde edilen veriler 4 kinetik modele uygulandı.

$$q_t = \frac{(C_i - C_t)V}{m1000} \quad (2.1)$$

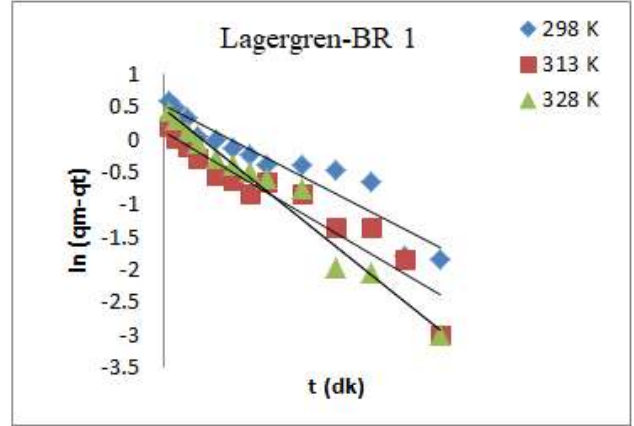
### BR 1' in kinetik çalışmaları

Kinetik çalışmalarda temas süresi ile adsorplanan madde miktarı incelenir. Bu amaçla 0-300 dk arasındaki sürelerde ve farklı sıcaklıklardaki adsorplanan madde miktarlar ölçülmüş ve veriler şekillerde verilmiştir. Şekil incelendiğinde süre attıkça adsorplanan madde miktarının attığı ve aynı zamanda sıcaklığın artması ile de adsorplanan madde miktarının arttığı gözlenmektedir.

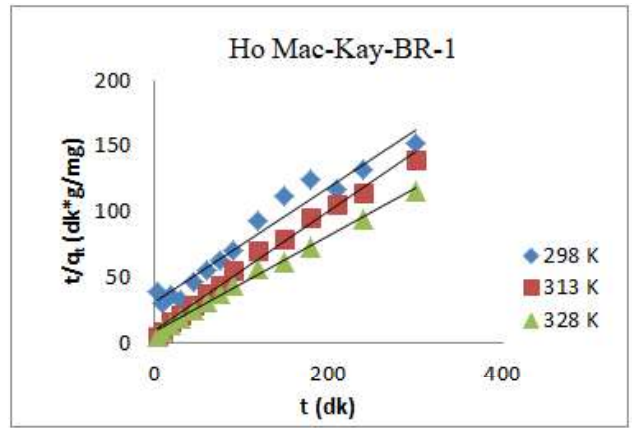
**Deneyler sonucu elde edilen veriler Pseudo-first order (Lagergen Denklemi):** Pseudo-second order (Ho-McKay), Elovich ve Weber-Morris çizgisel kinetik modellerine uygulanmış ve Şekil.7, 8, 9, 10 ve 11 de sırasıyla verilmiştir. Bu çizgisel modellerden elde edilen veriler çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge 4'teki R<sup>2</sup> değerlerine bakıldığında adsorpsiyon kinetiğinin daha çok Pseudo Second- order (Ho-McKay) modeline uymakla beraber Elovich hız denkleminde de uyduğu görülmektedir. Son olarak Şekil.12 de farklı sıcaklıklara ait verim grafiği verilmiştir.



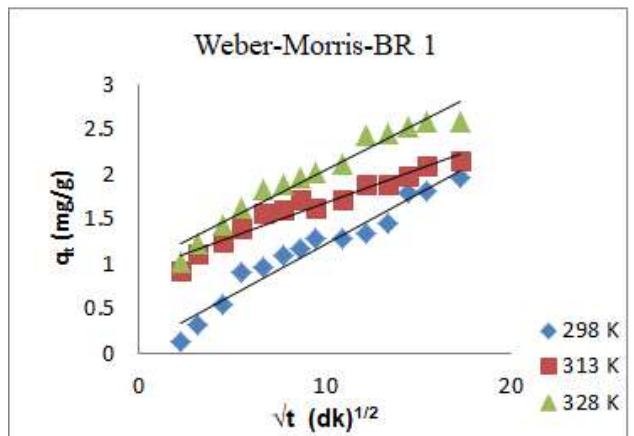
Şekil.7. Cu(II) nin farklı sıcaklıklardaki BR1 üzerindeki adsorpsiyon temas süresinin etkisi



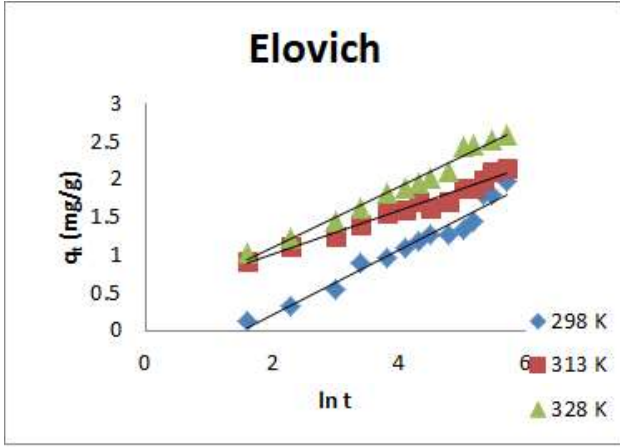
Şekil.8. Cu(II) nin farklı sıcaklıklardaki BR1 adsorpsiyonuna ait çizgisel Lagergren grafiği



Şekil.9. Cu(II) nin farklı sıcaklıklarda BR1 üzerindeki çizgisel Ho-Mc Kay grafiği

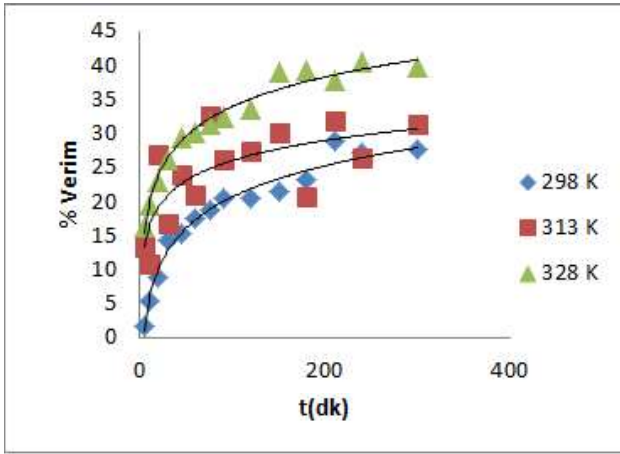


Şekil.10. Cu(II) nin farklı sıcaklıklarda ait BR1 üzerindeki çizgisel Weber-Morris grafiği



Şekil.11. Cu(II) nin farklı sıcaklıklara ait BR1 üzerindeki çizgisel Elovich grafiği

Weber-Morris Intra partikül difüzyon modeli				
T (K)	ki (mg/g * dk <sup>1/2</sup> )	C (mg/g)	Denklem	R <sup>2</sup>
298	0,1118	0,0948	y = 0,1118x + 0,0948	0,9463
313	0,0748	0,9332	y = 0,0748x + 0,9332	0,9479
328	90,1053	0,9495	y = 0,1053x + 0,9874	0,9495
Elovic Modeli				
T (K)	α	β	Denklem	R <sup>2</sup>
298	1.9952	2.3116	y = 0,4326x - 0,6613	0,9618
313	1.2300	3.4329	y = 0,2913x + 0,4196	0,9755
323	0.8240	2.4889	y = 0,4018x + 0,2886	0,9809



Şekil.12. Cu(II) nin farklı sıcaklıklara ait BR1 üzerindeki adsorpsiyonuna ait % verim grafiği

Çizelge 4. Kinetik hız modellerine ait parametreler

Lagergren pseudo first-order modeli				
T (K)	k <sub>1</sub> (dk <sup>-1</sup> )	q <sub>m</sub> (mg/g)	Denklem	R <sup>2</sup>
298	0,0091	1,70	y = -0,0091x + 0,5334	0,9032
313	0,0105	2,48	y = -0,0105x + 0,1418	0,9085
328	0,0141	1,62	y = -0,0141x + 0,4867	0,9671
Ho Mc Kay pseudo second-order modeli				
T (K)	K <sub>2</sub> (g.mg <sup>-1</sup> * dk <sup>-1</sup> )	q <sub>m</sub> (mg/g)	Denklem	R <sup>2</sup>
298	0,0063	2,27	y = 0,4397x + 30,758	0,9608
313	0,0241	2,19	y = 0,4561x + 8,6458	0,9912
328	0,0180	2,71	y = 0,369x + 7,5649	0,9936

## Tartışma ve Sonuç

Yapılan analiz BR1'in bir volkan konisini oluşturan malzemeleri bünyesinde barındırdığını göstermiştir. Gerek veziküler dış görünüşü gerek SEM görüntüleri ve gerekse de XRD, XRF, FT-IR, EDX sonuçları, özellikle SiO<sub>2</sub> oranı, BR1'in tipik bir skorya olduğunu göstermektedir.

BR1'in piroksen, plajiolaz, alkali feldispat, olivin ve amorf malzeme içerdiği görülmüştür. Malzemenin cüruf dokusunda bulunan değişik boyut (küçük, orta ve iri) ve şekillerdeki (küresel, oval ve düzensiz şekillerde, yer yer birbirleriyle bağlantılı) tahmini kayacın %50'sini oluşturan boşluklar, BR1'in yüzey alanının geniş olduğunu, bu haliyle temas yüzeyi büyük olacağından, ucuz maliyetli bir adsorplayıcı olarak kullanılabileceğini düşündürmüştür. Adsorpsiyon dengesine 5 saatte (300 dk) ulaşılmıştır. Maksimum adsorpsiyon kapasitesinin yarısına, 298 K sıcaklığında 45dk'da, 313 K ve 328 K sıcaklıklarında 10 dakikada ulaşılmıştır.

Yapılan bu deneysel çalışma da Cu(II) ile BR1 in adsorpsiyonu üzerine sıcaklık ve süre gibi parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Adsorpsiyon için gereken optimum şartlar belirlenmeye çalışılmıştır. Kullanılan adsorbanın XRF, XRD, SEM, FT-IR ve BET görüntüleri çekilmiş, EDS grafikleri elde edilerek kinetik çalışmaları yapılmıştır.

BR1 üzerindeki sorpsiyon kinetiğinin Lagergren, Ho Mc Kay, Weber-Morris ve Elovich modellerine göre  $T = 293$  K İÇİN yapılan deney sonuçları neticesine göre çizilen; Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'nin  $R^2$  değerleri sırasıyla (0.9032, 0.9608, 0.9463 ve 0.9618) olarak hesaplandı.

$T = 303$  K için, Şekil.6, Şekil.7, Şekil.8 ve Şekil.9'un  $R^2$  değerleri sırasıyla (0.6124, 0.9085, 0.9912, 0.9479 ve 0,9755) olarak elde edilmiştir.

$T = 318$  K için, Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.113'ün  $R^2$  değerleri sırasıyla (0.9671, 0.9936, 0.9495 ve 0.9809) olarak hesaplanmıştır.

Artan sıcaklığa paralel olarak  $q_t$ 'nin artması; adsorpsiyonun ısı alan (endotermik) olay olduğunu, artan sıcaklıkla hem adsorpsiyon hızının, hem de maksimum adsorplama kapasitesinin ( $q_m$ ) arttığını göstermiştir. Kinetik verilerden elde edilen grafiklerin regresyon analizi, 'korelasyon katsayısı' olarak bilinen  $R^2$  değerleri göz önüne alınarak yapılmıştır.

Buna göre Cu(II) nin adsorpsiyon kinetik mekanizması, en çok Ho ve McKay modeli olarak bilinen Yalancı İkinci Dereceden kinetik uymakla beraber, Elovich kinetik modeline de uyduğu değerlendirilmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Akar H., Özmerih A., (1974). Bakır İle İlgili Ürünlerin Kullanım Alanları, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, **13**, 2, 43-47.
- [2] Baran M., Düz Z., (2019). Removal of cadmium (II) in the aqueous solutions by biosorption of Bacillus licheniformis isolated from soil in the area of Tigris River, *International Journal of Analytical Chemistry*, **10**,:1-16.
- [3] Baytar O., Ceyhan A A., Şahin Ö., (2018). İğde Çekirdeğinden Elde Edilen Aktif Karbon Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Pb(II) Adsorpsiyonunun İncelenmesi: İzoterm ve Kinetik. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, **7**, (2), 256-267.
- [4] Binici H., Bahşude E., Durgun M., (2010). Yüksek Fırın Cürufu ve Bazaltik Pomza Katkılı Betonların Mekanik Aşınması ve Su Geçirirliği. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergi*, **6**, 1, 1-10.
- [5] Day R S., (1990). Pozzolans For Use in Low-Cost Housing . A state Of The Art Report Preparedfor the *International developmend research Centre Ottawa, Canada*.
- [6] Erdoğan Y., (2007). Asidik ve Bazik Pomzadan Üretilen Yapı Malzemelerinin Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması (doktora tezi, basılmamış), *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- [7] Gill, R.(2010). *Igneous Rocks and Processes: A Practical Guide*. Wiley Publication.
- [8] Ho Y S., Mckay G., (1998a). A Comparison Of Chemisorption Kinetic Models Applied To Pollutant Removal On Various Sorbents, *Process Safety and Environmental Protection*, **76**,B, 332-340.
- [9] Ho Y S., Mckay G., (1998b). Kinetic Models For The Sorption Of Dye From Aqueous Solution By Wood To Pollutant Removal On Various Sorbents, *Process Safety and Environmental Protection*, **76**, B, 183-191.
- [10] Kılıç A et al., (2009). The Effects Of Scoria and Pumice Aggregates On The Strengths and Unit Weights Of Lightweight Concrete Scientific Research and Essay, *Academic Journals*, **4**,(10): 961-965.
- [11] Lagergren S., (1898). Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe, *Kungliga Svenska Vetenskapsakademien, Handlingar*. **24**, 4, 1-39.
- [12] McKay G., Otterburn M S., Aga J A., (1987). Intraparticle diffusion process occurring during adsorption of dyestuffs. *Water Air Soil Pollut* **36**, 381-390.
- [13] Mibei G., (2014). Introduction To Types And Classification Of Rocks. *Presented at Short Course IX on Exploration for Geothermal Resources*, **2**, 24, Kenya.
- [14] Onursal N., (2019). Bazı Ağır Metal İyonlarının Doğal ve Modifiye Edilmiş Kil Mineralleri (Siirt/Kurtalan) Üzerindeki Adsorpsiyonunun İzoterm, Kinetik ve Termodinamik Analizi, *Ulusal Tez Merkezi*.
- [15] Onursal N., Dal M., Kul A., Yavuz Ö., (2019). Cu (II) İyonlarının Doğal Karışık Tipteki Kil İle Sulu ortamdan Uzaklaştırılması, İzoterm, Kinetik ve Termodinamik Parametrelerin İncelenmesi, *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, **7**, 9, 58-103.
- [16] Onursal N., Kul A., Baran M., (2019). Cu(II) İyonlarının Aktive Edilmiş Karışık Tipteki Kil İle Sudan Uzaklaştırılması, İzoterm, Kinetik ve Termodinamik Parametrelerin İncelenmesi, *Eurasia Journal Of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, **7**, 63-85.

- [17] Tapan M., (2012). Van Gölü Kuzeyindeki Asidik Pomza ve Skoryanın Betonda Katkı Olarak Kullanılabilirliği, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **17**, 2, 108-117.
- [18] Yanık S., (2007). Bazik Pomzaların Beton Agregası olarak Kullanılabilirliği, *Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.*
- [19] Yavuz Ö, Altunkaynak Y, Güzel F, 2002. Removal of copper, nickel, cobalt and manganese from aqueous solution by kaolinite. *Water Research*, **37**, 4, 948-952.





Araştırma Makalesi / Research Article

Gümüş nano materyallerin sentezi, karakterizasyonu ve antimikrobiyal aktiviteleri

*Synthesis, characterization and antimicrobial activities of silver nanomaterials*

**Necmettin AKTEPE**

Mardin Artuklu Üniversitesi, Hemşirelik Bölümü necmettinaktepe@hotmail.com

MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*

Geliş: 2 Mart 2021  
Düzeltilme: 12 Mart 2021  
Kabul: 12 Mart 2021

*Anahtar kelimeler:*

Zeta potansiyel, AgNP'ler,  
biyosentez, SEM, MİK

ÖZET

Gümüş nano materyallerin kullanım alanları oldukça yaygındır. Farklı sentezleme yöntemleri ile elde edilebilirler. Bu çalışmada, gümüş nano materyaller (AgNP'ler) biyosentez yöntemi kullanılarak ekonomik ve basit bir şekilde elde edildi. Sentez sonucunda elde edilen AgNP'ler UV-visiblespektrofotometre (UV-Vis.), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), X- Işınımı Kırınımı Difraktometresi (XRD), Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), Zeta potansiyeli cihazları kullanılarak karakterize edildi. AgNP'lerin 426.66 nm dalga boyunda maksimum absorbanza sahip oldukları, küresel morfolojik yapı sergiledikleri, 17.68 nm kristal nano boyut ve yüzey yüklerinin -20.9 mV zeta potansiyeli dağılımı gösterdiği değerlendirildi. Patojen mikroorganizmalar üzerinde Minimum İnhibisyon Konsantrasyonları (MİK) 0.03-0.5 mg/L olarak mikrodilüsyon yöntemi kullanılarak tespit edildi.

Doi: 10.24012/dumf.889403

ARTICLE INFO

*Article history:*

Received: 2 March 2021  
Revised: 12 March 2021  
Accepted: 12 March 2021

*Keywords:*

Bridge pier, local scour, clear  
water scour, steady flow

ABSTRACT

The usage areas of silver nanomaterials are quite common. They can be obtained by different synthesis methods. In this study, silver nanomaterials (AgNPs) were obtained economically and simply using the biosynthesis method. AgNPs obtained as a result of the synthesis were characterized by using UV-visiblespectrophotometer (UV-Vis.), Scanning Electron Microscope (SEM), X-Ray Diffraction Diffractometer (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), Zeta potential devices. It was evaluated that AgNPs had maximum absorbance at 426.66 nm wavelength, exhibited spherical morphological structure, 17.68 nm crystal nano size and surface charges showed -20.9 mV zeta potential distribution. Minimum Inhibition Concentrations (MIC) 0.03-0.5 mg / L were determined on pathogenic microorganisms using microdilution method.

\* Sorumlu yazar / Correspondence  
Necmettin AKTEPE  
✉ necmettinaktepe@hotmail.com

## Giriş

Nanobiyoteknoloji çevre dostu anlayışa sahip tıp, biomedikal, fizik, biyoloji, kimya, malzeme mühendisliği gibi disiplinler arası çalışmalara olanak tanıyan hızlı gelişen önemli bir alandır. Farklı morfolojilere, kompozisyonlara ve yapılara sahip metal nano materyallerin elde edilmesi bottom-up (aşağıdan yukarı) ya da top down (yukarıdan aşağı) yaklaşımların kullanımları ile gerçekleştirilir [1], [2], [3]. Nanopartiküllerin geniş yüzey alanına sahip olmaları, yüksek ısı işlemlere dayanıklı olmaları kullanımlarına olan talebi artırmaktadır [4]. Metalik nano materyaller arasında gümüş (Ag) [5], altın (Au) [6], bakır (Cu) [7], çinko (Zn) [8] bunlardan bazılarıdır. Nano materyaller fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılarak sentezlenebilirler. Biyosentezle nano materyallerin elde edilmesi uygulama sürecinde toksik kimyasalların olmayışı, yüksek enerji ihtiyacının olmayışı ile maliyetin düşük olması, basit bir işlem olması, medikal uygulamalar için biyoyumlu yapı sergilemeleri biyosentez yöntemlerini diğer yöntemler karşısında daha çekici hale getirmektedir [4], [9].

AgNP'lerin biyosentezle elde edilmesinde bitkiler [10], mantarlar [11], algler [12], bakteriler [13] gibi biyolojik kaynaklar kullanılabilir. Bitkilerin yaprakları [14], meyveleri [15], kökleri [16], çiçekleri [17] veya bitkinin tamamı [18] kullanılarak elde edilen AgNP'lerin daha fazla miktarlarda elde edilmesi, kararlı olmaları [19], sentezin basit ve maliyetin düşük olması [15] bitki kaynakları kullanılarak yapılan sentez çalışmalarına olan ilgiyi artırmaktadır. Fitokimyasalların yapısını oluşturan alkolloidler, terpenoidler, flavonoidler, enzimler, aminoasitler, fenolikler vs. biyoaktif bileşenler sulu yapıda  $Ag^+$  iyonlarını indirgeyerek  $Ag^0$  oluşturarak AgNP'leri meydana getirirler [20], [21].

Bu araştırma çalışmasında, Mardin bölgesinde yetişen çörekotu (*Nigella sativa L.*) bitkisinin yeşil kısımları ile elde edilen özütle AgNP'lerin basit, kolay bir işlemle biyosentezini gerçekleştirmek, karakterizasyonunu yapmak ve antimikrobiyal aktivitesini incelemek amaçlandı.

## Materyal ve metot

## Bitki özütü ve çözelti hazırlama

Toplanan çörek otu birkaç kez çeşme suyu ve distile su ile yıkamanın ardından kurutuldu. Kuruyan bitkiden 100 gr alınıp 500 mL distile su ile kaynatılıp süzme yapıldıktan sonra elde edilen özüt biyosentez için hazır hale getirildi.

Sigma aldrich markalı  $AgNO_3$  (gümüş nitrat) tuzundan 10 (milimolar) mM konsantrasyonunda çözelti hazırlandı.

Mikrodilasyon yöntemi için ticari olarak satın alınan vankomisin, flukonazol ve kolistin antibiyotikleri kullanıldı.

## Biyosentez ve Karakterizasyon

Hazırlanan bitki özütü ve 10 mM  $AgNO_3$  çözeltisi 1:2 oranında karıştırılıp laboratuvar koşullarında basit bir elle çalıklamanın akabinde düz bir zemine biyosentez için bırakıldı.

UV-visible spektrofotometre (UV-Vis.) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) Perkin E.O. markalı cihazları kullanılarak AgNP'lerin varlığı, indirgemenen sorumlu fitokimyasallara ait fonksiyonel gruplar incelendi. Rigaku Miniflex 600 model X-ışını Difraktometresi (XRD) ile AgNP'lerin kristal yapı ve boyutları değerlendirildi. AgNP'lerin morfolojik görünümünün belirlenmesinde EVO 40 LEQ Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanıldı. RadB-DMAX II bilgisayar kontrollü Enerji Dağılımlı X-ışını Kırınımı (EDX) dataları ile elde edilen partiküllere ait element kompozisyonları, Malvern marka Zeta potansiyeli cihaz verileri ile de yüzey yük dağılımları belirlendi.

## Mikrodilasyon ile antimikrobiyal aktivitenin incelenmesi

Biyosentez ile elde edilen AgNP'lerin antimikrobiyal aktiviteleri gram pozitif, negatif bakteriler ve maya patojen suşları üzerinde Mikrodilasyon ile Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu (MİK) tespit edildi.

Gram pozitif *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) ATCC 29213, *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) ATCC 11774 suşları, gram negatif, *Escherichia coli* (*E. coli*) ATCC25922, *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) ATCC 27833 suşları ve maya

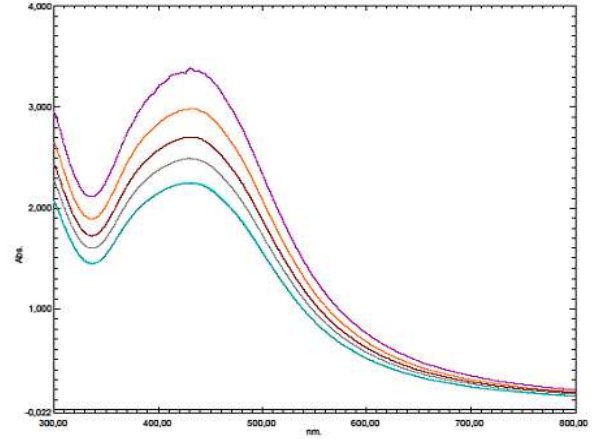
*Candida albicans* (*C. albicans*) üzerinde AgNP'lerin antimikrobiyal aktiviteleri incelendi.

Her patojen suş için McFarland 0.5 [22] bulanıklık standard ile mikroorganizma çözeltileri hazırlandı. 96'lık plakalara gram pozitif ve negatif bakteriler için Muller Hinton sıvı besiyeri eklendi. *C. albicans* mikroorganizması için RPMI 1640 sıvı besiyeri kullanıldı. Her mikroorganizma için mikrodilasyonun başlayacağı birinci kuyucuğa  $20 \mu\text{g/mL}^{-1}$  olarak hazırlanan AgNP'lere ait çözeltisi eklendi. Birinci kuyucuktan başlayıp kuyucuklara mikro dilasyon uygulandı. üzerlerine Mc Farland 0.5 stanadart bulanıklığa göre hazırlanan mikroorganizma karışımlarından eklendi. AgNP'lerin etkilerini karşılaştırmak için gram pozitifler için vankomisin, gram negatifler için kolistin ve maya için flukanazol antibiyotikleri için de aynı uygulama adımları yürütüldü. Sentez için kullanılan  $\text{AgNO}_3$  çözeltisi içinde mikrodilasyon yapıldı. Uygulama yapılan mikro plakalar  $37^\circ\text{C}$  etüvde 24 saat süre ile inkübasyona alındı. Süre sonunda üreme kontrolü yapıldı. MİK için üremenin başladığı kuyucuğun bir öncesine ait konsantrasyon belirlendi.

## Bulgular ve tartışma

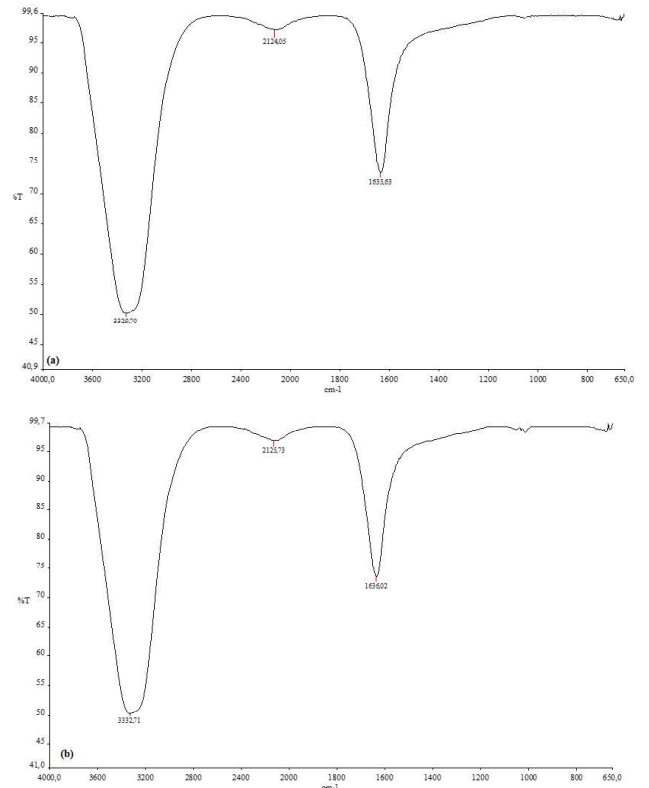
### AgNP'lerin karakterizasyonu

Çörek otu özütü ile  $\text{AgNO}_3$  çözeltisinin bir araya gelmesinin ardından renk değişimi gözlemlendi. 30 dakika sonra meydana gelen sarıdan koyu kahve renk değişimi ile alınan numunelerin UV-vis. Spektrofotometrede 200-800 nm [23] dalga boyu taramaları yapıldı. Yapılan okumalarda 426.50 nm dalga boyuna sahip maksimum absorbanlar bulundu (şekil 1). Sulu ortamdaki  $\text{Ag}^+$  iyonunun bioredüksiyonu ile plazma yüzeyinde meydana gelen titreşimlerin (SPR) meydana gelmesiyle sarıdan kahverengi renk değişimi AgNP'lerin oluşumunu göstermektedir [24]. UV-vis. spektrofotometrede ki renk değişimi ile yapılan okumalarda 426.50 nm dalga boyunda maksimum absorban değerleride AgNP'lerin varlığını gösteren karakteristik bulgudur [23], [25].



**Şekil 1.** UV-vis. Spektrofotometre spektrumları ile AgNP'lerin varlığı

AgNP'lerin biyosentezinde indirigmeden sorumlu grupların  $3332.71\text{-}3329.70 \text{ cm}^{-1}$ ,  $2125.73\text{-}2124.05 \text{ cm}^{-1}$  ve  $1636.02\text{-}1635.63 \text{ cm}^{-1}$  spektrumlarında oluşan frekans kaymaları ile hidroksil grupların [17], metilen grupların [26] ve amino grupların [15] indirigmeden sorumlu olabileceğini göstermektedir (şekil 3).



**Şekil 2.** FT-IR spektrumları (a) AgNP'lerin biyosentezi sonrası, (b) *Nigella sativa* L. özütü

XRD ile  $2\theta$  da okunan datalarda (111), (200), (220) ve (311) de bulunan pikler AgNP'lerin kristal yapısına uyumludur [27]. Pikler gümüş nano kristallerin kubik yapıda olduklarını göstermektedir [28]. Datalarda bu piklerin 38.11, 44.15, 64.52 ve 77.04 değerleri okundu.  $2\theta$  da ki değerler kullanılarak kristal nano boyut değerlendirildi (şekil 4). Debye-Scherrer formülü kullanılarak kristal nano boyut hesaplandı [29],[30].

$$D = K\lambda / (\beta \cos\theta) \quad (1)$$

Formül (1) de ;

D= partikül boyutu,

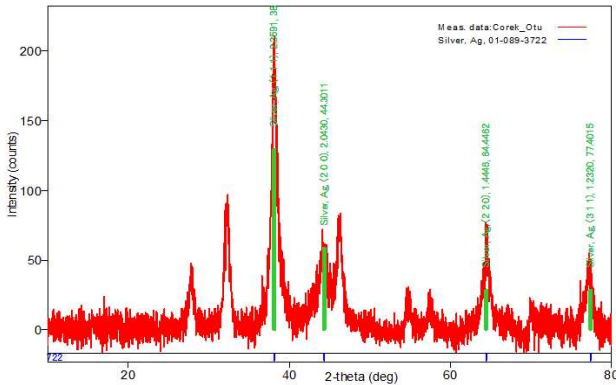
K=sabit değeri (0.90),

$\lambda$  =X-ray dalga boyu değeri (1.5418 Å),

$\beta$ = En yüksek pikin FWHM değerinin yarısı,

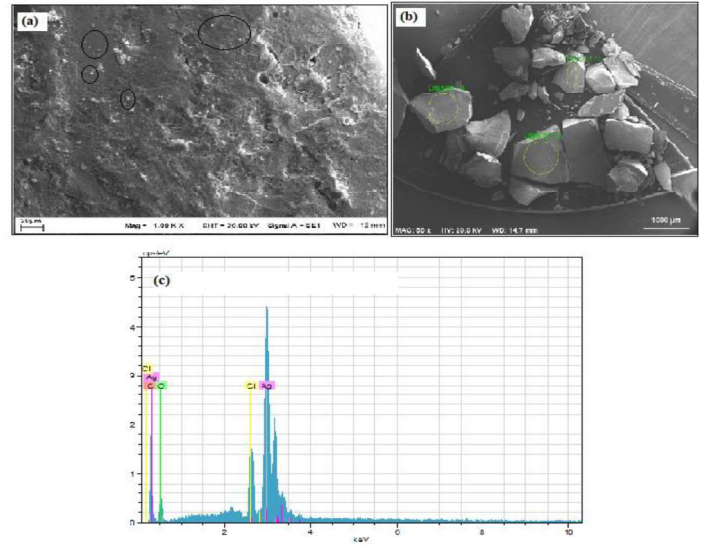
$\theta$ = yüksek pikin Bragg açısını ifade eder.

Bu hesaplama göre AgNP'ler 17.68 nm kristal nano boyutta oldukları hesaplandı. Bu eşitlik kullanılarak AgNP'lerin kristal boyutunun hesaplandığı bazı çalışmalarda 21 nm [15] ve 18.17 nm [31] oldukları hesaplanmıştır.



**Şekil 4.** AgNP'lerin kristal desenine ait XRD dataları

Elde edilen AgNP'lerin SEM görüntülerinde küresel morfolojik yapı gösterdikleri belirlendi [32], [33]. EDX datalarında element kompozisyonları gümüşe ait güçlü piklerin oluşu ile AgNP'lerin varlığını destekleyici nitelik taşımaktadır [34]. EDX verilerinde Carbon ve oksijenden gibi elementlerden gelen zayıf pikler ise özütten gelen fitokimyasallardan kaynaklanıyor olabilir [35].

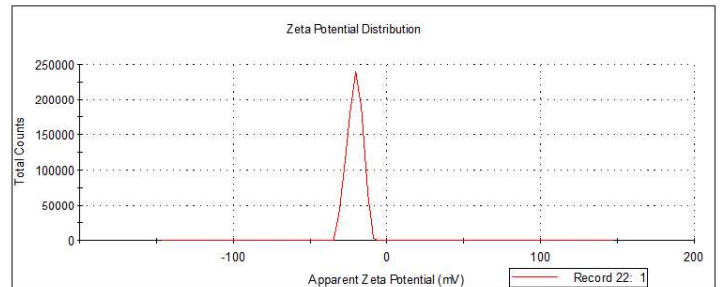


**Şekil 5.** AgNP'lerin (a) Morfolojik görümleri (b-c) Element kompozisyonlarını içeren SEM mikrografisi ve EDX profili

AgNP'lerin yüzey yüklerine ait dağılımlarını belirlemek üzere yapılan Zeta potansiyeli analizi sonucu – 20.9 mV olarak bulundu (Şekil 6).

AgNP'lerin bitkisel kaynaklı biyosentez çalışmalarında zeta potansiyel dağılımları -19.7 mV [27] ve -19 mV [36] olarak tespit edilmiştir.

Zeta potansiyelinin yani AgNP'lerin yüzey yüklerinin negatif karakter sergilemesi kümelenmenin olmadığını ve kararlı bir yapı sergilediklerini göstermektedir. Bu negatif yük AgNP'lerin yüzeyini kaplayan fitokimyasallardan kaynaklanıyor olabilir [37].



**Şekil 6.** AgNP'lerin yüzey yük dağılımı

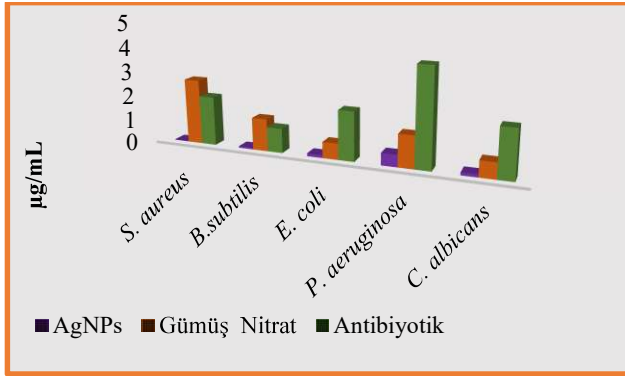
### AgNP'lerin anti-mikrobiyal etkilerinin incelenmesi

Tablo 1 ve şekil 2 de mikrodilüsyon yöntemi ile patojen suşlar üzerinde AgNP'ler ve diğer karşılaştırma yapılan materyallerin

antimikrobiyal aktiviteleri değerlendirildi. AgNP'lerin en düşük 0.03  $\mu\text{g}/\text{mL}$  ile *S. aureus* üzerinde gümüş nitrat ve antibiyotikten düşük konsantrasyonda etkili oldukları görüldü. En yüksek 0.50  $\mu\text{g}/\text{mL}$  ile *P. aeruginosa* üzerinde yine gümüş nitrat ve antibiyotiğe oranla daha düşük konsantrasyonla etkili olmuştur (şekil 3 ve tablo 1)

**Tablo 1.** AgNP'lerin, antibiyotiklerin ve gümüş nitrat çözeltisinin antimikrobiyal aktivitelerine ait MİK değerleri

Patojen Suş	AgNPs $\mu\text{g}/\text{mL}$	Gümüş Nitrat $\mu\text{g}/\text{mL}$	Antibiyotik $\mu\text{g}/\text{mL}$
<i>S. aureus</i> ATCC 29213	0.03	2.65	2.00
<i>B.subtilis</i> ATCC 11773	0.06	1.32	1.00
<i>E. coli</i> ATCC 25922	0.12	0.66	2.00
<i>P. aeruginosa</i> ATCC27833	0.50	1.32	4.00
<i>C. albicans</i>	0.12	0.66	2.00



**Şekil 7.** AgNP'lerin, antibiyotik ve gümüş nitratın patojen suşlar üzerinde MİK değerleri

Gümüş iyonları sıvı bir yapıda iyonize olup yüksek reaktif özellik gösterir. Sıvı bir ortamda iyonize olan gümüş elektro statik çekim kuvvetiyle mikroorganizmalar ile etkileşime geçerler [38],[39]. Etkileşim sonucunda Reaktif oksijen türlerini (ROS) artırır. Artan ROS miktarı hücrede membran gibi yapılara zarar verir [40]. Bununla birlikte hücrede önemli faaliyetlerin DNA, RNA ve bazı önemli enzimlerin işlevlerini bozarlar [42].

Benzer çalışmalarda biyosentez ile elde edilen AgNP'lerin patojen suşlara olan antimikrobiyal etkileri için yapılan bir çalışmada *B. subtilis*, *S. aureus*, *E. coli*, *P. aeruginosa* ve *C. albicans* mikroorganizmaları için sırası ile 50, 50, 25, 50

ve 25  $\mu\text{g}/\text{mL}$  konsantrasyonların etkili olduğu raporlanmıştır [30]. Başka bir çalışmada ise *S. aureus*, *E. coli* için 0.82 ve 0.67  $\mu\text{g}/\text{mL}$  konsantrasyonların antimikrobiyal aktivitede etkili MİK olduğu belirtilmiştir [41].

## Sonuçlar

AgNP'lerin biyosentezinde *Nigella sativa* L. bitkisinden elde edilen özüt kullanılarak AgNP'ler basit, çevre dostu, düşük maliyetle sentezlendi. Sentez sonrası partiküller UV-vis. spektrofotometre, SEM, FTIR, EDX, XRD, ve Zeta potansiyeli analizlerinden yararlanarak karakterizasyonu yapıldı. Verilere göre AgNP'lerin küresel morfoloji sergiledikleri, 426.50 nm dalga boyunda maksimum absorbans sahip oldukları, kristal yapılarının kübik olduğu 23.66 nm kristal nano boyut ve son olarak da -20.9 mV zeta potansiyeline sahip oldukları tespit edildi. AgNP'lerin patojen suşlar üzerinde antimikrobiyal aktivitelerinde antibiyotiklerden daha düşük konsantrasyonda etkili oldukları belirlendi.

AgNP'lerin oluşumuna etki eden faktörler üzerinde farklı uygulamalar yapılarak birçok alanda kullanımları sağlanabilir.

## Kaynaklar

1. Solanki, J.N. and Murthy, Z.V.P., (2011). Controlled size silver nanoparticles synthesis with water-in-oil microemulsion method: A topical review. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, **50**, 12311–23.
2. Kumar, R., Ghoshal, G., Jain, A. and Goyal, M., (2017). Rapid Green Synthesis of Silver Nanoparticles (AgNPs) Using (*Prunus persica*) Plants extract: Exploring its Antimicrobial and Catalytic Activities. *Journal of Nanomedicine & Nanotechnology*, **8**, 1–8.
3. Eren, A., Baran, M.F., (2019) . Fıstık ( *Pistacia vera* L . ) Yaprağından Gümüş Nanopartikül ( AgNP )' lerin Sentezi , Karakterizasyonu ve Antimikrobiyal



- Aktivitesinin İncelenmesi Synthesis , Characterization and Investigation of Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles ( AgNP ). *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi* **6**, 165–73.
4. Baran, M.F., (2018). Green Synthesis of Silver Nanoparticles (AGNPs) Using Pistacia Terebinthus Leaf Extract: Antimicrobial Effect And Characterization. *International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, **5**, 67–75.
  5. Baran, M., (2019). Prunus avium kiraz yaprağı özütü ile gümüş nanopartikül ( AgNP ) sentezi ve antimikrobiyal etkisinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, **10**, 221–7.
  6. Baran, MF., Keskin, C., Atalar, MN., Baran, A., (2021). Environmentally Friendly Rapid Synthesis of Gold Nanoparticles from Artemisia absinthium Plant Extract and Application of Antimicrobial Activities. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **11**, 365–75.
  7. El-Batal, A.I., Al-Hazmi, N.E., Mosallam, F.M. and El-Sayyad, G.S., (2018). Biogenic synthesis of copper nanoparticles by natural polysaccharides and Pleurotus ostreatus fermented fenugreek using gamma rays with antioxidant and antimicrobial potential towards some wound pathogens. *Microbial Pathogenesis*, Elsevier Ltd. **118**, 159–69.
  8. Doğaroğlu, Z.G., Eren, A. and Baran, M.F., (2019). Effects of ZnO Nanoparticles and Ethylenediamine- N , N ' - Disuccinic Acid on Seed Germination of Four Different Plants. **1800111**, 1–5.
  9. Eren, A., Baran, M.F., (2019). Green Synthesis , Characterization And Antimicrobial Activity Of Silver Nanoparticles ( Agnps ) From Maize ( Zea mays L ). *Applied Ecology and Environmental Research*, **17**, 4097–105.
  10. Baran, M.F., Saydut, A., Umaz, A., (2019). Gümüş nanomalzeme sentezi ve antimikrobiyal uygulamaları. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, **10**, 689–95.
  11. Li, G., He, D., Qian, Y., Guan, B., Gao, S. and Cui, Y., (2012). Fungus-Mediated Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Aspergillus terreus. *International Journal of Molecular Sciences*, **13**, 466–76.
  12. Mousavi, S.A., Almasi, A., Navazeshkh, F. and Falahi, F., (2019). Biosorption of lead from aqueous solutions by algae biomass: Optimization and modeling. *Desalination and Water Treatment*, **148**, 229–37.
  13. Gopalu, K., Matheswaran J., Alexander, G., Juan, Antonio LT., Evgeny, K., D.K., (2016). Rapid Biosynthesis of AgNPs Using Soil Bacterium Azotobacter vinelandii With Promising Antioxidant and Antibacterial Activities for Biomedical Applications. *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*, **69**, 1206–12.
  14. Baran, M.F., Koç, A. and Uzan, S., (2018). Kenger (Gundelia tournefortii) Yaprağı İle Gümüş Nanopartikül(Agnp) Sentezi, Karakterizasyonu ve Antimikrobiyal Uygulamaları. *International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, **5**, 44–52.
  15. Khan, A.U., Yuan, Q., Khan, Z.U.H., Ahmad, A., Khan, F.U., Tahir, K, Ullah, S., (2018). An eco-benign synthesis of AgNPs using aqueous extract of Longan fruit peel: Antiproliferative response against human breast cancer cell line MCF-7, antioxidant and photocatalytic deprivation of methylene blue. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, **183**, 367–73.
  16. Velmurugan, P., Anbalagan, K., Manosathyadevan, M., Lee, K.J., Cho, M., Lee, S.M. Park, J. H., Oh, S. G., Bang, K. S., Oh, B. T., (2014). Green synthesis of silver and gold nanoparticles using Zingiber officinale root extract and



- antibacterial activity of silver nanoparticles against food pathogens. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, **37**, 1935–43.
17. Remya, R.R., Rajasree, S.R.R., Aranganathan, L. and Suman, T.Y., (2015). An investigation on cytotoxic effect of bioactive AgNPs synthesized using Cassia fistula flower extract on breast cancer cell MCF-7. *Biotechnology Reports*, Elsevier B.V. **8**, 110–5.
  18. Ali, M., Kim, B., Belfield, K.D., Norman, D., Brennan, M. and Ali, G.S., (2016). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using Artemisia absinthium aqueous extract - A comprehensive study. *Materials Science and Engineering C*, **58**, 359–65.
  19. Umaz, A., Koç, A., Baran, M.F. Keskin, C., Atalar, M.N., (2019). Hypericum Triquetrifolium Turra Bitkisinden Gümüş Nanopartiküllerin Sentezi, Karakterizasyonu ve Antimikrobiyal Etkinliğinin İncelenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **9**, 1467–75.
  20. Rajeshkumar, S. and Bharath, L. V., (2017). Mechanism of plant-mediated synthesis of silver nanoparticles – A review on biomolecules involved, characterisation and antibacterial activity. *Chemico-Biological Interactions*, Elsevier Ireland Ltd. **273**, 219–27.
  21. Gupta, S.D., Agarwal, A. and Pradhan, S., (2018). Phytostimulatory effect of silver nanoparticles (AgNPs) on rice seedling growth: An insight from antioxidative enzyme activities and gene expression patterns. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Elsevier Inc. **161**, 624–33.
  22. Baran, M.F., (2019). Synthesis and Antimicrobial Applications of Silver Nanoparticles From artemisia absinthium plant. *Biological and Chemical Research*, **6**, 96–103.
  23. Hafez, R.A., Abdel-wahhab, M.A., Sehab, A.F. and El-din, A.A.K., (2017). Green synthesis of silver nanoparticles using Morus nigra leave extract and evaluation their antifungal potency on phytopathogenic fungi. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, **7**, 41–8.
  24. Kumar, V., Gundampati, R.K., Singh, D.K., Bano, D., Jagannadham, M. V. and Hasan, S.H., (2016). Photoinduced green synthesis of silver nanoparticles with highly effective antibacterial and hydrogen peroxide sensing properties. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, Elsevier B.V. **162**, 374–85.
  25. Pechyen, C., (2020). A flower shape-green synthesis and characterization of silver nanoparticles ( AgNPs ). *Integrative Medicine Research*, Korea Institute of Oriental Medicine. **9**, 11003–12.
  26. Baran., M.F., (2019). Synthesis , Characterization and Investigation Of Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles From Cydonia Oblonga Leaf. *Applied Ecology and Environmental Research*, **17**, 2583–92.
  27. Dubey, S.P., Dwivedi, A.D., Lahtinen, M., Lee, C., Kwon, Y.N. and Sillanpaa, M., (2013). Protocol for development of various plants leaves extract in single-pot synthesis of metal nanoparticles. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Elsevier B.V. **103**, 134–42.
  28. Sampaio, S. and Viana, J.C., (2018). Production of silver nanoparticles by green synthesis using artichoke (Cynara scolymus L.) aqueous extract and measurement of their electrical conductivity. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, IOP Publishing. **9**, 1–10.
  29. Rolim, W.R., Pelegriño, M.T., de Araújo Lima, B., Ferraz, L.S., Costa, F.N., Bernardes, J.S. Rodrigues, T. B., Marcelo S., Amedea B., (2019). Green tea extract mediated biogenic synthesis of silver nanoparticles: Characterization,

- cytotoxicity evaluation and antibacterial activity. *Applied Surface Science*, Elsevier. **463**, 66–74.
30. Baran, M. F., Saydut, A., (2019). Altın nanomalzeme sentezi ve karakterizasyonu. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, **10**, 1033–40.
  31. Baran, M.F., Koç, A., ve Uzan, S., (2018). Kenger (*Gundelia tournefortii*) Yapağı İle Gümüş Nanopartikül(Ag<sup>0</sup>) Sentezi, Karakterizasyonu ve Antimikrobiyal Uygulamaları. *International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, **5**, 44-52
  32. Kumar, B., Smita, K., Cumbal, L. and Debut, A., (2015). Green synthesis of silver nanoparticles using Andean blackberry fruit extract. *Saudi Journal of Biological Sciences*, King Saud University. **24**, 45–50.
  33. Ali, M.H., (2020). Eco-friendly synthesis of silver nanoparticles from crust of *Cucurbita Maxima L.* (red pumpkin). *EurAsian Journal of BioSciences Eurasia J Biosci*, **14**, 2829–33.
  34. Shaheen, T.I. and Abd El Aty, A.A., (2018). In-situ green myco-synthesis of silver nanoparticles onto cotton fabrics for broad spectrum antimicrobial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, Elsevier B.V. **118**, 2121–30.
  35. Arumai Selvan, D., Mahendiran, D., Senthil Kumar, R. and Kalilur Rahiman, A., (2018). Garlic, green tea and turmeric extracts-mediated green synthesis of silver nanoparticles: Phytochemical, antioxidant and in vitro cytotoxicity studies. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, **180**, 243–52.
  36. Oliveira, A.C. de J., Araújo, A.R. de, Quelemes, P.V., Nadvorný, D., Soares-Sobrinho, J.L., Leite, J.R.S. de A. da Silva-Filho, E., Silva, D. A., (2019). Solvent-free production of phthalated cashew gum for green synthesis of antimicrobial silver nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, Elsevier. **213**, 176–83.
  37. Patil, M.P., Singh, R.D., Koli, P.B., Patil, K.T., Jagdale, B.S., Tipare, A.R., (2018). Antibacterial potential of silver nanoparticles synthesized using *Madhuca longifolia* flower extract as a green resource. *Microbial Pathogenesis*, Elsevier Ltd. **121**, 184–9.
  38. Swamy, M.K., Akhtar, M.S., Mohanty, S.K. and Sinniah, U.R., (2015). Synthesis and characterization of silver nanoparticles using fruit extract of *Momordica cymbalaria* and assessment of their in vitro antimicrobial, antioxidant and cytotoxicity activities. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, **151**, 939–44.
  39. Durán, N., Durán, M., Jesus, M.B. De, Seabra, A.B., Fávoro, W.J. and Nakazato, G., (2015). Silver Nanoparticles: A New View on Mechanistic Aspects on Antimicrobial Activity. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, Elsevier B.V. **12**, 789–99.
  40. Singh, P., Garg, A., Pandit, S. and Mokkapati, V.R.S.S., (2018). Antimicrobial Effects of Biogenic Nanoparticles. *Nanomaterials*, **8**, 1–19.
  41. Gopinath, V., Priyadarshini, S., Loke, M.F., Arunkumar, J., Marsili, E., MubarakAli, D. et al., (2017). Biogenic synthesis, characterization of antibacterial silver nanoparticles and its cell cytotoxicity. *Arabian Journal of Chemistry*, King Saud University. **10**, 1107–17.



## Faz Değiştiren Malzemelerin Bina Kabuğunda Kullanımı

### Usage in Building Envelope of Phase Change Materials

Deniz Saylam Canım<sup>1</sup>, Sibel Maçka Kalfa\*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Trabzon, dsaylam@hotmail.com

<sup>2</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Trabzon, sibelmacka@ktu.edu.tr

#### MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*

Geliş: 11 Ağustos 2020  
Düzeltilme: 17 Eylül 2020  
Kabul: 17 Eylül 2020

*Anahtar kelimeler:*

Faz değiştiren malzeme, bina kabuğu, trombe duvar, parafin, yağ asidi

#### ÖZET

Günümüzde binalarda, bina kabuğunun ısı kütlesini artırarak enerji tasarrufu sağlayan ve enerjiyi ısı kütlede gizli ısı olarak depolayan faz değiştiren malzemelerin (FDM) kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Ancak bu malzemelerin özellikle bina kabuğunda kullanımı ile ilgili literatürde mevcut olan teorik, uygulama ve deneysel çalışma sayısı yeterli değildir ve bu konu ile ilgili bilgi eksikliği yapılan çalışmaların sonuçlarını etkilemektedir. Bu çalışma ile bina kabuğunda kullanılmaya yeni başlanmış olan faz değiştiren malzemelerin son yıllarda yapılmış olan tez, makale, kitap ve araştırma projeleri üzerinden farklı kategorilerde incelenmesi ve yapılan incelemeler sonucunda FDM ile ilgili literatür özetinin okuyucuya sunulması bu konudaki gündeme ışık tutulması hedeflenmektedir. Bu hedefler doğrultusunda son yıllarda yapılmış olan yaklaşık 50 bilimsel çalışma; FDM'nin kullanıldığı bina kabuklarının farklı iklim bölgelerinde kullanımı, FDM'nin kullanıldığı yapı elemanı, kullanılan FDM çeşitleri, FDM ile birleştirme teknikleri, çalışma tipi ve kullanılan simülasyon programı başlıkları altında değerlendirilerek tablolar ve görsellerle ifade edilmiştir. Farklı tipteki FDM'lerin ısı performans özellikleri, avantaj- dezavantajları ve uygulama yöntemleri karşılaştırılarak gerekli önerilerde bulunulmuş ve bu konuda çalışacak olan araştırmacıların izlemesi gereken süreç bir diyagram üzerinde gösterilmiştir. Çalışma sonucunda, FDM'ler üzerine yapılmış birçok çalışma olmasına rağmen bu konudaki mühendislik bilgisinin yetersiz olduğu, deneysel çalışma sayısının artırılması gerekliliği saptanmış ve en önemlisi FDM'lerin her iklim koşulunda bina kabuğunda kullanıma uygun, düşük maliyetli ve sürdürülebilir bir malzeme olarak geliştirilmesinin büyük önem arz ettiği belirtilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.779147

#### ARTICLE INFO

*Article history:*

Received: 11 August 2020  
Revised: 17 September 2020  
Accepted: 17 September 2020

*Keywords:*

Phase change material, building envelope, trombe wall, parafin, fatty acids

#### ABSTRACT

Nowadays, the use of phase-changing materials (PCM) which store energy as latent heat in the thermal mass and provide energy saving by increased thermal mass of building envelope is becoming more and more common in buildings. However, in literature, the number of theoretical, practical and experimental study on using in building envelope of these materials is not enough and lack of information in relation to this topic effects results of similar studies. With this study, it is aimed to examine the phase-changing materials that have just started to be used in the building envelope in different categories through thesis, articles, books, and research projects made in recent years and to shed light on the agenda by means of present a summary of the literature on PCM to the reader in result of these examinations. In line with these targets; approximately 50 scientific studies published in recent years; Usage in different climatic regions of building envelopes with PCM, the building element where the PCM is used, the PCM types used, the joining techniques with PCM, the study type and the simulation program used are evaluated and expressed with tables and visuals. By comparing the thermal performance characteristics, advantages-disadvantages and application methods of different types of PCMs, the necessary suggestions were made and the process that should be followed by the researchers who will work on this subject is shown on a diagram. As a result of the study, although there are many studies on PCMs, it was determined that the engineering knowledge on this subject is insufficient, the number of experimental studies should be increased, and most importantly, it is of great importance to develop PCMs as a low-cost and sustainable material suitable for use in building envelopes in all climatic conditions. It has been stated.

\* Sorumlu yazar / Correspondence

Sibel Maçka Kalfa  
✉ sibelmacka@ktu.edu.tr

Please cite this article in press as D. Saylam Canım, S. Maçka Kalfa, "Faz Değiştiren Malzemelerin Bina Kabuğunda Kullanımı", DUJE, vol. 12, no.2, pp. 355-371, March 2021.

## Giriş

Binalar, Avrupa'da toplam enerji kullanımının yaklaşık % 40'ından sorumludur [1]. Isıtma ve soğutma için harcanan enerji bunun önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu enerji kullanımını ve buna bağlı olumsuz çevresel etkileri azaltmak amacıyla, tüm AB / AEA üyesi ülkeler ulusal yapı düzenlemelerini Avrupa direktifine (EPBD-Recast) uygun olarak revize etmiştir. EPBD 2010/31/EU kapsamında, 2020 yılında tüm Avrupa Birliği'nin karbon salınımının 1990 yılındaki seviyelerin % 20 altına düşmesi, tüm enerji tüketiminin % 20 azaltılması, kullanılan enerjinin %20'sinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması ve tüm binaların neredeyse sıfır enerjili olması hedefleri belirlenmiştir [2]. Enerji kaynaklarını sağlama bakımından yüksek oranda dışa bağımlı olan Türkiye için de binalarda enerji performansını artırmak büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla Türkiye Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planını hazırlamış, bu plan kapsamında da 2023 yılına kadar toplam enerji tüketiminin %20 oranında azaltılacağı ve bunda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının önemli bir payı olacağı öngörülmüştür [3]. Avrupa'da belirlenen hedeflere ulaşabilmek ve enerji talebini en aza indirmek için daha yüksek ısı yalıtım seviyeleri ve hafif binalar teşvik edilmektedir [2]. Hafif binaların en büyük dezavantajı düşük ısıl kütleleri ve ısıtma-soğutma yükleri nedeniyle yüksek sıcaklık dalgalanmalarına meyilli olmalarıdır. Bu dezavantajları asgari düzeye indirebilmek için son yıllarda hafif binaların ısıl kütlelerini artırarak enerji tasarrufu sağlayan ve enerjiyi ısıl kütlede gizli ısı olarak depolayan faz değiştiren malzemelerin (FDM) kullanımı büyük ilgi görmektedir. Gizli ısı depolama ısı enerjisini depolamanın en etkili yollarından biridir [4]. Su/buz yaklaşık 330 kJ/kg'lık gizli ısı ile insan çevresinde terk edilmiş olarak bulunan en iyi bilinen FDM'dir. Bu nedenle kuzey kutup bölgelerinde yaşayan halk geleneksel yapıları olan igloların yapımında yüzyıllardır faz değişimi-gizli ısı konseptini kullanmaktadır. İglo yöre halkını soğuktan koruyan oldukça efektif, yapımı kolay bir malzeme olarak buz ve karın kullanıldığı bir yapıdır [5]. Gonzales-Espada (2001)'ya göre dış ortam sıcaklığının -45 °C olduğu en sert kış aylarında bile igloların iç ortam sıcaklığı 9°C-15°C arasında değişim göstermektedir [6]. İglolardan yola çıkarak

araştırmaların hız kazandığı FDM'ler ilk kez 1948 yılında Massachusetts Enstitüsündeki Araştırmacı Dr. Maria Telkes tarafından Amerika'nın Massachusetts şehrinde bulunan bir konut binasında kullanılmıştır. Bu çalışma büyük öneme sahiptir. Çünkü teorik olarak FDM'lerden oluşturulmuş duvar konstrüksiyonlarının uygulandığı bina kabuğunun enerji tüketimini azaltacağı biliniyor olmasına rağmen gerçek koşullarda FDM kullanılmış yapı elemanına sahip bina kabuğunun inşa edilmesi ile yapılan deneysel çalışmaların sayısının artması önemlidir [7]. Özellikle ülkemizde bu kapsamda FDM üzerine yapılan çalışma sayısı azdır. Bina kabuklarında kullanılan FDM'lerde iki farklı ısı kaynağı kullanılır. Bunların birincisi doğal ısıtma ve soğutma kaynaklarıdır. Örnek olarak ısıtma için güneş enerjisinin, soğutma için ise gece soğuyan havanın kullanılması verilebilir. İkincisi ise yapay ısıtma veya soğutma kaynaklarıdır. Bina kabuğu uygulamalarında soğutma amaçlı olarak faz değişim sıcaklığı 22-24 °C arası olan FDM'lerin kullanılması uygundur [8]. Doğrudan güneş ışınımı ile ısıtmada, günlük ısı depolama için en uygun FDM faz değişim sıcaklığının ortalama oda sıcaklığının 1-3°C üzerinde olması gerekmektedir [9,10]. FDM'ler ile ilgili bilgiler yeterli değildir ve bundan kaynaklı bu konu öncelikli çalışma konuları arasındadır.

Yukarıda bahsedilen bilgiler ışığında bu çalışmanın amacı, FDM kullanımı ile bina kabuğunun dinamik özelliklerini ve enerji performansının değerlendirildiği literatürde yer alan çalışmaların kapsamlı bir incelemesini yapmak ve faz değiştiren malzemeleri tanıtmaktır. Bu amaçla çalışmada literatürde yapılmış yaklaşık 50 bilimsel çalışma; FDM'nin uygulandığı bina kabuklarının farklı iklim bölgelerinde kullanımı, FDM'nin kullanıldığı yapı elemanları, kullanılan FDM çeşitleri, FDM ile birleştirme teknikleri, yapılan çalışmaların tipi ve çalışmalarda kullanılan simülasyon programları başlıkları altında değerlendirilmiş, farklı tipteki FDM'lerin ısıl performans çalışmaları, avantaj- dezavantajları ve uygulama yöntemleri gözden geçirilerek bu konuda çalışacak araştırmacıların izlemesi gereken süreç bir diyagram üzerine işlenmiştir.

## Yöntem

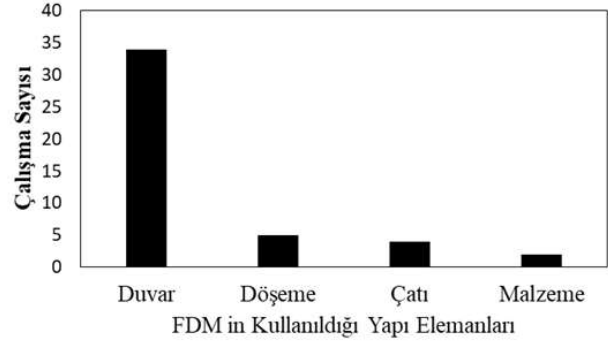
Faz değiştiren malzemeler üzerine yapılmış birçok uluslararası, ulusal makale, tez, kitap ve araştırma projesi Karadeniz Teknik Üniversitesi Kütüphanesi veri tabanları kullanılarak incelenmiştir. İncelenen bilimsel çalışmalar içerisinde bilimsel kalitesi yüksek olan (yayınevinin kuruluş yılı, atıf sayısı, etki faktörleri vb. gibi seçim kriterleri göz önünde bulundurularak) ve özellikle son yıllarda yapılmış olan yaklaşık 50 çalışma incelemeye alınmıştır. FDM üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen bilgiler; FDM'nin uygulandığı bina kabuklarının farklı iklim bölgelerinde kullanımı, FDM'nin kullanıldığı yapı bileşeni, kullanılan FDM çeşitleri, FDM ile birleştirme teknikleri, yapılan çalışmaların tipi ve çalışmalarda kullanılan simülasyon programı başlıkları altında değerlendirilmiştir.

### FDM'nin Uygulandığı Bina Kabuklarının Farklı İklim Bölgelerinde Kullanımı

İklim bölgelerine göre değerlendirildiğinde, FDM'nin soğuk iklim bölgelerinde kullanımı ile gerçekleştirilen çalışmalarda, en soğuk aylarda çok etkili olmamakla birlikte yıl bazında değerlendirildiğinde FDM ile ortalama %20 verim elde edildiği görülmüştür. Gece ve gündüz sıcaklık farkının fazla olmadığı ılıman iklim bölgelerinde ise FDM'nin bina kabuğunun dışında değil de iç tarafında kullanılmasının iç mekan ısı dalgalanmalarının azaltılması açısından daha uygun olduğu belirtilmiştir [11]. Gece ve gündüz sıcaklık farkının fazla olduğu iklim bölgelerinde ise FDM'nin bina kabuğunun dış tarafında kullanımının etkili olduğu, böylece gündüz FDM tarafından depolanan ısının soğuk gecelerde kullanılarak, bir sonraki gün yeniden iç ortama verilebilmesi sağlanmıştır [12,13]. FDM'lerin soğutma amacı ile kullanıldığı sıcak iklim bölgelerinde gece havalandırması (4ac/h'ye kadar), binalarda FDM'nin etkinliğini en üst düzeye çıkarma yönünde avantajlara sahiptir. Gece havalandırması ile FDM'lerin depoladıkları ısının ortama verilmesi desteklenerek katlaşımları sağlanmakta böylece tam bir çalışma döngüsü elde edilebilmektedir [14].

### FDM'nin Kullanıldığı Yapı Elemanları

Bina kabuğunun uzun ömürlü olabilmesi için kullanılan FDM'nin konumu, faz değişim sıcaklık aralığı ve miktarı bakımından oldukça önemlidir. Yapılan literatür incelemesi sonucu faz değiştiren malzemelerin yapının hangi elemanında ne kadar yoğunlukta kullanıldığı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. FDM 'nin kullanıldığı yapı elemanları ve kullanım yoğunluğu.

Figure 1. Building elements using of phase change material and using density

Şekil 1'deki grafikte yapılan çalışmalarda FDM'nin en fazla dış duvar uygulamalarında kullanıldığı görülmektedir [8,10,11,14-41]. Bu durumun dış duvar ısı kütle yüzey alanının çatı ve döşeme yüzey alanına göre daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalar FDM'nin duvar iç yüzeyine uygulandığında iç mekan ısı dalgalanmalarını azalttığını göstermiştir [10,11,14,20,23,30,35,36,38,39,41-47].

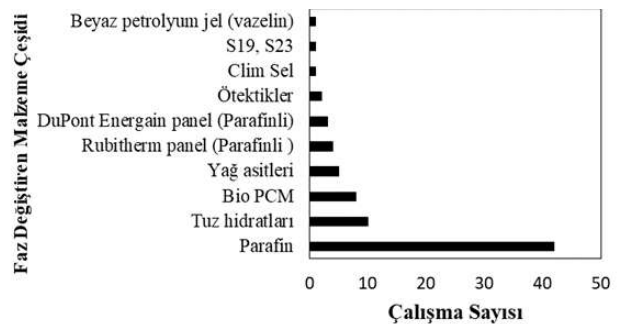
Isı enerjisinin depolandığı pasif bir sistem olan trombe duvarının ağır ısıl kütlelerini hafifletmek ve kullanımını daha pratik hale getirmek için FDM'lerin kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur [8,15,17,18,34,38,48]. FDM ile oluşturulan trombe duvarın ısıl kapasitesini, klasik beton duvar ile karşılaştırıldığında, ortalama %50 artırmak mümkündür [8,17,18]. Faz değiştiren malzeme olarak kullanılan parafinlerin ısıl iletkenliğini arttırmak için metalik dolgular, metal matris yapılar, kanatlı borular ve alüminyum talaşlar kullanılmaktadır. Kullanılan metal arttırıcıların FDM asitleriyle temas halinde aşındırıcı olmamalarına binanın uzun ömürlü olması için dikkat edilmelidir [4,13,48,49]. FDM kullanımı ile ince bir duvarda yoğun ısıl kütle

elde etmek mümkün olmakla beraber elde edilen FDM'li duvarın zaman gecikmesi kalın beton duvara göre çok daha kısa olmaktadır. Bu durum sağlanan enerjinin odaya ortalama iki kat daha hızlı aktarılabilmesini sağlamaktadır. Fakat azalan zaman gecikmesi, gün boyunca kullanılan ofis, alışveriş merkezi, üniversite ve okul gibi yapılar için kışın bir avantaj olarak görülse de akşam kullanımı yoğun olan konut ve hastane gibi yapılar için bir dezavantaj olmaktadır. Bina dış duvarlarının iç ve dış yüzeyinde farklı faz değişim sıcaklıklarına sahip FDM kullanımı ile hem soğutmaya katkı amacı ile sıcak mevsimde hem de ısıtmaya katkı amacı ile soğuk mevsimde aktif olması sağlanabilmektedir. Böyle bir sistemin yıllık enerji tasarrufunun ısıtma için ortalama %12, soğutma için ise %1 oranlarında olduğu, ısıtma-soğutma yüklerinin tepe değerini %35 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir [19]. Gizli ısı depolama amacıyla kullanılan FDM'ler ile oluşturulmuş yapı elemanlarına sahip konutların ilk deneysel çalışmalarında umut verici performans artışı gözlenmiştir. FDM'nin çatıda kullanılmasıyla toplam soğutma yükünde aynı ısı direnç ( $R\text{-m}^2\text{K/W}$ ) değerine sahip yalıtım katmanının kullanıldığı geleneksel çatıya oranla %30 verim elde edilmiştir [4]. FDM'ler iç mekan ısı dalgalanmalarını azaltırken bina ataletini de artırdıkları için, kentsel ortamlarda karşılıklı gölgelendirme ve yansımalar ile ortaya çıkabilen binalar arasındaki olumsuz etkileri de en aza indirmeye yardımcı olmaktadır [25]. Teorik olarak çoğu FDM entegre bina kabuğu elemanının günde en az bir kere erime/ katılma süreci geçirmesi beklenir. Bu nedenle mümkün olduğunca az FDM kullanarak FDM'nin depolama/ bırakma kapasitesini arttırmak gerekir. Yani kullanılacak FDM'nin optimizasyonu yapılmalıdır. Tam bir günlük döngüde depolanan enerji FDM hacmine orantılıdır, FDM tamamen eridikten sonra, sadece hissedilir ısı emilir. FDM'lerin düşük ısı iletkenliği nedeniyle, bu sistemlerin şarj etme ve boşaltma işlemleri sırasında doğal olarak yavaş bir ısı transferine sebep oldukları unutulmamalıdır. FDM kütlesi fazla tahmin edilirse, ısının FDM'ye nüfuz etmesi için gereken süre güneş ışığı süresinden daha büyük olabilir ve erime süreci tamamlanamaz. Benzer şekilde, eğer FDM kütlesi fazla tahmin edilirse, iç mekanlarda ısının serbest bırakılması için gereken süre, boşalma süresinden daha büyük olabilir ve katılma süreci tamamlanamaz.

Böylece, FDM ne erimez ne de katılmazsa, yetersiz gizli ısı depolanır [43]. Fakat unutulmamalıdır ki, hidrolik ısıtma ve soğutma sistemi ile entegre bir çok zemin ve tavan FDM uygulamaları 1 günde kolaylıkla 20 kez erime ve katılma sürecine ulaşabilmektedir [4].

## FDM Çeşitleri

Dar bir sıcaklık aralığında yüksek miktarda ısı enerjisi depolamak zorunda olan faz değiştiren malzemeler, geleneksel yapı malzemeleri (beton, taş) ile kıyaslandığında çok daha hafif olmalarına rağmen geleneksel yapı malzemelerinden 15 kat daha fazla ısıyı birim hacimlerinde depolayabilmektedirler. Bu özelliğinden kaynaklı olarak FDM'ler hafif ve yüksek ısı kütleye sahip bina kabuğu uygulamalarında kullanıma uygun bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır [4]. FDM'nin fiziksel, kimyasal ve ekonomik özellikleri, bina kabuğunda kullanıma uygunluğu için önemlidir. Tablo 1'de faz değiştiren malzemelerin fiziksel, kimyasal ve ekonomik özellikleri verilmiştir. Faz değiştiren malzemeler içerisinde Tablo 1'de verilen özelliklerin tümüne sahip bir malzeme henüz bulunamamıştır [13]. Çok çeşitli sıcaklıklarda eriyen ve katılan çok sayıda faz değiştiren malzeme mevcuttur. Fakat bina kabuğu uygulamalarında kullanılan FDM'ler sınırlıdır. Bunun nedeni sadece insan konfor sıcaklığına ( $20^{\circ}\text{C}$ - $28^{\circ}\text{C}$ ) yakın sıcaklıklarda faz değişimine sahip FDM'lerin bina kabuğu uygulamalarında kullanılabilmesidir. Literatür incelemesi sonucu bina kabuğu uygulamalarında kullanılan FDM çeşitleri ve kullanım yoğunlukları Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2. Bina kabuğu uygulamalarında kullanılan FDM çeşitleri ve kullanım yoğunluğu

Figure 2. PCM types using in building envelope applications and using density



Tablo 1. Faz değiştiren malzemelerin fiziksel, kimyasal ve ekonomik özellikleri [4,13]  
 Table 1. Physical, chemical and economic properties of phase change materials [4,13]

Fiziksel Özellikler	Kimyasal Özellikler	Ekonomik özellikler
<ul style="list-style-type: none"> <li>Faz değişim sıcaklığı;</li> <li>Erime-katılaştırma işlemleri için minimum sıcaklık aralığı;</li> <li>Süper soğuma;</li> <li>Yüksek gizli ısı geçişi;</li> <li>Hassas ısı emilimine ek olarak yüksek özgül ısı kapasitesi;</li> <li>Isının kısa sürede depolanması ve serbest bırakılması için iyi ısı iletkenliği;</li> <li>Faz değişiklikleri sırasında hacimde küçük değişiklikler;</li> <li>Kararlı erime ve katılma döngüleri;</li> <li>Yeterli kristalleşme hızı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Birçok erime-katılma döngüsünden sonra bozulmama;</li> <li>Diğer yapı malzemeleriyle iyi uyumluluk;</li> <li>Yeterli mekanik stabilite;</li> <li>Yanmaya karşı dirençlilik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yaşam döngüsü sonunda tekrar kullanıma uygunluk;</li> <li>Rekabetçi fiyat.</li> </ul>

Tablo 2. Organik ve inorganik faz değiştiren malzemelerin karşılaştırılması [4,49,50]  
 Table 2. Comparison of organic and inorganic phase change materials[4,49,50]

<b>Organik FDM'ler</b>	Parafinler	Mineral balmumu ve yağa verilen isimdir. En yaygın kullanıma sahip FDM 19-24 °C faz değişimi sıcaklık aralığına sahip Hammaddesi petrol olduğu için pahalı
	Yağ asitleri ve esterleri	Parafine benzer ısı depolama yoğunluğu Faz değişim sıcaklığı parafinler gibi yüksek Asidik yapıları nedeniyle çevre ile reaksiyona girmeye meyilli
	Şeker alkoller	Karbonhidratın D-sorbitol, ve xylitol gibi hidrojene edilmiş formudur. Parafin ve yağ asitlerinden daha yüksek gizli ısıya ve yoğunluğa sahiptirler. 90°C -200 °C arasındaki faz değişim sıcaklıkları nedeni ile bina uygulamaları için uygun değıllerdir
	BioPCM'ler	Parafine alternatif olarak gıda endüstrisi atık ürünlerinin kullanımı ile geliştirilmiş yeni bir FDM çeşididir. Maliyeti daha düşük (hammaddesi petrol değil) Parafin gibi yanıcı değil Çevreci Hayvan yağlarından, soya, kakao ve palm yağı gibi bitkisel yağlardan meydana gelir Bozulmaya uğramadan binlerce kere faz değişimi geçirebilen zehirli olmayan bir malzeme Sürdürülebilir
<b>İnorganik FDM'ler</b>	Tuz hidratlar Metalikleri	Binalarda en yaygın kullanılan inorganik FDM Çok yüksek faz değişim sıcaklığına sahip olduğu için binalarda kullanıma uygun değil

Tablo 2'nin devamı  
Continue of Table 2

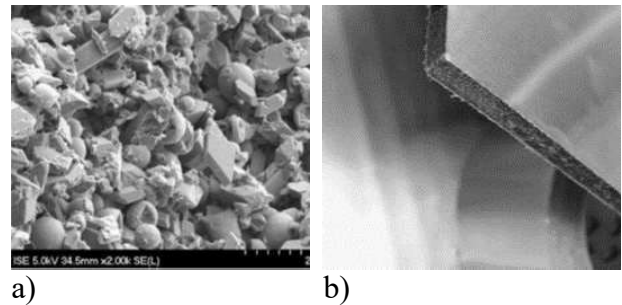
	<b>Organik FDM</b>	<b>İnorganik FDM</b>
Avantaj	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aşındırıcı değil</li> <li>• Kimyasal dayanımı iyi</li> <li>• Süper soğuma az</li> <li>• Yapı malzemeleri ile kullanıma uygun</li> <li>• Düşük buhar basıncı</li> <li>• Yüksek gizli ısıya sahip</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek gizli ısıya sahip</li> <li>• Yüksek ısıl iletkenlik</li> <li>• Ekonomik</li> <li>• Yanıcı değil</li> </ul>
Dezavantaj	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük ısı iletkenlik</li> <li>• Faz değişimi esnasında oluşan hacimsel değişim</li> <li>• Yanıcılık</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metallerle birlikte kullanıldığında aşındırıcı</li> <li>• Ayrışabilir</li> <li>• Süper soğumaya sahip</li> </ul>
Faz değişim sıcaklık aralığı	19 - 28 °C	25 - 35 °C
Füzyon ısısı	120 - 280 kJ/kg	120 - 280 kJ/kg
Yoğunluk aralığı	700 - 900 kg/m <sup>3</sup>	1300 - 1800 kg/m <sup>3</sup>

Literatürde yapılan çalışmalardan Şekil 2'de de görüldüğü gibi bina kabuğu uygulamalarında organik bazlı Parafin malzemenin en yaygın kullanılan FDM olduğu görülmüştür. Kullanımı yaygın olan diğer malzemeler sırasıyla inorganik bileşiklerden tuz hidratları ve parafine alternatif olarak son yıllarda geliştirilmiş yeni bir FDM çeşidi olan BioPCM'lerdir. Faz değiştiren malzemeler organik ve inorganik bileşikler olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Tablo 2'de organik ve inorganik FDM'lerin karşılaştırılması yapılmıştır.

### FDM ile Birleştirme Teknikleri

FDM'ler geleneksel yapı malzemelerine doğrudan birleştirme, daldırma ve kapsülleme olmak üzere üç yöntem ile entegre edilir. Doğrudan birleştirme tekniğinde, sıvı veya toz FDM üretim sırasında alçı, beton veya sıva gibi inşaat malzemeleriyle doğrudan karıştırılırken; daldırma tekniğinde, alçı levha, tuğla veya beton blok gibi gözenekli yapı malzemeleri, erimiş FDM' nin içine daldırılarak uygulanır [41,43]. Kapsülleme tekniği ise FDM' yi çevre ile zararlı etkileşimlerden korumak için bir engel görevi görerek, ısı transferi için yeterli yüzey alanı, yapısal dayanıklılık ve kolay kullanım sağlar. Mikro kapsülleme ve makro kapsülleme olmak üzere iki tip kapsülleme tekniği vardır. Mikro

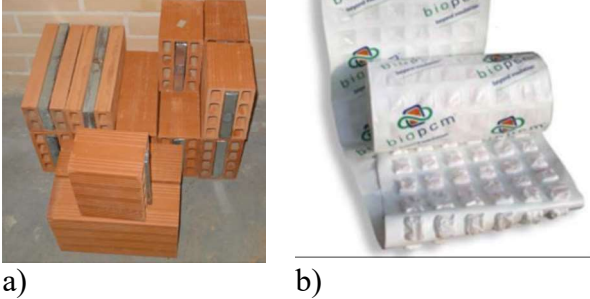
kapsülleme, mikrometre ile milimetre aralığında üretilen kapsüller ile katı veya sıvı madde damlacıklarının tek tek kaplandığı işlem olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3'te mikro kapsülleme tekniği ile uygulanmış parafinden oluşturulmuş kompozit bir duvar panosu görülmektedir. Şekil 3a.' da alçı sıvaya katılmış mikro kapsül FDM'lerin mikroskopik kamera (SEM) ile görünüşü verilmiştir. Şekil 3b.'de %60 oranında mikro kapsüllenmiş parafinden oluşan FDM kompozit duvar panosu görülmektedir.



Şekil 3. (a) Alçı sıva içerisindeki mikro kapsüllerin SEM görünüşü [50], (b) %60 oranında mikro kapsüllenmiş parafinden oluşan FDM kompozit duvar panosu [43].

Figure 3. (a) SEM appearance of microcapsules in plaster [50], (b) PCM composite wall panel with paraffin - ratio of %60 microcapsulated [43].

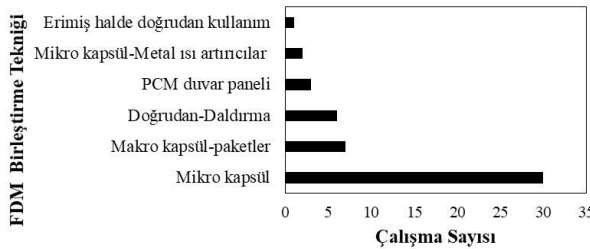
Şekil 4a’da tuğla içerisine makro kapsül şeklinde paketlenmiş parafin uygulaması [43] ve Şekil 4b’de makro kapsüllerde BioPCM görülmektedir.



Şekil 4. (a) Tuğla içerisine makro kapsül şeklinde paketlenmiş parafin uygulaması [43], (b) makro kapsüllerde BioPCM.

Figure 4. (a) Application of parafin macrocapsulated into brick [43], (b) BioPCM in macro capsules.

Yapılan literatür çalışmalarından çıkarılan sonuç; Şekil 5’te de görüldüğü gibi bina uygulamalarında mikro kapsül tekniğinin en yaygın kullanılan teknik olduğunu göstermiştir.



Şekil 5. Bina kabuğu uygulamalarında kullanılan FDM birleştirme teknikleri ve kullanılma yoğunluğu.

Figure 5. PCM joining techniques and using density using in building envelope practices.

Tablo 3’de FDM birleştirme tekniklerinin avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması verilmiştir.

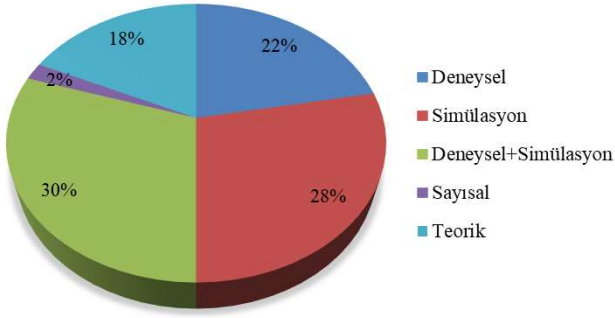
Tablo 3. FDM birleştirme tekniklerinin avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması[4,49,50]

Table 3. Compared advantages and disadvantages of PCM joining techniques

Birleştirme Tekniği	Avantaj	Dezavantaj
Doğrudan Birleştirme	Basit Ekonomik Ekipman ihtiyacı yok	Sızıntı Yapı malzemelerine uyumsuzluk
Daldırma	Avantaj	Dezavantaj Sızıntı Yapı malzemelerine uyumsuzluk
Mikro kapsülleme	Avantaj	Dezavantaj
Makro kapsülleme	Avantaj	Dezavantaj

### Çalışma Tipleri ve Kullanılan Simülasyon Programları

İncelenen bilimsel çalışmalarda çalışma tipi olarak Şekil 6’da görüldüğü gibi deney ve simülasyon yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar öne çıkmaktadır. Sadece simülasyon yönteminin tercih edildiği çalışmalar ikinci sırada yer alırken sadece deneysel çalışma tiplerinin az sayıda olması dikkat çekicidir.



Şekil 6. Çalışma tipleri ve kullanım yoğunlukları

Figure 6. Study type and using density

Yapılan çalışmaların yaklaşık olarak %60'ında simülasyon programı kullanımının tercih edilmesi doğru program seçiminin ne kadar önemli olduğunun göstergesidir. Bina kabuğu uygulamalarında saf FDM'ler çok nadir kullanılır. Onun yerine Şekil 3'te görüldüğü gibi karmaşık ısıl karakteristiklere sahip daha fazla girdi gerektiren FDM'ler mikro veya makro kapsüllenmiş olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerden oluşan yapı elemanlarına ilişkin ısı transferi tek boyutlu olmamakta, ısı köprüleri de dikkate alındığında hesaplanması oldukça karmaşık üç boyutlu ısı transferleri meydana gelmektedir. Bu ısı transferlerinin hesaplanması oldukça karmaşıktır ve zaman gerektirir. Hesaplamaların doğruluğu kullanılan entalpi (enerji değişimi) verisinin güvenilirliği ile ilişkilidir. Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ortaya çıkan entalpi yoğunlukla saf FDM'ler için diferansiyel ısıl analiz (DTA) yöntemi ölçümlerinden elde edilir.

Bina bütününe veya bina kabuğu elemanının ısıl ve enerji performans analizi için kullanılan DOE-2, EnergyPlus, BLAST, TRNSYS, ESP-r, MATLAB, RADCOOL, CLIM 2000, WUFI gibi farklı ticari programlar bulunmaktadır. Fakat sadece birkaçı kapsamlı bir şekilde faz değişim sürecini ve tüm binayı simüle edebilme özelliğine sahiptir. FDM entegre binaların tüm bina ölçeğinde simülasyonunu yapabilen en yaygın kullanılan simülasyon programları Tablo 4'te verilmiştir.

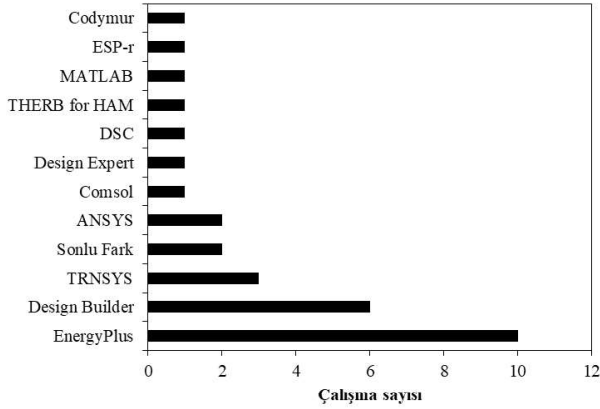
Tablo 4. FDM'lerin kullanıldığı bina kabuğunun enerji analizleri için bilinen en iyi simülasyon programları [4]

Table 4. The best known that energy simulation softwares for energy analysis of building envelopes using PCM's

Simülasyon Programı (Bina ölçeğinde)	Hesap Yöntemi	Ayrık Form	Isı kap. hesaplamaları
ESP-r	Etkin ısı kap.	Sonlu Hacim	Açık (Explicit)
TRNSYS Tip 204- Tip 56	Etkin ısı kap.	Sonlu Eleman	Crank- Nicholson
TRNSYS Tip 222- Tip 56	Dolaylı Hesap.	—	—
TRNSYS Tip 241- Tip 56	Entalpi metodu	Sonlu Farklar	—
TRNSYS Tip 260- Tip 56	Etkin ısı kap.	Sonlu Farklar	Açık (Explicit)
TRNSYS Tip 399- Tip 56	Isı kap. göre iki farklı metod	Sonlu Eleman	Crank- Nichol.
MATLAB	Entalpi metodu	Sonlu Hacim	Crank- Nichol.
EnergyPlus	Entalpi metodu	Sonlu Farklar	Kapalı (İmplicit)

Yapılan literatür çalışmaları Şekil 7'de de görüldüğü gibi FDM'lerin kullanıldığı bina kabuklarının enerji analizleri için EnergyPlus'ın en fazla kullanılan simülasyon programı olduğunu göstermiştir. İkinci sırada ise yine

EnergyPlus tabanlı bir yazılım aracı olan Design Builder programı yer almıştır.



Şekil 7. Simülasyon programları ve kullanım yoğunluğu

Figure 7. Simulation softwares and their using density

EnergyPlus bina ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve diğer enerji akışlarını modellemek için Amerikan Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilmiş ve sürekli geliştirilmekte olan kapsamlı bir bina enerji simülasyon programıdır. Binalardaki ısı transferinin modellenmesine olanak sağlarken aynı zamanda çok çeşitli HVAC ekipmanlarının da dikkate alınmasına imkan sağlar. Kapsamlı bina tasarım seçenekleri sayesinde bina enerji çalışmaları için güçlü ve ideal bir programdır. Çeşitli sistemlerden oluşan binaların ısıtılması ve soğutulması için gerekli enerji hesaplamalarını gerçekleştirmek için birlikte çalışan birçok program modülünün toplamından oluşmaktadır. Temelde BLAST ve DOE-2 gibi en popüler erken dönem bina enerji simülasyon araçlarının bir benzeri olmasının yanı sıra bir saatten daha az zaman dilimleri için hesaplama yapabilme özelliğine sahiptir. EnergyPlus ile modüler sistemler, ısıl denge amacı ile kullanılan yeşil kabuk sistemler, fotovoltaik sistemler ve su bulunduran sistemler gibi birçok yeni sistemlerin simülasyonları yapılabilmektedir. Design Builder ise yapı tasarımlarının enerji, karbon, aydınlatma ve konfor açılarından performansını ölçmek ve kontrol etmek için geliştirilmiş EnergyPlus simülasyon motorunu kullanan bir yazılım aracıdır [51].

## Çalışmalarda Kullanılan Laboratuvar Ölçeğindeki Isıl Test Metotları

FDM kullanımının önündeki en önemli engel maliyetinin yüksek olmasıdır. Bina kabuğu uygulamalarında FDM kullanımının maliyetini azaltmak için en etkili yöntem FDM'nin optimum konumu ve miktarının belirlenmesidir. Bu da FDM'nin ısı performans özelliklerinin çok iyi bilinmesi ve anlaşılması ile mümkündür. Bu nedenle FDM bazlı ürün ve sistemlerin ana termal karakterlerinin belirlenmesi için kısmen ucuz ve kullanımı kolay test yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler;

- Diferansiyel ısı tarama kalorimetresi (DSC) yöntemi
- T-History yöntemi
- Dinamik Hot-Box yöntemleridir.

Yukarıdaki yöntemlerin özellikleri ve karşılaştırması ise Tablo 5'te verilmiştir.

## Faz Değiştiren Malzemelerle İlgili Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi ve Tartışma

Bu bölümde faz değiştiren malzemeler ile ilgili yapılmış ve bu çalışmanın temelini oluşturan 50 bilimsel yayın içerik olarak değerlendirilerek sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bir çok çalışmada FDM'lerin Trombe duvarlarda kullanıldığı görülmüştür [8,15,17,18,34,38,48]. Çırakman [15] bir test odası inşa ederek güney duvarında mikrokapsül yöntemi ile duvar konstrüksiyonuna eklediği parafinin binanın enerji yüklerine etkisini deneysel olarak test etmiştir. Aylık ölçüm sonuçlarına göre ısıtma enerjisine farklı aylarda %4.3-%70.4 aralığında katkı sağladığı gözlenmiştir. Benzer bir başka çalışmada [16] aynı FDM malzemesinin soğutma enerjisine %5-%10; ısıtma enerjisine ise % 10-%20 aralığında iyileştirme yaptığı sonucuna varılmıştır. Zalewski vd. [17], tuz hidratları makropaketler halinde birleştirilerek FDM'li 2,5 cm kalınlığında bir trombe duvar oluşturmuşlardır. Yeni duvarın 15 cm kalınlığındaki beton duvara eşdeğer ısı depolama performansı gösterdiği ve depolanan enerjiyi iki kat daha hızlı bir şekilde mekana ilettiği sonucuna varmışlardır. Leang vd. [8], parafinin mikro paketler halinde kullanıldığı FDM'li bir kompozit Trombe duvar tasarlamış ve üzerinde deneysel bir çalışma yapmışlardır.”

Tablo 5. FDM entegre ürün ve sistemlerin ana termal karakterlerinin belirlenmesi için kullanılan test yöntemlerinin karşılaştırılması [4]

Table 5. Compared test methods using to determined of main thermal characters of product and systems entegrated PCM

Yöntemler				Ekipman
Diferansiyel termal analiz (DTA) yöntemi				
Ölçek	Malzeme ölçeği			
Girdi	Küçük ve standart malzeme örnekleri			
Çıktı	FDM gizli ısısı Cam geçiş sıcaklığı, kristalleşme sıcaklığı, faz değişim sıcaklığı katılaşma ve yoğunlaşma özelliği			
Diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) yöntemi				
Ölçek	Malzeme ölçeği			
Girdi	Küçük ve standart malzeme örnekleri			
Çıktı	FDM gizli ısısı Cam geçiş sıcaklığı, kristalleşme sıcaklığı, faz değişim sıcaklığı, yoğunlaşma özelliği Oksidasyon ve termal kararlılık özellikleri Enerji ölçümü Isıl iletkenlik ve ısı kapasitesi			
T-History yöntemi				
Ölçek	Malzeme ölçeği			
Girdi	Daha büyük ve heterojen FDM entegre bina bileşeni örnekleri			
Çıktı	FDM kompozit ve FDM harmanlarının ısı özelliklerini ölçer			
Dinamik Hot-Box yöntemi				
Ölçek	Sistem ölçeğinde			
Girdi	Yapı elemanı örnekleri			
Çıktı	Duvar, zemin, çatı ve pencere gibi opak ve saydam bina kabuk bileşenlerinin ısı performansları Isı geçirgenlik (U-değeri) ölçümü			
Güvenilirlik	DTA	DSC	T-History	Dinamik Hot-Box
	*	**	***	****



Küçük hacimde büyük miktarda ısı depolama kapasitesi elde etmek amacı ile yapılan deneysel çalışmada FDM ile bir yalıtım paneli birlikte kullanılarak bir pasif güneş bileşeni tasarlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen trombe duvar bileşeninin kış gecelerinde ısı konfor sağlamak için çok uygun olduğu görülmüştür. Kompozit güneş duvarı ısıyı 4 saatlik bir gecikme süresiyle serbest bırakmış ve iç mekanda istenmeyen aşırı ısınmayı enerji katkılarını kontrol ederek önlemiştir. Ayrıca, FDM'li ısı depolama duvarının beton ısı depolama duvarından %58 daha fazla ısıyı geri kazandığı tespit edilmiştir.

Farklı iklimler için FDM'nin mevcut bina kabuklarının iç duvarlarında kullanılmasının sağlayacağı enerji tasarrufu potansiyeli yapılan çalışmalarla değerlendirilmiştir [10, 11, 14, 20, 23, 30, 35, 36, 38, 39, 41-47]. Concordia Üniversitesi Güneş Simülatörü ve Çevre Odası araştırma tesisinde (SSEC, Montreal, Kanada) gerçekleştirilen bir deneysel çalışmada FDM levha, iklim odasına yerleştirilmiş 2.80m x 1.30m x 2.44m iç ölçülere sahip bir test odasının arka duvarına yerleştirilmiştir. Ön cepheye sahip 2,2 x 2,2 cm'lik 1,1 W / m<sup>2</sup>K ısı geçirgenlik katsayısına (U) sahip bir pencere yerleştirilmiştir. Test odası, 8.9 m x 7.3 m x 4.7 m boyutlarında geniş iklim odasının içine yerleştirilmiştir. Çalışma sonucunda Montreal'de, güneş ışınımının sınırlı olmasından dolayı FDM kullanımının en soğuk aylarda çok etkili olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte çözüm, tüm yıl boyunca değerlendirildiğinde yaklaşık olarak % 20 enerji tasarrufu sağlamıştır [20].

Başka bir çalışmada [21] Kıbrıs'ta Akdeniz iklim koşullarındaki tipik bir konutun kabuğunda makro kapsüllenmiş FDM uygulaması deneysel olarak değerlendirilmiştir. Enerji oranı kontrol testi ve sıcaklık seviyesi kontrol testi simülasyonları, Geçici Sistemler Simülasyon yazılımı (TRNSYS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. FDM'ler;

- Çift tuğla duvarın ortasına (bu yalnızca yeni bir konutta uygulanabilir),
- Duvarın iç tarafındaki tuğla ve sıva katmanı arasına (bu hem yeni hem de mevcut konutlarda uygulanabilir),

- Duvarın dış tarafındaki tuğla ve sıva katmanı arasına (bu hem yeni hem de mevcut konutlarda uygulanabilir)

olmak üzere üç farklı kabuk kesiti ile uygulanmıştır. BioPCM mat' lardan 29 °C erime noktasına sahip M91 ürünü uygulamada kullanılan FDM olarak seçilmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçları Kıbrıs ikliminde FDM katmanının bir dış duvar konstrüksiyonuna uygulandığında optimum konumunun, tuğla gövde malzemesi ile dış sıva katmanı arasında olduğunu göstermiştir. Bu durum FDM' nin bu konumda güneş ışınımı ve sıcaklık gibi dış iklimsel ortam koşullarına daha fazla maruz kalması ve aktif hale gelmesi ile ilişkilendirilmiştir. Bu durumda % 28,6 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Optimum FDM konumu daha sonra bir ısı yalıtımı ile birleştirilmiş (ısı yalıtım sıvası) ve sonuçlar deneysel olarak incelenmiştir. Isı yalıtım sıvası ve FDM' in birlikte kullanıldığı seçenek % 67,6'lık bir enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermiştir. Sadece yalıtımlı durum ile kombine durum arasındaki fark ise % 2,7 ile 6,6 arasında değişmiştir [21]. Yapılan bir diğer çalışmada Laaouatni vd.[22], sıvı halde mekanik olarak kararlı bir FDM ile doldurulmuş dikey havalandırma boruları içeren bir “beton blok” geliştirmişlerdir. Bu çözüm, beton bloğun ısı davranışını incelemek ve bina içindeki sıcaklığın kontrolünü sağlamak için hem deneysel hem de sayısal olarak ele alınmıştır. Kullanılan beton blok 50 cm x 20 cm x 9.5 cm boyutlarında ticari içi boş bir bloktur. Geometrik olarak uzunluğu, genişliği ve yüksekliği sırasıyla 13 cm, 5 cm ve 17 cm olan 3 dikdörtgen boşluktan oluşmuştur. Havalandırma tüpleri olarak 2 cm çapında ve 1 mm kalınlığında PVC borular kullanılmıştır. Altı boruyu yerleştirmek için bloktaki üç boşluğun tabanında ikişer delik açılmıştır. Beton blok boşluklarında FDM doğrudan erimiş halde koyulmuştur. Kullanılan FDM, parafin ve stiren tipi polimer karışımıdır. Bu karışım, sızıntı sorunlarını önlemek için önemli olan yüksek bir mekanik stabiliteye sahiptir. Kullanılan parafin, 28°C'lik bir faz değişim sıcaklığına ve 245 kJ / kg'lık bir gizli ısıya sahip ticari bir üründür. Yapılan çalışmanın amacı, dışarıdan dayatılan ısı gerilmeleri emmek için duvarların ısı ataletini arttırmaktır. Önerilen metod ile FDM'in faz değişim yüzeyi havalandırma tüpleri aracılığı ile artırılmış, gündüz FDM'lerde depolanan ısı gece tüplerdeki hava aracılığıyla binadan

uzaklaştırılmıştır. Sonuçlar, parafinin tüplerle yerleştirilmesinin, faz değişim sıcaklığı etrafında bir sıcaklık seviyesine sahip olmasını ve dolayısıyla uygulanan termal gerilmelerin sönmelenmesini mümkün kıldığını doğrulamıştır. 3D sayısal simülasyonlar, COMSOL Multiphysics yazılımı kullanılarak yapılmış, simülasyonlar ile deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür. Başka bir çalışmada [30], FDM entegre edilmiş bina kabuklarının klimanın sürekli ve aralıklı olarak çalıştırılması ile termal performans iyileştirmelerini incelemek için Sichuan Üniversitesi'nde, dinamik bir test deney binası inşa edilmiştir. Bina 3.5m x 3,0m x 2,2m boyutlarında ayrı iki odadan oluşmaktadır. Test sonuçlarının daha karşılaştırılabilir hale getirilebilmesi için 60cm x 60cm x 26cm boyutlarındaki iki duvar ünitesinin aynı iç ve dış ortamda konumlanmalarına özen gösterilmiştir. Çelik çerçevelerle desteklenen bu iki duvar ünitesi, birimler arasındaki ısı transferini azaltmak ve her birinin merkezi alanında bir boyutlu ısı transferini sağlamak için 8cm EPS ısı yalıtım katmanı ile çevrilmiştir. Kullanılan FDM'nin faz değişim sıcaklık aralığı 18 °C ila 26 °C'dir. Gizli ısı ise 178.5kJ / kg' dır. Test duvar ünitelerinin yüzey sıcaklıklarını ölçmek için yerden 1,50 m yükseklikte iç ve dış yüzeylerin ortasına ve FDM iç ve dış yüzeyine ısı sensörleri yerleştirilmiştir. İç yüzeylerin ortasına ayrıca ısı akış ölçerler monte edilmiştir. Sıcaklık ve ısı akışını ölçmek için % 2 hassasiyetle ölçüm yapan T tipi termokuplar ve % 5 hassasiyetle ölçüm yapan JTC08A model ısı debimetreler kullanılmıştır. Tüm ölçüm verileri bir JTRG-II bina termal sıcaklık otomatik test cihazı tarafından kaydedilmiştir. Farklı klima koşullarında sıcaklık ve ısı akışı değişikliklerinin ölçümleri Haziran 2015 - Ağustos 2015 tarihleri arasında dakikada bir gerçekleştirilmiştir. Soğutma termostatu ayarı, FDM' lerin faz değişimini sağlamak için 16 °C'ye ayarlanmıştır. Aralıklı iklimlendirme sırasında, iç yüzeye aktarılan soğukun bir kısmı duvar tarafından depolanırken, diğeri duvar boyunca dış ortama kaybedilmiştir. FDM duvarına gelince, azalan sıcaklıkla FDM'ler sıvıdan katıya değişmiş ve soğuk depolanmış, klima durduktan sonra artan sıcaklık ile FDM'ler katıdan sıvıya değişmiş ve soğuk ortama geri bırakılmıştır. Sonuçlar FDM'lerin iç yüzey sıcaklığını 1 ° C azaltabildiğini ve FDM duvarının soğuk bırakma

süresinin referans duvardan 2 saat daha uzun olduğunu göstermiştir. İç yüzey ısı akışı sürekli klima ve aralıklı klima çalışma programının her ikisinde de yaklaşık % 40 azaltılabilmektedir. Aralıklı iklimlendirme ile, FDM duvar bünyesinde depolanan soğukun soğutma durduktan sonra iç ortama bırakıldığı görülmüştür. Bu nedenle, iklimlendirme işleminin makul bir şekilde kontrol edilmesi ile iklimlendirme süresi azaltılarak soğutma enerji tüketiminde belirli bir miktar verim elde edilebileceği gösterilmiştir [30].

Yapılan bir diğer çalışmada [32], farklı iklim koşulları altında FDM' in iç mekanda kullanımının termal konfor açısından sağlayacağı etki karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu kapsamda farklı iklim bölgelerine ait beş tipik şehir için EnergyPlus programı kullanılarak oluşturulan referans Model ve FDM Modelin simülasyonları yapılarak yıllık iç mekan ısı ortamları incelenmiştir. Daha sonra oluşturulan modelleri doğrulamak için, Sichuan Üniversitesi'nde iki hafif bina modeli (referans Model ve FDM Model) inşa edilmiştir. Model binaların büyüklüğü 800mm × 1000mm × 1300 mm'dir. Çalışmada kullanılan FDM'nin faz değişimi sıcaklık aralığı 18 °C ila 26 °C, gizli ısı ise 178.5kJ / kg'dir [32]. Çalışmanın sonuçları, özellikle ılıman bölgelerde FDM' nin iç mekan tepe sıcaklığını düşürebildiğini ve iç mekan sıcaklık dalgalanmalarını etkili bir şekilde azaltabildiğini göstermiştir. Ayrıca gece ve gündüz arasındaki dış hava sıcaklık farkının fazla olduğu iklimlerde, FDM' in faz değişim döngüsü tamamlanabildiği için daha fazla verim elde edilebileceği ortaya koyulmuştur.

Faz değiştiren malzemeler ile ilgili yukarıda detaylıca aktarılan çalışmalardan edinilen bilgiler ışığında bu malzemelerin çoğunlukla mikro veya makro paketler halinde bina elemanı konstrüksiyonuna katıldığı, malzeme kullanımında daha çok parafinin seçildiği ancak yağ asidi ve tuz hidratlarında kullanıldığı gözlenmiştir. FDM'nin faz değişim sıcaklığının bina uygulamalarına uygunluğunun dikkate alındığı tüm çalışmalarda 18 °C - 26 °C sıcaklık aralıklarında değişime uğrayan malzemelerin tercih edildiği görülmüştür. Gündüz ve gece sıcaklık farklarının az olduğu ılıman iklimlerde bile FDM ile ilgili yapılan çalışmalarda iyi bir performans elde edildiği sonucuna varılmıştır.

Bu noktadan hareketle FDM'nin binalarda nerede kullanılacağı ve performans artışının ne oranda olacağı bilgisinin elde edilebilmesi için bu konuda yapılan deneysel çalışmaların hız kazanması gerekliliği üzerinde durulmalıdır. Literatürden elde edilen bilgiler ışığında faz değiştiren malzemelerle ilgili çalışmaya yeni başlayacak olan araştırmacılara izlemesi gerekli olan süreçler bir iş akış diyagramı üzerinde Şekil 8'de gösterilmiştir. Bu diyagram sayesinde çalışma öncesinde alınması gerekli kararlar, izlenecek süreç özetlenmiş ve araştırmacılara yol gösterilmiştir.

## Sonuçlar

Çalışma sonucunda incelenen bilimsel yayınlardan faz değiştiren malzemelerle ilgili olarak en fazla tercih edilen kullanım yeri, çeşidi, birleştirme tekniği, çalışma tipi ve simülasyon programı Tablo 6'da verilmiştir.

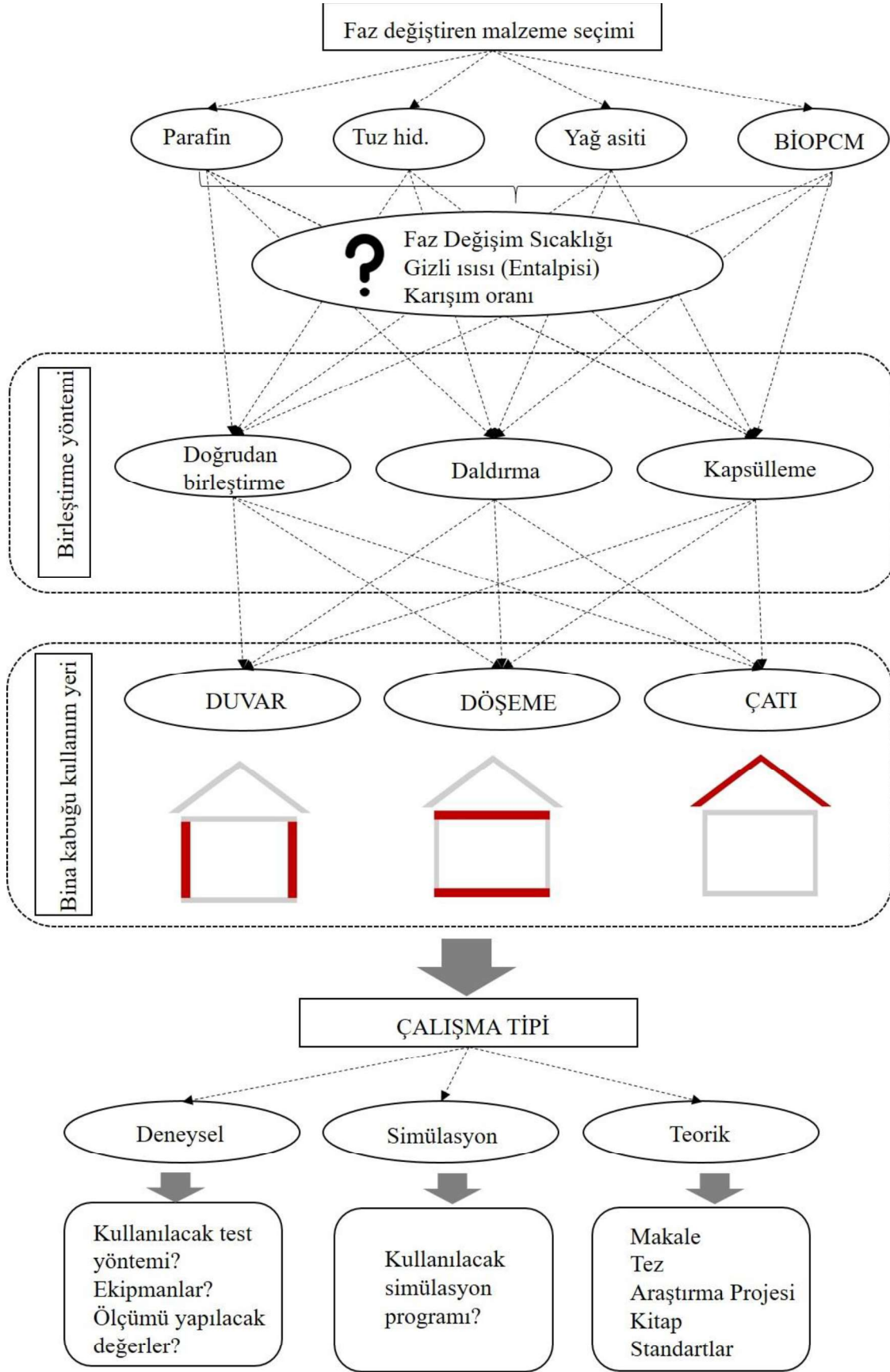
*Tablo 6. İncelenen bilimsel yayınlardan elde edilen çıkarımlar*

*Table 6. Findings obtained from investigated scientific studies*

<b>Kullanım yeri</b>	Duvarlar
<b>FDM çeşidi</b>	Parafin
<b>Birleştirme tekniği</b>	Mikrokapsülleme
<b>Çalışma tipi</b>	Deneysel ve simülasyon
<b>Kullanılan program</b>	EnergyPlus

Tablo 6'da görüldüğü gibi incelenen bilimsel çalışmalarda bina kabuğunun ısı kütlesini artırmak amacı ile faz değiştiren malzemeler en çok duvar bileşeninde kullanılmıştır. Parafinin en fazla tercih edilen ve üzerinde çalışmalar yapılan faz değiştiren malzeme çeşidi olduğu görülmüştür. Faz değiştiren malzemeleri bina bileşeni ile birleştirme tekniği olarak ise çoğunlukla mikro kapsülleme tekniği tercih edilmiştir. Ayrıca yapılan incelemelerde deneysel çalışma ve simülasyonun birlikte kullanıldığı çalışma tipinin en fazla tercih edilen çalışma tipi olduğu görülmüştür. Simülasyon programı olarak ise EnergyPlus, çalışmalarda en fazla kullanılan programdır.

Bilimsel çalışmalar binalarda enerji tasarrufu için FDM'li yapı elemanlarının nispeten iyi bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Günümüzde FDM hakkında yayınlanmış birçok araştırma olmasına rağmen bu konudaki mühendislik literatürünün yetersiz olduğunu belirtmek gerekir. Gerçek koşullarda yapılmış daha fazla deneysel araştırma gerekliliği neredeyse bütün çalışmalarda vurgulanmıştır. FDM'nin her koşulda yapıda kullanıma uygun, düşük maliyetli ve sürdürülebilir bir malzeme olarak geliştirilmesi önem arz etmektedir. Temel FDM ürünleri için uzun dönem dayanıklılık kriterleri bugün oldukça iyi tanımlanmıştır. Ancak uzun dönem performans özellikleri FDM'li geliştirilmiş bina kabuğu için henüz tam olarak anlaşılammıştır ve ilgili performans düzenlemeleri geliştirilmeyi beklemektedir. Ayrıca FDM'li geliştirilmiş bina bileşeninin kullanım ömrünün en az harmanlandığı malzemenin kullanım ömrü kadar olması gereklidir. Aksi durumda bina kullanım döneminde bakım ve onarım anlamında sorunlar yaşanması ihtimaldir. Tüm bu nedenlerden ötürü faz değiştiren malzemelerin binalarda kullanımıyla ilgili özellikle deneysel çalışmaların hız kazanması ve avantaj-dezavantajlarının açık ve net olarak ortaya konulması gerekmektedir.



Şekil 8. FDM ile ilgili yapılacak çalışmalarda izlenmesi gereken süreç  
Figure 8. Following process in studies on PCM

**Kaynaklar**

- [1] BP Energy Outlook 2019 Edition, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf>, 13.06.2020.
- [2] Directive 2010/31/EU, Energy performance of buildings, European Parliament and of the Council.
- [3] Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Mart 2018, Ankara.
- [4] Kosny, J., PCM- Enhanced Building Components, Springer, Switzerland, 2015.
- [5] <http://www.dspace.library.cornell.edu/bitstream/1813/1252/Igloo.pdf>.
- [6] Gonzales-Espada, W.J., Bryan, L.A., Kang N-H., (2001). The intriguing physics inside an Igloo, *Physics Education*, **36**,4, 290-298.
- [7] Telkes, M., (1978). Trombe wall with phase change storage material. In: Proceedings of the 2nd national passive solar conference, Philadelphia.
- [8] Leang,P.T., Zalewski, L., Enghok, S.L., (2017). Numerical Study Of A Composite Trombe Solar Wall Integrating Microencapsulated (PCM), *Energy Procedia*, **122**, 1009-1014.
- [9] Graciaa, A.D., Cabeza, L.F., (2015). Phase change materials and thermal energy storage for buildings, *Energy and Buildings*, **103**, 15, 414-419.
- [10] Kuznik, F., Virgone, J., Noel, J., (2008). Optimization of a phase change material wallboard for building use, *Applied Thermal Engineering*, **28**,11-12, 1291-1298.
- [11] Kuznik,F., Virgone, J., Roux, J.-J. (2008). Energetic efficiency of room wall containing fdm wallboard: a full-scale experimental investigation, *Energy and Buildings*, **40** ,2, 148-156.
- [12] Tokuç, A.,(2013). Faz değişim malzemelerinin ısı enerji depolama amacıyla yapı elemanlarında kullanılması, Dokuz Eylül Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Mimarlık Bölümü / Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- [13] Kancane,L., Vanaga,R., Blumberga, A., (2016). Modeling of building envelope's thermal properties by applying phase change materials, *Energy Procedia*, **95** ,175 - 180.
- [14] Evola, G., Marletta, L., Sicurella, F., (2013). A methodology for investigating the effectiveness of PCM wallboards for summer thermal comfort in buildings, *Building Environment*, **59**, 517-527.
- [15] Çırakman, A.K.,(2010). Faz değiştiren madde içeren bina güney duvarının deneysel olarak incelenmesi, Atatürk Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Makine Mühendisliği, Doktora Tezi.
- [16] Konuklu, Y., (2008). Mikrokapsüllenmiş Faz değiştiren maddelerde termal enerji depolama ile binalarda enerji tasarrufu, Çukurova Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Kimya Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- [17] Zalewski,L., Joulin, A., Lassue, S., Dutil,Y., Rouse, D.,(2012). Experimental study of small-scale solar wall integrating phase change material.
- [18] Fiorito, F., (2012). Trombe walls for lightweight buildings in temperate and hotclimates. exploring the use of phase change materials for performances improvement, *Energy Procedia*, **30**, 1110 - 1119.
- [19] Diaconu, B.M., Cruceru, M., (2010). Novel concept of composite phase change material wall system for year-round thermal energy savings, *Energy and Buildings*, **42**, 10, 1759-1772.
- [20] Guarino, F., Dermardiros, V., Chen,Y., Rao, J., Athienitis,A., Cellura, M., Mistretta, M., (2015). PCM thermal energy storage in buildings: experimental study and applications, *Energy Procedia*, **70**, 219 - 228.
- [21] Panayiotou, G.P.,Kalogirou, S.A., Tassou, S.A., (2016), Evaluation of the application of phase change materials (PCM) on the envelope of a typical dwelling in the mediterranean region, *Renewable Energy*, **97**,24-32.
- [22] Laaouatni, A., Martaj, N., Bennacer, R., Mohamed Mohammed, E.O., Ganaoui, E., (2017). Phase change materials for improving the building thermal inertia, *Energy Procedia*, **139**, 744-749.
- [23] Wu, Z., Chen, M.Q.Z., (2017). Phase change humidity control material and its application in buildings, *Procedia Engineering*, **205**, 1011-1018.
- [24] Ramakrishnan, S., Wang, X., Sanjayan, J., Wilson, J., (2016). Experimental and numerical study on energy performance of buildings integrated with phase change materials, *Energy Procedia*, **105**, 2214 - 2219.
- [25] Han, Y., Taylor, J.E., (2015). Simulating the impact of phase change material embedded building envelopes on the inter-building effect in non-tropical cities, *Procedia Engineering*, **118**, 760 - 765.
- [26] Nazi,W.I.W.M., Wang,Y., Chen,H., Zhang,X., Roskilly,A.P., (2017). Passive cooling using phase change material and insulation for high-rise office building in tropical climate, *Energy Procedia*, **142**, 2295-2302.
- [27] Li, Y., Darkw, J., Su, W., (2019). Investigation on thermal performance of an integrated phase change material blind system for double skin façade buildings, *Energy Procedia*, **158**, 5116-5123.

- [28] Auzeby, M., Wei, S., Underwood, C., Chen, C., Ling, H., Pan, S., Ng, B., Tindall, J., Buswell, R., (2017). Using phase change materials to reduce overheating issues in UK residential buildings, *Energy Procedia*, **105**, 4072 – 4077.
- [29] Mols, T., Dzene, K.P., Vanaga, R., Freimanis, R., Blumberga, A., (2018). Experimental study of small-scale passive solar wall module with phase change material and fresnel lens, *Energy Procedia*, **147**, 467–473.
- [30] Li, Y., Liang, W., Zhou, J., Long, E., (2017). Experimental Study On Thermal performance improvement of building envelopes integrated with phase change materials in an air-conditioned room, *Procedia Engineering*, **205**, 190–197.
- [31] Guarino, F., Cellura, S.L.M., Mistretta, M., La Rocca, V., (2015). Phase change materials applications to optimize cooling performance of buildings in the mediterranean area: a parametric analysis, *Energy Procedia*, **78**, 1708 – 1713.
- [32] Li, Y., Wang, Y., Meng, X., Wang, M., Long, E., (2015). Research on indoor thermal environment improvement of lightweight building integrated with phase change material under different climate conditions, *Procedia Engineering*, **121**, 1628 – 1634.
- [33] Bejan, A.S., Catalina, T., (2016). The implementation of phase changing materials in energy efficient buildings. case study: efdn project, *Energy Procedia*, **85**, 52 – 59.
- [34] Ma, Q., Fukuda, H., Wei, X., Hariyadi, A., (2018). Optimizing energy performance of a ventilated composite trombe wall in an office building, *Renewable Energy*, **134**, 1285-1294.
- [35] Meng, E., Yu, H., Zhou, B., (2017). Study of the thermal behavior of the composite phase change material (fdm) room in summer and winter, *Applied Thermal Engineering*, **126**, 212–225.
- [36] Soudian, S., Berardi, U., (2017). Experimental investigation of latent thermal energy storage in highrise residential buildings in Toronto, *Energy Procedia*, **132**, 249–254.
- [37] Xie, J., Wang, W., Liu, J., Pan, S., (2018). Thermal performance analysis of fdm wallboards for building application based on numerical simulation, *Solar Energy*, **162**, 533–540.
- [38] Li, S., Zhu, N., Hu, P., Lei, F., Deng, R., (2019). Numerical Study On Thermal Performance Of PCM Trombe Wall, *Energy Procedia*, **158**, 2441–2447.
- [39] Sajjadian, S.M., Lewis, J., Sharples, S., (2015). The potential of phase change materials to reduce domestic cooling energy loads for current and future UK climates, *Energy and Buildings*, **93**, 83–89.
- [40] Principi, P., Di Perna, C., Borrelli, G., Carbonari, A., (2005). Experimental energetic evaluation of changeable thermal inertia fdm containing walls, 482th International Conference “Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment, Santorini, Greece.
- [41] Schossig, P., Henning, H.-M., Gschwander, S., Hausmann, T., (2005). Microencapsulated phase-change materials integrated into construction materials, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **89** (2–3), 297–306.
- [42] Zhou, D., Zhao, C.Y., Tian, Y., (2012). Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications, *Applied Energy*, **92**, 593–605.
- [43] Soares, N., Costa, J.J., Gaspar, A.R., Santos, P., (2013). Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings’ energy efficiency, *Energy and Buildings*, **59**, 82-103.
- [44] Karaoulis, A., (2017). Investigation of energy performance in conventional and lightweight building components with the use of phase change materials (PCMs): energy savings in summer season, *Procedia Environmental Sciences*, **38**, 796 – 803.
- [45] Köse, E., Manioğlu, G., (2018). Evaluation of the performance of phase change materials in relation to balanced distribution of heating energy cost in residential buildings, 13th International HVAC+R Technology Symposium.
- [46] Mays, A.I., Ammar, R., Hawa, M., Farouk, M.A.A., (2017). Using phase change material in under floor heating, *Energy Procedia*, **119**, 806–811.
- [47] Alama, M., Sanjayan, J., Patrick, X.W., Ramakrishnan, Z.S., Wilson, J., (2016). A Comparative study on the effectiveness of passive and free cooling application methods of phase change materials for energy efficient retrofitting in residential buildings, *Procedia Engineering*, **180**, 993 – 1002.
- [48] Knowles, T., (1983). Proportioning composites for efficient thermal storage walls, *Solar Energy*, **31**, 3, 319-326.
- [49] Farid, M.M., Khudhai, A.M., Ali, S., Razack, K., (2004). A review on phase change energy storage: materials and applications, *Energy Conversion and Management*, **45**, 1597–1615.
- [50] Cui, Y., Xie, J., Liu, J., Pan, S., (2015). Review of phase change materials integrated in building walls for energy saving, *Procedia Engineering*, **121**, 763 – 770.
- [51] <https://www.altensis.com/hizmetler/designbuilder-software/>
- [52] Cellat, K., (2017). Binalarda enerji tasarrufu için güneş enerjisini faz değiştiren maddede pasif depolayan yeni beton karışımların geliştirilmesi ve uygulanması, Çukurova Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Kimya Anabilim Dalı Doktora Tezi.



- [53] Farid, M.M., Khudhair, A.M., Razack, S.A.K., Al-Hallaj, S., (2004). A review on phase change energy storage: materials and applications, *Energy Conversion and Management*, **45**, 1597–1615.
- [54] Velraj, R., Pasupathy, A., Phase change material based thermal storage for energy conservation in building architecture, <https://www.researchgate.net/publication/228823294>, 2006.
- [55] Madessa, H.B., (2014). A review of the performance of buildings integrated with phase change material: opportunities for application in cold climate, *Energy Procedia*, **62**, 318 – 328.
- [56] Navarro, L., Garcia, A.D., Solé, C., , Castell, A., Cabeza, L.F., (2012). Thermal loads inside buildings with phase change materials: experimental results, *Energy Procedia*, **30**, 342 – 349.
- [57] Hanchi, N., Hamza, H., Lahjomri, J., Oubarra, A., (2017). Thermal behavior in dynamic regime of a multilayer roof provided with two phase change materials in the case of a local conditioned, *Energy Procedia*, **139**, 92–97.
- [58] Cao, V.D., Pilehvar, S., Salas-Bringas, C., Szczotok, A.M., Rodriguez, J.F., Carmona, M., Al-Manasir, N., Kjøniksen, A.L., (2017). ). Microencapsulated Phase Change Materials For Enhancing The thermal performance of portland cement concrete and geopolymer concrete for passive building applications, *Energy Conversion and Management*, **133**, 56–66.
- [59] Pisello, A.L., Castaldo, V.L., Cotana, F., (2015). Dynamic thermal-energy performance analysis of a prototype building with integrated phase change materials, *Energy Procedia*, **81**, 82 – 88.



Research Article

## Consolidation settlement calculation and examination of the foundation settlements with finite elements method, example of Batman city Gültepe bridge

Veysel Köylü<sup>1,\*</sup>, Nuray Alpaslan<sup>1</sup>, Veysel Süleyman Yavuz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Batman University, Institute of Science, Department of Geology Engineering, Batman, vkoylu72@gmail.com, ORCID iD: 0000-0003-2154-4560

<sup>1</sup> Batman University, Department of Civil Engineering, Batman, nuray.alpaslan@batman.edu.tr, ORCID iD: 0000-0001-6430-1222

<sup>2</sup> Siirt University, Department of Civil Engineering, Siirt, vsyavuz@siirt.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-5867-7677

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 1 December 2020  
Received in revised form 28  
January 2021  
Accepted 28 January 2021  
Available online 30 March 2021

#### Keywords:

Bridge, consolidation settlement,  
finite elements methods, foundation  
settlement, PLAXIS

### ABSTRACT

In this study, geological and geotechnical studies were carried out on the soil of a bridge built in 2015 in the Gültepe District of Batman City, located in southeastern Turkey, to perform the foundation settlement calculation. For this purpose, four foundation boreholes were drilled to determine the engineering parameters of the soil, and triaxial pressure and consolidation tests were carried out on the obtained samples. The consolidation settlement calculation was made in accordance with these parameters. Using the same data, numerical analysis was performed with PLAXIS V.8.2 (Finite Element Code for Soil and Rock Analyses), a two-dimensional finite element package program. The consolidation settlement value was calculated by performing dynamic analysis based on time in the computer software. The settlement value was determined to be 1.70 cm after the analysis, and it was evaluated by correlating with the consolidation settlement analysis results made according to Bowles (1988). Consolidation settlement calculations and finite element package program analyses gave similar results. We observed liquefaction risk and settlements in the structures with shallow foundations in the residential zone near the study area since the soils in the study area consist of silty sand of 5-10 meters and have groundwater. The Bored Pile technique, which is one of the soil improvement methods, was applied and discussed in order to determine the geological problems in the study field.

Doi: 10.24012/dumf.834478

\* Corresponding author  
Veysel Köylü  
✉ vkoylu72@gmail.com

## Introduction

Soil has a heterogeneous structure; however, it can show changes on the meter or even centimeter scale. Soil is important in terms of being used as a building material and carrying the weights of engineering structures, such as buildings, bridges, roads and dams.

In designing and making stability calculations of big structures, such as bridges, it has become mandatory to determine the physical and mechanical properties of the foundation and the materials being used, as well as understanding the deformations developed against the forces on the charge [1]. The most prevalent factors in the settlement and collapse of bridges are as follows: the wear of the slope and the pier foundations, sliding of the slope and pier foundations, washing of the slope and pier foundations, deformation of the foundation, overloading the bridge, receiving more flood waters than expected, earthquakes, and poor calculation of the wind effects on suspension bridges. Therefore, it is quite important to consider settlements under the stress effect, which is transferred to the foundation soil in the design of engineering structures, such as bridge piers. Settlements formed beneath the structures, especially different settlements, may have negative effects on the structural behavior [2].

Soil is a non-homogeneous and anisotropic material. PLAXIS (static, dynamic stress analysis, and modeling program) is a finite element program that can be used for examining soil behavior. Many researchers conducted studies using the PLAXIS program. Brinkgreve et al. [3] used the two-dimensional PLAXIS 2D (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis) software, which is based on the finite element method. Deformation analysis of different foundation types that settle on the soil can be performed with this program. Sert et al. [4] used the "Sensitivity Analysis and Parameter Change" option of the PLAXIS 2D software, which has been developed for analysis with the finite element method. In the models they obtained, they observed that the cohesion value in the clay had a greater impact on the results than the elasticity modulus of the shear resistance angle in the sand. There are many studies in the literature conducted with the PLAXIS program [5-7]. Enkhtur et al. [8] made settlement calculations by using three different numerical

analyses in their study on the numerical analysis of the shallow foundation settlement. Mısır and Laman [9] examined the load bearing capacities of the circular foundations that settle on the granular filling layer built on remolded clayey soil with laboratory model experiments. They observed that the experimental data was in harmony by comparing the experimental data with an analytical relation.

## Geology

Batman is located in the southeast of the Diyarbakır region between the Raman and Kırâ Mountains (Figure 1). When the geological features of Batman province are examined, it is seen that ophiolitic rocks and sliced metamorphic rocks belonging to the Eurasian plate are located in the north of the Bitlis-Zagros Suture Zone (BZSZ) [10]. The oldest unit observed in Batman province and its surroundings is the Hoya Formation of the Midyat Group consisting of a sparsely argillaceous limestone level, limestone, dolomitic limestone, and dolomites of Lower Eocene-Lower Oligocene age; it is covered by the Germik Formation, consisting of locally dolomitic limestone and argillaceous limestone of Oligocene age, and it is followed by the Şelmo Formation of Middle-Upper Miocene age, consisting of conglomerate, sandstone, and mudstone. The Quaternary basalts forming Kırâ Mountain are on the Şelmo Formation; the Quaternary units consisting of alluviums are on the surface of the Batman River Valley and the surroundings of Batman (Figure 2). The Şelmo Formation is located in the city center of Batman and forms a large part of the study area [11]. This formation of Upper Miocene age consists of alternations of conglomerate, sandstone, siltstone, shale, and marl. The layer slopes of the Şelmo Formation in the region where sedimentation occurs in a fluvial and delta environment have directions and angles of short distances. This is due to the folds and strike-slip faults that occur as a result of tectonic events. Lithologically, it consists of alterations of pink, red, and brown coarse-grained, thick-bedded conglomerate with polygenic elements; sandstone with white and gray coarse-grained, thin, and indistinct bedding, with poorly cemented and polygenic elements; dirty yellow siltstone; white and light gray shale; light gray and yellowish marl and dark-greenish gray thin

shale; and conglomerate containing yellowish-greenish gray sandstones [12-15].

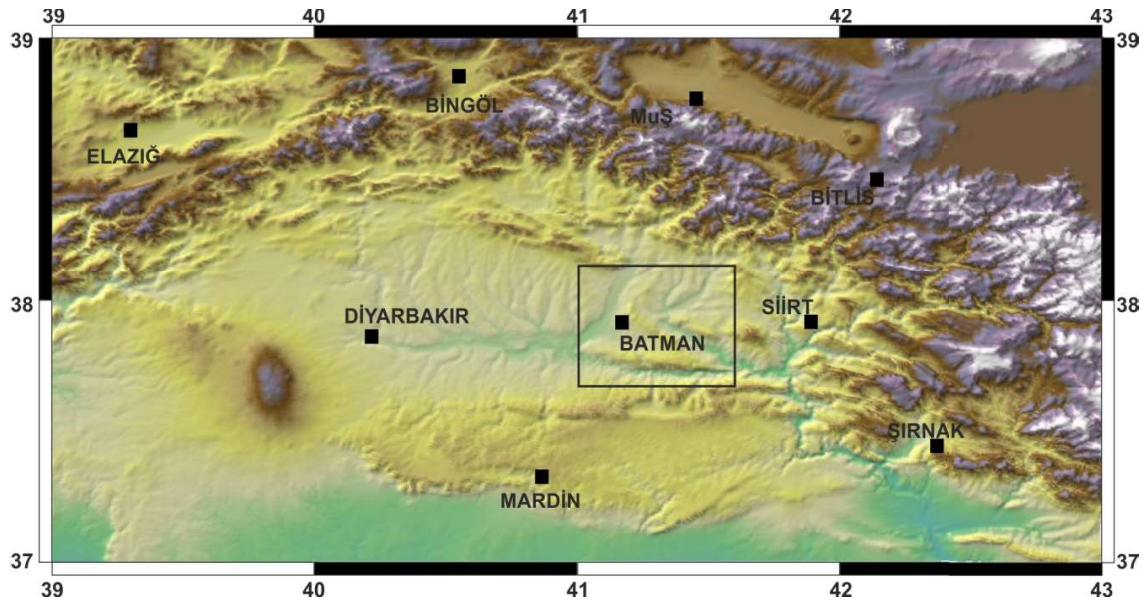


Figure 1. Survey site location

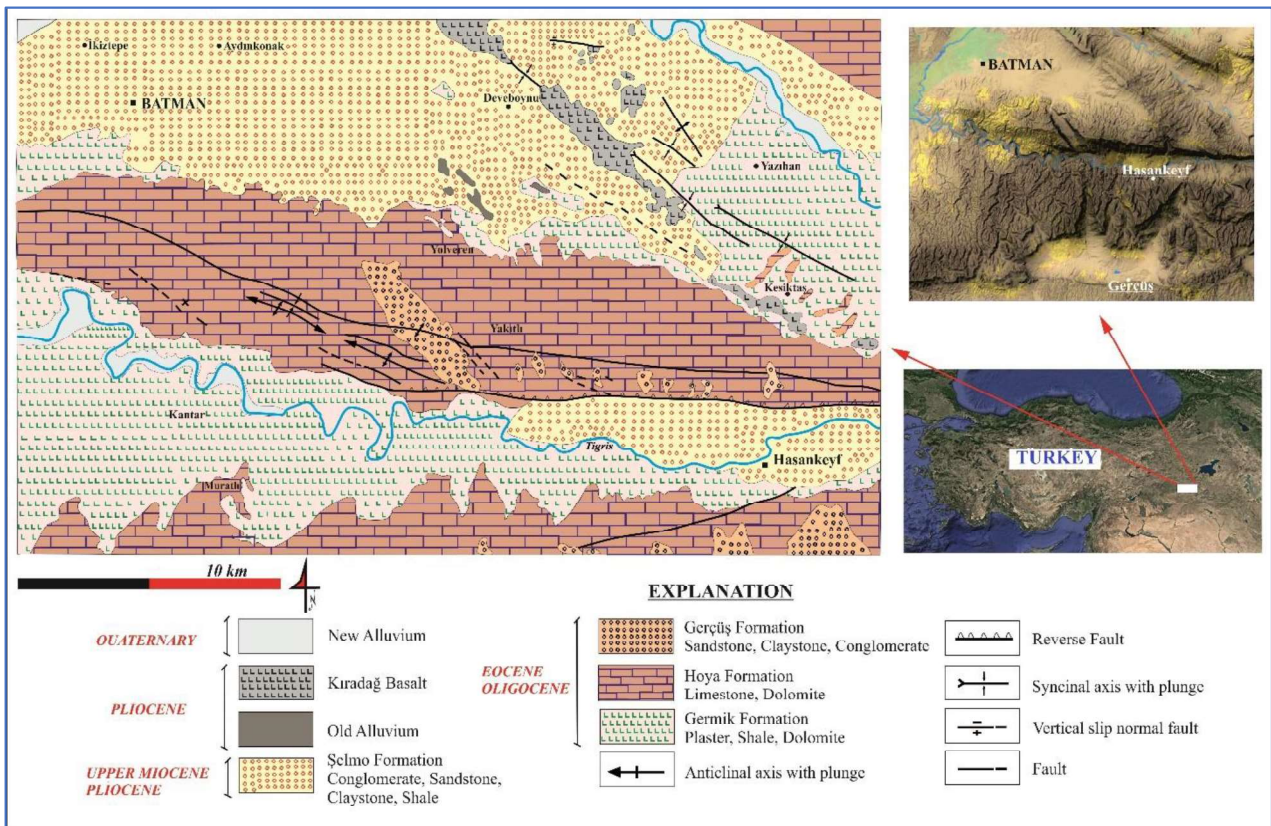


Figure 2. Geological map of Batman City (modified from The Institute of Mineral Research and Exploration (MTA) 1:500.000 scale geological map, [10])

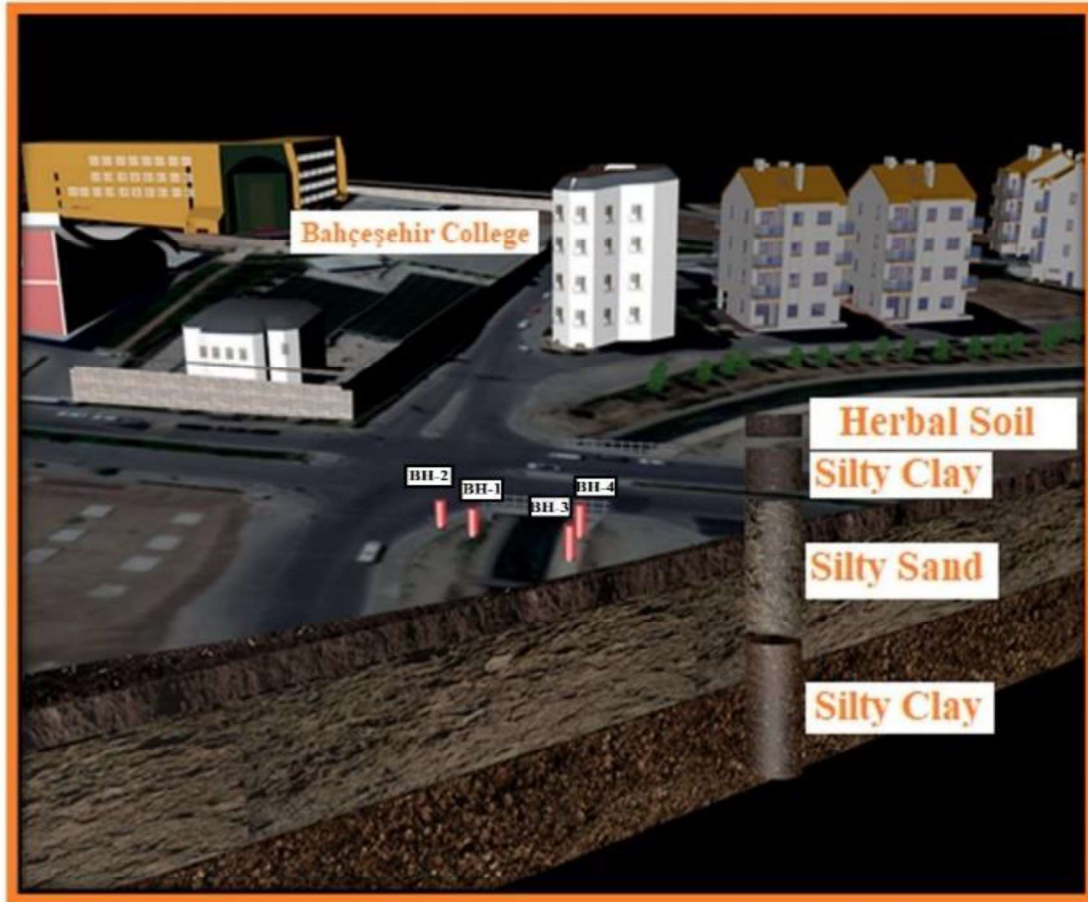


## Materials and methods

### Materials

In this study, four foundation boreholes (BH) were drilled to a total depth of 80 m in order to

determine the geological characteristics of the soil during the field surveys carried out at the Gültepe bridge, which is located in Batman city center (Figure 3).



*Figure 3. Three-dimensional view of the study area*

The dominant lithology of the study area is weathered claystone, in which siltstone and sandstone levels take the form of lenses. Batman City is at a risky position for settlement because most of the settlements in the city have been built on alluvium. In the area where the city was founded and the basin behind it, most of the lithological structure is clayey and impermeable

(Figure 4a). In the drilled foundation boreholes, consolidated and brownish silty clay with low inorganic plasticity was observed between 0.5 and 5 m. Silty sand was observed between 5-10 m. Consolidated and brownish silty clay with low inorganic plasticity was observed between 10-20 m (Figure 4b).

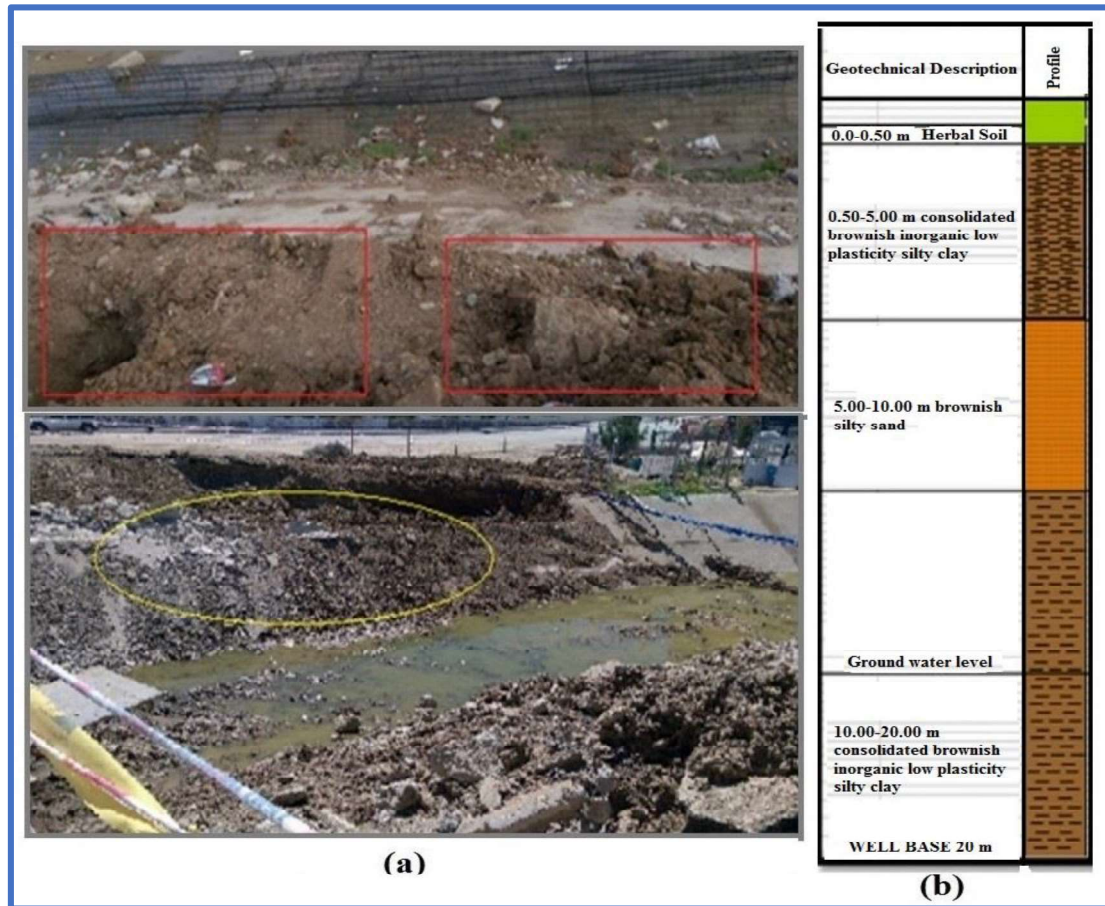


Figure 4. a) Soil appearance b) soil profile in the study area

In order to determine the carrying capacity of the units in the study area, calculations were made using the data obtained from a triaxial compression strength test carried out in the laboratory on the samples taken from the borehole. According to this, the ultimate bearing capacity for the shallow foundations is calculated using the Terzaghi and Peck [16] relation. Table 1 shows the results of the triaxial test. If we

determine that the local sliding fracture will occur within the soil (in soft or close-to-soft, in loose or close-to-loose soil), maximum bearing capacity should be reduced. This reduction is made by scaling down the cohesion and internal friction angle by 2/3. In order to achieve the best results for important areas and areas that have been exposed to natural disasters, cohesion (c) kg/cm<sup>2</sup> is multiplied by 2/3 [16].

Table 1. Results of the triaxial compression test

Borehole N.	Depth (meters)	Cohesion (c) kg/cm <sup>2</sup>	Internal Friction Angle ( $\phi^\circ$ )	Natural density (g/cm <sup>3</sup> )
BH-1	2.00	0.52	7	1.920
BH-1	4.50	0.55	7	1.934
BH-2	2.00	0.57	8	1.938
BH-2	4.50	0.54	8	1.929
BH-3	2.00	0.50	8	1.925
BH-3	4.50	0.53	7	1.942
BH-4	2.00	0.52	7	1.934
BH-4	4.50	0.54	7	1.940



**Methods**

In this study, the parameters required to perform the settlement calculation were determined as a result of the consolidation tests. The consolidation settlement calculation was made within the study using the equation Bowles [17] below.

$$S_c = m_v \cdot H \cdot \Delta\sigma' \tag{1}$$

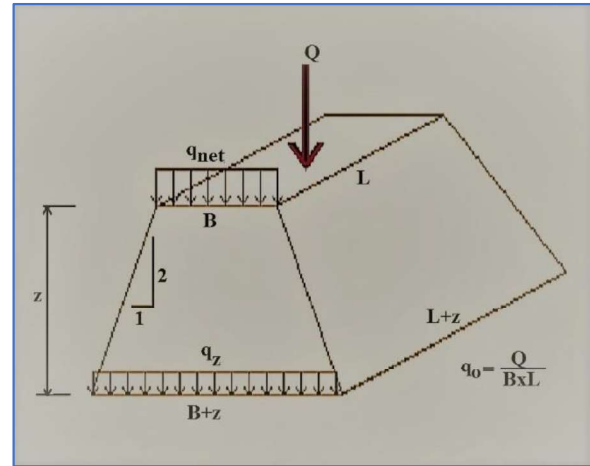
In this equation,  $S_c$  symbolizes the consolidation settlement amount of the stratum,  $\Delta\sigma'$  is the effective stress increase in the middle of the stratum due to loading,  $m_v$  refers to the coefficient of volume compressibility, and  $H$  is the thickness of the clay stratum.

Analysis based on the stress distribution was conducted in the settlement calculation of the bridge piers in the study area. The vertical (V) and horizontal (H) method was employed in the mathematical statement of the stress distribution [18] (Figure 5).

$$\Delta\sigma = \frac{q_{net} \cdot B \cdot L}{(B+Z) \times (L+Z)} \tag{2}$$

In the equation,  $q_{net}$  symbolizes net base pressure,  $B$  is the foundation width,  $L$  is the height,  $Z$  is the thickness effect, and  $\Delta\sigma$

represents the average stress increase in the soil stratum.



**Figure 5.** Vertical (V)-Horizontal (H) method [18]

**Findings**

**Results of the consolidation settlement calculation**

The settlement values for each drilling, which are calculated by using the data obtained from the boreholes in the study area, range between 12.32 and 7.090 cm. Table 2 shows the settlement values calculated according to Bowles [17] for each borehole.

**Table 2.** Settlement values calculated according to Bowles [17] for each drilling

Borehole	Depth (meters)	Mv coefficient (cm <sup>2</sup> /kgf)	Settlement (cm)
BH-1 UD1	2.00	0.0211	11.93
BH-1 UD2	4.50	0.0183	7.090
BH-2 UD1	2.00	0.0202	11.37
BH-2 UD2	4.50	0.0202	7.86
BH-3 UD1	2.00	0.0215	12.13
BH-3 UD2	4.50	0.0202	7.77
BH-4 UD1	2.00	0.0219	12.32
BH-4 UD2	4.50	0.0222	8.55

**Calculation results according to the stress distribution**

The settlement values obtained from the study area are above the allowable values. No problems are expected in terms of excavation safety at this

foundation depth. The soil, which consists of low plasticity clay (CL) and silty sand (SM) in accordance with the unified soil classification system (USCS), is not expected to cause a total and different settlement at a rate that can damage

the above-mentioned engineering structure. In the study area, settlement between 11.93 and 12.32 cm is observed at 2 m and between 7.09 and 8.55 cm at 4.5 m.

**Bridge Pier 1- Settlement at 2 m**

$$q_{excavation} = Df \cdot \gamma = 2 \cdot 19.20 = 38.4 \quad (3)$$

$$q_{net} = q_{pier} - q_{excavation} = 130 - 38.4 = 91.6 \text{ kpa} \quad (4)$$

Df = 2 m, therefore, z is taken as 1.5 since the clay stratum thickness will be 5 m and the thickness effect will be 3 m.

$$\Delta\sigma = \frac{q_{net} \cdot B \cdot L}{((B+Z) \times (L+Z))} = \frac{91.6 \times 2 \times 7.40}{(2+1.5) \times (7.40+1.5)} = 43.52 \text{ kPa} = 0.435 \text{ kgf/cm}^2 \quad (5)$$

$$S = M_v \times H \times \Delta\sigma = 0.0211 \times 1300 \times 0.435 = 11.93 \text{ cm} \quad (6)$$

**Bride Pier 1- Settlement at 4.5 m**

$$q_{excavation} = Df \cdot \gamma = 4.5 \cdot 19.34 = 87.03 \quad (7)$$

$$q_{net} = q_{pier} - q_{excavation} = 130 - 87.03 = 42.97 \text{ kpa} \quad (8)$$

Df = 4.5 m, therefore, z is taken as 0.25 since the clay stratum thickness will be 5 m and the thickness effect will be 0.50 m.

$$\Delta\sigma = \frac{q_{net} \cdot B \cdot L}{((B+Z) \times (L+Z))} = \frac{42.97 \times 2 \times 7.40}{(2+0.25) \times (7.40+0.25)} = 36.34 \text{ kPa} = 0.369 \text{ kgf/cm}^2 \quad (9)$$

$$S = M_v \times H \times \Delta\sigma = 0.1083 \times 1050 \times 0.369 = 7.090 \text{ cm} \quad (10)$$

**Bridge Pier 2- Settlement at 2 m**

$$q_{kazi} = Df \cdot \gamma = 2 \cdot 19.38 = 38.76 \quad (11)$$

$$q_{net} = q_{pier} - q_{excavation} = 130 - 38.76 = 91.24 \text{ kpa} \quad (12)$$

Df = 2 m, therefore, z is taken as 1.5 since the clay stratum thickness will be 5 m and the thickness effect will be 3 m.

$$\Delta\sigma = \frac{q_{net} \cdot B \cdot L}{((B+Z) \times (L+Z))} = \frac{91.24 \times 2 \times 7.40}{(2+1.5) \times (7.40+1.5)} = 43.34 \text{ kPa} = 0.433 \text{ kgf/cm}^2 \quad (13)$$

$$S = M_v \times H \times \Delta\sigma = 0.0202 \times 1300 \times 0.433 = 11.37 \text{ cm} \quad (14)$$

**Bridge Pier 2- Settlement at 4.5 m**

$$q_{excavation} = Df \cdot \gamma = 4.5 \cdot 19.29 = 86.80 \quad (15)$$

$$q_{net} = q_{pier} - q_{excavation} = 130 - 86.80 = 43.2 \text{ kpa} \quad (16)$$

Df = 4.5 m, therefore, z is taken as 0.25 since the clay stratum thickness will be 5 m and the thickness effect will be 0.50 m.

$$\Delta\sigma = \frac{q_{net} \cdot B \cdot L}{((B+Z) \times (L+Z))} = \frac{43.2 \times 2 \times 7.40}{(2+0.25) \times (7.40+0.25)} = 37.14 \text{ kPa} = 0.371 \text{ kgf/cm}^2 \quad (17)$$

$$S = M_v \times H \times \Delta\sigma = 0.0202 \times 1050 \times 0.371 = 7.86 \text{ cm} \quad (18)$$

**Bridge Pier 3- Settlement at 2 m**

$$q_{excavation} = Df \cdot \gamma = 2 \cdot 19.25 = 38.5 \quad (19)$$

$$q_{net} = q_{pier} - q_{excavation} = 130 - 38.5 = 91.5 \text{ kpa} \quad (20)$$

Df = 2 m, therefore, z is taken as 1.5 since the clay stratum thickness will be 5 m and the thickness effect will be 3 m.

$$\Delta\sigma = \frac{q_{net} \cdot B \cdot L}{((B+Z) \times (L+Z))} = \frac{91.5 \times 2 \times 7.40}{(2+1.5) \times (7.40+1.5)} = 43.47 \text{ kPa} = 0.434 \text{ kgf/cm}^2 \quad (21)$$

$$S = M_v \times H \times \Delta\sigma = 0.0215 \times 1300 \times 0.434 = 12.13 \text{ cm} \quad (22)$$

**Bridge Pier 3- Settlement at 4.5 m**

$$q_{excavation} = Df \cdot \gamma = 4.5 \cdot 19.42 = 87.39 \quad (23)$$

$$q_{net} = q_{pier} - q_{excavation} = 130 - 87.39 = 42.61 \text{ kPa} \quad (24)$$

Df = 4.5 m, therefore, z is taken as 0.25 since the clay stratum thickness will be 5 m and the thickness effect will be 0.50 m.

$$\Delta\sigma = \frac{q_{net} \cdot B \cdot L}{((B+Z) \times (L+Z))} = \frac{42.61 \times 2 \times 7.40}{(2+0.25) \times (7.40+0.25)} = 36.63 \text{ kPa} = 0.366 \text{ kgf/cm}^2 \quad (25)$$

$$S = M_v \times H \times \Delta\sigma = 0.0202 \times 1050 \times 0.366 = 7.77 \text{ cm} \quad (26)$$

**Bridge Pier 4- Settlement at 2 m**

$$q_{excavation} = Df \cdot \gamma = 2 \cdot 19.34 = 38.68 \quad (27)$$

$$q_{net} = q_{pier} - q_{excavation} = 130 - 38.68 = 91.32 \text{ kPa} \quad (28)$$

Df = 2 m, therefore, z is taken as 1.5 since the clay stratum thickness will be 5 m and the thickness effect will be 3 m.

$$\Delta\sigma = \frac{q_{net} \cdot B \cdot L}{((B+Z) \times (L+Z))} = \frac{91.32 \times 2 \times 7.40}{(2+1.5) \times (7.40+1.5)} = 43.38 \text{ kPa} = 0.433 \text{ kgf/cm}^2 \quad (29)$$

$$S = M_v \times H \times \Delta\sigma = 0.0219 \times 1300 \times 0.433 = 12.32 \text{ cm} \quad (30)$$

**Bridge Pier 4- Settlement at 4.5 m**

$$q_{excavation} = Df \cdot \gamma = 4.5 \cdot 19.40 = 87.30 \quad (31)$$

$$q_{net} = q_{pier} - q_{excavation} = 130 - 87.30 = 42.7 \text{ kPa} \quad (32)$$

Df = 4.5 m, therefore, z is taken as 0.25 since the clay stratum thickness will be 5 m and the thickness effect will be 0.50 m.

$$\Delta\sigma = \frac{q_{net} \cdot B \cdot L}{((B+Z) \times (L+Z))} = \frac{42.7 \times 2 \times 7.40}{(2+0.25) \times (7.40+0.25)} = 36.71 \text{ kPa} = 0.367 \text{ kgf/cm}^2 \quad (33)$$

$$S = M_v \times H \times \Delta\sigma = 0.0222 \times 1050 \times 0.367 = 8.55 \text{ cm} \quad (34)$$

**The models obtained with PLAXIS**

PLAXIS V.8.2 (Finite Element Code for Soil and Rock Analyses) [19] is computer software that has been designed to analyze and determine problems in Geotechnical Engineering, such as deformation and stability, with the finite element method, and enables the asymmetric modeling of plane deformation and soil rock behavior. Tables 3 and 4 show the characteristics of soil, bored pile, and bridge parameters for the model used.

**Table 3.** The characteristics of soil parameters

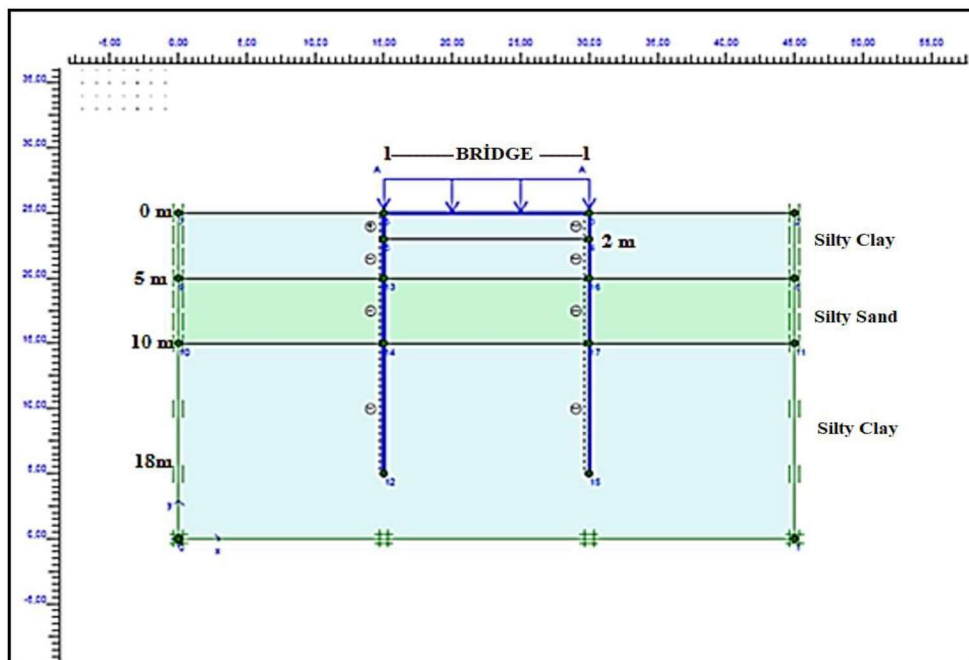
Analysis parameters of the clayey soil		
Internal friction angle	$(\phi^\circ)$	7
Soil unit weight	$\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}$	19
Cohesion	$c \text{ (kN/m}^2\text{)}$	50
Poisson ratio	$\nu$	0.30
Young's modulus	$E \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	1323.5
Analysis parameters of silty sand soil		
Internal friction angle	$(\phi^\circ)$	32
Soil unit weight	$\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}$	19
Cohesion	$c \text{ (kN/m}^2\text{)}$	5
Poisson ratio	$\nu$	0.43
Young's modulus	$E \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	2387.5

**Table 4.** The characteristics of piling, bridge, and load parameters

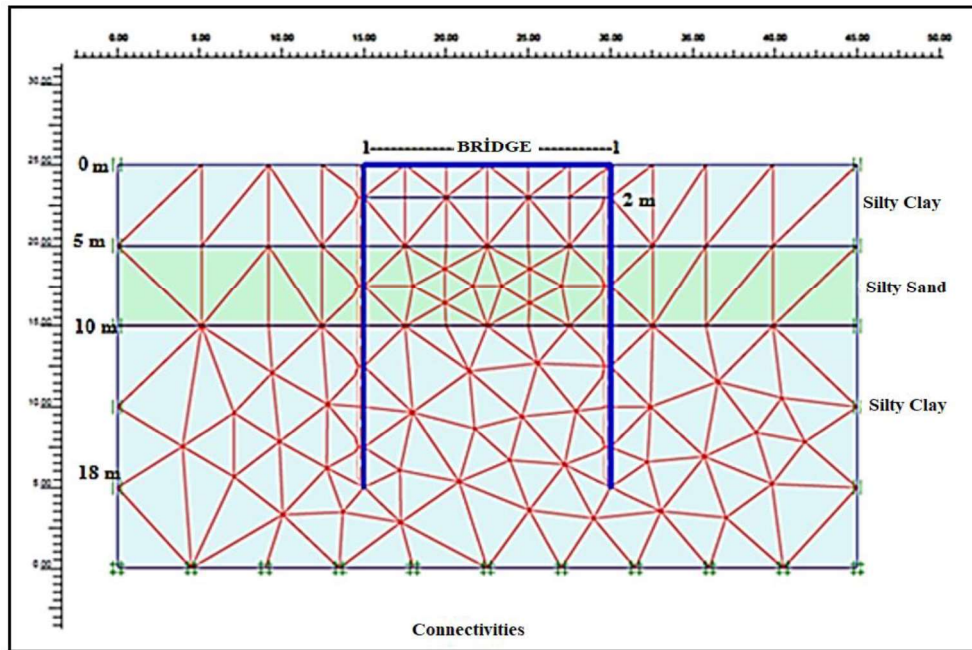
Bored pile parameters	
<b>Material type</b>	Elastic
EA (Axial stiffness)	$4.58 \times 10^6$ kN/m
EI (Bending stiffness)	83480 kNm <sup>2</sup> /m
Bridge parameters	
<b>Material type</b>	Elastic
EA (Axial stiffness)	$1.91 \times 10^6$ kN/m
EI (Bending stiffness)	34780 kNm <sup>2</sup> /m
Load	
Vertical (y)	100 kN/m <sup>2</sup>

Since PLAXIS is two-dimensional the bridge was modeled in the depth and horizontal (x) with the perspective from the irrigation channel beneath it (Figure 6). The bridge piers in the model gathered at one point as one on the right and one on the left. Bridge loads were formed according to the static loads and drainage conditions.

The model was created by using three strata at different depths. The geometry of the model includes: foundation at 0-2 m, silty clay at 0-5 m, silty sand at 5-10 m, silty clay at 10-20 m, and bored pile at 0-18 m for the analysis (Figure 6). Figure 7 shows the finite element network.



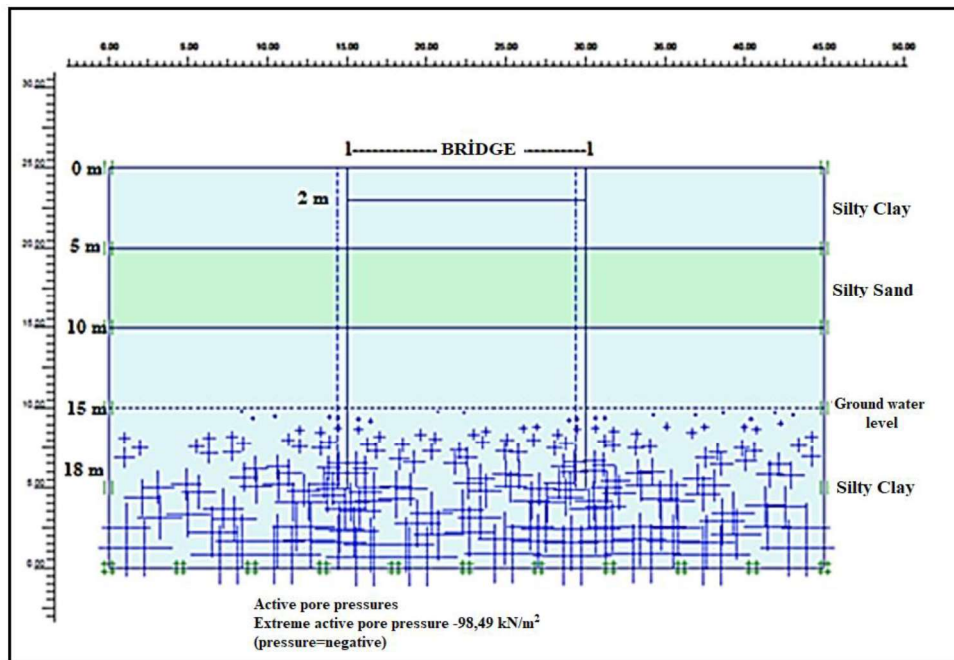
**Figure 6.** Model geometry



**Figure 7.** Finite element network

Pore water pressure increases linearly starting at the groundwater level. The capillary zone is under negative stress due to the tensile stress of water. In the drillings carried out in the survey area, the groundwater level was at 15 m. The groundwater level should be determined before carrying out the analysis in the calculation

section of PLAXIS. Therefore, the active pore water pressure stemming from the weight of the soil and its position 15 meters beneath the groundwater level were created in Figure 8, before building the bridge and bored piles.



**Figure 8.** Groundwater level

Figures 9 and 10 show the displacement vectors obtained with the analysis result conducted in PLAXIS. These are the respective total and vertical displacement vectors, and displacements are seen to intensify in the silty sand soil in between.

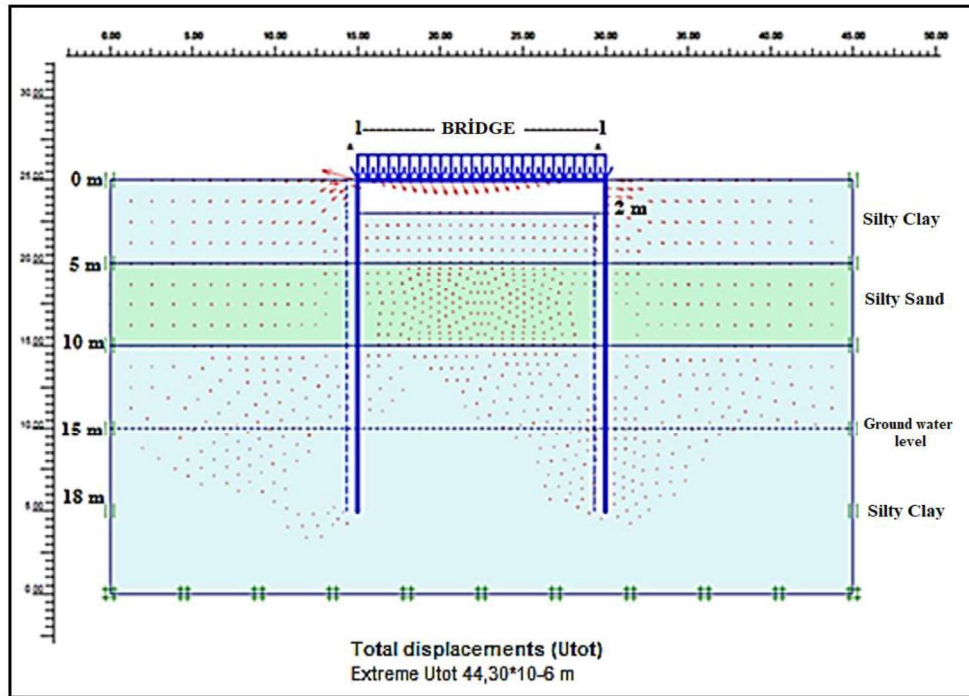


Figure 9. Total displacement vectors

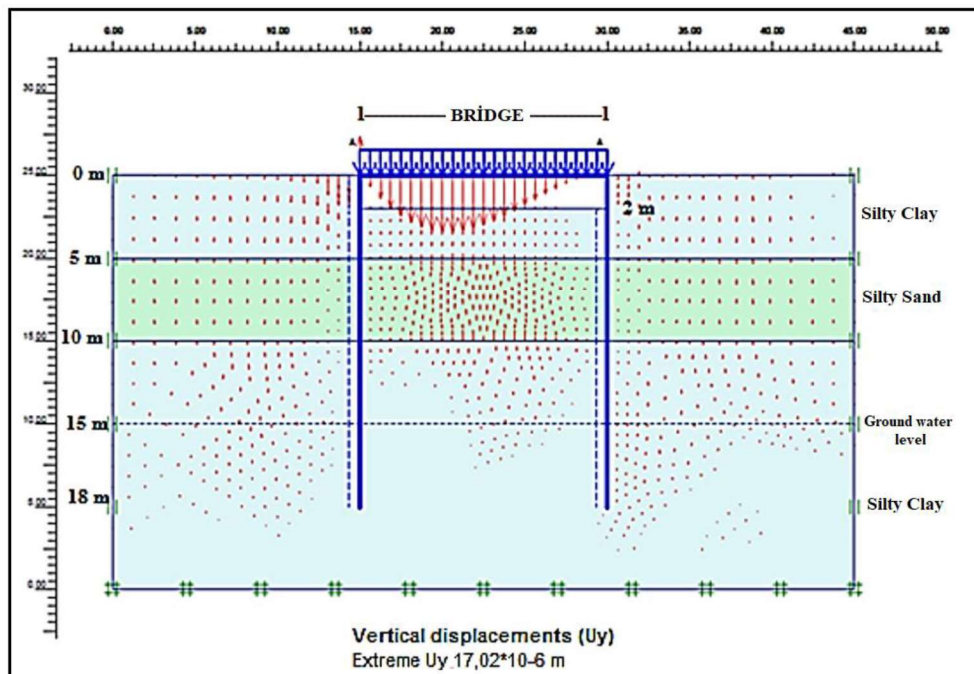


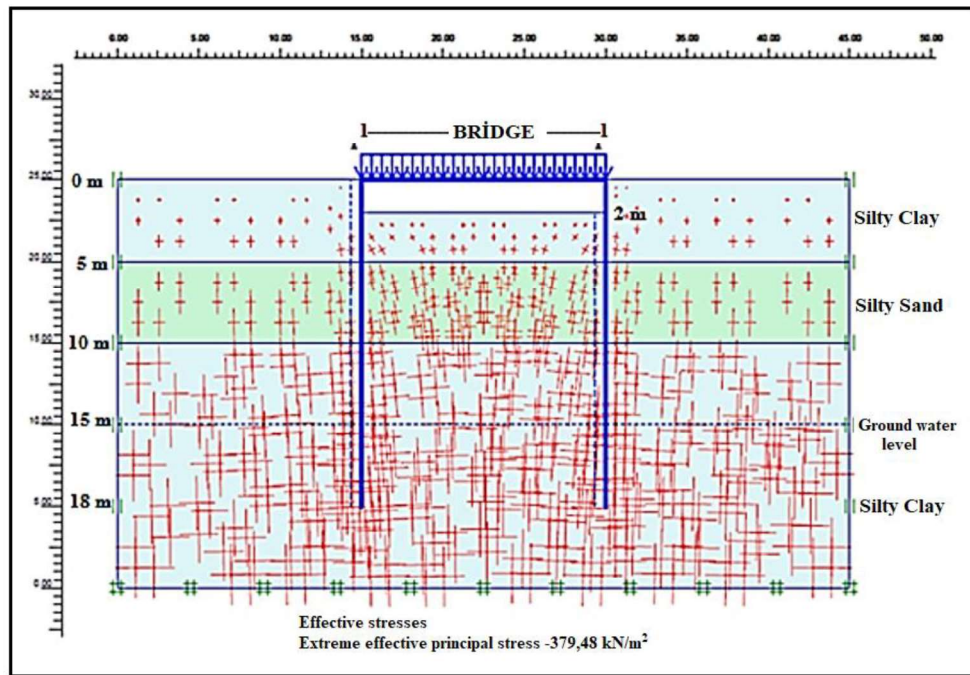
Figure 10. Vertical displacement vectors



The displacement values obtained with PLAXIS are as follows: total displacement of  $44.30 \times 10^{-6}$  m and vertical displacement of  $17.02 \times 10^{-6}$  m, and these values are negligible.

Effective stresses control the important engineering behaviors, such as compaction, shape deformation, and resistance to shear stresses of the soil. In other words, effective

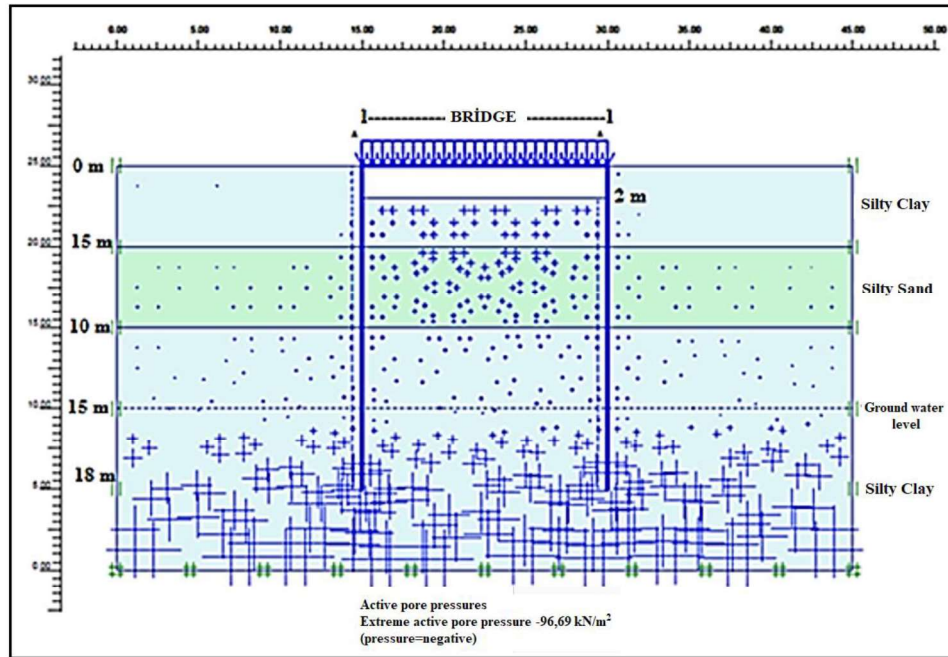
stress is affected by the pore water pressure beneath the groundwater stratum and the total vertical pressures. In the effective stresses in Figure 11, a concentration can be seen around the bored piles on the silty clay soil in the lowest stratum, and this concentration can be said to affect the silty sand soil in the upper stratum.



*Figure 11. Effective stresses*

In the bored pile technique applied in the study area, piles, bridge foundations, bridges, and bridge loads are defined in the program, and active pore water pressures occurring on the soil are also shown in Figure 12. Accordingly, it can be said that the pore water pressures from the lowest stratum of the silty clay soil to the silty sand soil with a height of 5 m between, and there

may be a risk of liquefaction in this area. During liquefaction, the pore water pressure increases between the grains that form the soil. As soon as the pore water pressure is equal to the total stress, the friction force between the grains reaches zero. Settlement problems occur in the foundation soil.



*Figure 12. Active pore water pressure*

Considering that the soil is mainly clay in the study area, it is thought that consolidation settlement analysis is necessary. The settlement value was found to be 1.70 cm in the consolidation settlement analysis conducted with the temporal dynamic analysis of PLAXIS. In accordance with the analysis results, we conclude that the structure does not have an issue in terms of settlement. The low pebbly clay level in the study area is the unit where the foundation will settle, and soil improvement methods are required for construction. Therefore, bored pile technique was applied in the area as a soil

improvement method. Figure 13 shows the three-dimensional view of the bored pile technique applied in the area and each Bored Pile has an 80 cm diameter and is 18 m in length. Excavation was primarily made at the building site in the study area, followed by the manufacturing of a total of 40 bored piles, each of which are 80 cm in diameter, 1800 cm in length, and 150 cm apart. Then, the building was completed after making the column footing, calculating the vehicle loads, and the design process.



*Figure 13. Three-dimensional view of the bored pile application in the study area*

## Conclusions

Four foundation boreholes were drilled in order to determine the lithological and geological conditions of the soil, as well as the engineering parameters in the Batman city Gültepe location. During the drilling of the borehole, assessments were made with the upper and lower depths of the soil strata, sampled levels, groundwater level, and all other observations. Settlements and stresses occurring at the base of the bridge legs in the study area were determined using the PLAXIS computer software, and the models created were correlated according to the geological data. Since the groundwater level is deeper than the foundation level, its impact on our foundation is not considered. However, the groundwater poses a risk to the liquidity of the sandy soil unit between 5 and 10 m depth. A settlement analysis was also conducted with PLAXIS, and this settlement value almost supported the consolidation settlement results. In the settlement calculation of the structure to be built (according to USCS class), the soil consisting of low plasticity clay (CL) and silty sand (SM) is not expected to cause a total and different settlement at a rate that can damage the above-mentioned engineering structure. Due to the fact that the soil consists of 5-10 m of silty sand in the study area, there is a risk of liquefaction due to the presence of groundwater, and settlements are observed in structures with

shallow foundations in residential areas close to the study area, bored piling, which is one of the soil improvement techniques, was applied for the proposed bridge.

## References

1. B. Canik, Engineering Geology Lecture Notes, Ankara: Ankara University Faculty of Science Department of Geology Engineering, 1997.
2. M. Yıldırım and E. Gökaşan, Geology Information for Engineerings, Expanded 2nd Edition, İstanbul: Yıldız Teknik University Publishing, 2013.
3. R. B. J. Brinkgreve, W. Broere, and D. Waterman, PLAXIS Finite Element Code for Soil and Rock Analysis. 2d –Version 8.6., The Netherlands: Delft University of Technology & Plaxis, 2004.
4. S. Sert, A. Önalp and E. Arel, “Effect of Change in Soil Properties on Results in Numerical Analysis”, Thirteenth National Congress of Soil Mechanics and Foundation Engineering, İstanbul Kültür University, İstanbul, 471-482, (2010).
5. E. Subaşı, B. İkizler, G. Demir, Z. Angın and A. Kayahan, “An Evaluation on Landslides (Example of Rize Province)”, Fourteenth National Congress of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Süleyman Demirel University, Isparta, 337-346, (2012).
6. S. N. Keskin, and A. Cengizhan, “Comparison of the Traditional Method and Finite Element Method in Basic Settlement Calculations”, Journal of Engineering Sciences and Design, vol. 7, no 1, pp. 136-144, 2019.

7. Ş. Adatepe, A. Gökalp and R. Düzceer, "Performance of Different Braces in a Deep Excavation Application in Istanbul Graywackes", Fourteenth National Congress of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Süleyman Demirel University, Isparta, 431-442, (2012).
8. O. Enkhtur, T. D. Nguyen, J. M., Kim and S. R. Kim, "Evaluation of Settlement Influence Factors of Shallow Foundation by Numerical Analyses", KSCE Journal of Civil Engineering, vol. 17, no 1, pp. 85-95, 2013.
9. G. Mısır and M. Laman, "Examination of Circular Foundations on Stratified Soils by Tests and Analytical Method", Çukurova University Faculty of Engineering and Architecture Journal, vol. 30, no 19, pp. 249-256, 2015.
10. M. Sunkar and S. Tonbul, "Geomorphology Iluh Stream of River Basin Batman, Istanbul University Faculty of Literature Department of Geography, Journal of Geographical, vol. 24, pp. 38-60, 2013.
11. Y. Eren, M. T. Nalbantçılar, T. Beyaz, S. Dinç, M. Ünal, Ş. Arslan and S. Polat, "Tectonism of Esentepe (Gültepe/Batman) Hole", Batman University Journal of Life Sciences, vol. 1, no 2, pp. 385-394, 2012.
12. T. Bolgi, "V. Petrol Region Section Measurements Structural Studies between the Field Numbered AR/TPO/261 and the Field West of Reşan-Dodan", Turkish Petroleum Corporation Research Group, Report No: 162, Ankara, (1961).
13. D. Tuna, "Explanatory Report of Lithostratigraphic Units in Region IV", TPAO Search Group, Archive No. 813, (1973).
14. D. Perinçek, "The Geological Examination of Çelikhhan-Sincik-Koçali (Adıyaman) Area", TPAO Search Group, Report No: 1395, (1979).
15. Y. Yılmaz, "The Tectonics of Amonos Mountains", TPAO Search Group, Report No: 1653, Ankara, (1982).
16. K. Terzaghi and R. B. Peck, Soil Mechanics in Engineering Practice, New York: John Wiley & Sons, 1948.
17. J. E. Bowles, Foundation Analysis and Design, 4th Edition, Singapore: McGrawHill, 1988.
18. B. H. Fellenius, Basics of Foundation Design Electronic, Vero Beach: Pile Buck International Inc., 2019.
19. R. B. J. Brinkgreve, "Plaxis Finite Element Code for Soil and Rock Analysis, 2d Version 8.2", 2002.



## Araştırma Makalesi / Research Article

GAP YENEV Binasının Kısmi Göçmesinin İncelenmesi ve Güçlendirme Çalışmaları  
*Investigation of the Collapse of the Gap Yenev Building and the Strengthening Studies*Recep K. Pekgökgöz<sup>1</sup>, M. Arif Gürel<sup>2</sup>, Fatih Avcıl<sup>3</sup><sup>1,2</sup> Harran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa. recepkdir@harran.edu.tr, agurel@harran.edu.tr<sup>3</sup> Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis. favcil@beu.edu.tr

## MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*Geliş: 7 Aralık 2020  
Düzelme: 22 Ocak 2021  
Kabul: 22 Ocak 2021*Anahtar kelimeler:*Konsol dşeme, Yük analizi,  
Güçlendirme, Sonlu elemanlar  
yöntemi

## ÖZET

Yapılar ekonomik ömürleri boyunca tasarım veya inşa aşamasında yapılan hatalardan dolayı bazen kısmen, bazen de tamamen göçme durumuyla karşılaşabilmektedir. Kısmen veya tamamen yıkılan binaların incelenmesi ve çökme nedenlerinin araştırılması ile mühendisler için pek çok değerli bilgi ortaya çıkmıştır. Bu bilgi birikimi mühendisler için yeni inşa edilecek yapılarda tasarım ve imalat aşamasında dikkat edilmesi gereken noktalar konusunda bir rehber özelliği taşımaktadır. Harran Üniversitesi Osmanbey yerleşkesinde yer alan Güney Doğu Anadolu Projesi, Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Ar-Ge Merkezi (GAP YENEV) binasının inşası sırasında konsol dşeme sisteminde kısmen bir göçme olayı oluşmuştur. Can kaybı yaşanmadan atlantılan bu olay, inşaatın belli bir süre durmasına ve maddi kayıplara neden olmuştur. Bu çalışmada, söz konusu konsol dşemenin çökme nedenleri araştırılmıştır. Yapılan inceleme ve analizler neticesinde yapının mevcut yük durumuyla, onaylı betonarme uygulama projesindeki yük analizlerinin birbirleriyle örtüşmediği görülmüştür. Bu durum göçme olayının, yapının hem proje aşamasında hem de imalat aşamasında yapılmış olan ciddi hatalar neticesinde gerçekleştiğini ortaya koymuştur. ABAQUS programı ile binanın birim genişliğindeki konsol yapısı, olması gerektiği gibi ve mevcut haliyle modellenip analiz edilerek moment taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Analizler, konsol dşemenin mevcut halindeki moment kapasitesinin, olması gereken kapasiteden oldukça düşük olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmanın son bölümünde yapı üzerinde gerçekleştirilen güçlendirme çalışmaları anlatılmıştır. Yapının hem göçme nedenleri araştırılırken hem de güçlendirme çalışmaları sırasında birçok değerli bilgi edinilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.836954

## ARTICLE INFO

*Article history:*Received: 7 December 2020  
Revised: 22 January 2021  
Accepted: 22 January 2021*Keywords:*Cantilever slab, Load analysis,  
Structural strengthening, Finite  
element method

## ABSTRACT

During their economic lifetime, buildings may face partial and sometimes complete collapse due to errors made during the design or construction phase. With the examination of partially or completely collapsed buildings and investigating the reasons for the collapse, a lot of valuable information has emerged for engineers. This knowledge is a guide for engineers about the points to be considered during the design and manufacturing phase of new buildings. During the construction of the South East Anatolia Project, Renewable Energy and Energy Efficiency R&D Center (GAP YENEV) building located in the Osmanbey campus of Harran University, a partial collapse occurred in the cantilever flooring system. This event, which was overcome without loss of life, caused the construction to stop for a certain time and financial losses. In this study, the reasons for the collapse of the mentioned cantilever slab were investigated. As a result of the examinations and analyses made, it has been observed that the current load situation of the building and the load analysis in the approved reinforced concrete application project do not coincide with each other. This situation revealed that the collapse occurred because of serious mistakes made during both the project phase and the manufacturing phase of the building. With the ABAQUS program, the unit-width cantilever of the building was modeled and analyzed both as it should be and in its current form, and its moment carrying capacities were compared. The analysis revealed that the current moment capacity of the cantilever slab was considerably lower than the capacity it should have been. In the last part of the study, the strengthening works carried out on the building are explained. A lot of valuable information was obtained both while investigating the reasons for the collapse of the building and during the retrofitting works.

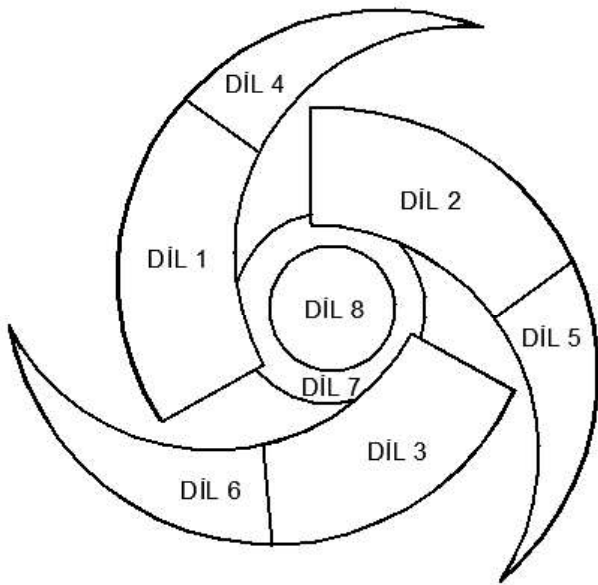
\* Sorumlu yazar / Correspondence  
Recep K. PEKGÖKGÖZ  
✉ recepkdir@harran.edu.tr



## Giriş

Mühendislik yapıları, yapımları sırasında veya sonrasında yaralanmalara ve ölümlere neden olan, kısmen veya tamamen göçmelere sıklıkla maruz kalırlar. Bireysel elemanların imalat hatalarını da içeren bu gibi istenmeyen olaylar büyük ekonomik kayıplara ve önemli inşaat gecikmelerine de neden olur. Yapım süreci içerisinde inşaatın ilerlemesini birçok faktör etkilemektedir. Bu etkileri değerlendirmek üzere “yapım aşaması analizi” olarak adlandırılan bir bilim dalı gelişmiştir. Bununla birlikte, insan hatasının ortaya çıkması ve beklenmedik tetikleyici olaylar, başarısızlık önleme stratejilerini etkisiz hale getirebilir. Bu nedenle yapılar projeleri onaylanmadan önce ve inşaat aşamasında sıkı kontrol edilmelidir.

Harran üniversitesi Osmanbey yerleşkesinde bulunan Güney Doğu Anadolu Projesi Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Ar-Ge Merkezi (GAP YENEV) Binasının inşasına 06.03.2015 tarihinde temeli atılarak başlanmıştır. Üç ana blok halinde inşa edilen yapı 09.01.2017 tarihinde tamamlanarak işletmeye açılmıştır. Yapının planı Şekil 1 ve kuş bakışı görünüşü Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu proje ile güneş, rüzgâr, biyogaz ve diğer yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği konularında araştırmaların yapılacağı kapsamlı laboratuvarların bulunduğu sürdürülebilir düşük enerji tüketimli merkez bir yapı oluşturulması amaçlanmıştır.



Şekil 1 GAP YENEV binasının plan görünüşü

Binanın inşasının başlamasından dokuz ay sonra 2015 yılının Kasım ayında, yapının 1-4 dilatasyonlarının oluşturduğu iç merkez bölümüne bakan kısmındaki konsol döşemelerinde bölgesel bir göçme oluşmuştur. Olayda bir can kaybı yaşanmamıştır.

Yapıların korunması ve yapısal güvenlik değerlendirilmesi konusunda yapılan bilimsel çalışmalarda, son yıllarda dünyada yapılarda yaşanan dramatik göçme olaylarının bir sonucu olarak, artan bir endişe ifade edilmektedir.



Şekil 2 GAP YENEV binasının kuş bakışı görünümü.

Geçmişte yapılan ve literatüre giren analitik ve deneysel çalışmalar neticesinde deprem yönetmelikleri gelişmiş ve bugün kullandığımız modern hallerini almıştır. Geçmişte yaşanan depremler değerlendirildiğinde konsol şeklinde tasarlanan bina bölümlerinin depremlerde yapının hasar görmesinde en önemli sebeplerden biri olarak ortaya çıktığı değerlendirilmektedir. Bu nedenle deprem yönetmeliklerinde konsol şeklinde tasarlanan taşıyıcı sistemlere özel olarak yer verilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) [1] göre kolonların konsol kirişlere veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne ve iki ucundan mesnetli kirişlere oturtulması yasaklanmıştır. Konsol sistemler içeren binaların deprem hesabında düşey elastik ivme spektrumu kullanılarak düşey deprem etkisinin hesaba katılması gerektiği hüküm altına alınmıştır.

Bu bölümde deprem yönetmeliklerinin gelişmesinde katkıda bulunan çalışmalardan



bazılarına kısaca değinilmiştir. O.C. Çelik ve ark. [2] çalışmalarında konsol kiriş ucuna kolon yapılmasından kaçınılması gerektiğini ve bu tür yapıların deprem hesapları yapılırken yapının bu kısmında, deprem düşey ivme spektrumlarının kullanılmasıyla hesaplanan iç kuvvetlerin belirli katsayılarla çarpılarak artırılmasıyla tasarımın yapılması gerektiği vurgulamıştır. Son yıllarda betona farklı türde ve oranda lif karıştırarak, betonun zayıf çekme dayanımını ve düşük şekil değiştirme kapasitesini artırarak betonun mekanik davranışı iyileştirmeye yönelik kompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmaların sayısı oldukça artmıştır. Betonarme konsol kirişlerin deprem davranışlarını iyileştirmeye yönelik R. Daniel ve ark. [3] tarafından yapılan çalışmada geleneksel betonla üretilmiş konsol kirişlere göre lifle güçlendirilmiş betondan üretilen konsol kirişlerin enerji harcama kapasitelerinin lif türü ve oranına bağlı olarak %160 varan oranlarda artırılabilirliğini ve çelik liflerin büyük yer değiştirme seviyelerinde oluşan çatlakların uzunluğunu sınırladığını göstermiştir. Betona kazandırılan mekanik özellikler bu betondan üretilen kompozit malzemelerin yapıların deprem davranışını iyileştirmesi yönünden oldukça önemli olduğu unutulmamalıdır.

Bu bölümde tamamı veya bir bölümü konsol şeklinde tasarlanan ve göçen yapılardan örnekler verilmiştir. Çin'in Anhui eyaletinde elektrik üreten bir fabrikada tasarım ve yükleme hatasından dolayı çelik çerçeveden oluşan taşıyıcı sistemi aniden göçmüştür [4]. Polonya'da bulunan 24 metre açıklığında dairesel kemer şeklinde inşa edilen yapının inşasında dayanımı düşük malzemeler kullanılması sonucu yapıda yeterli rijitlik sağlamadığından kar yağışı sonrası mağaza salonu göçmüştür [5].

Polonya'da 2000 yılında taşıyıcı yapısı kafes sistem şeklinde oluşturulan Katowice fuar binasının, 2002 yılında kısmi olarak çatı bölümü göçmüştür. Tamiratyapılan yapı yeniden 2006 yılında kar yağması sonrası göçmüş 65 kişinin ölümüne 100'den fazla kişinin ağır yaralanmasına sebep olmuştur [6]. Ülkemizde Diyarbakır ilinde 1983 yılı Ocak ayında Şehitlik Sementi'nde bulunan Hicret Apartmanı göçünce, içinde bulunanlardan 93 kişi yaşamını yitirmiştir

[7]. Ülkemizde 2003 yılında inşa edilen bir sanayi yapısının çatısı kar yağışı sonrası göçmüştür [8]. Konya Merkez, Kerkük Caddesindeki 11 katlı betonarme bir yapı olan Zümrüt Apartmanı 2 Şubat 2004 tarihinde düşey yükler altında tamamıyla göçmüş ve 92 kişi yaşamını yitirmiştir [9]. Türkiye'de 2015 yılında kar yağışından dolayı konsol bir tribünde göçme meydana gelmiştir. Göçen yapının fotoğrafı Şekil 3' de gösterilmiştir. [10].



Şekil 3 Göçen konsol şeklindeki çelik tribün

Yapıların göçmeye karşı en hassas bölümlerinden birisi olan konsol kiriş döşeme sistemlerinde tasarım ve/veya imalat aşamasında yapılacak hatalar, yapıların bu bölümlerinin kolaylıkla göçmesiyle sonuçlanabilmektedir. Bu tür bir göçmeye ait örnekler Şekil 3 ve Şekil 4' de gösterilmiştir. Bu gibi ani göçmeler hem can hem de ekonomik kayıplara neden olmaktadır.



Şekil 4 Betonarme bir binanın göçmüş balkon döşemeleri.

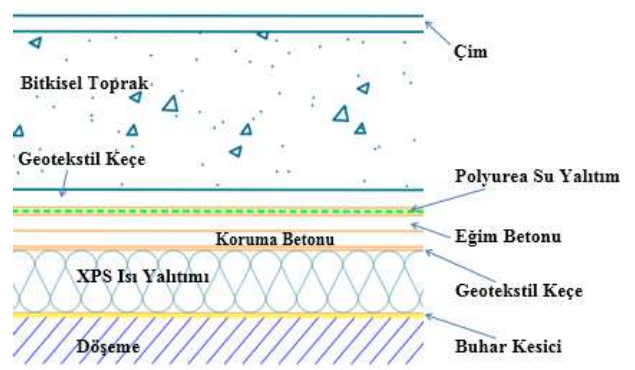
Bu çalışmada, bahsi geçen GAP YENEV binasının göçen bölümlerinin göçme sebeplerinin araştırılması amacıyla, yapının tasarımının değerlendirilmesi, yapısal elemanların uygunluk kontrolleri, malzeme ve saha araştırmaları, yapısal analizler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Makale çalışmasının yayına hazırlanması için göçme olayıyla ilgili yasal sürecin tamamlanması beklenmiştir.



Şekil 5 GAP YENEV binasının göçen konsol kısmından bir görünüm

### GAP YENEV binasının genel yapısı

Göçme meydana gelen GAP YENEV binası, Harran Üniversitesi Osmanbey yerleşkesinde bulunmaktadır. Yapının inşası sürerken binanın 1-4 dilatasyonlarının teras kısmında kepçe ile toprak serilmesi işlemi tamamlanmıştır. Şantiye bölgesinde yapım çalışmaları sürerken, yağmur nedeniyle diğer bloklara toprak serilmesi işlemine ara verilmiştir. Yağışla birlikte ağırlaşan toprak örtüsü yapının konsol döşemelerinin aniden göçmesine neden olmuştur. Şekil 5 'de yapının göçme olayının gerçekleştiği andan kısa bir süre sonra çekilmiş fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 6 Çatı döşemesinin mimari proje verilen bir kesit detayı.

Yaşanılan göçme olayından sonra inşaat durdurulmuş ve ilgili idare tarafından göçme nedenlerinin araştırılması ve diğer bloklarda benzer bir olayın yaşanmaması için gerekli teknik önlemlerin alınması amacıyla yazarların da içerisinde buldukları bir komisyon oluşturulmuştur. Yapılan incelemeler neticesinde belirlenen eksiklikler ve hatalı imalatlar aşağıda ele alınmıştır.

### Göçen döşeme sistemi hakkında saha araştırmaları

GAP YENEV yapı kompleksi yapım aşamasındayken göçme olayı yapının 1-4 dilatasyonu olarak adlandırılan bölümünün konsol döşeme kısmında oluşmuştur. Meydana gelen göçmenin nedenlerinin araştırılması amacıyla yapılan çalışmalar, yapının projelerinin incelenmesi ve inşaat aşamasında yapılmış imalat hatalarının tespit edilmesi olmak üzere iki farklı alanda yoğunlaşmıştır. İlk olarak yapıların tasarım ve projelendirme aşamasında yapılmış olabilecek hataların tespit edilmesi üzerine yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

Yapının onaylı mimari projesinde, göçen konsol döşemeler için verilen detay çizimi Şekil 6'da gösterilmiştir. Detay çizim incelendiğinde çatı döşemesi üzerinde yüksekliği 50 cm olan bir toprak tabakası mevcut olduğu görülmüştür. Ayrıca konsol şeklindeki döşemenin uç kısmında betonarmeden, 0.15 m x 1.5 m kesit boyutlarında, üzeri 3 cm kalınlığında, birim hacim ağırlığı 22 kN/m<sup>3</sup> olan Limra taşıyla kaplı parapet duvar bulunmaktadır.

Betonarme uygulama projelerinde döşemeler için yapılan yük analizlerinde Şekil 7’de görüldüğü gibi toprak örtü ve parapet duvar hesaplarda değerlendirilmeye alınmamıştır. Yük analizi için yapılan hesaplara sadece kaplama, tesviye betonu ve sıva dâhil edilmiştir. Bu durum yüklerin eksik hesaplandığı sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bu ise bina inceleme komisyonu tarafından tasarım aşamasında yapılmış büyük bir hata olarak değerlendirilmiştir.

ÇATI DOSEMESİ			
Kaplama (İZOLASYON )	0.100 t/m <sup>3</sup> × 0.050 m	:	0.005
Tesviye betonu	2.000 t/m <sup>3</sup> × 0.050 m	:	0.100
Sıva	2.200 t/m <sup>3</sup> × 0.020 m	:	0.044
TOPLAM.....			0.149

Şekil 7 Betonarme uygulama projesinde çatı döşemesi için verilen yük analizi

İkinci bölümde göçen konsol döşemelerin imalatında yapılmış olabilecek hataların tespit edilmesi amacıyla ilgili alanda saha incelemeleri yapılmıştır.

Tablo 1. Karot numunelerin TS EN 13791göre değerlendirilmesi

Karot numune no	1-4	2-5 dilatasyonu
	dilatasyonu (Göçen Kısım) Basınç dayanımı (Mpa)	(Göçmeyen Kısım) Basınç dayanımı (Mpa)
1	27.11	29.96
2	40.69	35.37
3	40.87	31.39
4	31.92	37.04
5	33.03	35.52
6	37.84	34.75
7	32.92	40.21
8	41.84	35.54
9	35.38	31.72
10	35.74	37.13
Ortalama ( $f_{m is}$ )	35.74	34.86
$f_{ck, is, küp} = f_{m is} - k$	30.74	29.86
$f_{ck, is, küp} = f_{is, endüyük} + 4$	31.11	33.96

Bu amaçla ilk olarak yapıda kullanılan beton dayanımının tespiti için  $\phi 10$  cm çapında 1-4 dilatasyonun bulunduğu binadan 10 adet ve 2-5 dilatasyonunun bulunduğu binadan 10 adet olmak üzere toplam 20 adet karot numunesi alınmıştır. Kısmi göçmenin yaşandığı 1-4 dilatasyonundan alınan karot numunelerden

bazılarının yerleri Şekil 8’deki fotoğrafta gösterilmiştir. Karot numune sonuçları TS EN 13791/Nisan 2010 standardına göre değerlendirilmiştir. Beton dayanımını belirlemek için 1-4 ve 2-5 dilatasyonlarından alınan numuneye sayısı 15 adetten az olduğu için değerlendirme ilgili yönetmelikteki B yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır.

$$f_{ck, is, küp} = f_{m is} - k \quad (1)$$

$$f_{ck, is, küp} = f_{is, endüyük} + 4 \quad (2)$$

Yönetmelikte verilen bu bağıntılarda,  $f_{ck, is, küp}$  150 mm’lik küp dayanımına eşdeğer olarak ifade edilen yapıdaki karakteristik basınç dayanımını,  $f_{m is}$  yerinde alınan karot numunelerin basınç dayanımlarının ortalaması,  $k$  az sayıda deney sonucu ile ilgili sınır değeri ve  $f_{is, endüyük}$  yerinde alınan karot numunelerin basınç dayanımlarından en düşüğünü ifade etmektedir. Yönetmelikte numune sayısının 10-14 adet arasında olması durumunda  $k$  değerinin 5 olarak alınması gerektiği belirtilmiştir. Yapıdaki karakteristik basınç dayanımı olarak bu bağıntılarla hesaplanan değerlerden küçüğü alınmıştır.

Projede öngörülen beton sınıfı C30/37 dir. Bu durumda yapıdaki asgari karakteristik küp beton basınç dayanımının 31 MPa ( $f_{ck, is, küp} = 31$ ) olması gerekmektedir. Numunelerin Tablo 1’de gösterilen değerlendirilmeye göre elde edilen beton basınç dayanımlarının her iki dilatasyonda da yaklaşık olarak projede öngörülen asgari dayanımı sağladığı belirlenmiştir.



Şekil 8 Binanın göçen kısmından alınmış karot numuneler



Toprak serme işlemi sırasında binanın üzerine çıkarılan ağır iş makinelerinin kullanılmasının yapı üzerinde geçicide olsa ciddi bir ağırlık ve dinamik bir etki oluşturduğu açıktır. Ortaya çıkan göçme olayında bu durumun da etkisinin olduğu kanaati oluşmuştur.

Konsol döşemelerin çekme donatılarının üstten pas payı kadar bir mesafe aşağıda olması gerekirken Şekil 9'de görüldüğü gibi bu donatıların üstten 15 cm kadar aşağı buldukları görülmüştür. Bu durum ilk olarak konsol döşemelerin imalatı sırasında sıkça rastlanılan üstteki çekme donatısının beton dökümü sırasında, işçiler tarafından üzerlerine basılarak aşağıya doğru kayması durumunu akla getirmiştir. Fakat dikkatli bir gözlem sonrasında mevcut durumun bu kadar basit bir hata ile izah edilemeyeceği anlaşılmıştır.



Şekil 9 Üstte olması gereken çekme donatılarının göçen konsol kısmındaki konumları

Döşeme sistemini taşıyan kirişlerin bulunması gereken kottan daha düşük bir kotta yapıldığı fark edilmiştir. Kiriş üst kotunun, döşeme üst kotuyla aynı seviyede olması gerekirken, kiriş üst kotu mevcut betonarme döşemenin alt kısmında kalmıştır. Bu durum döşemenin üstünde bulunması gereken çekme donatılarının döşemenin altında yerleştirilmesi durumunu ortaya çıkarmıştır. Bilindiği gibi betonarmede temel felsefe, elemanlarda oluşan çekme gerilmelerinin donatı tarafından karşılanmasıdır. Bu ise ancak donatıların betonarme kesitlerde bu temel felsefeye uygun yerleştirilmesiyle

mümkündür. Kesit içerisinde uygun yerde bulunması gereken donatıların farklı bir konumda bulunması, hatta fazla miktarda olması bile faydadan ziyade zarar oluşturur. Kirişlerin imalatında döşeme kesiti içerisinde çekme donatılarının bulunması gereken yerden başka bir yere yerleştirilmesi imalatta büyük bir uygulama hatası yapıldığını göstermiştir. Böyle bir hatanın ortaya çıkmış olması kontrol mekanizmasının denetimde yetersiz kaldığını göstermiştir.

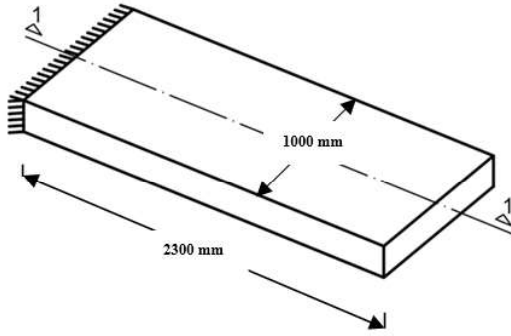
Mimari uygulama projesinde 5 cm olması gereken koruma betonunun Şekil 10'dan anlaşılacağı üzere kalınlığının yer yer 7 cm ye kadar ulaştığı görülmüştür. Bu durum yapıya hesaplarda ön görünmeyen ilave sabit bir yük olarak etkilemiştir.



Şekil 10 Döşeme içerisinde 5 cm olması gereken koruma betonu

### **Konsol Döşemelerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellemesi**

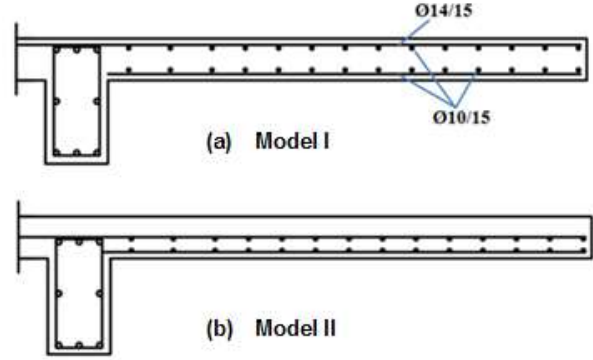
Bu bölümde, konsol bir döşeme sistemindeki betonarme bir kesitte donatıların bulunması gereken yerde bulunmaması durumunda, kesitte oluşacak taşıma gücü kapasite kaybının gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Şekil 11'de gösterilen ve yapıda kullanılan konsol döşeme sistemini temsil eden konsol döşeme birimi ABAQUS programı kullanılarak modellenmiştir [11].



Şekil 11 Konsol çatı döşemesinin 1 m genişlikli birimi

Betonarme kolon-kiriş modelinde beton için C3D8R (an 8-node linear brick), donatı için ise T3D2 (truss) sonlu eleman ağları kullanılmıştır. Döşemenin kirişle birleştiği bölüm ankastre mesnet olarak kabul edilmiştir. Beton, hasarlı beton plastisite modeli kullanılarak modellenmiştir. Kullanılan bu model tipi seçilen beton için plastisite temelli sürekli bir hasarı temsil etmektedir. Bu modelde çekme çatlama ve basınç ezilmesi olmak üzere iki ana göçme mekanizmasının varlığı kabul edilmiştir. Modellemede kullanılan boyuna ve enine donatılar beton içine gömülü olacak şekilde tasarlanmıştır. Böylece modellenen sistemin bir bütün olarak davranması sağlanmıştır.

Göçen konsol döşeme için ortalama 2.30 m konsol açıklığı, 0.20 m kalınlık ve 1 m genişlik alınarak iki farklı model oluşturulmuştur. Model 1’de betonarme uygulama projesinde belirtilen şekilde donatılar yerleştirilmiş, Model 2’de ise çekme donatılarının üstten 15 cm aşağı yerleştirilmesi durumu incelenmiştir. Analiz edilen modeller ve donatı yerleştirilme krokileri Şekil 12’de gösterilmiştir. Onaylı mimari projede gösterilen döşeme kesitinden yararlanılarak konsol döşemede yük analizi yapılmıştır. Yapılan yük analizinin ayrıntıları Tablo 2’de gösterilmiştir. Döşeme ağırlığına karşı gelen 5 kN/m<sup>2</sup> yük ABAQUS programı tarafından doğrudan hesaba katıldığından yük analizine dahil edilmemiştir.



Şekil 12 Konsol çatı döşemesi 1-1 kesiti (a) Projedeki boy kesit (b) uygulamadaki boy kesit

Analiz neticesinde döşeme üzerine 12.108 kN/m<sup>2</sup> sabit yük ve 5 kN/m<sup>2</sup> hareketli yük etki ettiği belirlenmiştir. Konsol döşemenin uç kısmında bulunan betonarme parapet duvar yükü ise Tablo 3’te gösterilen yük analizinden hesaplanmış ve çizgisel yük olarak döşemenin uç kısmına uygulanmıştır.

Tablo 2. Döşeme bölümünde kullanılan malzemeler ve yük analizi

	Kalınlık (m)	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Sabit Yük (kN/m <sup>2</sup> )
Bitkisel Toprak	0.5	18	9
Geotekstil Keçe	0.07	10	0.7
Su Yalıtımı	0.005	12	0.06
Eğim ve Koruma Betonu	0.1	23	2.3
XPS Isı Yalıtımı	0.16	0.3	0.048
<b>Toplam</b>			<b>12.108</b>

Analiz modellerinde, döşemenin kirişle birleştiği bölüm ankastre mesnet olarak kabul edilmiştir. Modellerin taşıyabilecekleri yükü ve bu yükün mesnette oluşturduğu momenti belirlemek için döşemelerin taşıma kapasitelerine ulaşıncaya kadar kademeli olarak yüklenmesi öngörülmüştür. Her iki modelde döşeme ağırlığı

ve konsol ucundaki çizgisel sabit yükün sistem üzerinde sürekli bulunduğu kabul edilmiştir.

*Tablo 3. Parapet duvar için kullanılan malzemeler ve yük analizi*

	Boyutlar (m)	Birim hacim ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	Birim uzun. sabit yük (kN/m)
Parapet	0.15x1.5	25	5.63
Limra taşı	0.03x1.5	22	0.99
Toplam			6.62

Modellerin yüklenmesi 12.108 kN/m<sup>2</sup> sabit ve 5 kN/m<sup>2</sup> hareketli yükün toplamı olan 17.108 kN/m<sup>2</sup> yükün %10' luk değerinden başlanarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin yüklenmesine yük kademeli olarak artırılıp, kesit taşıma kapasitesine ulaşıncaya kadar devam edilmiştir. Konsol ucundaki oluşan sehim miktarı, beton ve donatılarda oluşan gerilmeler hesaplanmıştır. Konsol döşemelerde oluşan yerdeğiştirmeler Şekil 13 ve Şekil 14'te gösterilmiştir.

Yönetmeliğe göre kullanım güvenliği yönünden konsol döşemedeki en büyük yerdeğiştirmenin  $L_n/240$ 'tan küçük olması gerekmektedir [12].  $L_n$  net konsol döşeme uzunluğunu göstermektedir. Betonarme uygulama projesinde, göçen konsol çıkmanın ortalama uzunluğu 2300 mm dir.

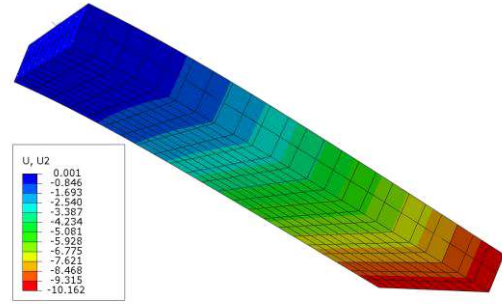
$$\delta_{max} \leq \frac{2300}{240} = 9.58 \text{ mm} \quad (3)$$

olmalıdır. Yönetmeliğe göre döşeme sisteminin konfor şartları içerisinde kullanılabilmesi için bu sehim sınırının aşılmaması gerekmektedir. Döşeme sisteminde en büyük sehim sınırının aşılması döşemenin taşıma gücü kapasitesine ulaştığı anlamına gelmemektedir.

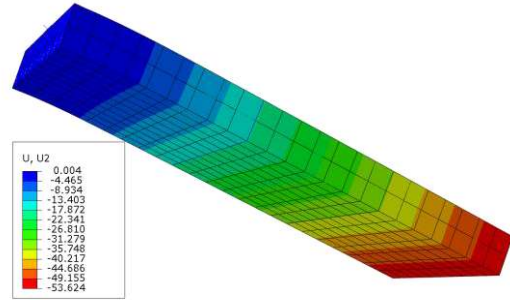
Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı ( $f_{ck}$ ) 30 Mpa ve donatının karakteristik akma dayanımı ( $f_{yk}$ ) 420 Mpa olarak alınmıştır. Betonun karakteristik çekme dayanımı ( $f_{ctk}$ ) ise,

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}} \quad (4)$$

bağıntısı kullanılarak 1.9 Mpa, olarak hesaplanmıştır. Program tarafından modellerde betonda oluşan gerilmelerden veya donatıda oluşan gerilmelerden herhangi biri bu kritik değerlere ulaşıncaya sistemin taşıma kapasitesine eriştiği kabul edilerek analize otomatik olarak son verilmektedir. Program tarafından analize son verilmesi incelenen kesitin göçtüğü anlamına gelmektedir.



*Şekil 13 Model 1 döşemesinde göçme anındaki yerdeğiştirme durumu*



*Şekil 14 Model 2 döşemesinde göçme anındaki yerdeğiştirme durumu.*

Model 1'de sistem üzerinde döşeme kendi ağırlığı ve konsol uçundaki parapet duvar mevcut iken, sabit ve hareketli yüklerin toplamı olan 17.108 kN/m<sup>2</sup> yükün %10'luk değerinden başlanarak sistem yüklenmiştir. Bu yük kademeli bir şekilde artırılarak sistem yüklenmeye devam edilmiştir. Yükün tamamı Model 1 üzerine uygulandığı anda, konsol döşeme ucundaki yerdeğiştirme miktarı yönetmelikten hesaplanan sınır sehim değerini aşmıştır. Fakat bu durumda kesit henüz taşıma kapasitesine ulaşmamıştır. Bu anda sistem üzerindeki yüklerden ankastre mesnette oluşan momentin değeri 73.704 kNm olarak belirlenmiştir.



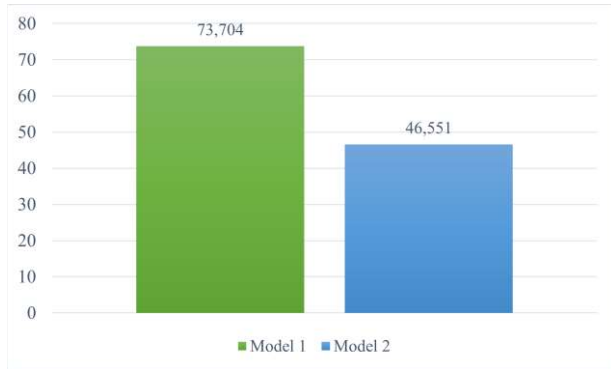
Bu durumda kesitin taşıma kapasitesine ulaşıldığına ve göçtüğüne hükmedilmiştir. Bu anda ankastre mesnette oluşan momentin değeri

## Yapı kompleksinde uygulanan güçlendirme çalışmaları

Tablo 4. Analizlerde kullanılan parametreler ve elde edilen sonuçlar

Malzemeler ve mekanik özellikleri			Hesap yükleri			Model I			Model II		
			Döşeme		Prapet duvar						
Beton	Bet. Çeliği		G	Q	G	Yük. oranı (%)	Mom. kap. (kNm)	Sehim miktarı (mm)	Yük. oranı (%)	Mom. kap. (kNm)	Sehim miktarı (mm)
$f_{ck}$ (Mpa)	$f_{ctk}$ (Mpa)	$f_{yk}$ (Mpa)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m)						
30	1.9	420	12.108	5.0	6.62	100	73.704	10.16	40	46.551	53.60

46.551 kNm olarak hesaplanmıştır. Model 2’de konsol ucunda oluşan yerdeğiştirmenin yönetmelikten hesaplanan sınır değerinin yaklaşık altı katı olduğu görülmüştür. Her iki modelin mesnetlerinde oluşan moment değerleri Şekil 15’de gösterilmiştir.



Şekil 15 Modellerin göçme durumunda mesnetlerinde oluşan moment tepkileri

Yapılan analizler neticesinde Model 2’de oluşan ankastrelik momentin, Model 1’de oluşan momentin %63 olduğu belirlenmiştir. Analizlerde kullanılan parametreler ve elde edilen bulgular Tablo 4’te özetlenmiştir. Model 1’in taşıyabileceği moment kapasitesini %100 kabul edersek Model 2’nin moment taşıma kapasitesinde %37’lük bir kapasite kaybının olduğu görülmektedir. Projede öngörülen konsol döşeme sistemi, üzerindeki yükleri taşımakta kritik bir durumda iken, çekme donatılarının bulunmaları gereken konumda yerleştirilmemesi kesitin taşınması gereken yüklerden daha küçük yüklerde göçmesine neden olmuştur.

GAP YENEV binasında göçme yaşandıktan sonra yapının durumunu incelemek ve güvenli bir şekilde hizmet vermesini sağlamak için görevlendirilen komisyon tarafından, yapılan değerlendirme çalışmaları neticesinde yapılması gereken işlemlerin iki aşamada uygulanmasına karar verilmiştir.

Birinci aşamada 1-4 dilatasyonlarının bulunduğu bina üzerindeki teras kısmına serilen toprak tabakasının yapıdan derhal uzaklaştırılması gerektiği ilgili idareye bildirilmiş ve bu işlemin kısa sürede tamamlanması sağlatılmıştır. Toprak örtünün kaldırılmasında küçük boyutlu bir iş makinasının kullanılmasına dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Yapının teras bölümünde serili toprağın yapıdan uzaklaştırılması işlemlerine ait çalışmalar Şekil 16’da gösterilmiştir. Diğer 2-5 ve 3-6 dilatasyonlarının yer aldığı binalar üzerinde toprak tabakası bulunmadığından bunlarda toprak tabakanın uzaklaştırılması işlemi söz konusu olmamıştır.



*Şekil 16 Çatı döşemesine serilen toprağın göçme sonrası tahliyesi*

İkinci aşamada konsol döşemeleri göçen 1-4 dilatasyonlarının bulunduğu binanın göçen döşemelerinin konsol ucuna betonarme kolon ve kirişler yerleştirilerek konsol döşeme sistemi, kirişli döşeme sistemine dönüştürülmüştür. Bu çalışmaların devam ettiği sırada çekilmiş bir fotoğraf Şekil 17’de gösterilmiştir.

GAP YENEV binasının 1-4 dilatasyonlarının bulunduğu binanın çatı döşemesinde meydana gelen göçme sonrası, göçmeyen 2-5 ve 3-6 dilatasyonlarının bulunduğu binalarda yaşanması muhtemel benzer bir göçmenin önlenmesi için yapının bu bölümlerinde güçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda, çelik kolon ve kirişlerden oluşan bir taşıyıcı sistem mevcut betonarme döşemelerle birlikte çalışacak ve onu destekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece binaların konsol döşemelerinin bulunduğu bölümler için Şekil 18’de gösterilen güçlendirme sistemi oluşturulmuştur.



*Şekil 17 Göçen çatı döşemesi için betonarme sistemle güçlendirme çalışmaları.*

### **Bulgular**

Şanlıurfa ili Harran Üniversitesi Osmanbey yerleşkesinde bulunan GAP YENEV binası gerek mimarisi gerekse kullanım amacı olarak kendine özgü bir yapıdır. Bu çalışmada yapının 1-4 dilatasyonlarının bulunduğu binada yaşanan göçme olayının nedenleri araştırılmıştır.



*Şekil 18 Göçme oluşmayan çatı döşemelerinin çelik konstrüksiyon sistemle güçlendirilmiş hali*

Göçme olayının oluşmasında etkili olan sebeplerden birisi, mimari projede bulunan 50 cm kalınlığındaki toprak bölümün ve konsol şeklinde tasarlanan çatı döşemesinin uç kısmında yer alan parapet duvarın betonarme uygulama projesinin yük analizleri bölümünde hesaba katılmamış olmasıdır. Bu durumda eksik yüklere göre

tasarlanan betonarme kesitler mevcut yükleri taşımada yetersiz kalmıştır.

Göçme olayına neden olan diğer önemli bir sebep ise, binada göçen döşeme kısmına mesnet görevi yapan kirişlerin bulunması gereken kottan daha düşük bir kotta yapılmalarıdır. Bu nedenle döşemenin üst bölümünde bulunması gereken çekme donatıları döşemenin altına yerleştirilmek durumunda kalınmıştır. Bu durum mesnet bölümünde oluşan negatif eğilme momentlerinin oluşturduğu çekme gerilmelerinin donatılar tarafından karşılanamaması sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Yaşanılan göçme olayından sonra teknik komisyon tarafından yapı statik ve betonarme olarak yeniden değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar göçen bölümün betonarme olarak yeniden yapılmasını ve göçmeyen yapı bölümlerinin çelik sistemlerle güçlendirilmesini gerektirmiştir.

Mimari ve betonarme uygulama projesindeki tutarsızlıklar ve betonarme elemanların imalatında yapılan hatalar ve bu hataların düzeltilmesi için öngörülen çözümler bu konuda çalışan mühendisler için öğretici olmuştur.

### Tartışma ve Sonuç

GAP YENEV binasının konsol döşemelerinde yaşanan kısmi göçme olayı konsol şeklinde çalışan yapı kısımlarının ve yapısal sistemlerin gerek tasarım gerekse imalat aşamasında daha dikkatli davranılması gerektiğini bir kez daha göstermiştir.

İnşa edilecek yapılara ait projelerin imalat aşamasına geçilmeden önce ihale dosyasını hazırlayan teknik personel tarafından dikkatli bir şekilde incelenmesinin, mimari ve betonarme uygulama projelerinin karşılaştırılarak örtüşmeyen veya eksik kısımların olup olmadığının kontrol edilmesinin önemini bir kez daha ortaya çıkarmıştır.

Bahsi geçen kontroller ihaleyi kazanan yüklenici firmanın teknik personeli tarafından da tek tek ele alınarak dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Böylece imalata geçilmeden önce projede varsa eksiklik ve hatalar düzeltilmelidir. Projenin uygulanma aşamasına geçildiğinde yapılacak her bir imalatın

projeye uygun yapılıp yapılmadığı, şantiyede çalışan saha mühendisleri ve kontrol mühendisleri tarafından sürekli kontrol edilmelidir. Bazen basit görülen bir detayın yanlış yapılması telafisi mümkün olmayan sonuçların oluşmasına neden olabilir. Bu konularda gösterilecek dikkat ve titizlik hiçbir zaman basite alınmamalıdır. Konuyla ilgili çalışan teknik personel tarafından, hasar gören yapının göçme nedenleri araştırılırken ve güçlendirme çalışmalarının yapımı aşamasında birçok bilgi ve deneyim kazanılmıştır.

### Kaynaklar

- [1] Afet ve Acil Durum Yönt. Baş., “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”, Ankara, 2018.
- [2] O.C. Celik, K. Özgen and F. Cili, “Cantilevers in Reinforced Concrete Structure”, 11 th European Conference on Earthquake Engineering, Balkeme, Paris, 1-10, (1998).
- [3] R. Daniel, R. Claudia, L. Laura, and L. Maria, “Performance of cantilever reinforced concrete beams with fibers loaded with cyclic forces”, Revista Ingenieria de Construcción, vol. 30, no 1, April 2015.
- [4] G.S. Tong, L.P. Young, , M. Bradford, “Buckling failure of an unusual braced steel frame supporting an electric dust-catcher,” Engineering Failure Analysis, vol. 16, pp. 2400–2407, 2009.
- [5] A. Biegus, A. Kowal., “Collapse of halls made from cold-formed steel sheets,” Engineering Failure Analysis, vol. 31, pp. 189–194, 2013.
- [6] A. Biegus, K. Rykaluk, “Collapse of Katowice fair building,” Engineering. Failure. Analysis, vol. 16, pp. 1643–1654, 2009.
- [7] Türkiye Gazetesi, URL: <https://www.turkiyegazetesi.com.tr/yazarlar/ismail-kapan/606526.aspx>, (Erişim zamanı; Şubat, 12,2019).
- [8] O. Caglayan, E. Yuksel, “Experimental and finite element investigations on the collapse of a Mero space truss roof structure - a case study,” Engineering Failure Analysis, vol. 15, pp. 458–470, 2008.
- [9] İMO, URL: <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/9647.pdf>, (Erişim zamanı; Mayıs, 1,2004)
- [10] A.C. Altunışık, Ş. Ateş, M. Hüsem, “Lateral buckling failure of steel cantilever roof of a tribune due to snow loads,” Engineering Failure Analysis, vol. 72, pp. 67–78, 2017.
- [11] ABAQUS user’s manual, version 6.14-1. Providence, RI, USA: Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc., (2014).
- [12] TS-500, Türk Standartları Enstitüsü. “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, Ankara, Türkiye, (2000).



## Araştırma Makalesi / Research Article

## Meteorolojik Akış Katsayısının Bulanık SMRGT Yöntemi ile Belirlenmesi: Murat Havzası Örneği

*Determining Meteorological Flow Coefficient by Using Fuzzy SMRGT Method: An Example for Murat Basin*Fatih Şevgin<sup>1</sup>, Z. Fuat Toprak<sup>2\*</sup><sup>1</sup> Muş Alparslan Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Muş, f.sevgin@alparslan.edu.tr<sup>2</sup> Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, toprakzf@dicle.edu.tr

## MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*Geliş: 21 Aralık 2020  
Düzeltilme: 13 Ocak 2021  
Kabul: 18 Ocak 2021*Anahtar kelimeler:*Taşkın debisi, Akış katsayısı,  
Bulanık mantık, Modelleme,  
Bulanık SMRGT

Doi: 10.24012/dumf.844325

## ÖZET

Taşkınlar, küresel iklim değişikliğinin söz konusu olduğu günümüzde en önemli hidrolik ve hidrolojik problemlerden biri haline gelmiştir. Aşırı kentleşme, beton yapılar ve asfalt yollar gibi geçirimsiz yüzeylerin artması taşkın debisini artıran en önemli etmenlerdir. Geçirimsiz tabakalar yüzeyin veya havzanın akış katsayısını yükseltmektedir. Bu durum yer altı suyunun kısmen kaybına neden olurken diğer taraftan dere yataklarının taşıma kapasitesinin üstünde bir akıma neden olmaktadır. Böylece taşkın hadisesi kaçınılmaz olmakla beraber bunun sonucunda ise hem can hem de mal kaybı meydana gelmektedir. Akışa geçen debinin önceden doğruya en yakın şekilde tahmin edilmesi olası can ve mal kaybını önlemek veya en azından minimum seviyeye düşürmek açısından oldukça önemlidir. Akış debisinin gerçekçi bir şekilde tahmini için ise akış katsayısının gerçekçi bir şekilde hesaplanması gerekir. Güncel literatürde akış katsayısının modellenmesi için önerilen çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Fakat bunların çoğu kara-kutu yöntemlere dayanmaktadır ve bu nedenle genelleştirilemezler. Dolayısıyla bu çalışmada, Murat havzasının akış katsayısının modellenmesinde, olayın fizik yönünü de dikkate alan bulanık SMRGT yöntemi tercih edilmiştir. Bilindiği üzere akış katsayısı havzanın sabit (topografya, yüzey kaplaması, zemin türü v.b.) ile dinamik (meteorolojik, hidrolojik v.b.) değişkenlerini kapsamaktadır. Burada, sadece meteorolojik akış katsayısı belirlenmiş ve bunun için de sadece sıcaklık ve rüzgâr değişkenleri kullanılmıştır. Veriler Devlet Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Elde edilen model sonuçları ölçüm verileri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada maksimum, minimum, ortalama, standart sapma, değişim katsayısı ve çarpıklık katsayısı gibi temel istatistik büyüklükler, ortalama mutlak rölatif hata, saçılma diyagramı ve zaman serisi grafikleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, SMRGT modelinin gerçekçi sonuçlar verdiği ve meteorolojik akış katsayısının belirlenmesinde güvenle kullanılabileceği söylenebilir.

## ARTICLE INFO

*Article history:*Received: 21 December 2020  
Revised: 13 January 2021  
Accepted: 18 January 2021*Keywords:*Flood flow, Flow coefficient,  
Fuzzy logic, Modelling, Fuzzy  
SMRGT

## ABSTRACT

Since the global climate changes exist, today, floods can be accounted among the most important hydraulic and hydrological problems of world. Extreme urbanization, concrete structures, and asphalt roads are the most important factors that increase the impermeable zones and the flood flow. Estimating the flow in advance will minimize the potential loss of both life and properties. Realistically determining the flow coefficient, which is the most effective factor on flood flow, the existing problems will be eliminated to a considerable extent. There are many techniques, which can be found in the existing literature, offered for modeling flow coefficient. However, the most of them base on the black-box type methodologies and they cannot be generalized. Therefore, in this study, a new approach namely Fuzzy SMRGT Method, which considers the physic of the event, has been preferred. The data, which contains the daily measurements of both temperature and wind speed, were obtained from the Regional Directorate of Meteorology. The model results were compared with the real data. For comparison, basic statistical magnitudes such as maximum, minimum, mean, standard deviation, coefficient of variation and coefficient of skewness and mean absolute relative error, scattering diagram, and time series graphs were used. As a result of the comparison, it can be said that the results of the SMRGT are quite realistic and can be used confidently in determining the meteorological flow coefficient.

\* Sorumlu yazar / Correspondence  
Fatih ŞEVGİN  
✉ f.sevgin@alparslan.edu.tr



## Giriş

Taşkın, son yıllarda bilim camiasının önem verdiği ulusal ve uluslararası problemlerinden biri haline gelmiştir. Özellikle son yıllarda yoğun blok yapılar, çatı örtüleri ve asfalt yollar gibi geçirimsiz yüzeyleri artıran yapıların çeşitlenerek artması geçirimsiz yüzeylerin artmasına geçirimli yüzeylerin de azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, yağışların akışa geçen oranının gün geçtikçe artmasına dolayısıyla taşkın ve sel olaylarına neden olmaktadır. Seller beraberinde büyük kütleli katı madde getirir. Bu katı madde yerine göre köprü açıklıklarını, menfezleri veya dere yatağını doldurmaktadır. Gelen suyun debisinin de yüksek olması halinde taşkınlara neden olmaktadır. Genellikle sellere neden olan ani ve şiddetli yağışlardan kaynaklanan akışlar yüksek debili olmaktadır. Onuşuel ve Harmancıoğlu (2002)'de bu duruma işaretler "günümüz taşkınlarının en yaygın sebebi şiddetli yağışlar sırasında drenaj hatlarındaki yetersizlik sonucu ana iletim hatların veya nehir yatağının bütünüyle dolması ile oluşan yüzeysel akışın tetiklediği taşmalardır" demektedir [1]. Geçmiş medeniyetlerin taşkından korunma yapıları günümüzdekilerine nazaran sayıca daha az, alanca daha küçük ve uygulamada daha basittir [2]. Diğer taraftan yüzeysel akış alanlarının artması ve yutakların ise azalması nedeniyle eski taşkın koruma yapıları adeta işlevsiz kalmaktadır. Bu nedenle yeni yapılacak olan taşkın koruma yapılarının boyutlandırılmasında, projelendirilmesinde yeni ve ihtiyaca cevap verecek yöntemlerin kullanılması kaçınılmazdır. Taşkın debilerini doğru hesaplamak alınabilecek önlemler açısından büyük önem arz etmektedir. Ayrıca taşkın risk analizlerinde değerlendirilen verilerin eksik olması modelleme açısından ciddi sorunları beraberinde getirmektedir [3]. Taşkın debisinin belirlenmesinde akış katsayısı en etkili değişkendir. Akış katsayısını ise havzanın dinamik (hidrolojik özellikler gibi), sabit (topografya, eğim, havza alanı ve kaplaması, toprak geçirgenliği gibi) özellikleri ile meteorolojik özellikler (sıcaklık, rüzgâr yönü ve şiddeti, yağış şekli ve şiddeti, buharlaşma gibi) büyük ölçüde belirlemektedir. Pratikte genel olarak değişkenlerin havza üzerinde sabit alındığı modeller kullanılmaktadır [4].

Literatürde akış katsayısının modellenmesine yönelik çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu

nedenle taşkın debisini tahmin etmede kullanılan ve özellikle son yıllarda sayısı çokça artan modeller bir nebze de olsa taşkın ve sel felaketlerinden kaynaklı can ve mal kaybını azaltmıştır. Bununla birlikte ne yazık ki bu çalışmalarda önerilen modellerin büyük bir çoğunluğu istatistik, stokastik, veya yapay zeka teknikleri gibi kara kutu yöntemler ile geliştirilmiştir. Bu tür modeller olayın fizik sebep-sonuç ilişkisini yansıtmamaktadır. Dolayısıyla tahminler gerçek değerlerden biraz daha uzakta kalmaktadır. Her modelin kendine has üslubu ve geçerliliği vardır. Ama genel olarak her modelin aşamadığı kendine has sınırları da mevcuttur ve bir modelin açığını başka bir model kapatabilmektedir. Her ne kadar Alp ve Cığızoğlu (2010), "bir modelde havza sistemi çok sayıda parametreye ayrılırsa daha detaylı bir model geliştirilmiş olunur" diyor ise de [5], değişkenlerin sayıca fazla olması yerine olaya etkileri göz önünde tutularak her birine uygun etki faktörünü atamanın daha gerçekçi sonuçları vereceği söylenebilir. Literatürdeki en yaygın dikkatsizliklerden biri tüm bölge ve havzaların aynı şekilde işleme tabi tutulmasıdır. Hâlbuki bir havza veya bölge için gerçekçi sonuç veren bir model başka bir havza veya bölge için aynı sonucu vermeyebilir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli konu havzanın statik ve dinamik değişkenlerinin aynı olmayışıdır. Örneğin bir havzanın bitki örtüsü, eğimi, jeomorfolojisi, yağışı, zemin geçirgenliği, güneşe olan bakışı, rakımı, toprak cinsi gibi birçok özellikleri bir başka havzanıkinden farklı olabilir.

Bu çalışma kapsamında, sıcaklık/rüzgâr etkisindeki akış katsayısı bulanık SMRGT yöntemi ile modellenmiştir. Yöntemin fiziksel tabanlı olması tüm modellerin bir nevi fiziksel açığını kapatmaya bir nebze katkı yapacağı düşünülmektedir. Yöntem aynı amaçla daha önce Karakaya (2018) tarafından havzanın yukarıda belirtilen iki özelliğine ilaveten buharlaşmayı da ekleyerek her biri için birer akış katsayısı modellenmiş sonra bunların ortalaması alınarak havzanın tüm özelliklerini dikkate alan bir akış katsayısı elde edilmiştir. Ancak Karakaya (2018) uygulama alanı olarak Şırnak kent merkezinde bulunan üniversite yerleşke alanı seçmiştir. Bu çalışmada ise daha



büyük bir alan olarak Murat Havzası uygulama alanı olarak seçilmiştir.

Taşkın debilerini modellemeye yönelik literatürde birçok çalışma mevcuttur. Gerek ulusal gerekse uluslararası platformda taşkınlarla ilgili çalışmalar günden güne farklı yaklaşımla ele alınmaktadır. Hall ve Minns (1998), Bölgesel taşkın frekans analizinde yapay sinir ağlarını kullanmıştır [6]. Özcan (2017), Ayamana deresi için alakalı parametreleri ağırlıklandırmış (önem değerleri) ve çok kriterli karar verme analizini yaparak muhtemel bir taşkın durumunda etkilenecek alanları belirlemiş ve bilgi difüzyon metodunu kullanarak taşkın halinde havzanın kaçta kaçını etkilenebileceğini belirlemiştir [7]. Stronska ve ark. (1999), MIKE 11 NAM modelini kullanarak 500 km uzunluğunda alanın hidrolojik olarak modellemesini gerçekleştirmiş ve 49,000 km<sup>2</sup> alanlı taşkın yayılımını FLOOD WATCH ile 2 boyutlu ortamda gözlemlemiştir [8]. Baykal ve ark.(2017), Aksu çayı havzası üzerinde birbirinden farklı birden fazla istatistiksel yöntemleri kullanmıştır. Çıkan sonuçlardaki en uygun olasılık dağılımını bulmak için değerler Kolmogorov-Smirnov ile testi sınanmıştır. Dağılım grafikleri ve test sonuçlarına en uygun olan yöntemin Log-Pearson Tip III olduğu bulunmuştur [9] Barbero ve ark. (1999), MIKE FLOOD WATCH ile İtalya'daki Piemonte bölgesinde taşkınla ilgili Po nehri üzerine yaptığı çalışmada toplamda 37.000 km<sup>2</sup>'lik alan çalışmasını MIKE 11 NAM modülü ile hesaplanan değerlere entegre ettirmiştir [10]. Kalken ve Ark. (2004), 6500 km<sup>2</sup> ve 40 ayrı havzaya sahip olan Kuzey Belçika'daki Scheldt kıyılarını her havza için MIKE 11 NAM modülünü kullanarak modellemiş ve MIKE FLOOD WATCH programı ile taşkın yayılım haritasını çıkarmıştır [11]. Seçkin ve ark. (2010) YSA' yı Batı Karadeniz Havzası'nda kullanarak akım gözlem istasyonlarındaki maksimum akımları ve her bir istasyon için enlem, boylam, kot, alan ve tekerrür periyotları arasındaki bağlantıyı incelemiştir. YSA modelinin ÇDR ve ÇDOR'a göre muhtemel taşkın tahmin etmede daha reel sonuçlar verdiğini belirtmiştir [12]. Aydın (2018), L- momentler yöntemini taşkın frekans analizinde kullanmıştır. Uygulama alanı olarak Batı Akdeniz havzası seçilmiştir. Bu havzaya ait 50,100, 1000, 10000 yıllık taşkın debileri Noktasal Taşkın Frekans Analizi ve L-

momentler yöntemi ile hesaplanmıştır. Uygulama sonuçlarına göre bütün istasyonlar için yapılan hesaplamalar da mevcut iki yöntemin birbiri ile yakın sonuçlar verdiği ve birbirlerinin yerine kullanılabileceği belirlenmiştir [13].

### Çalışma Alanı

Çalışma alanı seçilen Murat havzası Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan Yukarı Fırat Bölümü içinde Muş, Tunceli ile Yukarı Murat yöresini kapsamaktadır [14]. Bu sınırlar içinde Muş, Bingöl, Tunceli, Ağrı, Elazığ ve bu illere ait birçok ilçe kalmaktadır. Alanın sıcaklık ve yağış değerlerinde doğudan batıya doğru gidildikçe artış görülmektedir. Değerlerin bu yönlü değişmesi üzerinde yüksekliğin artması ve deniz etkeninin azalması yatmaktadır. Karasal iklimin etkisinde kalan havzada kışlar doğuda çok soğuk olurken yazlar sıcak geçmektedir. Toplam havza alanı 25856,8 km<sup>2</sup> olup, 8,1 milyar m<sup>3</sup> akıma sahiptir [15].

### Yöntem

#### Yöntem (Bulanık SMRGT)

Bulanık mantık klasik mantığa nazaran kesin sonuçtan ziyade yaklaşık sonuçlara ulaşmayı hedeflemektedir. Örneğin Klasik mantığa göre hava ya sıcaktır ya da değildir. Soğuk ise sıcak değildir, sıcak ise soğuk değildir. Oysa bulanık mantıkta bir sıcaklık değeri, farklı veya aynı üyelik dereceleri ile iki kümeye ait olabilmektedir. Buna göre örneğin sıcaklık uzayı, “çok soğuk”, “soğuk”, “az soğuk”, “ılık”, “az sıcak”, “sıcak”, “çok sıcak” gibi sözel ifadeler kullanılarak çok sayıda alt bulanık küme ile ifade edilebilir. Diğer taraftan, Klasik mantıkta bir eleman bir kümeye ya aittir (aitlik; üyelik derecesi 1) veya değildir (aitlik, üyelik derecesi sıfır). Oysa bulanık mantıkta bir eleman birden fazla bulanık kümeye farklı veya aynı üyelik dereceleri ile bağlı olabilmektedir. Bu çalışmada modelin kurulması için MATLAB'2019b programı ve araç olarak da Fuzzy Logic tercih edilmiştir.

Bulanık SMRGT yöntemi ilk olarak Toprak (2009) tarafından önerilmiştir [16]. Yöntem, üyelik fonksiyonlarının ve bulanık kural tabanının belirlenmesinde kullanılmaktadır ve ilk olarak yazar tarafından, açık kanal en kesitinin hesaplanmasında kullanılmış ve örnek uygulamaları verilmiştir. Sonrasında birçok

alandaki modelleme tekniği olarak kullanılmıştır. Örneğin Altaş ve ark. (2017) ve Altaş (2017), SMRGT yöntemini açık kanal akımlarında su yüzü profilinin modellenmesinde yani hidrolik alanında kullanmıştır [17]. Bayrı (2018) zeminlerin sismik açıdan sınıflandırılmasında yani geoteknik alanında kullanmıştır [18]. Akış katsayısının belirlenmesinde yani hidroloji alanında ise Karakaya (2018) aynı yöntemi kullanmıştır [19]. Diğer taraftan Çakır Aydın (2018) ise peyzaj açısından ortamın gürültü kirliliğinin sınıflandırılmasında, yani mimari alanda yöntemin bir uygulamasını vermiştir [20]. Çevre bilimindeki ilk uygulamasını kuraklık indisinin belirlenmesi ile ilgili çalışması ile Hamidi ve ark. (2013) vermiştir [21]. Toprak ve ark. (2012) içme suyu şebekelerinde kayıp ve kaçakların tespitinde yani çevre bilimlerinde kullanmıştır [22]. Yalaz ve ark. (2013a), Yalaz ve ark. (2013b), Yalaz ve Atay (2016) bulanık doğrusal regresyon analizinde yani matematik alanında kullanmıştır [23]. Toprak ve ark. (2017) ise yöntemin avantaj ve dezavantajlarından ve pratik uygulamalarından söz etmiştir [24]. Yöntemin yeni olması, modellemede olayın fiziğini yansıtmaması, kolay uygulanabilir olması, gerçeğe çok yakın tahminlerde bulunması nedeniyle kısa sürede kullanım alanları artmıştır.

Bulanık SMRGT yöntemini dokuz adımda daha detaylı olarak açıklamak mümkündür:

- 1) Eldeki olay için bağımlı değişkeni etkileyen bağımsız değişkenler belirlenir.
- 2) Her bir değişken için maksimum ve minimum değerler belirlenir.
- 3) Üyelik fonksiyonunun şekline karar verilir (üçgen, trapez vb.).
- 4) Her bağımsız değişkenin üyelik fonksiyonu için bulanık alt küme sayısına karar verilir. Yöntemin kendisinden kaynaklı olarak bu sayı tek seçilmektedir. Bulanık küme sayısının fazla olması programın yükünü, az olması ise hata oranını artırmaktadır. Bu nedenle eldeki problemin önemi ve hassaslığına bağlı olarak bu sayı optimize edilmelidir.
- 5) Her bağımsız değişken için onların anahtar değerleriyle üyelik fonksiyonlarının merkezi ve genişliği belirlenir.
- 6) Bu anahtar değerler bulanık modelin girdileridir.

7) Böylece Bulanık SMRGT modeli, her bir bağımsız değişken için ilk ve son üyelik fonksiyonunun ağırlık merkezine denk gelen değer aralığı için geçerlidir.

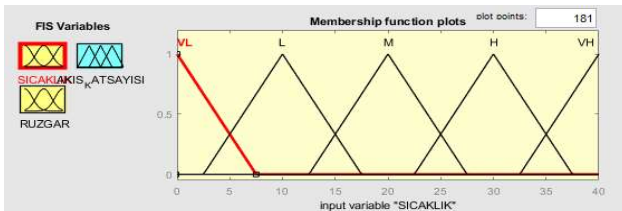
8) Çıktıların anahtar değerleri ve bulanık kuralların sayısını veren bir tablo hazırlanır.

9) Çıktıların üyelik fonksiyonları girdilerin üyelik fonksiyonları gibi oluşturulur.

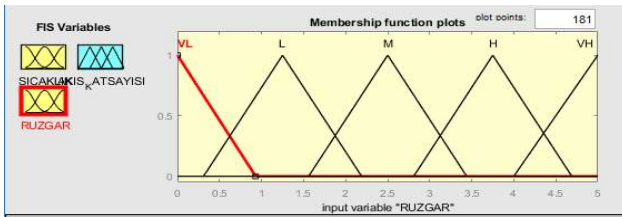
### Modelin Kurulması

Bu çalışmada, üyelik fonksiyonları ve bulanık kural tabanının belirlenmesinde SMRGT, operatör olarak da Mamdani kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarında bulanık kümelerin ilki ve sonuncusu dik üçgen ve ortadakiler ise ikizkenar üçgen seçilmiştir. Her bir bağımsız değişken için bulanık alt küme sayısı 5 olarak seçilmiştir. SMRGT yöntemine göre bu sayının tek olması tercih edilmektedir. Bulanık SMRGT tekniği gereği bağımlı değişkenin bulanık alt küme sayısı  $N = nm$  bağıntısı ile belirlenen bulanık kural sayısına eşit olacak şekilde 25 olarak hesaplanmıştır. SMRGT'nin ilk adımı olarak akış katsayısını etkileyen tüm faktörler belirlenmiştir. Bunlar havzanın veya bölgenin veya alanın sabit değişkenleri (eğim, geçirgenlik, yüzey kaplaması) ile havzanın bölgenin veya alanın dinamik değişkenleri (yağış, rüzgâr, sıcaklık, buharlaşma vb.) olarak ifade edilebilir. Karakaya (2018) tarafından 3 alt model kurulmuş ve bu modellerden birincisinde bağımsız değişken sıcaklık ve rüzgar alınmıştır. Çıktı olarak sadece bu iki değişkenden kaynaklanan meteorolojik akış katsayısı bulunmuştur. Diğer ikinci modelde ise eğim (S) ve arazi kullanımı (G) girdileri kullanılarak arazi koşullarına bağlı akış katsayısı tespit edilmiştir. Üçüncü ve son alt modelde ise sızdırmazlık (I) ve doygunluk derecesi (Sr) girdileri kullanılarak bunlara bağlı akış katsayısı SMRGT yöntemiyle belirlenmiştir. Bu 3 alt modelden meydana gelen akış katsayısı modeli Şırnak üniversitesi yerleşkesine uygulanmıştır. Bu çalışmada ise Muş kent merkezi için sadece sıcaklık ve rüzgârdan kaynaklanan akış katsayısı bulanık SMRGT yöntemiyle modellenmiştir. Akışın meydana gelmesi için elbette ki yağış şarttır. Yağışın, sızma ve diğer kayıpların da hesaba katılması halinde havza için daha detaylı bir çalışma olacaktır. Ancak bu çalışmada sadece meteorolojik akış katsayısı belirlenmek istendiğinden sızma ve diğer kayıplar hariç

tutulmuştur. Başka bir ifade ile sızma ve diğer kayıplardan sonra kalan yağışın sadece buharlaşmadan kaynaklanan akış katsayısı yüzde cinsinden tespit edilmeye çalışılmıştır. Burada akış katsayısı 0-100 arasında değişen meydana gelen yağışın yüzdesi şeklinde ifade edilmiştir. Modellemede, Muş Meteoroloji İl Müdürlüğü'nden temin edilen ve 1988-2018 yıllarını kapsayan aylık ortalama sıcaklık ve rüzgâr verileri esas alınmıştır. Daha sonra toplamda 31 yıllık verilerin yıllık ortalaması alınmıştır. Sıcaklık için min 0 °C ve mak 40 °C ve rüzgâr için min 0 m/s ve max 5 m/s değerleri alınmıştır. Aşağıda girdilerin (sıcaklık, rüzgâr) ve çıktının (akış katsayısı) bulanık kümeleri verilmiştir.

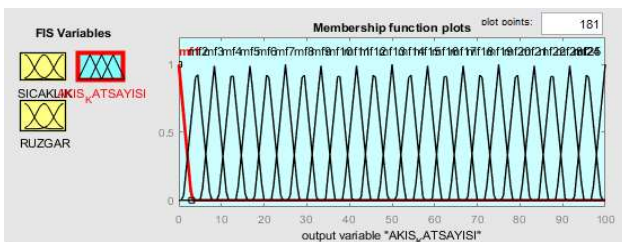


a



b

Şekil 1. Bağımsız değişkenlere ait bulanık kümeler a) Sıcaklık, b) Rüzgâr.

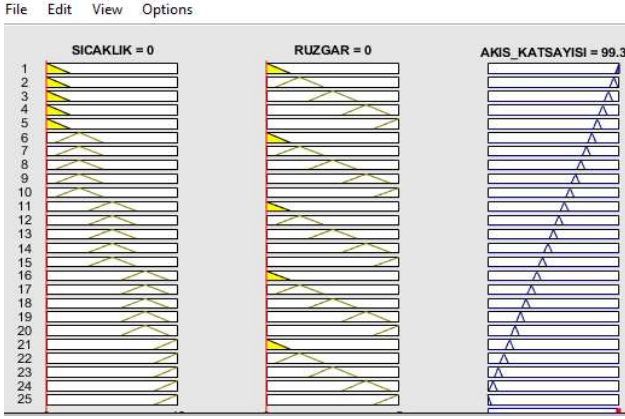


Şekil 2. Bağımlı değişkene ait bulanık kümeler

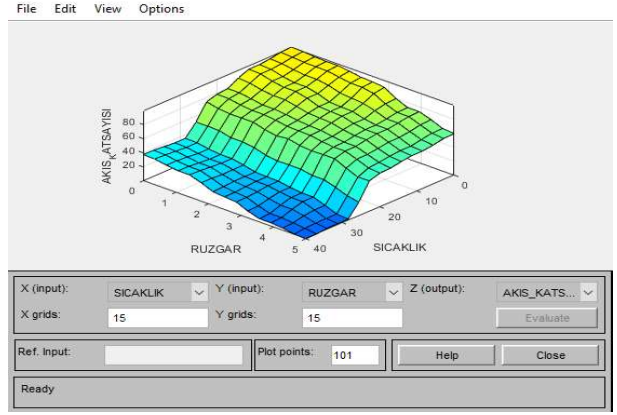
### Model Sonuçları

Tablo 1'de, 1 kolon kural numarasını, ikinci ve üçüncü kolonlar sıcaklık değişkeninin sayısal ve sözel olarak ifade edilen bulanık alt kümelerin anahtar değerlerini, 4. ve 5. Kolonlar ise benzer şekilde rüzgâr değişkeninin anahtar değerlerini göstermektedir. 6. Kolon ise her bir kuralın ağırlık katsayısını ve takip eden iki kolon ise

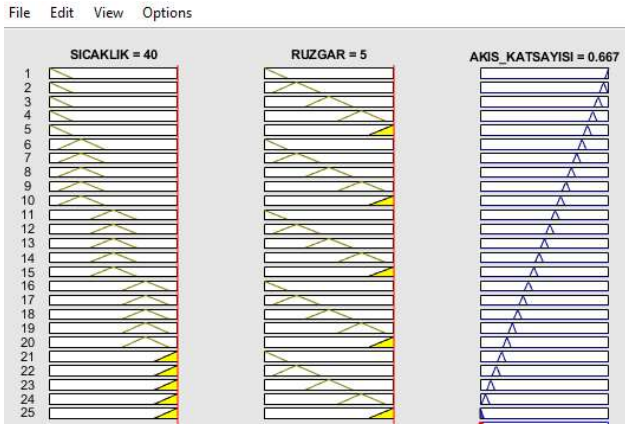
akış katsayısının yani çıktının sayısal ve sözel olarak ifade edilen alt bulanık kümelerin anahtar değerlerini gösterirken son iki kolon ise model sonuçlarını ve her bir kurala ait ortalama mutlak rölatif hatayı göstermektedir. Tabloya bakılırsa model sonuçları ile anahtar değerler karşılaştırıldığında genel olarak modelin iyi tahminde bulunduğu ve ortalama mutlak rölatif hatanın düşük olduğu görülmektedir. Bununla birlikte modelin toplamda ortalama mutlak rölatif hatasının (OMRH) %32.12 oranı ile yüksek çıkmıştır. Bu yüksek hatanın, 21-25 nolu kurallardan kaynaklandığı tablodan açıkça okunabilmektedir. Bu sorunun nedeni araştırmaya değer olarak mütalaa edilmektedir. Şekil 3 ve 4'te verilen model sonuçlarına bakılırsa sıcaklık ve rüzgârın minimum değerine karşılık akış katsayısının %99.3 gibi maksimum bir değer aldığı (Şekil 3) ve sıcaklık ve rüzgârın maksimum değerine karşılık %0.667 gibi minimum bir değer aldığı (Şekil 4) görülecektir. Bu durum, sıcaklık ve rüzgârın buharlaşma üzerinde etkisinin olduğunu ve buharlaşmanın yüksek olması ise akışı azalttığı gibi bir fiziksel sonucu doğrulamaktadır. Bu nedenle bu durum aynı zamanda modelin doğruya çok yakın tahminde bulunduğu dolayısıyla gerçekçi sonuçlar verdiğinin açık bir göstergesidir. Şekil 5'te her üç değişkenin (bağımlı ve bağımsız değişkenlerin) arasındaki ilişki üç boyutlu bir grafik ile gösterilmiştir. Bu grafik de tıpkı Şekil 3 ve 4 gibi aynı sonuçları doğrulamaktadır. Tablo 2 ise model sonuçları ile çıktının anahtar değerlerinin istatistik büyüklükleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere, model sonuçları ile anahtar değerlerin istatistik büyüklükleri oldukça birbirine yakın ve aralarındaki korelasyon katsayısının da oldukça yüksek olduğu (0.99) söylenebilir. Bu tablo da modelin gerçekçi davrandığına dair yukarıda anılan tablo ve grafikleri desteklediğini göstermektedir. Şekil 7'de veriler ile anahtar değerlerin sırasıyla saçılma grafiği ile seri grafiği verilmiştir. Saçılma grafiği, değerlerin 45 derecelik bir doğru etrafında dağıldığı görülmektedir. Bu durum, modelin tarafsız davrandığını göstermesi açısından önem arz etmektedir. Diğer grafik de değerlerin oldukça birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Bu da modelin gerçekçi davrandığını göstermesi açısından anlamlıdır.



Şekil 3. Kuralların MATLAB ile grafişsel görünümü



Şekil 5. Akış katsayısının sıcaklık ve rüzgâra bağı değışimi



Şekil 4. Kuralların MATLAB ile grafişsel görünümü

Tablo 1. Bulanık Kuralları Oluşturma

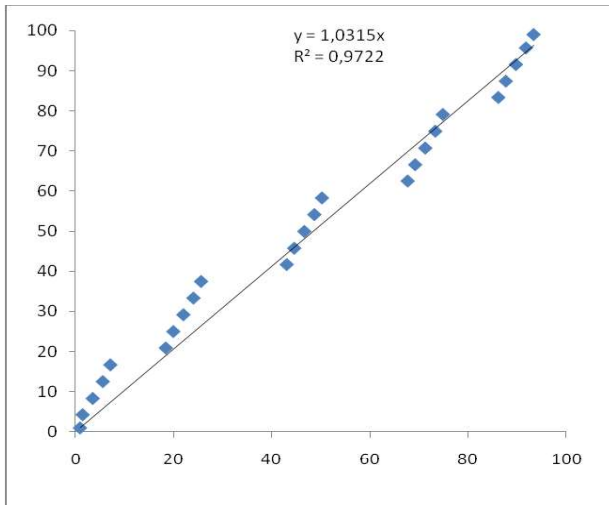
Kural No	Sıcaklık (°C)		Ruzgar (m/s)		Ağırlık Katsayısı	Akış Katsayısı (Veri)		Model	OMRH
	Sayısal	Sözel	Sayısal	Sözel	Sayısal	Sayısal	Sözel		
1	2.50	Çok Düşük	0.31	Çok Düşük	1.62	93.34	Bir	99.14	0.25
2	2.50	Çok Düşük	1.25	Düşük	2.00	91.79	İki	95.80	0.17
3	2.50	Çok Düşük	2.50	Orta	2.50	89.74	Üç	91.65	0.09
4	2.50	Çok Düşük	3.75	Yüksek	3.00	87.69	Dört	87.50	0.01
5	2.50	Çok Düşük	4.68	Çok Yüksek	3.37	86.16	Beş	83.43	0.13
6	10.00	Düşük	0.31	Çok Düşük	6.12	74.87	Alti	79.20	0.23
7	10.00	Düşük	1.25	Düşük	6.50	73.33	Yedi	75.00	0.09
8	10.00	Düşük	2.50	Orta	7.00	71.28	Sekiz	70.80	0.03
9	10.00	Düşük	3.75	Yüksek	7.50	69.23	Dokuz	66.65	0.15
10	10.00	Düşük	4.68	Çok Yüksek	7.87	67.70	On	62.58	0.30
11	20.00	Orta	0.31	Çok Düşük	12.12	50.25	Onbir	58.35	0.64
12	20.00	Orta	1.25	Düşük	12.50	48.71	Oniki	54.20	0.45
13	20.00	Orta	2.50	Orta	13.00	46.66	Onüç	50.00	0.29
14	20.00	Orta	3.75	Yüksek	13.50	44.61	Ondört	45.80	0.11
15	20.00	Orta	4.68	Çok Yüksek	13.87	43.08	Onbeş	41.72	0.13
16	30.00	Yüksek	0.31	Çok Düşük	18.12	25.64	Onaltı	37.50	1.85
17	30.00	Yüksek	1.25	Düşük	18.50	24.09	Onyedi	33.35	1.54
18	30.00	Yüksek	2.50	Orta	19.00	22.04	Onsekiz	29.20	1.30
19	30.00	Yüksek	3.75	Yüksek	19.50	19.99	Ondokuz	25.00	1.00
20	30.00	Yüksek	4.68	Çok Yüksek	19.87	18.46	Yirmi	20.90	0.53
21	37.50	Çok Yüksek	0.31	Çok Düşük	22.62	7.17	Yirmibir	16.69	5.31
22	37.50	Çok Yüksek	1.25	Düşük	23.00	5.63	Yirmiiki	12.50	4.88
23	37.50	Çok Yüksek	2.50	Orta	23.50	3.58	Yirmiüç	8.30	5.28
24	37.50	Çok Yüksek	3.75	Yüksek	24.00	1.53	Yirmidört	4.24	7.10
25	37.50	Çok Yüksek	4.68	Çok Yüksek	24.37	1.00	Yirmibeş	0.93	0.28
								<b>Toplam</b>	32.12



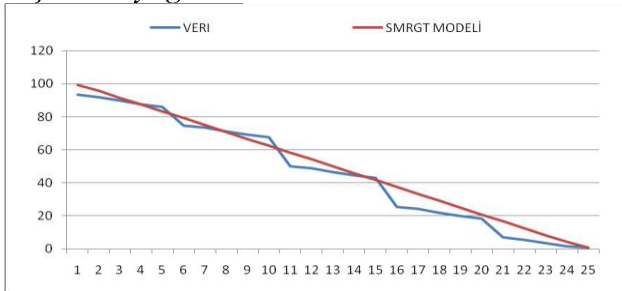
Tablo 2'den açıkça görüldüğü üzere verilerin istatistik büyüklükleri ile model sonuçlarının istatistiksel büyüklükleri birbirine oldukça yakındır. Her ikisinin arasındaki Pearson korelasyon katsayısı da oldukça yüksektir (0,99). Bu iki durum, modelin başarılı olduğunu göstermektedir. Zaten Şekil 6 ve Şekil 7'de verilen saçılma diyagramı ile seri grafiği de bu sonucu desteklemektedir. Saçılma diyagramında ortalama doğrusu yatayla 45° açı yapmaktadır ve değerler doğrunun etrafında oldukça yakın dağılmıştır.

Tablo 2. Model sonuçlarının veriler ile istatistiksel karşılaştırılması

İSTATİKSEL BÜYÜKLÜKLER	VERİ	MODEL
Maximum	93.34	99.14
Minimum	1.00	0.93
Ortalama	46.70	50.02
Standart Sapma	32.08	30.54
Değişim Katsayısı	0.69	0.61
Korelasyon Katsayısı	0.99	
Çarpıklık Katsayısı	-0.05	-0.03



Şekil 6. Veriler ile model sonuçları arasındaki saçılma diyagramı



Şekil 7. Veriler ile SMRGT sonuçlarının seri grafiği

## Sonuç ve Öneriler

Günümüzde geleceğe yönelik tahmin modellerinin geliştirilmesinde istatistik, olasılık ve stokastik yöntemler gibi klasik veya YSA, GA gibi modern yöntemler kullanılmaktadır. Ancak kullanılan yöntemlerin çoğu kara kutu yöntemlerdir. Kara kutu yöntemler ile geliştirilen modellerin genelleştirilmeleri beraberinde bazı sakıncaları getirmektedir. Bu nedenle modellemelerde genelleştirilebilir yöntemlerin kullanılması tercih edilmelidir. Bu çalışmada, olayın fizik sebep sonuç ilişkisini de dikkate alan ve henüz yeni olan bulanık SMRGT yöntemi Murat Havzası için meteorolojik etkenlere bağlı akış katsayısının modellenmesinde kullanılmıştır. Modelin girdileri (bağımsız değişkenler) sıcaklık ve rüzgâr hızı, çıktısı (bağımsız değişken) ise meteorolojik değişkenlere bağlı akış katsayısıdır. Model sonuçları ile çıktının anahtar değerleri maksimum, minimum, ortalama, standart sapma, değişim katsayısı ve çarpıklık katsayısı gibi temel istatistik büyüklükler, ortalama mutlak rölatif hata ile ve görsel açıdan da iki farklı grafik ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda SMRGT sonuçlarının oldukça gerçekçi olduğu, Karakaya (2018)'in çıkarımlarını desteklediği ve meteorolojik akış katsayısının belirlenmesinde güvenle kullanılabilmesi söylenebilir. Bununla birlikte, 21 - 25 numaralı kuralların ortalama mutlak rölatif hatayı artırdığını ve bu durumun araştırmaya değer olduğunu belirtmekte fayda görülmektedir.

## Bilgi

Bu çalışma daha önce Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi 10. Ulusal Hidroloji Kongresinde sözlü bildiri olarak sunulmuş olup güncellenmiş ve genişletilmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Sunkar, M., & Toprak, A. Sel ve Taşkın Çalışmalarında Tarihi Veri Kaynaklarının Önemi.
- [2] Onuşluel G., Harmancıoğlu N.B., (2002), Su kaynaklı doğal afet: taşkın, TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 420-421-422/2002/4-5-6, 131-132.
- [3] Benn, S. (2004). Managing toxic chemicals in Australia: a regional analysis of the risk society. Journal of Risk Research, 7(4), 399-412.

- [4] Bayazıt, M., (1998). Hidrolojik Modeller, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [5] Alp, M., & Cigizoglu, H. K. (2010). Farklı yapay sinir ağı metodları ile yağış-akış ilişkisinin modellenmesi. İTÜ DERGİSİ/d, 3(1).
- [6] Hall, M.J. ve Minns, A.W., (1998). Regional flood frequency analysis using artificial neural networks, Hydroinformatics Conference, Copenhagen.
- [7] Özcan, O. (2017). Taşkın tespitinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi: Ayamama Deresi örneği.
- [8] Stronska, K., Borowicz, A., (1999). Institute of Meteorology and Water Management, Wrocław, Kitowski, K., Michalik, G., Regional Water Development Authority Wrocław, Jorgensen, G., Van Kalken, T., Butts, M., Danish Hydraulic Institute, MIKE 11 as Flood Management and Flood Forecasting Tool for The Odra River, Poland, 3 rd DHI Software Conf., Helsingor.
- [9] Baykal, T., & Terzi, Ö. Flood Frequency Analysis of Kucuk Aksu River. Cumhuriyet Science Journal, 38(4), 639-646.
- [10] Barbero, S., Rabuffetti, D., (1999). Development of a Physically Based Flood Forecasting System "MIKE Flood Watch" in the Piemonte Region, 3th DHI Software Conference, Torino, Italya.
- [11] Van Kalken, T., Skotner, C., & Madsen, H. (2004). A new generation, GIS based, open flood forecasting system. In Proceedings of the 8th National Conference on Hydraulics in Water Engineering, The institute of Engineers, Australia, ISBN (Vol. 85825, p. 850).
- [12] Seçkin, N., Güven, A., & Yurtal, R. Taşkın Debilerinin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi: Örnek Bölge Çalışması-Batı Karadeniz Havzası. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(1), 45-56.
- [13] Aydın, M. (2018). Batı Akdeniz Havzası Taşkın Debilerinin L Momentler Yöntemi Ve Noktasal Taşkın Frekans Analizi İle Belirlenmesi. El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 5(1), 117-125.
- [14] Erol, O. (1993). Türkiye'nin doğal yöre ve çevreleri. Ege Coğrafya Dergisi, 7(1), 13-41.
- [15] Günek, H. (2006). Murat Nehri Havzasının (Fırat) Su Potansiyeli ve Değerlendirilmesi. Doğu Coğrafya Dergisi, 11(16), 141-163.
- [16] Toprak, ZF., (2009). Flow Discharge Modeling in Open Canals Using a New Fuzzy Modeling Technique (SMRGT). CLEAN – Soil, Air, Water, 37(9): 742–752, 2009.10.1002 / clen. 200900146.
- [17] Altaş, E., Aydın, M. C., & Toprak, Z. F. Açık Kanal Akımlarında Su Yüzü Profilinin Bulanık SMRGT Yöntemiyle Modellenmesi. DÜMF Mühendislik Dergisi, 9(2), 975-981.
- [18] Bayri G., (2018). Zeminlerin Basit Üyeli Fonksiyonlar ve Bulanık Kurallar Üretim Tekniği (SMRGT) ile Sınıflandırılması Bitlis Eren Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi
- [19] Karakaya Derya, (2018), Akış Katsayısının Bulanık SMRGT Yöntemi İle Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Danışman, Prof. Dr. Z. Fuat Toprak
- [20] Çakır Aydın D., (2018) İşitsel peyzajda ses çevresi memnuniyet düzeyinin bulanık mantık ile tahmin edilmesi: Diyarbakır Suriçi uygulaması İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Mimarlık Anabilim Dalı Doktora Tezi
- [21] Hamidi N, Toprak ZF, Gülsever H, and Sungur M (2013), Kuraklık İndisinin SMRGT Yöntemi İle Modellenmesi, Bildiri Kitabı pp. 311 -322, 3. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 2013 (3rd TurkeyClimateChangeCongress), June 23 – 25, 2013, ITU, İstanbul – Turkey.
- [22] Toprak Z.F., Songur, M., Hamidi, N. andGulsever, H., (2012). Determination of Losses in Water-Networks Using a New FuzzyTechnique (SMRGT), AWER Procedia Information Technology&ComputerScience, 03(2013): 833-840.
- [23] Yalaz S, Atay A, and Toprak ZF (2015), SMRGT yöntemi ile bulanıklaştırılmış veriler için bulanık doğrusal regresyon, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 31(3), 152-158, ISSN: 1012-2354
- [24] Toprak Z.F, Toprak A, Aykaç Z (2017), Bulanık SMRGT yönteminin pratik uygulamaları, DÜ Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt: 8, Sayı: 1, Sayfa: 123-132, Ocak 2017.



## Araştırma Makalesi / Research Article

## Farklı tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisindeki TSD sistemlerin yapısal tepkilerinin ve giren enerjilerinin değerlendirilmesi

*Evaluation of structural response and input energies of SDOF systems subjected to earthquake records scaled according to different design spectra*İbrahim Özgür DEDEOĞLU<sup>1\*</sup>, Yusuf CALAYIR<sup>2</sup><sup>1</sup> Batman Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Batman, [iozgur.dedeglu@batman.edu.tr](mailto:iozgur.dedeglu@batman.edu.tr), ORCID: 0000-0001-5356-6655<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, [ycalayir@firat.edu.tr](mailto:ycalayir@firat.edu.tr), ORCID: 0000-0002-6387-5360

## MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*Geliş: 31 Aralık 2020  
Düzeltilme: 16 Mart 2021  
Kabul: 16 Mart 2021*Anahtar kelimeler:*

Enerji esaslı tasarım, TBDY (2018), DBYBHY (2007), Giren Enerji, TSD Sistemler

## ÖZET

Enerji tabanlı sismik tasarım yaklaşımında, yapılara enerji girişi olarak deprem yer hareketi dikkate alınmaktadır. Deprem sırasında sisteme giren enerji, yapı sisteminde oluşan kinetik enerji, sönümlenme enerjisi, elastik şekil değiştirme enerjisi ve histeretik enerji bileşenlerinin toplamına eşittir. Bu yüzden sisteme giren enerjinin miktarının ve ne şekilde tüketildiğinin bilinmesi önemlidir. Bu çalışmada, Elazığ il merkezinde bulunduğu varsayılan 3 adet tek serbestlik dereceli (TSD) oluşturulmuş ve bu yapı sistemlerin, DBYYHY (2007) ve TBDY (2018)'nin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem ivme kayıtları altındaki davranışları değerlendirilmiştir. Bu amaçla beş farklı deprem ivme kaydı seçilmiştir. Bu ivme kayıtları, yapıların bulunduğu bölge dikkate alınarak, her iki yönetmeliğin dört zemin sınıfı için oluşturulan tasarım spektrumlarına göre ayrı ayrı ölçeklendirilerek kullanılmıştır. Yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışı için iki-doğrulu (non-linear) model dikkate alınmıştır. TSD modellerin hareket denklemleri Newmark ortalama ivme yöntemi kullanılarak zaman tanım alanında çözülmüştür. Her bir yapı modeline ait yer değiştirmeler zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerden belirlendikten sonra, deprem etkisiyle TSD sistemlere giren toplam enerji miktarları hesaplanmıştır. Yapısal sistemlerinde oluşan yer değiştirmeler, kesme kuvvetleri ve enerji girdileri birbirleri arasında karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Doi: 10.24012/dumf.851068

## ARTICLE INFO

*Article history:*Received: 31 December 2020  
Revised: 16 March 2021  
Accepted: 16 March 2021*Keywords:*

Energy based design, TBDY (2018), DBYBHY (2007), Input Energy, SDOF Systems

## ABSTRACT

In the energy-based seismic design approach, earthquake ground motion is taken into account as input energy to structures. This energy entering the system during the earthquake is equal to the sum of the kinetic energy, damping energy, elastic strain energy and hysteretic energy components formed in the structure system. Therefore, it is important to know the value of the energy entering the system and how it is consumed. In this study, 3 single degree of freedom (TSD) models, which are assumed to be located in Elazığ city center, were formed. Then, the behavior of these structural systems under earthquake acceleration records scaled according to the design spectra of the soil classes of DBYYHY (2007) and TBDY (2018) were evaluated. For this purpose five different earthquake records were selected. These acceleration records were used by scaling separately according to the design spectra for the four soil classes of both regulations, taking into account the area where the buildings are located. For the nonlinear behavior of structural elements, bi-linear model is considered. The motion equations of SDOF models are solved in the time domain using the Newmark average acceleration method. After determining the displacements of each system by using nonlinear dynamic analysis in the time domain, the total input energies of SDOF systems with the earthquake were calculated. The displacements, shear forces and energy inputs in the structures models were compared with each other and the results were evaluated.

\* Sorumlu yazar / Correspondence  
İbrahim Özgür Dedeoğlu  
✉ [iozgur.dedeglu@batman.edu.tr](mailto:iozgur.dedeglu@batman.edu.tr)

## Giriş

Günümüzde yapı sistemlerinin depreme dayanıklı tasarımında; yapı sistemlerinin az şiddetli depremlerde hasar görmemesi, orta şiddetli depremlerde onarılabılır hasar görmesi ve şiddetli depremlerde göçmeden ayakta kalabilmesi felsefesi dikkate alınmaktadır. Tasarım aşamasında yönetmeliklerde deprem yükü hesabında kuvvet (dayanım) tabanlı ve şekil değiştirme esaslı yöntemler kullanılmaktadır. Kuvvet esaslı yöntemlerde; yapı taşıyıcı sistemine etkiyen düşey ve yatay yük etkileri altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan iç kuvvetlerin, bu elemanların taşıma gücü değerlerini aşmaması esası dikkate alınmakta ve yapı tasarımı buna göre gerçekleştirilmektedir. Diğer bir yaklaşım olan şekil değiştirme esaslı yöntemler ise, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan şekil değiştirme ve davranış özelliklerini dikkate alan yapısal güvenlik değerlendirme ya da performans dayalı tasarım yöntemleridir. Her iki yöntemde, tasarım aşamasında özellikle maksimum kuvvet, şekil ve yer değiştirme değerleri dikkate alınarak yapı tasarımı yapılmaktadır.

Ancak yukarıda sözü edilen tasarım yöntemlerinde yapı sisteminin tekrarlı yükler altındaki davranışı ve yapı elemanlarının doğrusal olmayan yer değiştirmedeki histeretik çevrimsel davranışı dolaylı olarak dikkate alınmakta ve birikimli hasar ise hemen hemen hiç göz önüne alınmamaktadır. Depreme dayanıklı tasarımda, yapının deprem yükleri altında yapısal hasarını tanımlamanın bir diğer yolu yapı sisteminin enerji esaslı değerlendirilmesidir. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalar ise, henüz mevcut deprem yönetmeliklerine doğrudan girmemiş olan enerji esaslı yöntemlerin yapısal tasarım ve değerlendirme açısından diğer tasarım yöntemlerine göre daha akılcı ve güvenilir olabileceğini göstermektedir [1]-[7].

Enerji kavramının yapı tasarımında bir seçenek olarak kullanılması ilk kez Housner tarafından 1. Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı'nda önerilmiştir. Çalışmada, belirli depremlerin hız spektrumlarının geniş bir periyod aralığında sabit kalma eğiliminin olduğu gösterilmiştir. Yapı

sistemlerine depremle birlikte giren enerjinin hız spektrumuna bağlı olarak tanımlanması, yapı tasarımına yeni bir bakış açısı getirmiş ve birçok araştırmaya ışık tutmuştur [8]. Bir depremin şiddeti genellikle yer hareketinin maksimum yer ivmesi esas dikkate alınarak değerlendirilir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki depremin maksimum yer ivmesi ile yapı hasarı arasında doğrudan bir ilişki olmadığı gözlenmiştir [9]. Enerji ve enerji parametreleri orta ve şiddetli depremlere maruz yapıların tasarımında umut veren önemli parametrelerdir [10]. Yapı sistemleri, deprem etkidiği esnada yapıya giren enerjiyi tüketmek zorundadırlar. Bu deprem enerjisinin bir kısmı elastik ve kinetik olarak depolanmaktadır, kalan enerji ise yapısal ve yapısal olmayan yapı elemanlar tarafından sönüm ve doğrusal olmayan davranış yolu ile tüketilmektedir [11].

Enerji esaslı deprem mühendisliğinde cevabı aranan en temel soru deprem etkisindeki yapı sistemlerine giren enerjinin belirlenmesidir. Yapılara enerji girişi ile ilgili literatürde öncü çalışmalar mevcuttur. Bu öncü çalışmalar depreme dayanıklı yapı tasarımında yeni bakış açıları göstermişlerdir. Hafif şiddetli depremlerde giren enerji yapıda elastik enerji ve sönüm enerjisi olarak tüketilirken, orta şiddetli ve güçlü yer hareketlerinde bu enerjinin büyük bir çoğunluğu doğrusal olmayan davranış yoluyla (histeretik, plastik enerji olarak) tüketilmektedir. Enerji esaslı tasarım yöntemi, yapı sistemini meydana getiren elemanların elastik ve elastik ötesi davranışta tüketileceği toplam enerji kapasitesinin deprem sırasında yapıya girecek olan enerji (talep edilen enerji) ile karşılaştırması esasına dayanmaktadır [12-29].

Yapılan bu çalışmada, Elazığ il merkezinde bulunduğu varsayılan 3 adet TSD yapı sisteminin DBYYHY (2007) ve TBDY (2018)'nin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem yer hareketleri altındaki davranışları değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, yapı sistemlerinde oluşan yer değiştirmeler ve kesme kuvvetleri gibi yapısal tepkileri ile deprem esnasında sisteme giren enerji miktarları irdelenmiştir.

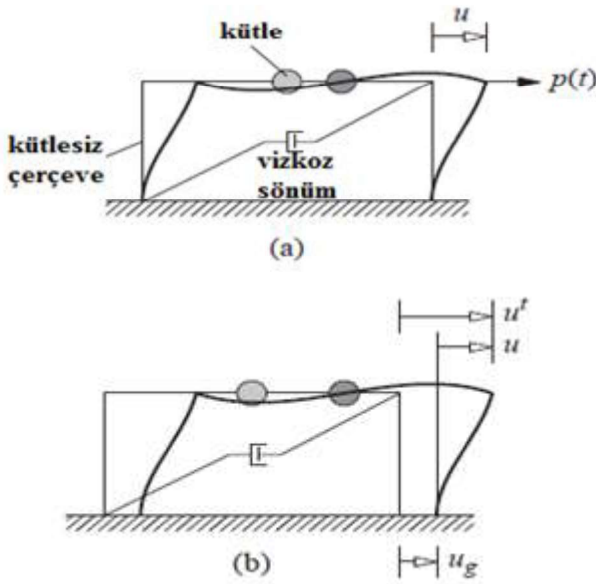
### Sismik enerji bileşenleri

Yatay bir yer hareketi etkisindeki viskoz sönümlü TSD bir sistem Şekil 1'de verilmiştir [30]. TSD sistemin hareket denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$m\ddot{u}_t(t) + c\dot{u}(t) + f_s(u) = 0 \quad (1)$$

Burada  $m$  kütle,  $c$  sönüm katsayısı,  $f_s$  yay kuvveti (doğrusal bir sistem için  $f_s = k * u$ ),  $u$  kütle için yere göre rölatif yer değiştirmesi,  $u_g$  yer hareketi yer değiştirmesi ve  $u_t = u + u_g$  olmak üzere toplam yer değiştirmedir. Eğer deprem etkisi, tabana ankastre bir sisteme etkileyen bir dış yük olarak düşünülürse, Denklem 1 aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$m\ddot{u}_t(t) + c\dot{u}(t) + f_s(u(t), \dot{u}(t)) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (2)$$



Şekil 1. TSD sistem a) Tabana ankastre eşdeğer sistem b) Hareket edebilen sistem

Enerji esaslı tasarımda deprem anında yapıya giren enerji; sistemin kinetik, sönüm, elastik şekil değiştirme enerjisi ve doğrusal olmayan şekil değiştirme (histeretik) enerjilerinin toplamı olarak tariflenmektedir. Enerji bağıntısı Denklem 2'de verilen temel yapı dinamiği denkleminin yer değiştirmeye bağlı olarak integrasyonuna dayanmaktadır [30].

$$\int_0^u m \ddot{u}(t) du + \int_0^u c \dot{u}(t) du + \int_0^u f_s(u(t), \dot{u}(t)) du = - \int_0^u m \ddot{u}_g(t) du \quad (3)$$

Denklem 3'ün sağ tarafında yer alan ifade; yapıya giren toplam enerjiyi,  $E_I$  göstermektedir.

$$E_I = - \int_0^u m \ddot{u}_g(t) du$$

Denklem 3'ün sol tarafında yer alan ilk terim; kütle için yere göre göreceli hareketiyle ilişkili olan kinetik enerjiyi,  $E_K$  göstermektedir.

$$E_K = \int_0^u m \dot{u}(t) du = \int_0^u m \dot{u}(t) d\dot{u} = \frac{m\dot{u}^2}{2}$$

Denklem 3'ün sol tarafında yer alan ikinci terim; viskoz sönüm yoluyla tüketilen sönüm enerjiyi,  $E_D$  göstermektedir.

$$E_D = \int_0^u c \dot{u}(t) du$$

Denklem 3'ün sol tarafında yer alan üçüncü terim ise; sistemin elastik ve elastik ötesi olan doğrusal olmayan davranış yoluyla tüketilen toplam enerjiyi,  $E_a$  göstermektedir. Elastik birim şekil değiştirme enerjisi,  $E_s$ :

$$E_s = \frac{[f_s(t)]^2}{2k}$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $k$  doğrusal olmayan sistemin başlangıç rijitliğini göstermektedir. Sistemin akması sonucu doğrusal olmayan davranışa geçerek tükettiği enerji ise  $E_p$ :

$$E_p = \int_0^u f_s(u(t), \dot{u}(t)) du - \frac{[f_s(t)]^2}{2k}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bu enerji terimleri göz önüne alınarak TSD bir sistemin enerji dengesi yeniden yazılırsa aşağıdaki ifade edilir.

$$E_K(t) + E_D(t) + E_s(t) + E_p(t) = E_I(t)$$

Çalışma kapsamında, enerji denklemlerinin elde edilmesinde tabana ankastre ve büyüklüğü  $-m\ddot{u}_g(t)$  olan deprem kuvveti bir dış yüklemeye maruz TSD sistem modeli kabul edilmiştir.



Ayrıca denklemlerdeki enerji terimleri toplam hareket sonucu oluşan değil, kütlelerin yere göre göreceli hareket enerjisini ifade etmektedir. Toplam enerji  $E_T$ , yer hareketi sonucu yapının temelinde oluşan toplam kesme kuvvetinin yaptığı işe göre de mutlak enerji şeklinde ifade edilebilir.[31].

Ancak bir yapıda iç kuvvetlere ve şekil değişimlerine yol açan etkilerin göreceli yer değiştirmeler ve hızlar olduğu göz önüne alındığında, göreceli yer harekete göre yazılan enerji terimlerinin mutlak hız ve yer değiştirmelere göre yazılan terimlerden daha anlamlı olduğu görülmektedir [32].

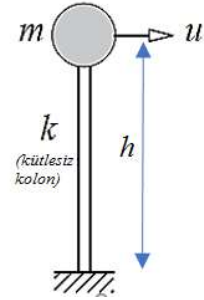
### Sayısal çalışma

#### Model tanıtımı ve yer hareketlerinin özellikleri

Çalışma kapsamında 3 adet TSD yapı modeli oluşturulmuş ve bunların Elazığ ili merkez üniversite mahallesinde bulunduğu varsayılmıştır. Yapı modellerinin periyodları her iki deprem yönetmeliğinin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarının köşe periyod değerleri olan  $T_A$  ve  $T_B$  değerleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Buna göre, Model 1'e ait periyodun tüm zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarının  $T_A$  değerlerinden küçük kalması, Model 2'ye ait periyodun tüm zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarının  $T_A$  ve  $T_B$  değerleri arasında olması ve Model 3'e ait periyodun tüm zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarının  $T_B$

değerlerinden büyük olması durumu sağlanmıştır. Oluşturulan yapı modellerinin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

TSD modellerde kütlelerin tepede toplandığı ve taban ucunda plastik mafsalsın olduğu ideal göçme mekanizması esas alınmıştır. Şekil 2'de TSD model örneği gösterilmiştir.



Şekil 2. TSD sistem modeli

DBYYHY (2007) [33] yönetmeliği için Z1, Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıfları ve TBDY (2018) [34] yönetmeliği için ZA, ZB, ZC ve ZD zemin sınıfları dikkate alınarak ölçeklendirilen 5 gerçek deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Elazığ il merkezi üniversite mahallesi için 4 zemin sınıfı dikkate alınarak oluşturulan her iki deprem yönetmeliğine ait tasarım spektrumları birlikte Şekil 3-6'da gösterilmiştir. Çalışma kapsamında, Z1-ZA, Z2-ZB, Z3-ZC ve Z4-ZD zemin sınıflarının yaklaşık eşdeğer olduğu kabul edilmiştir. Tasarım spektrumlarının karakteristik özellikleri, Tablo 2-3 'de verilmiştir.

Tablo 1. TSD Yapı modellerinin yapısal özellikleri

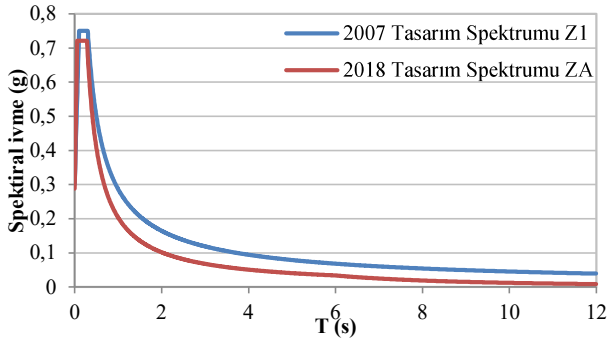
	Kolon kesiti (m <sup>2</sup> )	Kütle (t)	Kolon Yüksekliği (m)	Boyuna Donatı	Etriye çapı /Aralık (mm)	Periyod (s)	Beton ve Donatı Çeliği Sınıfı
Model 1	0.50x0.50	0.8	3	16 $\Phi$ 16	$\Phi$ 10/100	0.045	C30/B420C
Model 2	0.70x0.70	35	4.5	20 $\Phi$ 18	$\Phi$ 10/100	0.276	C30/B420C
Model 3	0.80x0.80	340	6	24 $\Phi$ 22	$\Phi$ 10/100	1.017	C30/B420C

Tablo 2. 2007 Tasarım spektrumlarının karakteristik özellikleri

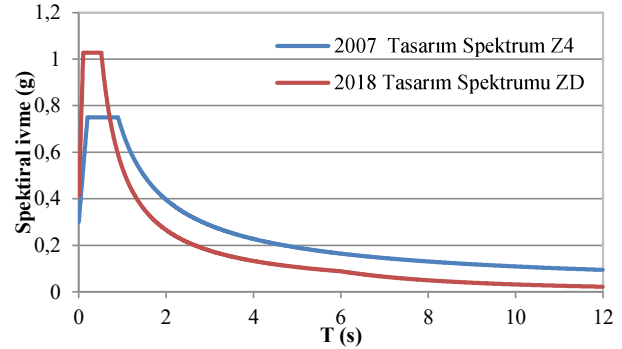
Zemin Sınıfı	Etkin yer ivme katsayısı	$T_A$	$T_B$
Z1	0.3	0.10	0.30
Z2	0.3	0.15	0.40
Z3	0.3	0.15	0.60
Z4	0.3	0.2	0.90

Tablo 3. 2018 Tasarım spektrumlarının karakteristik özellikleri

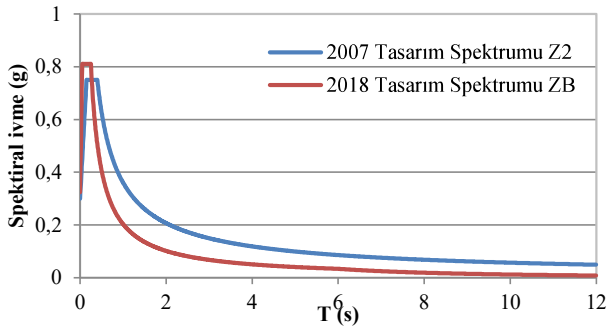
Zemin Sınıfı	$S_{DS}$	$S_{D1}$	$T_A$	$T_B$
ZA	0.721	0.282	0.056	0.282
ZB	0.811	0.203	0.050	0.251
ZC	1.081	0.381	0.070	0.352
ZD	1.027	0.531	0.104	0.518



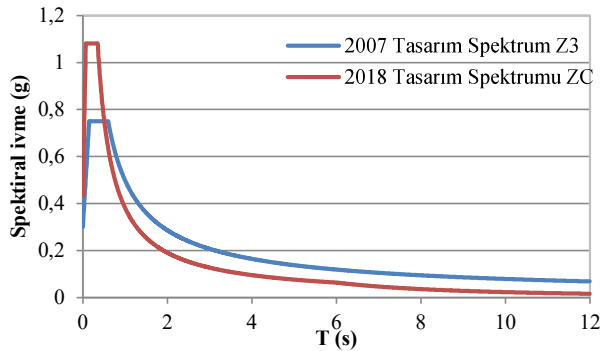
Şekil 3. Z1 ve ZA zemin sınıfına ait spektrumlar



Şekil 6. Z4 ve ZD zemin sınıfına ait spektrumlar

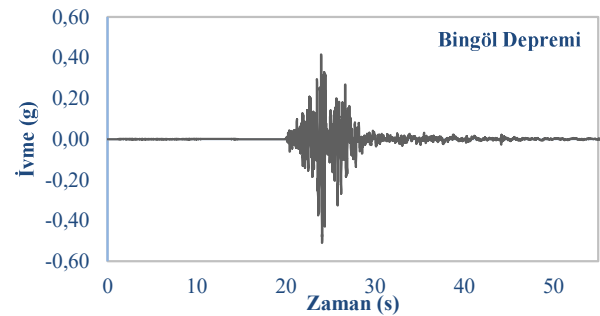


Şekil 4. Z2 ve ZB zemin sınıfına ait spektrumlar

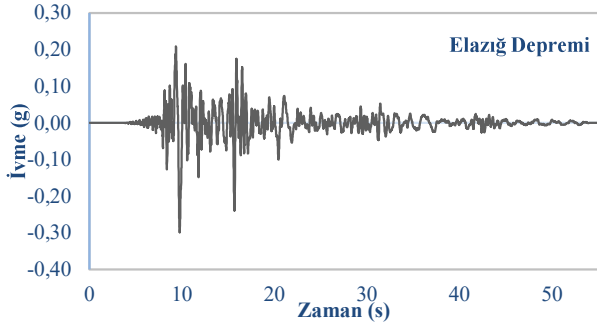


Şekil 5. Z3 ve ZC zemin sınıfına ait spektrumlar

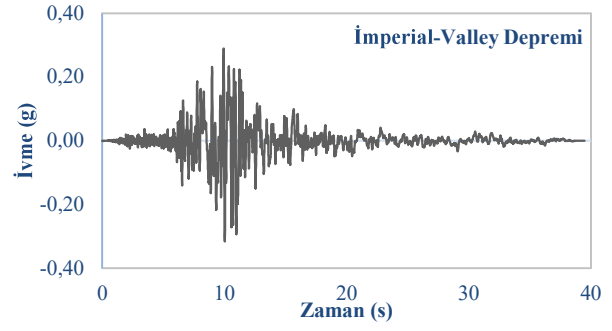
Çalışma kapsamında, Kocaeli, Bingöl, Elazığ Elcentro ve Imperial-Valley depremleri seçilmiştir. Bu deprem kayıtlarına ait özellikler Tablo 4'de verilmiştir. Deprem ivme kayıtlarının ölçeklenmemiş zaman geçmişi grafikleri Şekil 7-11'de sırasıyla gösterilmiştir. SeismoMatch 2020 [35] programı kullanılarak zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi ile bu seçilen deprem ivme kayıtları ölçeklenmiştir.



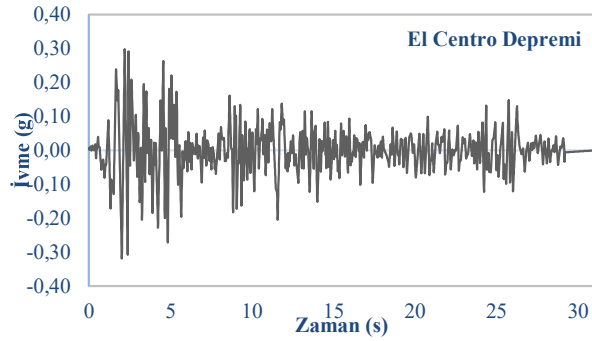
Şekil 7. Bingöl deprem ivme kaydı zaman geçmişi



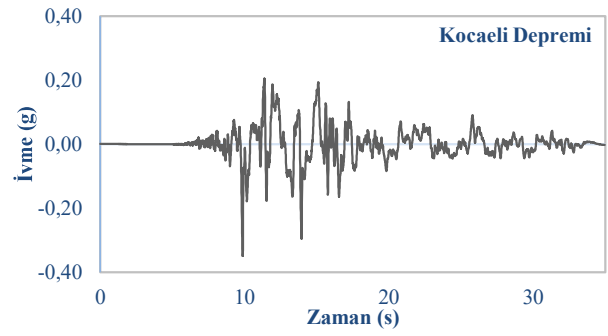
Şekil 8. Elazığ deprem ivme kaydı zaman geçmişi



Şekil 10. İmperial-Valley deprem ivme kaydı zaman geçmişi



Şekil 9. El Centro deprem ivme kaydı zaman geçmişi



Şekil 11. Kocaeli deprem ivme kaydı zaman geçmişi

Tablo 4. Deprem kayıtlarının özellikleri

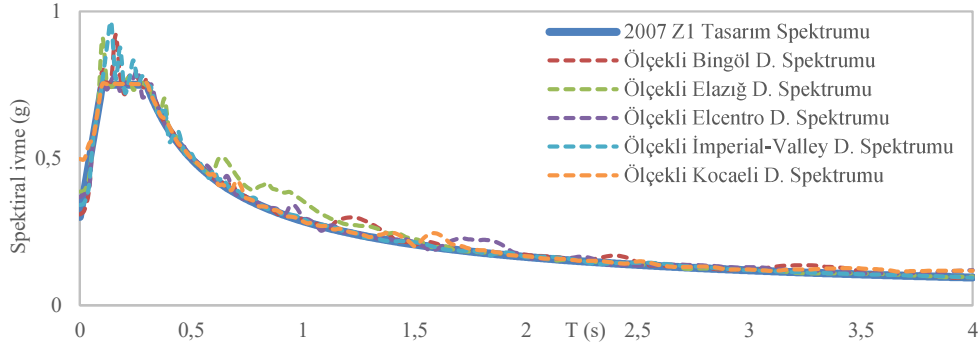
Kayıt adı	Deprem & Yıl	İstasyon	M <sub>w</sub>	V <sub>s30</sub> (m/s)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
Merkez (Bingöl) *	Bingöl, 2003	1201	6.30	529	0.5109	37.21	15.74
Sivrice (Elazığ)*	Sivrice, 2020	2308	6.80	450	0.2986	45.34	10.99
Imperial Valley-06**	İmperial Valley, 1979	El Centro	6.53	163	0.3152	31.49	14.12
Imperial Valley-02**	El Centro, 1940	El Centro	6.95	213	0.3188	36.15	21.35
Kocaeli **	Kocaeli, 1999	Yarımca	7.51	297	0.3490	62.18	51.30

\*[36] numaralı kaynaktan alınmıştır.

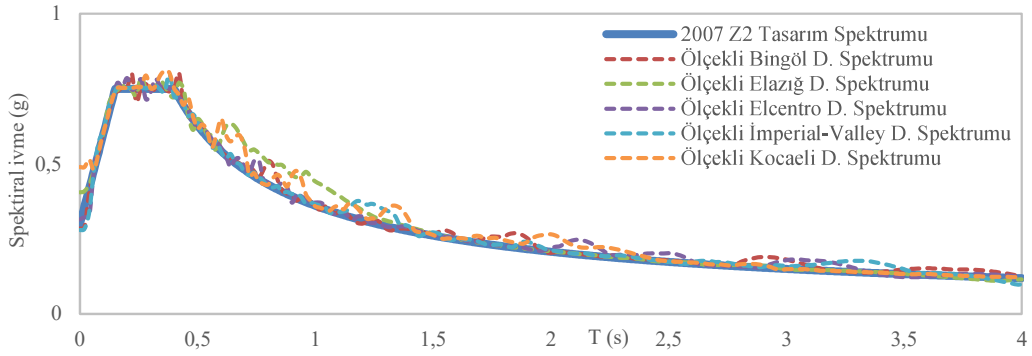
\*\*[37] numaralı kaynaktan alınmıştır.

DBYYHY (2007) ve TBDY (2018) deprem yönetmeliklerinin zemin sınıflarına ait tasarım

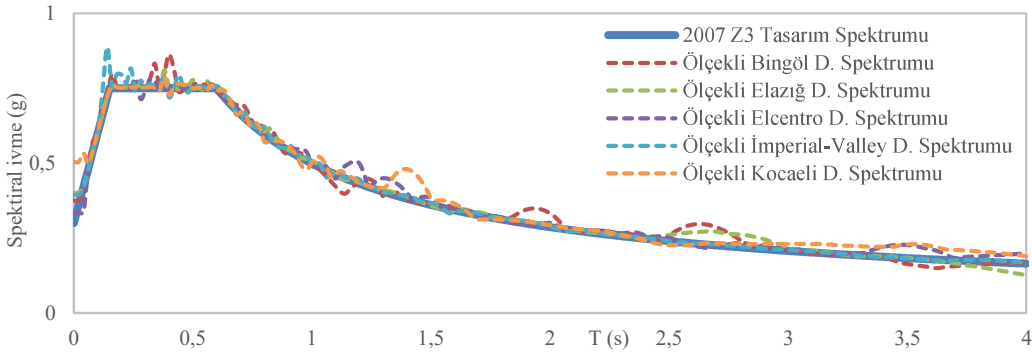
spektrumları ve bu spektrumlara göre ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları Şekil 12-19'da verilmiştir.



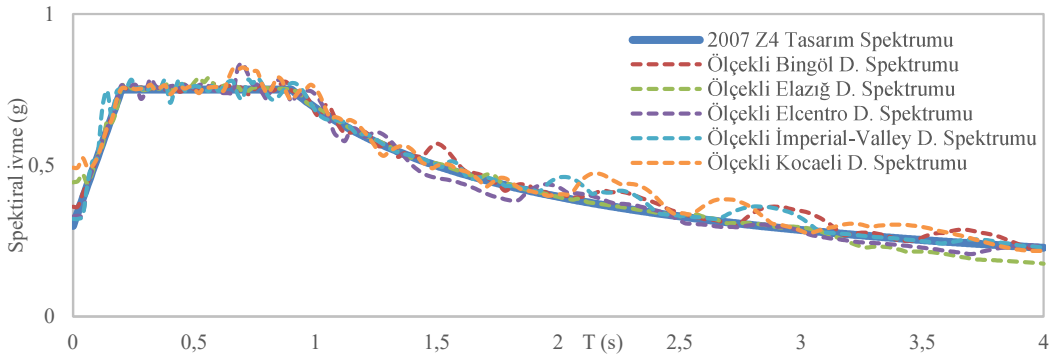
Şekil 12. DBYBHY (2007) Z1 Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları



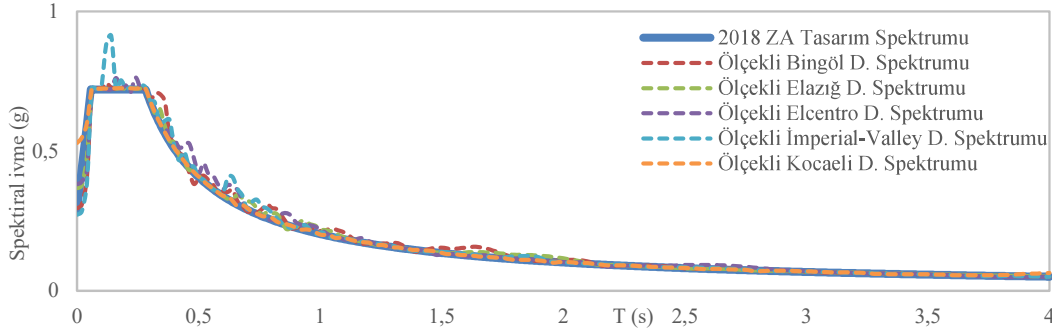
Şekil 13. DBYBHY (2007) Z2 Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları



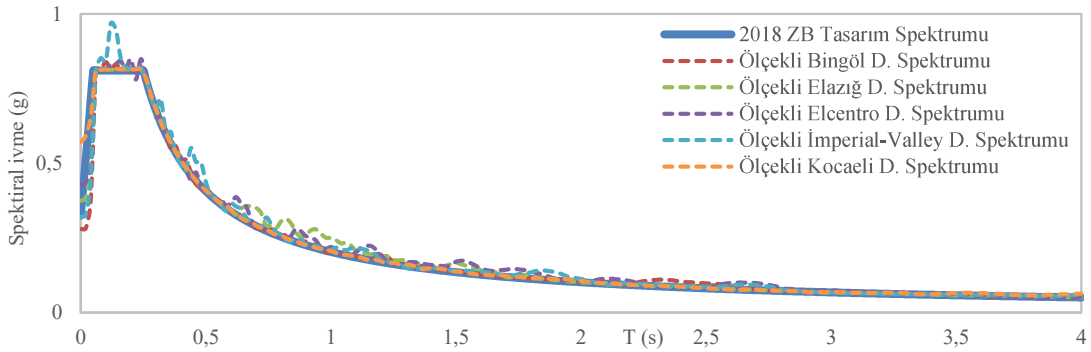
Şekil 14. DBYBHY (2007) Z3 Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları



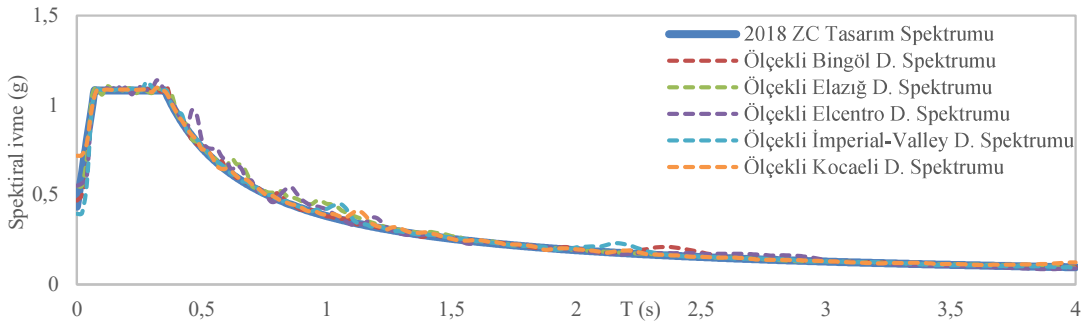
Şekil 15. DBYBHY (2007) Z4 Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları



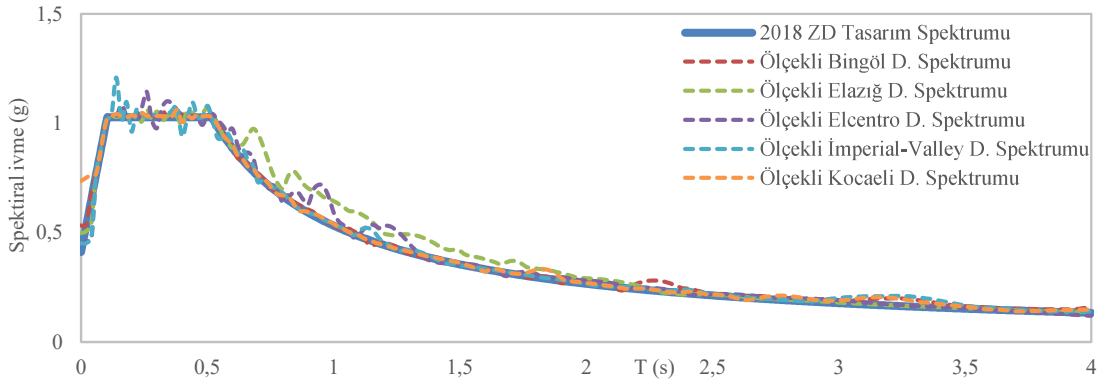
Şekil 16. TBDY (2018) ZA Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları



Şekil 17. TBDY (2018) ZB Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları



Şekil 18. TBDY (2018) ZC Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları

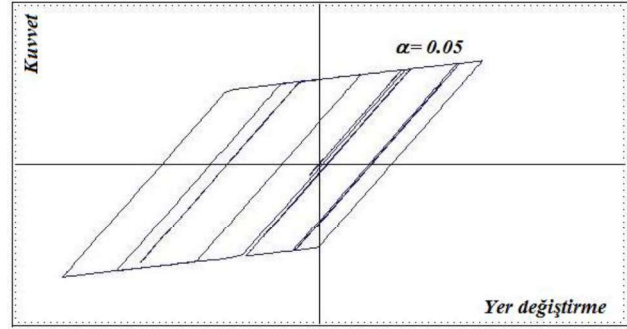


Şekil 19. TBDY (2018) ZD Tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş depremlerin tepki spektrumları



### Materyal Method

Öncelikle, TSD yapı modellerinin sismik enerji bileşenleri bölümünde verilen hareket denklemi oluşturulmuştur. Dinamik etki olarak, seçilen depremlerin ölçeklenmiş ivme kayıtları kullanılmıştır. TSD sistemlerin hareket denklemi Newmark ortalama ivme yönetimi kullanarak nümerik olarak çözülmüştür. Her bir yapı modeline ait yer değiştirmeleri zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerden belirlenmesinin ardından, depremle birlikte TSD sistemlere giren toplam enerji miktarları hesaplanmıştır. Yapısal elemanların lineer olmayan davranışı için iki doğrusal lineer (non-linear) model kullanılmıştır. Bu modelin çevrimsel yüklemdeki davranış biçimi Şekil 20’de gösterilmiştir. Akma sonrası rijitlik başlangıç rijitliğinin % 5’i oranında olduğu kabul edilmiştir. Yapı modellerinin çözümleri için yazarlar tarafından Matlab [38] ortamında hazırlanan bir program kullanılmıştır.

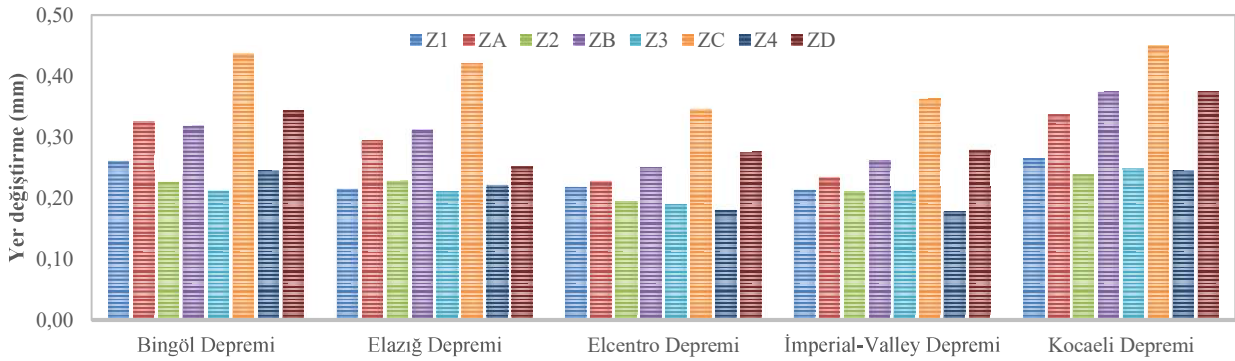


Şekil 20. Yapısal elemanlar için iki-doğrusal (nonlinear) davranış modeli

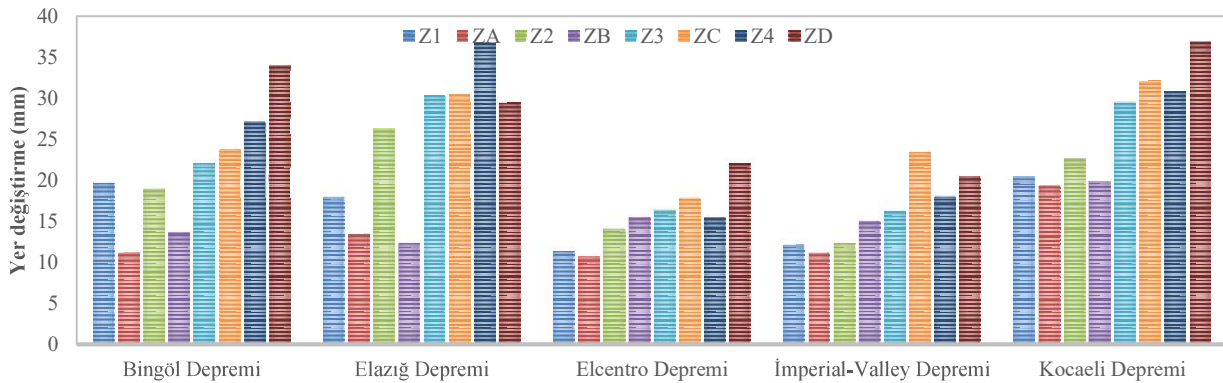
### Analiz Sonuçları

Yapı sistemlerinin çözümlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

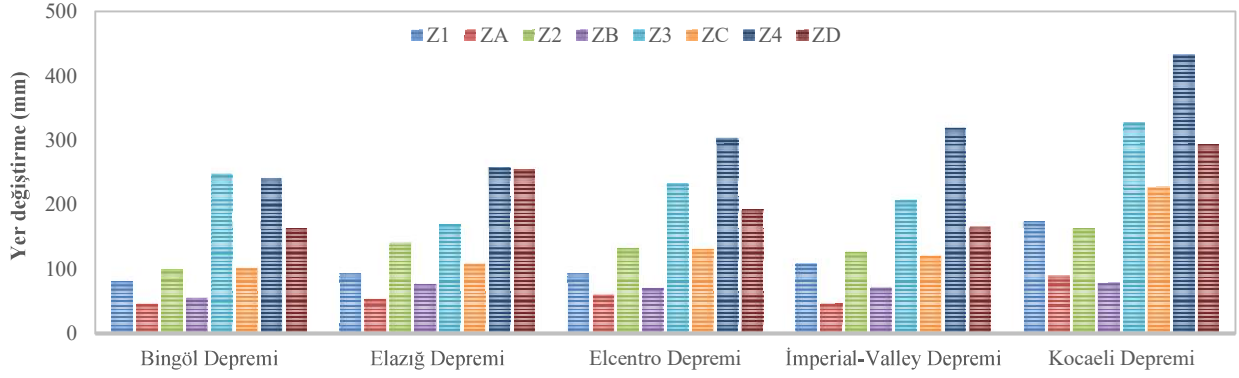
TSD modellerin, DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 deprem yönetmeliklerinin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem yer hareketleri altındaki çözümlerinden elde edilen maksimum yer değiştirmeler her bir model için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 21-23’de verilmiştir.



Şekil 21. Model 1’de elde edilen maksimum yer değiştirmeler



Şekil 22. Model 2’de elde edilen maksimum yer değiştirmeler



Şekil 23. Model 3'de elde edilen maksimum yer değiştirmeler

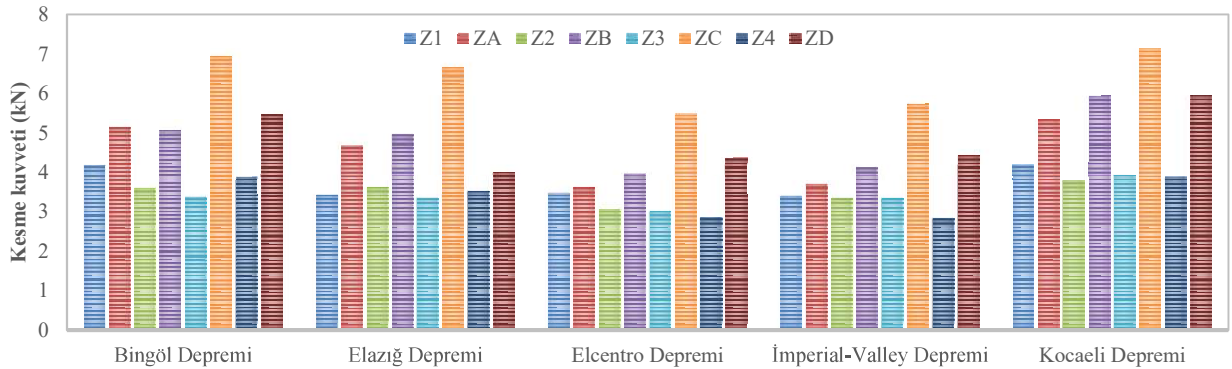
TSD modellerin beş deprem yer hareketi altındaki yer değiştirme çözümleri her iki yönetmeliğin yaklaşık eşdeğer zemin sınıfları açısından incelendiğinde;

- Model 1'in Z1-Z4 zemin sınıflarına ait maksimum yer değiştirmeleri, aynı modelin ZA-ZD zemin sınıflarına ait maksimum yer değiştirmelerine göre daha küçük elde edilmiştir. Küçük değer temel alınarak yapılan karşılaştırmalarda % 106'ya varan farklar ortaya çıkmıştır.
- Model 2'in çözümlerinde, eşdeğer zemin sınıflarına ait maksimum yer değiştirmeler arasındaki ilişki deprem yer hareketlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlik küçük değer temel alınarak karşılaştırıldığında % 53'e varan farklılıklara ulaşabilmektedir.
- Model 3'ün Z1-Z4 zemin sınıflarına ait maksimum yer değiştirmeleri, ZA-ZD zemin sınıflarına ait maksimum yer

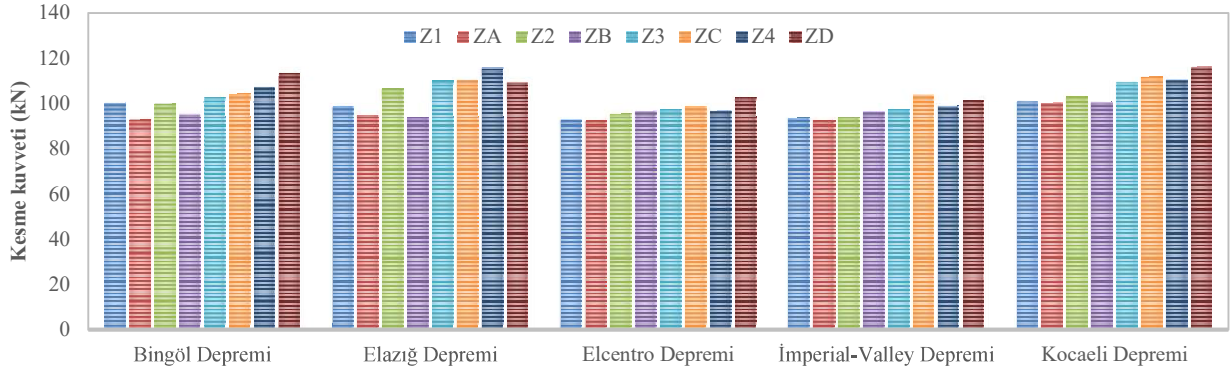
değiştirmelerine göre daha büyük elde edilmiştir. Küçük değer temel alınarak yapılan karşılaştırmalarda % 143'e varan farklar gözlenmiştir.

- Çalışmada özellikle Model 2 ve Model 3 için, ölçeklenmiş deprem yer hareketi kayıtlarının kullanılmasıyla gerçekleştirilen dinamik analizlerin değerlendirilmesinde, zemin durumu daha zayıf olan tasarım spektrumuna göre ölçeklenmiş kayıtların verdiği maksimum yer değiştirme değerlerinin genellikle daha büyük olduğu görülmüştür.

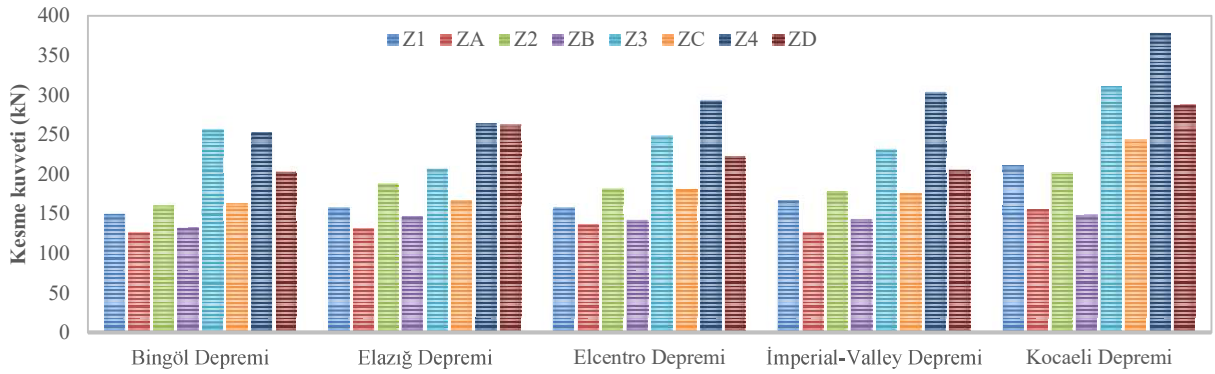
TSD modellerin, DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 deprem yönetmeliklerinin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem yer hareketleri altındaki çözümlerinden elde edilen maksimum kesme kuvvetleri her bir model için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 24-26 arasında gösterilmiştir.



Şekil 24. Model 1'de elde edilen maksimum kesme kuvvetleri



Şekil 25. Model 2'de elde edilen maksimum kesme kuvvetleri



Şekil 26. Model 3'de elde edilen maksimum kesme kuvvetleri

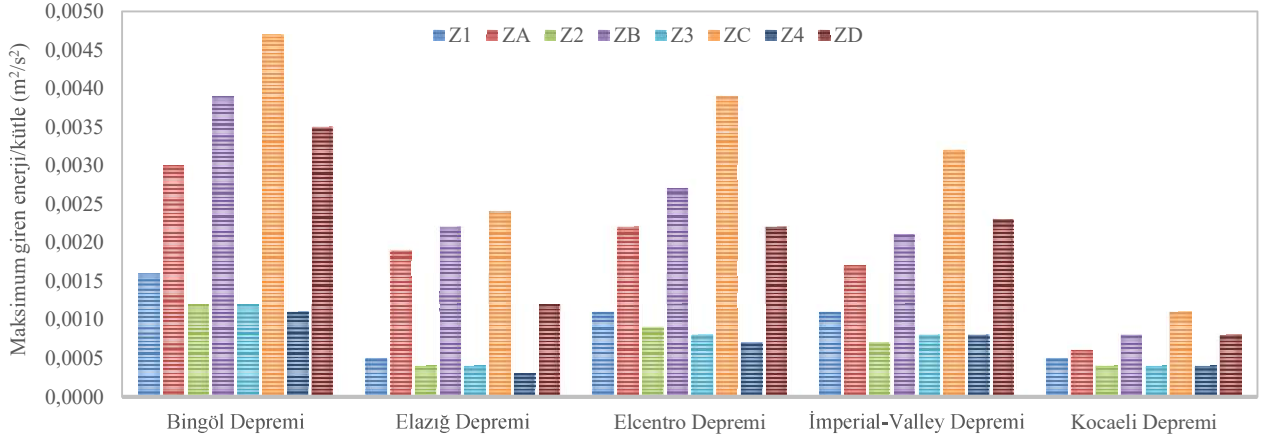
TSD modellerin, beş deprem yer hareketi altındaki kesme kuvveti çözümleri her iki yönetmeliğin yaklaşık eşdeğer zemin sınıfları açısından incelendiğinde;

- Model 1'in Z1-Z4 zemin sınıflarına ait maksimum kesme kuvvetleri, aynı modelin ZA-ZD zemin sınıflarına ait maksimum kesme kuvvetlerine göre daha küçük elde edilmiştir. Küçük değer temel alınarak yapılan karşılaştırmalarda % 106'ya varan farklar ortaya çıkmıştır.
- Model 2'in çözümlerinde, eşdeğer zemin sınıflarına ait maksimum kesme kuvvetleri birbirine yakın çıkmıştır.
- Model 3'ün Z1-Z4 zemin sınıflarına ait maksimum kesme kuvvetleri, ZA-ZD zemin sınıflarına ait maksimum kesme kuvvetlerine göre daha büyük elde edilmiştir. Küçük değer temel alınarak

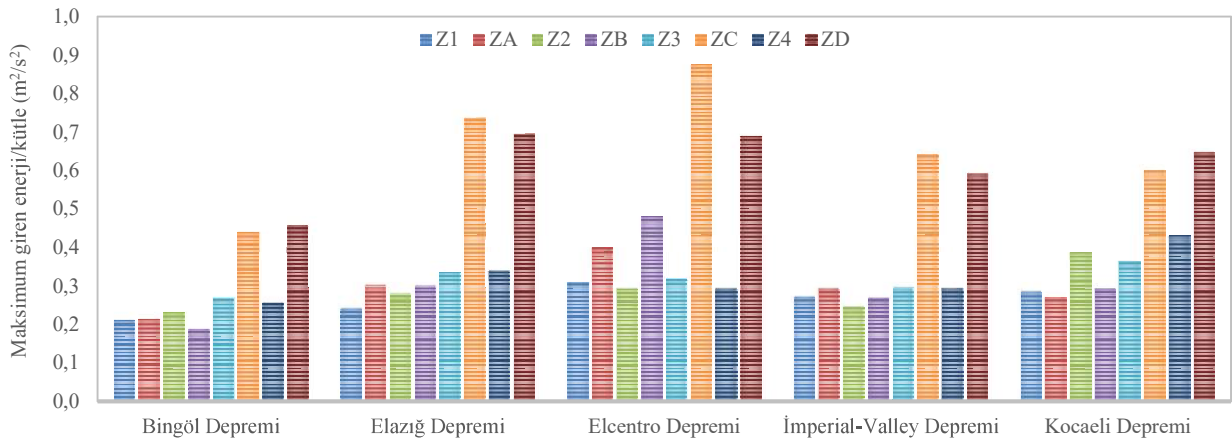
yapılan karşılaştırmalarda % 58'e varan farklar gözlenmiştir.

- Çalışmada Model 3 için, ölçeklenmiş deprem yer hareketi kayıtlarının kullanılmasıyla gerçekleştirilen dinamik analizlerin değerlendirilmesinden, zemin durumu daha zayıf olan tasarım spektrumuna göre ölçeklenmiş kayıtların verdiği maksimum kesme kuvveti değerlerinin genellikle daha büyük olduğu görülmektedir.

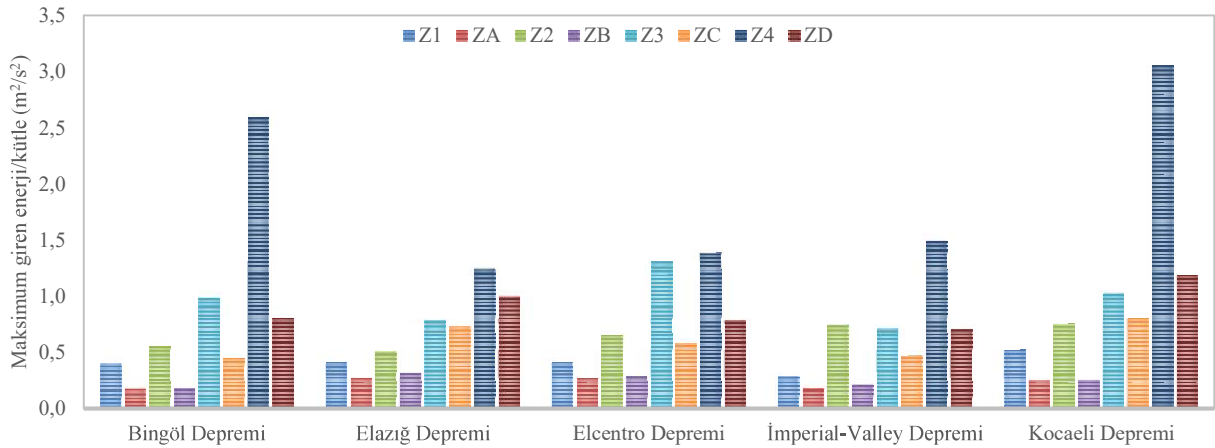
TSD modellerin, DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 deprem yönetmeliklerinin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem yer hareketleri altındaki çözümlerinde yapı sistemine giren maksimum enerji miktarı, yapı kütlelerine bölünerek birim kütleye giren maksimum enerji olarak her bir model için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 27-29 arasında sunulmuştur.



Şekil 27. Model 1 'de birim kütleye giren maksimum enerji miktarları



Şekil 28. Model 2 'de birim kütleye giren maksimum enerji miktarları



Şekil 29. Model 3 'de birim kütleye giren maksimum enerji miktarları

TSD modellerin, beş deprem yer hareketi yönetmeliğin yaklaşık eşdeğer zemin sınıfları altındaki sisteme giren enerji miktarları her iki açısından incelendiğinde;

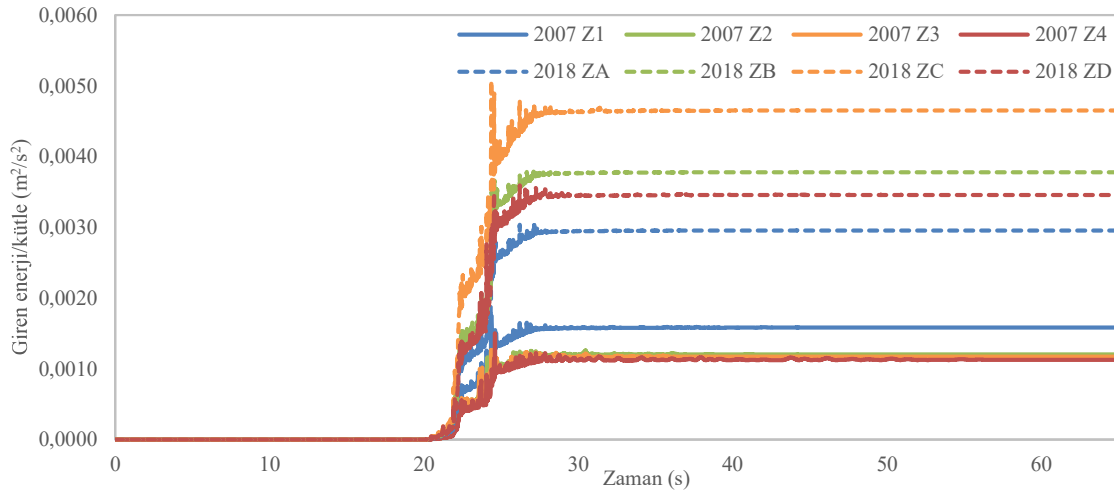


- Model 1'in Z1-Z4 zemin sınıflarında birim kütle giren maksimum enerji miktarları ZA-ZD zemin sınıflarında birim kütle giren maksimum enerji miktarlarına göre daha küçük elde edilmiştir. Enerji oranları arasında küçük değer temel alınarak yapılan karşılaştırmalarda 5 kata varan farklar ortaya çıkmıştır.
- Model 2'in çözümlerinde birim kütle giren maksimum enerji miktarları arasındaki ilişki deprem kayıtlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlik küçük değer temel alınarak karşılaştırıldığında % 175'e varan farklara ulaşabilmektedir.
- Model 3'ün Z1-Z4 zemin sınıflarında birim kütle giren maksimum enerji miktarlarına ZA-ZD zemin sınıflarında birim kütle giren maksimum enerji miktarları göre daha büyük elde edilmiştir. Enerji oranları arasında küçük değer

temel alınarak yapılan karşılaştırmalarda 2.5 katı aşan farklar ortaya çıkmıştır.

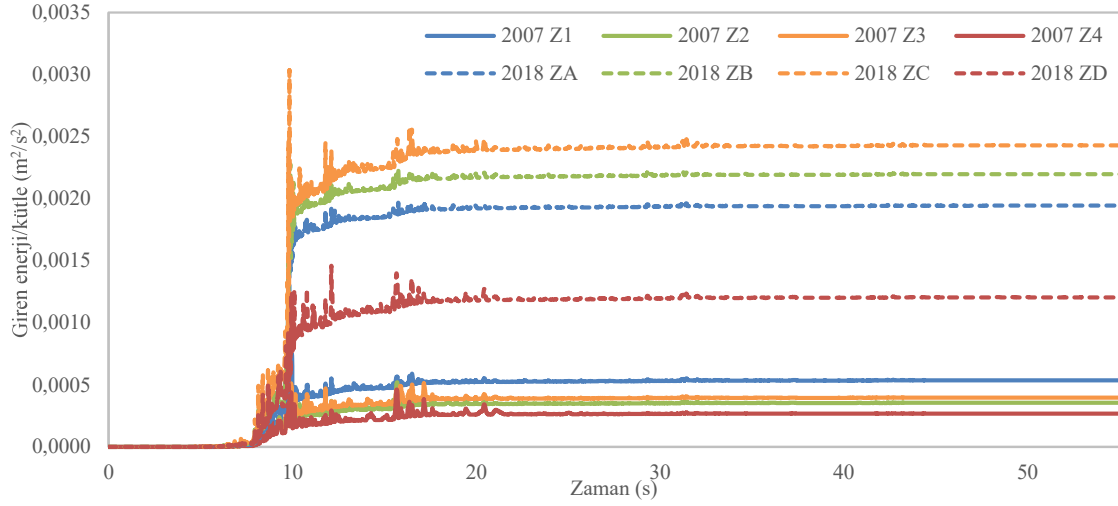
- Çalışmada, ölçeklenmiş deprem yer hareketi kayıtlarının kullanılmasıyla gerçekleştirilen dinamik analizlerin değerlendirilmesinden, zemin durumu daha zayıf olan tasarım spektrumuna göre ölçeklenmiş kayıtlarında birim kütle giren maksimum enerji miktarlarının genellikle daha büyük olduğu görülmüştür.

TSD modellerin, DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 deprem yönetmeliklerinin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem yer hareketleri altındaki çözümlerinde elde edilen birim kütle başına giren birikimli enerji miktarlarının zaman geçişine bağlı grafiksel gösterimleri Şekil 30-44'de sunulmuştur. Bu grafikler incelendiğinde; sisteme giren enerjinin, zemin sınıfının etkisi yanında, depremin genlik ve frekans içeriğine bağlı olarak da değişim gösterdiği görülmüştür.

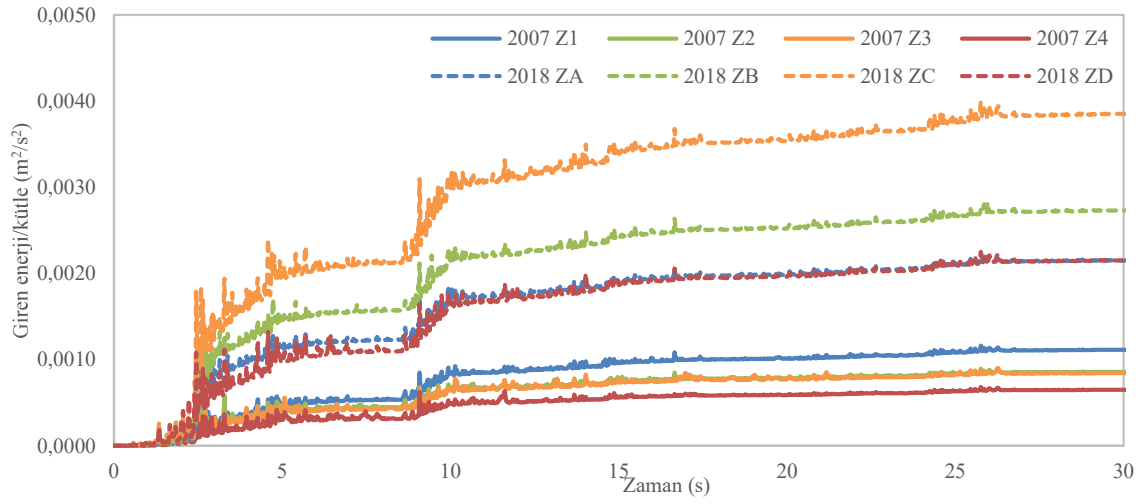


Şekil 30. Bingöl deprem yer hareketinde Model 1'de birim kütle giren birikimli enerji miktarları

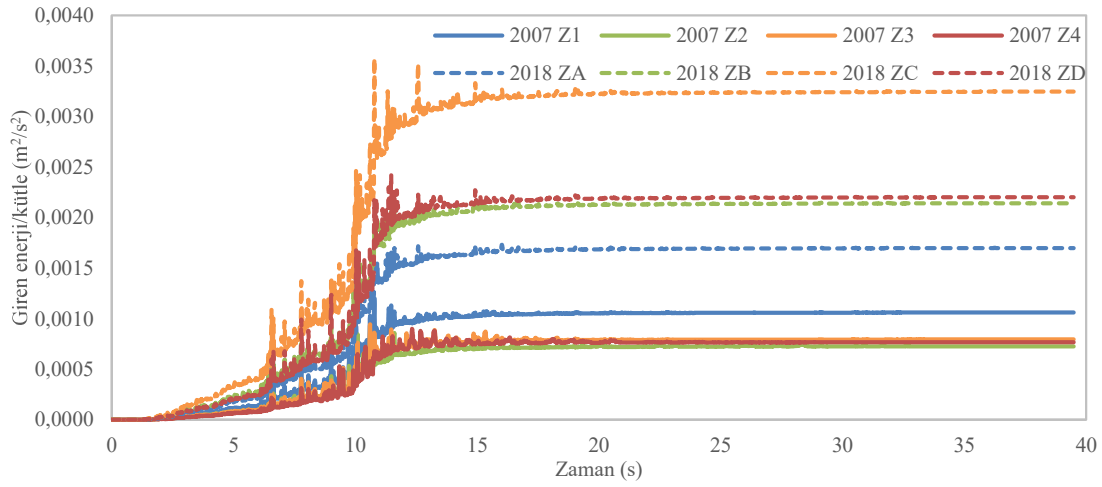




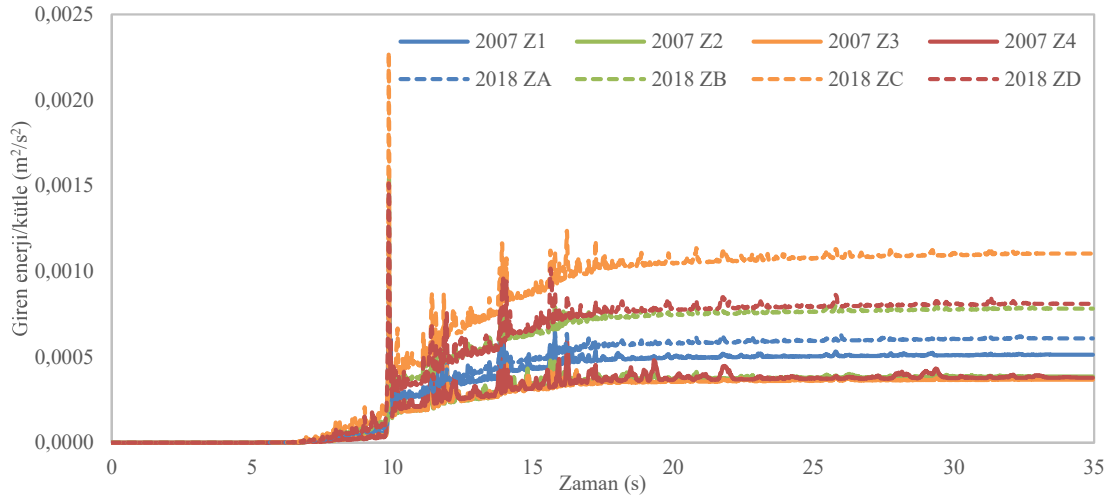
Şekil 31. Elazığ deprem yer hareketinde Model 1’de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



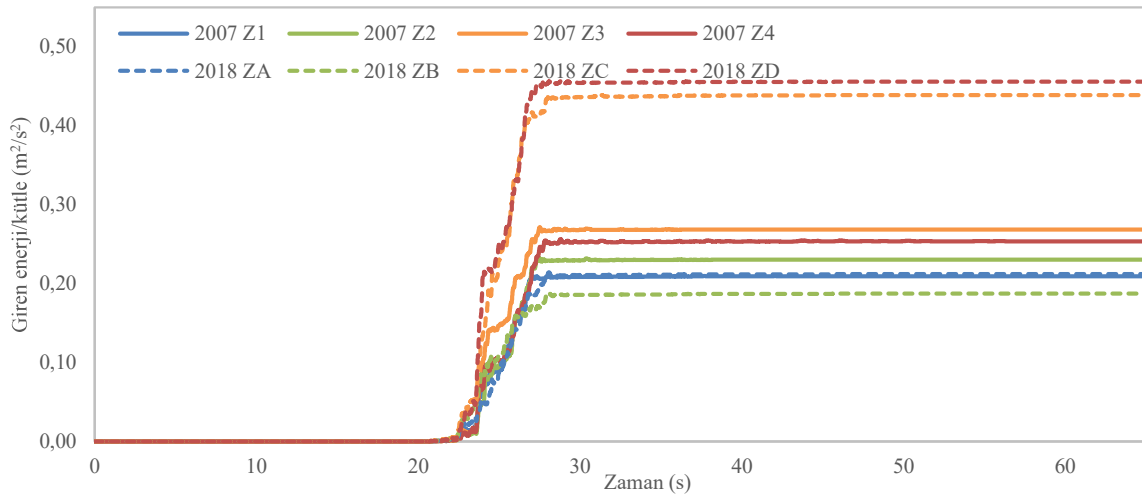
Şekil 32. Elcentro deprem yer hareketinde Model 1’de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



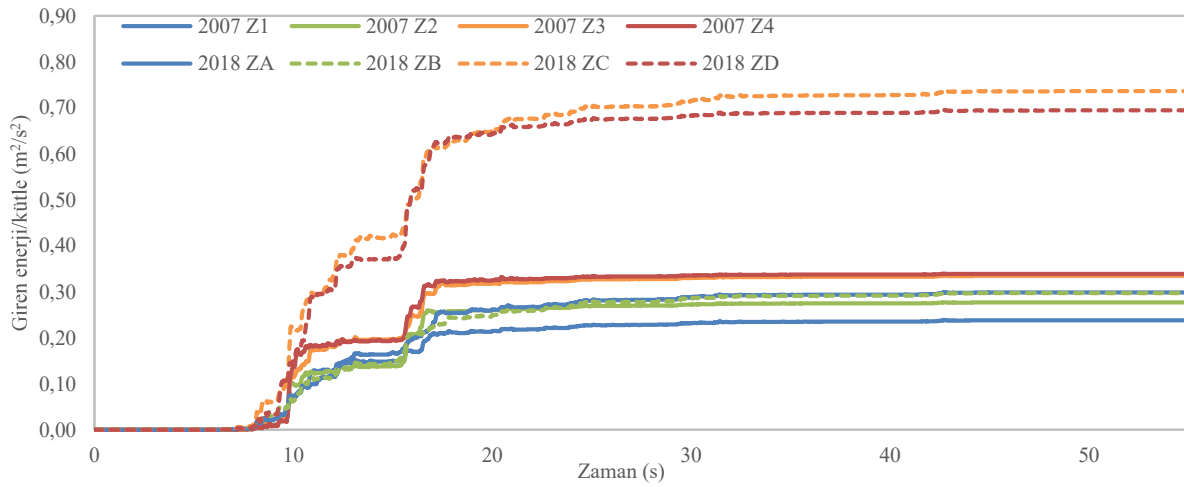
Şekil 33. Imperial-Valley deprem yer hareketinde Model 1’de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



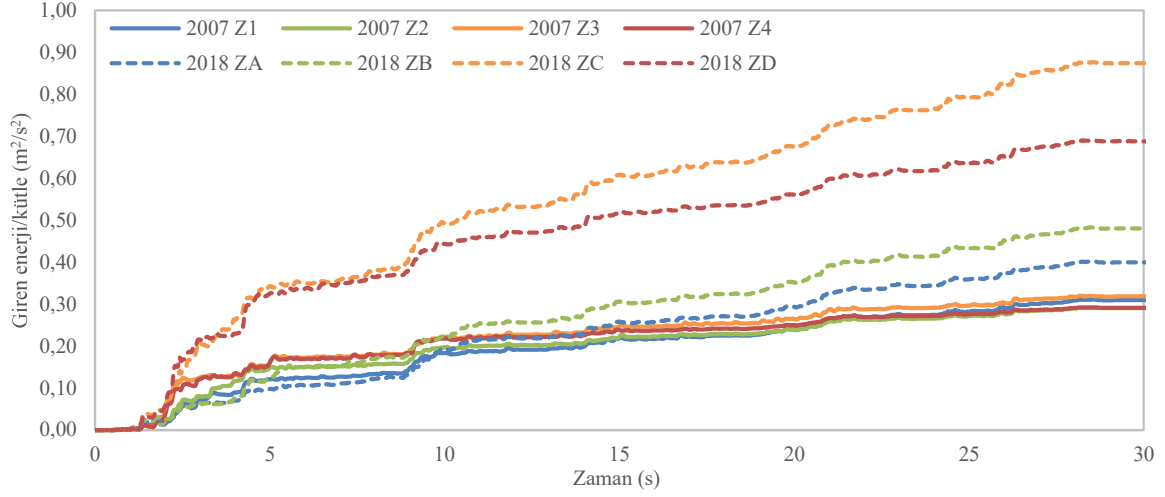
Şekil 34. Kocaeli deprem yer hareketinde Model 1 'de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



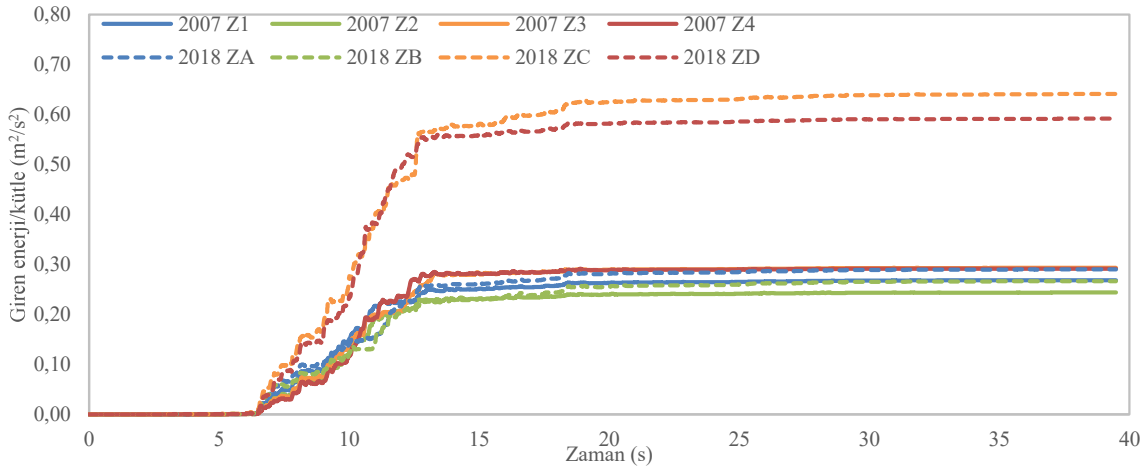
Şekil 35. Bingöl deprem yer hareketinde Model 2 'de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



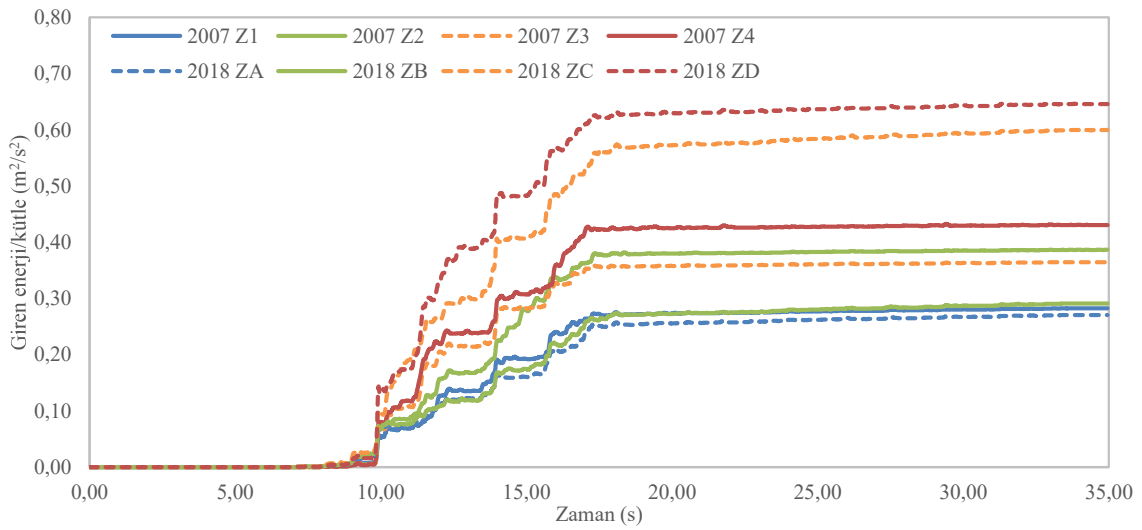
Şekil 36. Elazığ deprem yer hareketinde Model 2 'de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



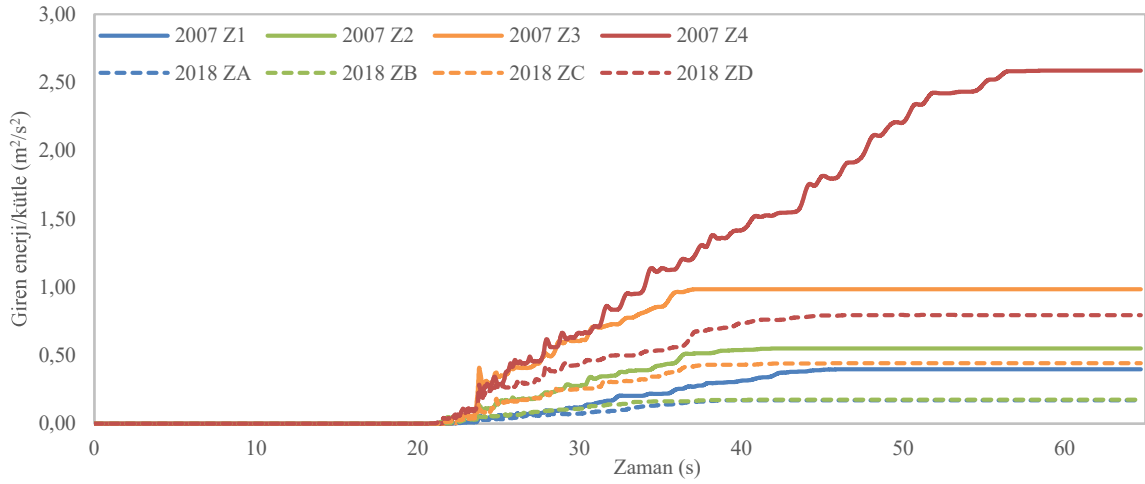
Şekil 37. Elcentro deprem yer hareketinde Model 2’de birim kütleyle giren birikimli enerji miktarları



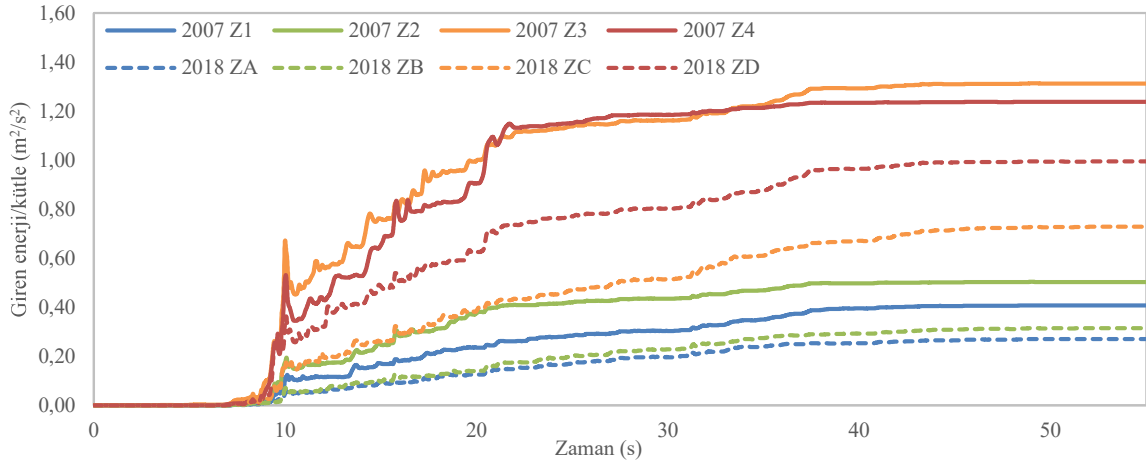
Şekil 38. İmperial-Valley deprem yer hareketinde Model 2’de birim kütleyle giren birikimli enerji miktarları



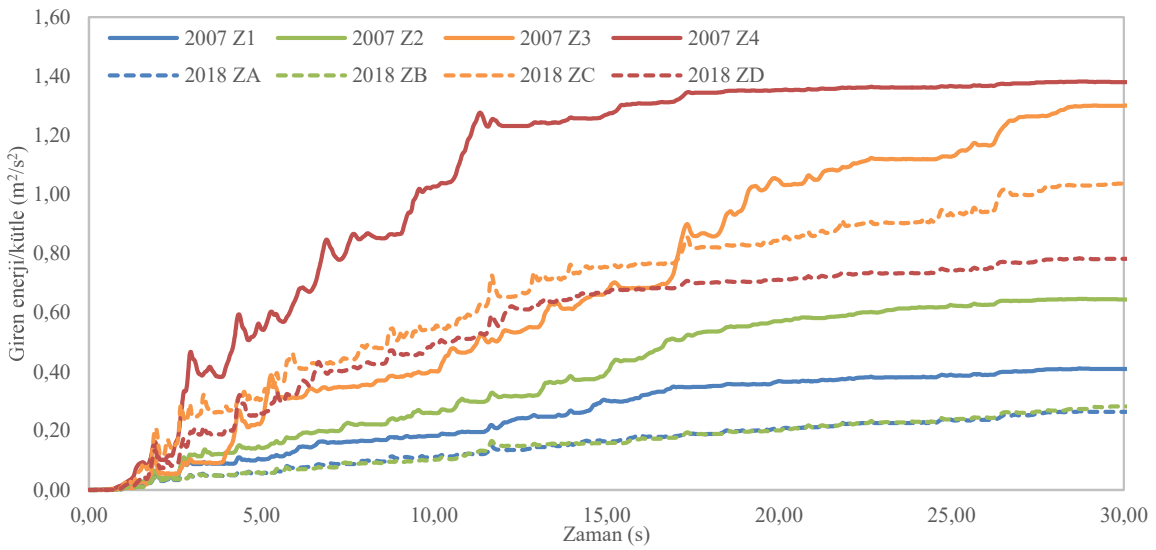
Şekil 39. Kocaeli deprem yer hareketinde Model 2’de birim kütleyle giren birikimli enerji miktarları



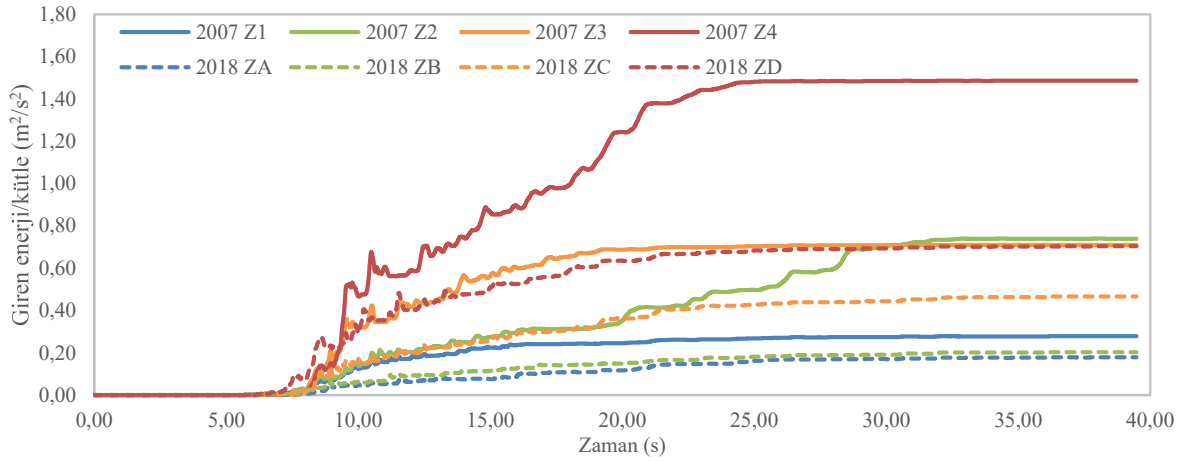
Şekil 40. Bingöl deprem yer hareketinde Model 3 'de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



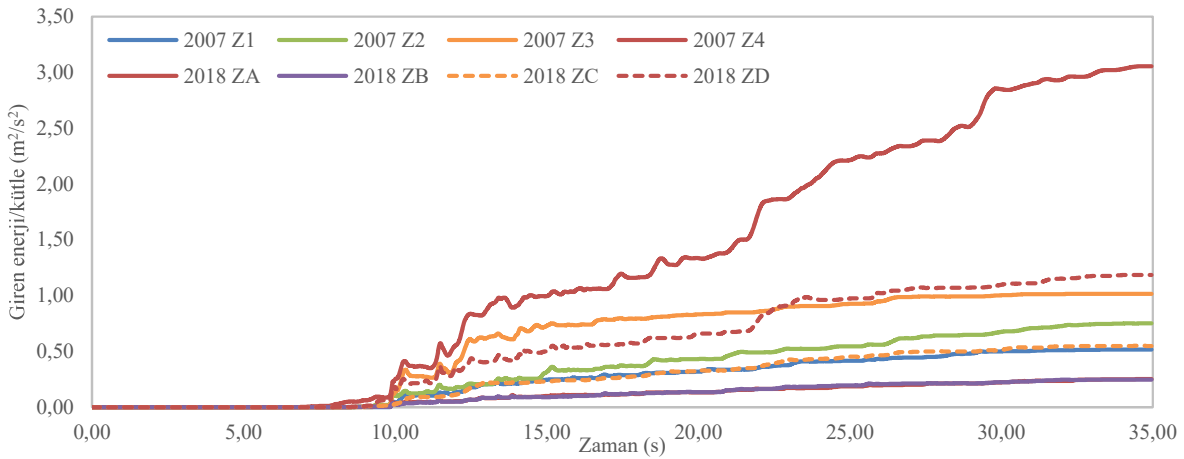
Şekil 41. Elazığ deprem yer hareketinde Model 3 'de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



Şekil 42. Elcentro deprem yer hareketinde Model 3 'de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



Şekil 43. İmperial-Valley deprem yer hareketinde Model 3'de birim kütleye giren birikimli enerji miktarları



Şekil 44. Kocaeli deprem yer hareketinde Model 3'de birim kütleye giren birikimli enerji miktarı

### Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada, Elazığ il merkezi üniversite mahallesinde bulunduğu varsayılan TSD yapı modellerinin DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) tasarım ivme spektrumlarına göre (Z1, Z2, Z3, Z4 ve ZA, ZB, ZC, ZD'ye göre) ayrı ayrı ölçeklenmiş deprem yer ivme kayıtları altında yapısal tepkileri ve sisteme giren enerji değerleri irdelenmiştir.

Analizlerden elde edilen sonuçlar ışığında; yapı sistemlerinde oluşan maksimum yer değiştirme ve maksimum kesme kuvvetleri ile birim kütle başına sisteme giren maksimum enerji miktarları iki deprem yönetmeliğinin yaklaşık eşdeğer kabul edilen zemin sınıfları bakımından

karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma dâhilinde elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıda sıralanmıştır.

- Yapı sisteminin periyodunun çok kısa olduğu ( $T_A-T_B$  sahanlığının gerisinde) durumda tüm zemin sınıflarında DBYBHY (2007)'ye göre ölçeklenmiş depremler ait maksimum yer değiştirmeler TBDY (2018)'e göre ölçeklenmiş depremler ait maksimum yer değiştirmelere göre daha küçük elde edilirken, yapı periyodunun uzun olduğu ( $T_A-T_B$  sahanlığının ilerisi) durumda ise aksi durum gözlenmiştir. Yapı sisteminin periyodunun nispeten orta değerde sayılabilecek ( $T_A-T_B$  sahanlığının aralığında) olduğu durumda ise



maksimum yer değiştirmeler deprem zemin sınıfı ve yer hareketinin özelliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

- Yapı sisteminin periyodunun çok kısa olduğu ( $T_A-T_B$  sahanlığının gerisinde) durumda tüm zemin sınıflarında DBYBHY (2007)'ye göre ölçeklenmiş depremler ait maksimum kesme kuvvetleri TBDY (2018)'e göre ölçeklenmiş depremlere ait maksimum kesme kuvvetleri göre daha küçük elde edilirken, yapı periyodunun uzun olduğu ( $T_A-T_B$  sahanlığının ilerisi) durumda ise aksi durum gözlenmiştir. Yapı sisteminin periyodunun nispeten orta değerde sayılabilecek ( $T_A-T_B$  sahanlığının aralığında) olduğu durumda ise maksimum kesme kuvvetleri birbirlerine yakın elde edilmiştir.
- Yapı sisteminin periyodunun çok kısa olduğu ( $T_A-T_B$  sahanlığının gerisinde) durumda tüm zemin sınıflarında DBYBHY (2007)'ye göre ölçeklenmiş depremlere ait birim kütle başına sisteme giren maksimum enerji miktarları TBDY (2018)'e göre ölçeklenmiş depremlere ait birim kütle başına sisteme giren maksimum enerji miktarlarına göre daha küçük elde edilirken, yapı periyodunun uzun olduğu ( $T_A-T_B$  sahanlığının ilerisi) durumda aksi durum gözlenmiştir. Yapı sisteminin periyodunun nispeten orta değerde sayılabilecek ( $T_A-T_B$  sahanlığının aralığında) olduğu durumda ise birim kütle başına sisteme giren toplam enerji miktarları zemin sınıfı ve deprem kaydının karakteristiklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.
- Deprem yer hareketlerine maruz yapı sistemlerinde, zemin zayıfladıkça sistemde oluşan maksimum yer değiştirmeler, maksimum kesme kuvvetleri ve özellikle deprem esnasında sisteme giren maksimum enerji miktarlarında oldukça artış olduğu gözlenmiştir.
- Her iki yönetmeliğin esaslarına göre ölçeklenmiş deprem ivme kayıtları altında yapı sistemlerine birim kütle

başına giren birikimli enerji miktarlarının zamana bağlı değişimleri zemin sınıfının etkisi yanında, depremin genlik ve frekans içeriğinden de oldukça etkilendiği görülmüştür.

## Kaynaklar

- [1] B. Akbaş, ve J. Shen, “Depreme dayanıklı yapı tasarımı ve enerji kavramı”, Türkiye İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 14(2), pp. 2877-2901, 2003.
- [2] S. Leelataviwat, S. C. Goel, ve B. Stojadinović, “Energy-based seismic design of structures using yield mechanism and target drift”, Journal of Structural Engineering, vol. 128, no. 8, pp. 1046–1054, 2002.
- [3] A. Teran-Gilmore, E. Avila, ve G. Rangel, “On the use of plastic energy to establish strength requirements in ductile structures”, Engineering Structures, vol. 25, no. 7, pp. 965–980, 2003.
- [4] P. Khashaee, B. Mohraz, F. Sadek, H. S. Lew ve J. L. Gross. “Distribution of earthquake input energy in structures,” The National Institute of Standards and Technology (NIST), Building and Fire Research Laboratory, NISTIR 6903, USA, 2003.
- [5] P. Fajfar, T. Vidic ve M. Fischinger “On the energy input into structures”, Proceedings of the Pacific Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 20-23 November 1991.
- [6] S. Leelataviwat, W. Saewon, ve S. C. Goel, “Application of Energy Balance Concept in Seismic Evaluation of Structures,” Journal of Structural Engineering, vol. 135, no. 2, pp. 113–121, 2009.
- [7] G. W. Housner, “Limit design of structures to resist earthquakes”, The First World Conference on Earthquake Engineering, Berkeley, California, 12-15 June 1956.
- [8] T. F. Zahrah ve W. J. Hall, “Earthquake energy absorption in SDOF structures”, Journal of Structural Engineering, vol. 110, no. 8, pp. 1757–1772, 1984.
- [9] H. Akiyama, Earthquake-resistant limit-state design for buildings. Tokyo: University of Tokyo Press, 1985.
- [10] V.V. Bertero ve A. Teran-Gilmore, “Use of Energy Concepts in Earthquake-Resistant Analysis and Design: Issues and Future Directions”, Advances in Earthquake Engineering Practice, Short Course in Structural Engineering, Architectural and Economic Issues, University of California, Berkeley, 1994.
- [11] G. V. Berg ve S. S. Thomaidis, “Energy consumption by structures in strong-motion earthquakes”, Proceeding of the Second World Conference on Earthquake, Tokyo and Kyoto, 681-697, 1960
- [12] H. Kuwamura ve T. V. Galambos, “Earthquake load for structural reliability”, Journal of Structural Engineering, vol. 115, no. 6, pp. 1446–1462, 1989.

- [13] P. Fajfar ve T. Vidic, "Consistent inelastic design spectra: Hysteretic and input energy", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 23, no. 5, pp. 523–537, 1994.
- [14] A. Benavent-Climent, L. G. Pujades, ve F. López-Almansa, "Design energy input spectra for moderate-seismicity regions", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 31, no. 5, pp. 1151–1172, 2002.
- [15] A. Benavent-Climent, F. López-Almansa, ve D. Bravo-González, "Design energy input spectra for moderate-to-high seismicity regions based on Colombian earthquakes", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 30, no. 11, pp. 1129–1148, 2010.
- [16] J. Bai, ve Ou J. "Plastic limit-state design of frame structures based on the strong-column weak-beam failure mechanism", 15<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa, Portugal, 24-28 September 2012.
- [17] P. Léger ve S. Dussault, "Seismic-energy dissipation in MDOF structures," *Journal of Structural Engineering*, vol. 118, no. 5, pp. 1251–1269, 1992.
- [18] B. Akbaş, ve A. N. Çetiner, "Tek serbestlik dereceli sistemlerde enerji parametreleri", *Kocaeli Üniversitesi Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 23-25 Mart, 637-646, 2005.
- [19] Bülent Akbaş, "Energy-based earthquake resistant design of steel moment resisting frames", Phd. Thesis, Graduate College of Illionis Institute of Technology, Illionis, USA, 1997.
- [20] Onur Merter, "Çok katlı betonarme çerçeve sistemlerin deprem etkileri altında göçme güvenliğinin enerji esaslı yöntemle belirlenmesi", *Doktora Tezi*, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2014.
- [21] Baykal Hancıoğlu, "Yapıların Deprem davranışının enerji esaslı analizi", *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [22] Ahmet Anıl Dindar, "Enerji esaslı yöntemlerle betonarme kolonların analizi ve tasarımı", *Doktora Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [23] A. A. Dindar, C. Yalçın, E. Yüksel, H. Özkaynak, ve O. Büyükoztürk, "Development of earthquake energy demand spectra," *Earthquake Spectra*, vol. 31, no. 3, pp. 1667–1689, 2015.
- [24] O. Merter, T. Uçar, ve M. Düzgün, "Determination of earthquake safety of RC frame structures using an energy-based approach", *The Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 19, No. 6, pp. 689-699, 2017.
- [25] O. Merter, ve T. Uçar, "Yapıların plastik enerji dengesine göre sismik tasarımı", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (3), pp. 350-361, 2018.
- [26] O. Merter, ve T. Uçar, "İdeal göçme mekanizması için enerji esaslı yapı taban kesme kuvvetinin belirlenmesi," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, Cilt: 7, Sayı: 3, pp. 409-420, 2016.
- [27] V. Ozsarac, S. Karimzadeh, M.A. Erberik ve A. Askan, "Energy-based response of simple structural systems by using simulated ground motions", *Procedia Engineering*, 199, pp. 236-241, 2017.
- [28] T. Uçar ve O. Merter, "Effect of design spectral shape on inelastic response of RC framesubjected to spectrum matched ground motions", *The Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 69, No. 3, pp. 293-306, 2018.
- [29] O. Merter, ve T. Uçar, "Hysteretic Energy Demand in SDOF Structures Subjected to an Earthquake Excitation:Analytical and Empirical Results," *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 22 (2), pp. 364-374, 2018.
- [30] A. K. Chopra, *Dynamics of structures = Theory and applications to earthquake engineering*. New York, NY: Prentice-Hall, 1995.
- [31] H. Sucuoğlu ve A. Nurtuğ, "Earthquake ground motion characteristics and seismic energy dissipation", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 24, no. 9, pp. 1195–1213, 1995
- [32] C. M. Uang ve V. V. Bertero, "Use of Energy as a Design Criterion in Earthquake Resistant Design", *Earthquake Engineering Research Center*, University of California, Berkeley, USA, UCB/EERC-88/18, 1988.
- [33] DBYBHY, (2007). "Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik", *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [34] TBDY, *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Türk Standartları Enstitüsü, 2018
- [35] SeismoMatch, *Earthquake Software for Response Spectrum Matching*, Seismosoft, 2020.
- [36] PEER. *Pacific Earthquake Engineering Research Center Strong Ground Motion Database*. <http://ngawest2.berkeley.edu/>, Erişim zamanı; Mayıs, 20, 2020).
- [37] AFAD. *Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı*, <https://tadas.afad.gov.tr/>, Erişim zamanı; Şubat ,2, 2021).
- [38] MATLAB, (R2018a). *Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.*; 2018



## Estimation of missing temperature data by Artificial Neural Network (ANN)

Okan Mert KATIPOĞLU<sup>1,\*</sup>, Reşat ACAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erzincan Binali Yıldırım University, Department of Civil Engineering, Erzincan 24100, Turkey, <https://orcid.org/0000-0001-6421-6087>

<sup>2</sup>Atatürk University, Department of Civil Engineering, Erzurum 25100, Turkey, <https://orcid.org/0000-0002-0653-1991>

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 3 January 2021  
Received in revised form 3 March 2021  
Accepted 5 March 2021  
Available online 30 March 2021

#### Keywords:

Missing data, Temperature,  
Artificial Neural Network (ANN),  
Network training, Network testing,  
and validation.

### ABSTRACT

Ensuring more reliable and quality meteorological and climatological studies by providing data continuity and widening the data range. For this reason, missing values in meteorological data such as temperature, precipitation, evaporation must be completed. In this study, an artificial neural network (ANN) model was used to complete missing temperature data in the Horasan meteorology station. To establish the ANN model, monthly average temperature values of neighboring stations having similar climatic characteristics and altitude with Horasan were used as input. The monthly average temperature values of the Horasan station were used as output. Approximately 70% of the data was used for training, about 15% for testing, and about 15% for verification in the ANN model. Various statistical parameters were compared to determine the best network architecture and best model. As a result, the model's high determination coefficient ( $R^2 = 0.99$ ) and low mean absolute error ( $MAE = 0.61$ ) showed that the ANN model can be used effectively in estimating missing temperature data.

Doi: 10.24012/dumf.852821

### MAKALE BİLGİSİ

#### Makale geçmişi:

Geliş 3 Ocak 2021  
Revizyon 3 Mart 2021  
Kabul 5 Mart 2021  
Online 30 Mart 2021

#### Anahtar Kelimeler

Eksik veri, Sıcaklık, Yapay Sinir  
Ağı (YSA), Sinir ağınnın eğitimi,  
Sinir ağınnın test ve geçerliliği.

### ÖZ

Veri sürekliliğinin sağlanması ve aralığın genişletilmesi ile meteorolojik ve klimatolojik çalışmaların daha güvenilir ve kaliteli olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle sıcaklık, yağış, buharlaşma gibi meteorolojik verilerde eksik olan değerlerin tamamlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, Horasan meteoroloji istasyonundaki eksik sıcaklık verilerini tamamlamak için Yapay sinir ağı (YSA) modeli kullanılmıştır. YSA modelinin kurulması için Horasan ile benzer iklim özelliklerine ve rakıma sahip komşu istasyonların aylık ortalama sıcaklık değerleri girdi olarak kullanılmıştır. Horasan istasyonunun aylık ortalama sıcaklık değerleri ise çıkış olarak kullanılmıştır. YSA modelinde verilerin yaklaşık% 70'i eğitim için, yaklaşık% 15'i test için ve yaklaşık% 15'i doğrulama için kullanılmıştır. En iyi ağ mimarisini ve en iyi modeli belirlemek için çeşitli istatistiksel parametreler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, modelin yüksek belirlilik katsayısı ( $R^2 = 0.99$ ) ve düşük ortalama mutlak hataya ( $OMH = 0.61$ ) sahip olması YSA modelinin eksik sıcaklık verilerini tahmin etmede etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

\* Corresponding author  
Okan Mert KATIPOĞLU  
✉ okatipoglu@erzincan.edu.tr

## Introduction

Artificial Neural Networks (ANNs) are developed as a parallel processing modeling system, inspired by the brain work system, and have been recently applied to many fields of science. These models consist of input, output, and hidden layers and can be used to achieve high-performance models in the hydrology discipline as in other disciplines. Water resources systems and weather forecasts are composed of complex relationships that are non-linear and have many parameters. Such problems can be solved effectively thanks to ANN's ability to easily adapt to the problem [1,2]. Therefore, the ANN model was used in the estimation of missing air temperatures in this study.

Numerous studies have been conducted on the prediction of artificial neural network models and meteorological and hydrological variables. Some of those; Some of those; Güç [3] used for estimation of air temperature, Sanikhani et al. [4] used to reduce the biases of climate variables (temperature and precipitation), Vakili et al. [5] used for estimation of daily global solar radiation, Behmanesh, and Mehdizadeh [6] used for estimation of soil temperatures, Zhu et al. [7] used for river water temperature simulation, Taşar, et al. [8] used for estimation of the evaporation amount, Rahman, and Chakrabarty [9] used for estimation of transport of sediment, Yıldırım and Kandemir [10] used for estimating the amount of precipitation, Afzaal et al. [11] used for estimation of groundwater, Dalkiliç, and Hashimi, [12]; Kızılaslan, et al. [13] used for streamflow estimation.

In this study, ANN model was used to complete the missing temperature data in Horasan meteorology station. To establish the model, the monthly average temperature values of neighboring stations with the nearest, climatic characteristics and least elevation difference of the Horasan station were used as input, and missing temperature data were estimated as output.

## Materials and Methods

### Study Area and Data

17690 no Horasan, 17688 no Tortum, 17666 no İspir, 17099 no Ağrı, 17204 no Muş and 17718 no Tercan meteorological observation station temperature data were selected in the study area since the stations are close to each other and have similar hydrological and climate characteristics and high correlations. The data used in this study were between 1966 and 2017 and were obtained from the General Directorate of Meteorology. Detailed information on the stations used in the study is given in Table 1.

Table 1. Stations used in the study

Station Name	Station Number	Latitude	Longitude	Altitude
Horasan	17690	40,04	42,17	1540
Tortum	17688	40,30	41,54	1576
İspir	17666	40,49	40,99	1223
Ağrı	17099	39,73	43,05	1646
Muş	17204	38,75	41,50	1322
Tercan	17718	39,78	40,39	1425

The distance between the meteorology observation stations and Khorasan, which are used as inputs in the artificial neural network model, is shown in Table 2.

Table 2. Distance between selected stations and Horasan

Station Name	Distance (KM)
Tortum	59,55
İspir	113,00
Ağrı	83,50
Muş	157,09
Tercan	154,82

The stations used in the study are expressed according to the Euphrates Basin boundaries (Figure 1).

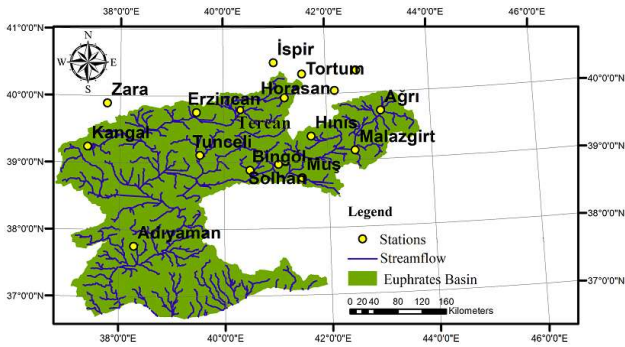


Figure 1. Euphrates basin location map

## Artificial Neural Networks (ANNs)

ANNs are the computer systems that make the learning function which is the most basic feature of the human brain. They make the learning process with the help of examples. These networks consist of interconnected processing elements (Artificial nerve cells). Each connection has a weight value. The knowledge of the ANN is hidden in the weight value and spread into the network.

ANNs suggest a different calculation method than the known methods of calculation. It is possible to see the successful applications of this calculation method, which is adapted to the environment, can work with incomplete information, can make decisions about uncertainties, and tolerate errors. The interest in these networks increases day by day, although there is not a certain standard in the structure of the network to be formed and selection of the network parameters, the problems are shown only with numeric information, it is not known how education is finished and the behavior of the network cannot be explained. Especially in classification, pattern recognition, signal filtering, data compression, and optimization studies, ANNs are considered the most powerful techniques [14].

### The Structure and Elements of ANN

Artificial neural networks are computer systems developed inspired by the properties of the nervous system (information generation, description, prediction, etc.). Artificial neural networks are formed by the combination of cells

as in biological nervous systems and generally artificial neural network architecture is defined in 3 layers. These are;

- Input layer
- Hidden layer
- Output layer

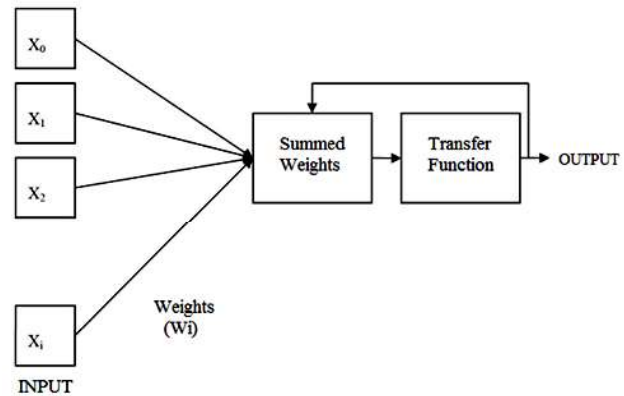


Figure 2. The model of Artificial neural network.  $X_i$  is input values,  $W_i$ , Connection weight

Information is transmitted from the input layer to the network. They are processed in interlayers and sent to the output layer. Information processing is the conversion of the incoming information to the network using the weight values of the network. The weights should be evaluated correctly for the network to produce the correct outputs for the inputs. The network needs to be trained to find the right weights. The process of determining the correct weights is called network training. Weights are initially assigned randomly. Then, when each sample is presented to the network during training, weights are changed according to the learning rule of the network. Then another sample is presented to the network and the weights are changed again. These operations are repeated until the correct outputs are produced for all the samples in the network training set [15, 16]

### Determination of Model Performance

The performances of the established models have been tested with the help of different statistical criteria. These criteria are; The Determination Coefficient ( $R^2$ ) and the Mean Absolute Error (MAE) values. The statistical calculations used can be calculated with the help of Equations 1



and 2, respectively. MAE is a statistical measure that measures the predictive accuracy by determining the differences between the predicted values and the observed values. The Determination Coefficient ( $R^2$ ) is a statistical measure that shows how close the data is to the fitted regression line.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 - \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |(x_i - y_i)| \quad (2)$$

In these equations,  $x_i$  shows expected (observed) values of models;  $y_i$  shows outputs of models,  $x_i - y_i$ : error (residue) and  $N$ : the number of data. The model with the largest  $R^2$  (near 1) and the lowest error rate (near 0) is considered the best.

## Results

### The completion missing temperature data with Artificial Neural Network (ANN)

The quality, reliability, and completeness of the data used while working in the field of hydrology and meteorology is very important in terms of the correct result of the established model. Studies using incomplete data have inadequate and incorrect results. For this, the missing records must be completed with various methods before starting the study. In this study, missing temperature data were completed with an artificial neural network model by using neighboring station data.

### The collection of data and analysis

In this study, the temperature data of the Tortum, İspir, Ağrı, Muş, and Tercan stations were presented as inputs to the artificial neural network model, and the missing temperature data of the Horasan station was completed. The data sets are divided into three sections: training set, test set, and validation set. About 70% of the data was used for training, about 15% for testing, and about 15% for validation.

Table 2. Altitude, climate, and correlation coefficients of the stations used in the study

Station	Correlation with Horasan	Climatic similarity with Horasan	Altitude difference with Horasan (m)
Tortum	0,98	Similar	36
İspir	0,99	Similar	317
Ağrı	0,99	Similar	106
Muş	0,99	Similar	218
Tercan	0,99	Similar	111

To complete the missing temperature data of Horasan, the stations closest to the Horasan station, with the highest correlation and with similar climatic characteristics and elevations were used.

### Determining the network architecture

The information coming from the input layer is processed according to certain standards and transmitted to the output layer. The main function of the network is the hidden layer and the number of hidden layers varies from network to network in line with the purpose to be achieved [21]. In this study, since a single hidden layer is sufficient to solve the problem, the best network architecture has been chosen as a single layer architecture with the smallest training, testing and verification errors.

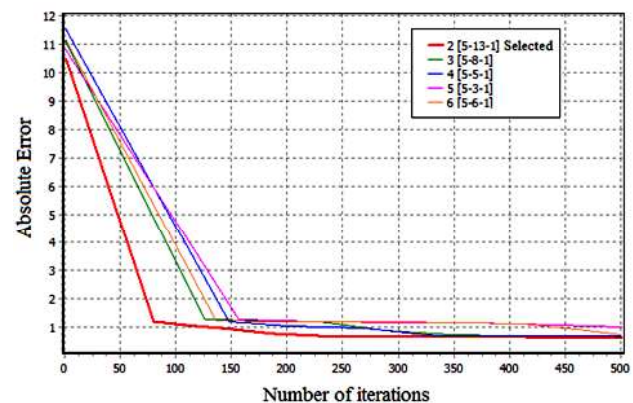


Figure 3. Comparison of the absolute errors of the top 5 network architectures

Figure 3 shows the graph of the absolute error values of the top 5 network architectures that fit the model. The smallest absolute error value of these architectures is seen in [5-13-1] architecture. Besides, when the other criteria are

compared, the fitness criterion gives the best model, the highest correlation coefficient, and the determination coefficient, and the lowest of training, test, and validation errors. When the model parameters are compared, [5-13-1] architecture has been found to represent the best network structure (Table 3).

Table 3. Comparison of statistical parameters to determine the best network architecture

Network architecture	5-13-1	5-8-1	5-5-1	5-3-1	5-6-1
Fitness criterion	1,32	1,24	1,26	0,92	1,20
Training error	0,62	0,66	0,69	0,96	0,72
Test Error	0,76	0,80	0,79	1,08	0,83
Validation Error	0,70	0,73	0,71	1,07	0,77
Correlation	0,996	0,996	0,995	0,994	0,995
Determination	0,992	0,992	0,99	0,988	0,990

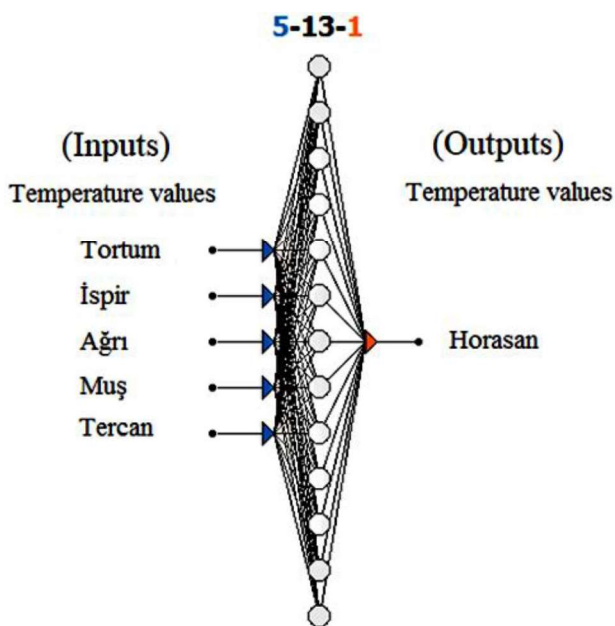


Figure 4. Selected network architecture

Figure 4 shows the most suitable network architecture (5-13-1) selected to complete missing temperature data. Here, 5 represents the number of inputs, 13 is the number of neurons in hidden layers, and 1 is the number of outputs.

### Training the network

As a result of the training process, the error calculated in the artificial neural network is expected to decrease to an acceptable error rate.

The training was completed with minimum error by selecting the network training process, various learning rates, the number of neurons in the hidden layer, the activation function, the number of iterations and the training algorithm.

### Testing and verification

Testing is a process used to estimate the quality of a trained neural network. During this process, some of the data not used during training are presented to the trained network, as appropriate. Then the estimation error is measured in any case and used to estimate the network quality. This step determines the success of education by simply comparing the statistical data with the data predicted by ANN [17]. The correlation coefficient ( $R = 0,996$ ) between the actual data and the predicted (modeled) data, while the Determination coefficient ( $R^2 = 0,992$ ) and the errors are small. In addition, the correlation indicates that the model, which is estimated to be high and positive, is appropriate and correct (Table 4, Table 5).

Table 4 Artificial neural network model summary table

Artificial neural network parameters	
Activation function:	Logistics sigmoid
Model architecture:	(5-13-1)
Learning algorithm:	Quick propagation
Iteration number:	1000
R:	0,996
R <sup>2</sup> :	0,992

Note. R: Correlation coefficient, R<sup>2</sup>: Determination coefficient

Correlation and determination coefficients are used to compare predicted values and actual values and to determine the best estimation performance. The determination coefficient ( $R^2$ ), which takes the values of the prepared model in the range of (0-1), indicates its fitness. This coefficient is the square of the correlation coefficient between the observed value of the dependent variable and the estimated value in the model. The value reflects how many percent of the fluctuations in the dependent variable are due to variations in the independent variable [18,19].

In Figure 5, the scatter plot of the actual temperature values and artificial neural network of Horasan and the estimated temperature values are shown. Scattering around the dots indicates high fit.

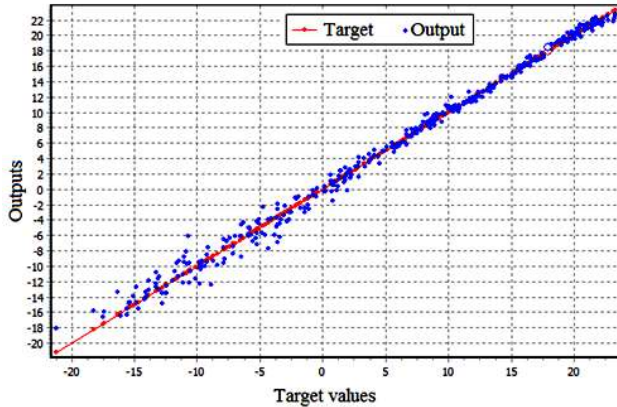


Figure 5. Comparison of targeted (actual) values and outputs (estimated values)

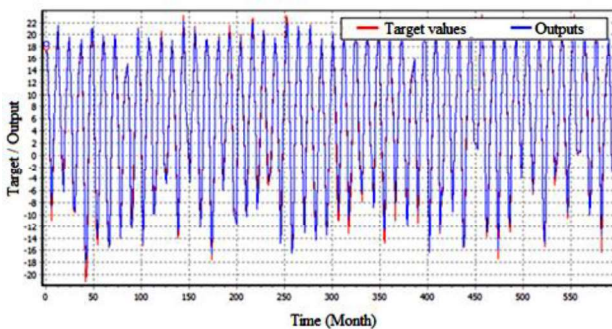


Figure 6. The relationship between targeted (real) values and artificial neural network and predicted outputs

Figure 6 shows the real temperature values of Horasan and the estimated temperature values with artificial neural network. The complete overlap of the target and output values show the success of the model.

Table 5. Test results of artificial neural network

	Target	Output	MAE
Mean	5,96	5,99	0,03
Standard deviation	11,34	11,28	0,06
Minimum	-21,20	-18,10	3,10
Maximum	23,30	22,78	0,52

Testing is a process used to estimate the quality of a trained neural network. In this process, some data that is not used during the training is

presented to the trained network depending on the situation. In this study, estimation error was used to estimate network quality. To estimate the success of the analysis, targeted (real) values and output values were compared. The results of this comparison are shown in Table 5 and Figure 5. The fact that the errors are low enough shows that the model established when estimating the temperatures of the Horasan station is correct. Here the absolute error expresses the difference between the targeted values and the output values of the network.

## Discussion

Dombaycı and Gölcü [20] presented the average temperature values of the previous days as input to the ANN model to estimate the daily average temperatures. In their study, Levenberg-Marquardt (LM) feed-forward backpropagation algorithm, which has 6 neurons in the hidden layer, was chosen as the most suitable model because it gives the biggest  $R^2$  (0,99) and the smallest error rate (1,85). Besides, as a result of the study, it was determined that the estimated temperature values expressed as the output of the networks are very close to the real values. This shows that the ANN model is effective in temperature estimation. When the statistical parameters obtained as a result of the study are compared with our study, it is seen that our study is quite superior. This situation is thought to be due to the daily temperature estimation of the stated study, while monthly temperatures were used in our study. Besides, it is suggested that more effective estimation can be made by including parameters such as altitude, humidity, precipitation, and evaporation in the model for the estimation of temperatures in future studies.

Akyüz et al. [21] the average air temperature of Antalya was estimated by the artificial neural network method. In the study, real monthly average vapor pressure, monthly average relative humidity, related month, and year data were used as an input. As a result, it has been observed that the predicted values in the artificial neural network model are compatible with the actual average air temperature values. The error rate of the most suitable model obtained in their study

was determined as 0.029 and the value of  $R^2$  as 0.99. Compared with the statistical parameters obtained with our study, it is seen that it is almost the same in temperature estimation.

## Conclusions

This study, it is aimed to estimate missing air temperature data with the ANN model. Accordingly, stations with similar features were used near the meteorological station with missing data. The results obtained show that a satisfactory estimate is obtained by the artificial neural network method. The quick propagation learning algorithm minimizes the error rate and is proposed to be used for temperature prediction. Statistical parameters such as the determination coefficient ( $R^2$ : 0,992) and the Mean Absolute Error (MAE: 0,03) obtained because of this study show the accuracy of the prediction.

**Acknowledgments:** The authors thank General Directorate of Meteorology for the observed monthly total precipitation and temperature data provided the Editor and the anonymous reviewers for their contributions on the content and development of this paper.

## References

1. Şen, Z. *Artificial neural networks principles*. Water Foundation, **2004**.
2. Pielke, R.A.; Cotton, W.R.; Walko, R.E.A.; Tremback, C.J.; Lyons, W.A.; Grasso, L.D.; ... and Copeland, J.H. A comprehensive meteorological modeling system—RAMS. *Meteorology and atmospheric Physics* **1992**, *49*(1-4), 69-91.
3. Güç, R. Solar energy analysis and temperature forecast with artificial neural networks for bilecik province, Bilecik Şeyh Edebali University, Institute of science and technology, Bilecik, **2016**.
4. Sanikhani, H.; Deo, R. C.; Samui, P.; Kisi, O.; Mert, C.; Mirabbasi, R.; ... & Yaseen, Z. M. Survey of different data-intelligent modeling strategies for forecasting air temperature using geographic information as model predictors. *Computers and Electronics in Agriculture* **2018**, *152*, 242-260.
5. Vakili, M.; Sabbagh-Yazdi, S. R.; Khosrojerdi, S.; & Kalhor, K. Evaluating the effect of particulate matter pollution on estimation of daily global solar radiation using artificial neural network modeling based on meteorological data. *Journal of cleaner production* **2017**, *141*, 1275-1285.
6. Behmanesh, J; Mehdizadeh, S. Estimation of soil temperature using gene expression programming and artificial neural networks in a semiarid region. *Environmental Earth Sciences* **2017**, *76*(2), 76.
7. Zhu, S.; Heddam, S.; Nyarko, E. K.; Hadzima-Nyarko, M.; Piccolroaz, S.; Wu, S. Modeling daily water temperature for rivers: comparison between adaptive neuro-fuzzy inference systems and artificial neural networks models. *Environmental Science and Pollution Research* **2019**, *26*(1), 402-420.
8. Taşar, B.; Üneş, F.; Demirci, M.; Kaya, Y. Z. Evaporation amount estimation using artificial neural networks method, *Dicle University Journal of Engineering* **2018**, vol. 9, no. 1, pp. 543-551.
9. Rahman, S.A.; Chakrabarty, D. Sediment transport modelling in an alluvial river with artificial neural network. *Journal of Hydrology* **2020**, *588*, 125056.
10. Yıldırım A.; Kandemir, S.Y. Estimation of Rainfall Amount with Artificial Neural Networks, *Bilecik Şeyh Edebali University Journal of Science* **2018**, vol. 5, no. 2, pp. 97-104.
11. Afzaal, H.; Farooque, A. A.; Abbas, F.; Acharya, B.; Esau, T. Groundwater estimation from major physical hydrology components using artificial neural networks and deep learning. *Water* **2020**, *12*(1), 5.
12. Dalkılıç, H. Y.; Hashimi, S. A. Prediction of daily streamflow using artificial neural networks (ANNs), wavelet neural networks (WNNs), and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) models. *Water Supply* **2020**, *20*(4), 1396-1408.
13. Kızılaslan, M.; Sağın, F.; Doğan, E.; Sönmez, O. Estimation of lower Sakarya River flow using artificial neural networks," *Sakarya University Journal of the Institute of Science* **2014** vol. 18, no. 2, pp. 99-103.
14. Minns, A.; Hall, M. Artificial neural networks as rainfall-runoff models, *Hydrological sciences journal* **1996**, vol. 41, no. 3, pp. 399-417.
15. Bishop, C.M. Neural networks and their applications, *Review of scientific instruments* **1994**, vol. 65, no. 6, pp. 1803-1832.
16. Campolo, M.; Andreussi, P; Soldati, A. River flood forecasting with a neural network model, *Water resources research* **1999** vol. 35, no. 4, pp. 1191-1197.
17. Ilie, C.; Ilie, M.; Melnic, L.; Topalu, A.-M. Estimating the Romanian Economic Sentiment Indicator Using Artificial Intelligence Techniques. *Journal of Eastern Europe Research in Business & Economics* **2012**, 1.
18. Hocking, R.R. A Biometrics invited paper. The analysis and selection of variables in linear regression. *Biometrics*, **1976**, *32*(1), 1-49.

19. Lindley, D.V. Regression and correlation analysis. In *Time Series and Statistics* Palgrave Macmillan, London. **1990**; pp. 237-243.
20. Dombaycı, Ö. A.; and Gölcü, M. Daily means ambient temperature prediction using artificial neural network method: A case study of Turkey. *Renewable Energy*, **2009**, 34(4), 1158-1161.
21. Akyüz, A. Ö.; Kumaş, K.; Ayan, M.; Güngör, A. Antalya İli Meteorolojik Verileri Yardımıyla Hava Sıcaklığının Yapay Sinir Ağları Metodu ile Tahmini. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* **2020**, 10(1), 146-154.





Araştırma Makalesi / Research Article

Donatı tipi ve göçme modunun geri dönüşüm agregası ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların kırılma fonksiyonları üzerindeki etkileri

*Effects of Reinforcement Type and Failure Mode on Fragility Functions of Columns Incorporating Recycled Concrete Aggregate*

Çağlar Göksu\*

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Maslak, Sarıyer, İstanbul, goksuc@itu.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*

Geliş: 26 Ocak 2021  
Düzeltilme: 20 Şubat 2021  
Kabul: 21 Şubat 2021

*Anahtar kelimeler:*

Çerçeve, geri dönüştürülmüş agregası, kolon, kırılma eğrisi

Doi: 10.24012/dumf.868449

ARTICLE INFO

*Article history:*

Received: 26 January 2021  
Revised: 20 February 2021  
Accepted: 21 February 2021

*Keywords:* Frame, recycled aggregate, column, fragility function

ÖZET

Bu çalışma, bir depremden sonra performansa dayalı yapısal değerlendirme için, atık betondan dönüştürülmüş agreganın ikame edildiği beton ile üretilmiş (i) göçme modu eğilme olup kompozit donatılı, (ii) göçme modu kesme olup kompozit donatılı kolonların kırılma eğrilerinin elde edilmesini içermektedir. Elde edilen kırılma fonksiyonlarının birbirleri ile karşılaştırılması sonucunda göçme modunun farklı olması durumunun geri dönüştürülmüş agregası ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların kırılma eğrileri üzerindeki etkisi ortaya çıkarılmıştır. Diğer taraftan, (i) bendinde belirtilen kolon tipi için elde edilen kırılma eğrileri literatürde geri dönüştürülmüş agregası ikame edilen beton ile üretilmiş, göçme modu eğilme olup konvansiyonel donatılı kolon ve çerçeveler için elde edilmiş olan kırılma eğrileri ile karşılaştırılarak donatı farkının bu tip yapısal elemanların kırılma eğrileri üzerindeki etkisi ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmada, veri olarak, literatürde yer alan geri dönüştürülmüş agregası ikame edilen kolon ve çerçevelerde deprem tipi yüklemeye sonra meydana gelen hasar türleri kullanılmıştır. Öteleme oranı, talep parametresi olarak dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, göçme modu ve donatı tipi farketmeksizin geri dönüştürülmüş agregası ikame edilen tüm kolonlar için veri tabanındaki düşük eksenel yüke maruz kalan kolonlarda daha büyük deformasyonların meydana geldiği, yüksek eksenel yüke maruz kalan kolonlarda "ileri hasar" ile ilgili olan öteleme oranlarının ise daha erken geliştiği tespit edilmiştir. Göçme modları aynı olup (eğilme) donatı tipleri farklı (kompozit veya konvansiyonel) olan, geri dönüştürülmüş agregası ikame edilen kolonların kırılma eğrilerinin özellikle ileri hasarı temsil eden hasar durumu için farklılık gösterdiği, bu farklılığın kompozit donatılı numunelerin rijitliğinin konvansiyonel donatılı numunelere göre daha fazla olmasından kaynaklanabileceği tespit edilmiştir.

ABSTRACT

This study presents the fragility functions for reinforced concrete columns incorporating recycled aggregates, which are obtained from waste concrete, for performance-based seismic assessment after an earthquake. The columns evaluated in generating fragility functions are either (i) flexure-critic columns with composite reinforcement, or (ii) shear-critic columns with composite reinforcement. Based on the comparison of these fragility functions, the effect of failure mode on the fragility functions of the columns incorporating recycled aggregates is obtained. On the other hand, according to the comparison of the fragility functions obtained for the column type specified in the statement (i), and the fragility functions, available in the literature, obtained for flexure-critic reinforced concrete columns/frames incorporating recycled aggregates with conventional reinforcement, the effect of reinforcement type on the fragility functions is revealed. The test data used in the development of the fragility functions are the types of damage occurring after an earthquake-type loading of columns and frames incorporating recycled aggregates in the literature. The drift ratio is considered as the demand parameter. As a result, larger deformations are observed for the columns subjected to lower axial loads in the database, while the drift ratios associated with "severe damage" develop earlier for the columns exposed to higher axial loads regardless of the failure mode and type of reinforcement. It is also found that the fragility functions of the columns incorporating recycled aggregates, which have similar failure mode but have different reinforcement type, differ, particularly, for the damage state representing severe damage. This difference may be due to the higher stiffness of the columns with composite reinforcement than the columns with conventional reinforcement.

\* Sorumlu yazar / Correspondence  
Çağlar Göksu  
✉ goksuc@itu.edu.tr



## Giriş

Son yıllarda, Avrupa Birliği, 2030 yılına kadar karbon ayak izinde en az %40 azalma ve 2050'ye kadar karbon nötr bir kıta haline gelmeyi hedefleyen döngüsel bir ekonomi eylem planı başlatmıştır [1]. Bu hedeflere, ancak inşaat gibi büyük miktarlarda malzemelerin kullanıldığı sektörlerle odaklanılarak ulaşılabilmektedir. Bunun nedeni, yeni yapıların inşası sırasında önemli miktarlarda doğal hammadde tüketilmesidir. Ayrıca, sismik tasarım kriterlerini karşılamayan veya inşaat kusurları barındıran eski yapıların yıkımı sırasında ortaya çıkan beton atıklarının bertaraf edilmesi atık alanı talebini artırmaktadır [2]. Bu nedenlerle, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından, atık betonlardan elde edilen agregaların dönüştürülerek yeni yapılacak yapıların yapı elemanı üretiminde kullanılması, yalnızca hammadde tüketimini azaltmakla kalmayacak, aynı zamanda atık sahası talebinin azaltılması gibi inşaat atıklarının yönetimine de katkıda bulunabilecektir.

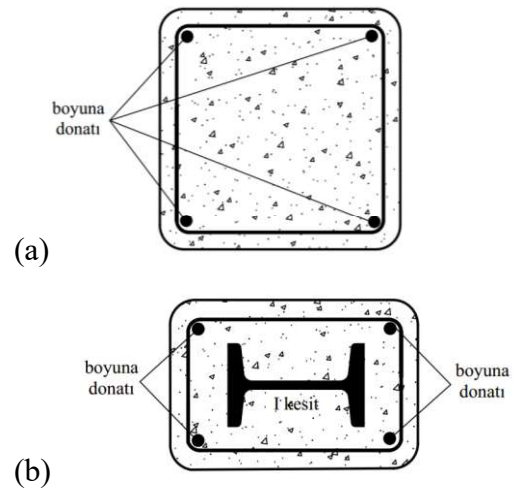
Son yıllarda, geri dönüştürülmüş beton agregalarının (GDA) yeni yapılacak yapıların yapı elemanı üretiminde kullanımının araştırılmasına yönelik olarak önemli sayıda deneysel ve analitik çalışma yapılmıştır [3-9]. Bu çalışmaların sonuçları, yapışık bir harçla çevrelenmiş GDA'nın fiziksel ve mekanik özelliklerinin doğal agregadan (DA) farklı olmasına rağmen, uygun beton karışım tasarımı ve agregaların seçici kullanımı yoluyla yeni beton yapımında kullanımının etkili ve çevre dostu bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

Dünyanın birçok ülkesindeki standartlarda yapısal elemanlar için DA'nın GDA ile belirli oranlarda değiştirilmesine izin verilmektedir [10]. Bu sebeple, bu ülkelerde bazı betonarme yapıların halihazırda GDA ile inşa edilmiş olması bu tür yapıların yakın gelecekte yaygınlaşabileceğini göstermektedir [11]. Bu nedenle, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş betonarme yapı elemanlarının deprem sonrası hasar görülebilirliği, hasar gören bu elemanların onarımı, onarım maliyeti ve onarım süresi açısından performansa dayalı sismik değerlendirme için olasılıksal bir yaklaşım geliştirmek önem kazanmaktadır.

Mevcut yapı stoklarının yapısal elemanlarında deprem sonrası oluşabilecek hasar tahmini için

kırılma fonksiyonlarının kullanımı, temel sismik risk/zarar değerlendirme araçlarından biridir ve tanımlanmış bir parametre için bir sınır durumuna ulaşma veya aşma olasılığının tahmin edilmesinde kullanılmaktadır [12]. Kırılma eğrileri genel olarak deneysel, analitik ve hibrit yöntemler kullanılarak üç farklı yaklaşım ile elde edilebilir. Bu çalışmada, kırılma eğrileri deneysel yaklaşım kullanılarak elde edilmiştir.

Deprem sonrası performansa dayalı yapısal değerlendirme için, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş betonarme kolonların ve çerçevelerin kırılma eğrileri literatürde ilk defa Goksu [13] tarafından modellenmiştir. Goksu [13] tarafından yapılan çalışmada, kırılma eğrilerinin elde edilmesinde kullanılan verilerin tümü konvansiyonel donatılı, eğilme kritik kolon ve çerçevelere aittir. Şekil 1a'da örnek bir konvansiyonel donatılı kolona ait kesit sunulmuştur. Goksu [13] tarafından yapılan çalışmada, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş, eğilme kritik, konvansiyonel donatılı kolon ve çerçevelerin deprem tipi yüklemeyi karakterize eden tersinir çevrimsel veya monotonik yüklemeye altında elde edilen deneysel verilerine dayanarak, üç farklı hasar durumu için kırılma eğrileri oluşturulmuş ve her bir hasar durumu için öteleme oranları açısından sınırlar belirlenmiştir. Ayrıca, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolon ve çerçevelerin deprem sonrası uygulanabilecek onarım kategorisinin tahmini için istatistiksel bir yaklaşım önerilmiştir.



Şekil 1. (a) Örnek konvansiyonel donatılı kolon kesiti, (b) Örnek kompozit donatılı kolon kesiti

Figure 1. Column section as an example (a) Conventional, (b) Composite

Ancak, literatürde, bugüne kadar, göçme modu farkının (eğilme veya kesme) veya donatı farkının (konvansiyonel veya kompozit) GDA ikame edilen beton ile imal edilen betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kırılma eğrileri üzerindeki etkileri tanımlanmamıştır. Bu sebeple bu çalışmada,

(i) literatürde bulunan GDA ikame edilen beton ile üretilmiş, göçme modu eğilme olup kompozit donatılı (Şekil 1b) kolon ve çerçevelerin verileri derlenerek kırılma fonksiyonları oluşturulmuştur. Bu kırılma fonksiyonları, Goksu [13] tarafından yapılan çalışmada elde edilen kırılma eğrileri (GDA ikame edilen beton ile üretilmiş, göçme modu eğilme olup konvansiyonel donatılı kolon ve çerçevelerin kırılma eğrileri) ile karşılaştırılmış, ve donatı farkının bu yapısal elemanların kırılma eğrileri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Farklı kesitlerdeki ( $I, H$  vb.) çelik kolonların lokal veya toptan burkulmasını azaltmak veya önlemek amacıyla bu tip kolonların beton ile sarılması sonucu ortaya çıkan kompozit donatılı kolonların yapılarında kullanımı oldukça yaygındır [14].

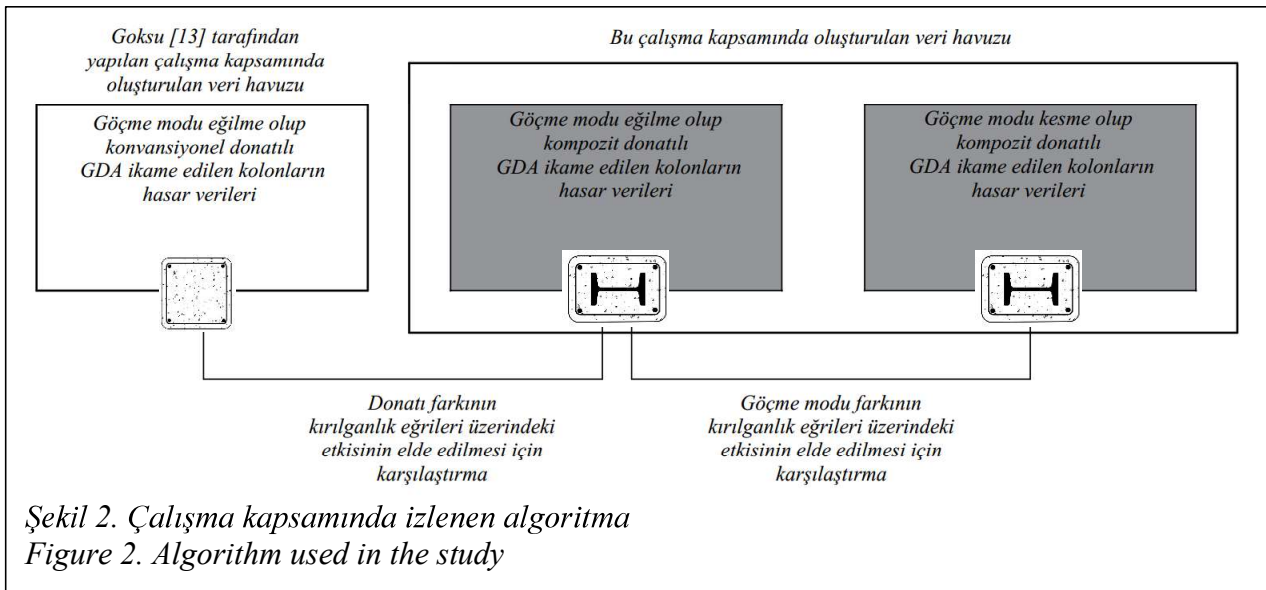
(ii) literatürde bulunan GDA ikame edilen beton ile üretilmiş, göçme modu kesme olup kompozit donatılı kolonların verileri derlenerek kırılma fonksiyonları oluşturulmuştur. Bu kırılma fonksiyonları, (i) başlığı altında elde edilen kırılma eğrileri (GDA ikame edilen beton ile üretilmiş, göçme modu eğilme olup kompozit donatılı kolon ve çerçevelere ait) ile

karşılaştırılmış, ve göçme modunun yapısal elemanların kırılma eğrileri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapı elemanı tipi olarak kolon seçilmesinin sebebi kolonların bir yapının taşıyıcı sistem elemanları arasında birincil derecede öneme sahip olmalarıdır. Bu çalışma kapsamında izlenen algoritma Şekil 2’de özetlenmiştir.

### Veri Tabanının Oluşturulması

Literatürde sınırlı sayıda bulunan eğilme veya kesme kritik göçme moduna sahip kompozit donatılı olup GDA ikame edilen beton ile üretilmiş tüm kolon ve çerçevelerin deney verileri [3-4, 8] derlenerek bir veri tabanı oluşturulmuş ve bu veriler kırılma eğrilerinin elde edilmesinde kullanılmıştır. Veri tabanında yer alan numunelerin karakteristik özellikleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1’den de görüleceği üzere, kolon/ çerçevelerin üretiminde kullanılan GDA oranı %30 ile %100, kolonların yükseklikleri ise 335 mm ile 1200 mm arasında değişmektedir. Kolonların, aksel yük kapasitelerinin %30-90’ı arasında değişen aksel yükler altında test edildiği, 40 MPa ile 52 MPa arasında değişen beton basınç dayanımına sahip oldukları görülmektedir. Tüm numuneler tersinir çevrimsel yükleme altında test edilmiştir.



Şekil 2. Çalışma kapsamında izlenen algoritma  
Figure 2. Algorithm used in the study

Tablo 1. Kompozit kesitli olup GDA ikame edilen beton ile üretilmiş betonarme kolonların/çerçevelerin kırılma yükü fonksiyonlarının oluşturulması için kullanılan verilerin özeti

Table 1. Summary of data of RAC columns/frames with composite sections used for generating the fragility functions

Araştırma	Numune adı	Numune tipi	GDA oranı (%)	Numune kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	h (mm)	$\rho_l$ (%)	Boyuna donatı çapı ve sayısı	Donatı tipi	$\rho_t$ (%)	Enine donatı çapı	s (mm)	$N_o$ (%)	$f_c'$ (MPa)
	SRR12*		70	180×240	930				1.36	∅8	90	60	51
	SRR13*		100	180×240	930				1.36	∅8	90	60	48
Ma	SRR14*		100	180×240	930	4.98 I donatı,	4∅14+	HRB 335+	1.36	∅8	90	30	48
vd.	SRR15*	Kolon	100	180×240	930	1.42 boyuna donatı	No14 I donatı	Q235 I donatı	1.36	∅8	90	90	48
[3]	SRR16*		100	180×240	930				1.02	∅8	120	60	48
	SRR17*		100	180×240	930				2.04	∅8	60	60	48
	SRR2**		30	180×240	335				1.36	∅8	90	60	50
	SRR3**		70	180×240	335				1.36	∅8	90	60	52
	SRR4**		100	180×240	335				1.36	∅8	90	60	48
Ma	SRR5**		100	180×240	335	4.98 I donatı,	4∅14+No 14	HRB 335+	1.36	∅8	90	30	48
vd.	SRR6**	Kolon	100	180×240	335	boyuna donatı	I donatı	Q235 I donatı	1.36	∅8	90	90	48
[4]	SRR7**		100	180×240	335				1.02	∅8	120	60	48
	SRR8**		100	180×240	335				2.04	∅8	60	60	48
	SRR10*		100	180×240	565				1.36	∅8	90	60	48
	SRRCF1*		100	180×240	1200				-	∅8	-	40	40
	SRRCF2*		100	180×240	1200				-	∅8	-	40	40
Liu	SRRCF3*	Çerçeve	100	180×240	1200	4.98 I donatı,	4∅14+No 14	HRB 400+	-	∅8	-	40	40
vd.	SRRCF4*		100	180×240	1200	boyuna donatı	I donatı	Q235 I donatı	-	∅8	-	40	40
[8]	SRRCF5*		100	180×240	1200				-	∅8	-	60	40

$f_c'$ : Beton basınç dayanımı;  $N_o$ : Eksenel yük oranı;  $s$ : Enine donatı aralığı;  $\rho_l$ : Boyuna donatı oranı;  $\rho_t$ : Enine donatı oranı

\*: Göçme modu eğilme

\*\* : Göçme modu kesme

Ma vd. [3] tarafından yapılan çalışmada, göçme modu eğilme olan kompozit donatılı GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlar, sabit aksenal ve ters çevrimsel yatay yüklemeler altında test edilmiştir. Bununla birlikte, Ma vd. [4] tarafından yapılan çalışmada, göçme modu gerek kesme gerekse eğilme olan kompozit donatılı GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlar sabit aksenal ve ters çevrimsel yatay yüklemeler altında test edilmiştir. Liu vd. [8] tarafından yapılan çalışmada kompozit kesitli, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş çerçevelerin deprem performansı incelenmiştir.

### Hasar Durumları

Bu çalışmada değerlendirilen hasar için, Goksu [13] tarafından yapılan çalışmada belirtilen hasar durumları dikkate alınmıştır. Goksu [13] tarafından yapılan çalışmada hasar durumları GDA ikame edilen beton ile üretilmiş, konvansiyonel donatılı, göçme modu eğilme olan kolon ve çerçeveler için belirlenmiştir. Bu çalışmada, kırılma eğrilerinin elde edilmesinde kullanılan GDA ikame edilen beton ile üretilmiş, kompozit donatılı, göçme modu eğilme veya kesme olan kolon ve çerçeveler ile ilgili deney verilerinin kapsamlı incelemesinin ardından, hasar sınıflarının, tipik hasar modellerinin ve çatlak tipolojilerinin Goksu [13] ile uyumlu olduğu görülmüş ve bu çalışmada da Tablo 2'de sunulan hasar durumları dikkate alınmıştır.

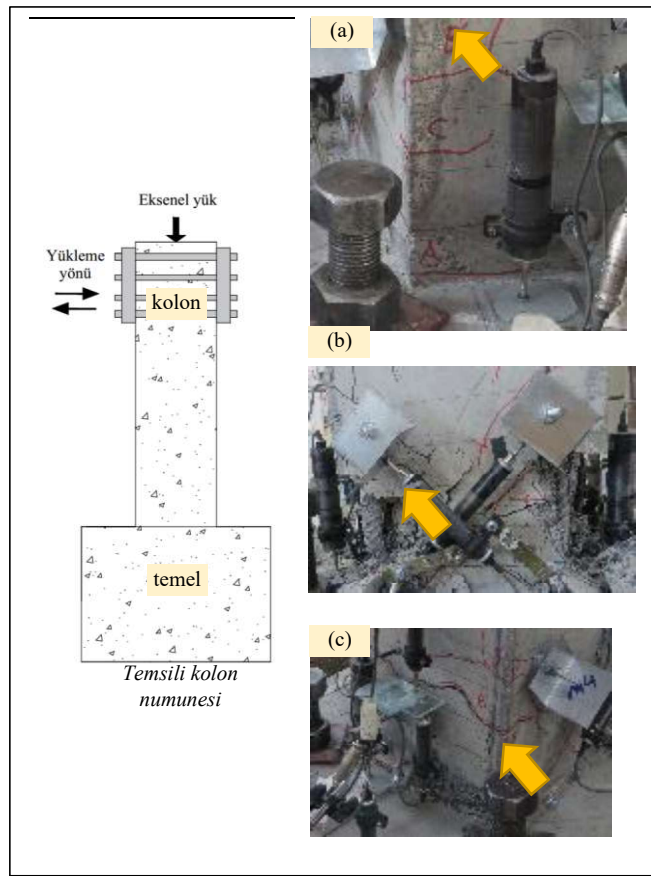
Goksu [13] tarafından yapılan çalışmada, deprem tipi bir yüklemeye sonra meydana gelen fiziksel değişim dikkate alınmış ve kırılma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan veriler deprem sonrası hasar istatistiklerine dayalı hasar durumları kullanılarak yorumlanmıştır. Sonuç olarak, kırılma eğrilerinin gelişimi için bir eşik oluşturması için Hasar Durumu 1 (HD1), Hasar Durumu 2 (HD2) ve Hasar Durumu 3 (HD3) olmak üzere üç farklı hasar durumu tanımlanmıştır. Her bir hasar durumunun eşik değerleri, literatürde bulunan test sonuçlarının, FEMA 308 [15], ASCE 41-17 [16] gibi betonarme yapı elemanlarının deprem sonrası onarımı ve güçlendirilmesi için kullanılan standartların/spesifikasyonların değerlendirilmesi yoluyla belirlenmiştir. Hasar durumları Tablo 2'de listelenmiş ve 1.1'den 3.3'e kadar daha da alt kategorilere ayrılarak etiketlenmiştir. Tablo 2'de sunulan çeşitli hasar durumları için, veri tabanındaki kolonların

durumunu temsil eden fotoğraflar Şekil 3'te sunulmuştur.

Tablo 2. Hasar durumları

Table 2. Damage states

Hasar durumu (HD)	Hasar etiketi	Hasar gözlemi
1	1.1	0.5 mm'den az çatlak genişliği
2	2.1	Boyuna donatıda akma
	2.2	0.5 mm ile 3 mm arasında çatlak genişliği
3	3.1	Beton pas payında ezilme
	3.2	Boyuna donatıda burkulma
	3.3	3 mm'den fazla çatlak genişliği



Şekil 3. Tablo 2'de verilen çeşitli hasar durumları için veri tabanındaki kolonların durumunu temsil eden fotoğraflar, (a) 0.5 mm ile 3 mm arasındaki çatlak genişliği (Hasar Etiketi 2.2), (b) Boyuna donatıların burkulması (Hasar Etiketi 3.2), (c) 3 mm'den fazla çatlak genişliği (Hasar Etiketi 3.3) [17]

Figure 3. Photos representing the condition of the columns in the dataset for several damage states given in Table 2, (a) Crack width in between 0.5 mm and 3 mm (Damage ID 2.2), (b)

*Buckling of longitudinal reinforcement (Damage ID 3.2), (c) Crack width more than 3 mm (Damage ID 3.3) [17]*

Kırılgnlık eğrilerinin elde edilmesinde kullanılan veriler, test edilen numuneler üzerinde gözlenen hasar bilgisine dayanmaktadır. Tablo 1’de sunulmuş olan veri tabanında kayıtlı her bir kolon numunesi için Tablo 2’de sunulan her bir hasar etiketine karşı gelen öteleme oranları elde edilmiş ve kırılgnlık eğrilerinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Kırılgnlık eğrilerinin geliştirilmesinde kullanılan hasar verisi sayıları Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 3. Kırılgnlık fonksiyonlarını oluşturmak için kullanılan verilerin özeti

*Table 3. Summary of test data used to create fragility functions*

No	Araştırma	Numune adı	Her bir hasar durumu (HD) için hasar verisi sayısı		
			HD1	HD2	HD3
1		SRRC12	1	2	2
2		SRRC13	1	2	2
3	Ma vd. [3]	SRRC14	1	2	2
4		SRRC15	1	2	2
5		SRRC16	1	2	2
6		SRRC17	1	2	2
7		SRRC2	1	2	1
8		SRRC3	1	2	1
9		SRRC4	1	2	1
10	Ma vd. [4]	SRRC5	1	2	1
11		SRRC6	1	2	1
12		SRRC7	1	2	1
13		SRRC8	1	2	1
14		SRRC10	1	2	1
15		SRRCF1	1	2	2
16		SRRCF2	1	2	1
17	Liu vd. [8]	SRRCF3	1	2	1
18		SRRCF4	1	2	1
19		SRRCF5	1	2	1

Veri tabanına dahil edilen veri noktaları için, verilerin bildirilmesi durumunda, her bir hasar etiketine karşı gelen öteleme oranı bir veri noktası olarak tanımlanmıştır. Bu durumda, belirli bir hasar durumu için, her bir kolon ile ilgili bir veya daha fazla veri noktası tanımlanabilmektedir. Başka bir deyişle, belirli bir hasar durumu için birden fazla veri noktası olabilmektedir. Örneğin bir çalışmada 0.5

mm'den az çatlak genişliği için (Hasar Etiketi 1.1) ve boyuna donatıda burkulma için (Hasar Etiketi 3.2) öteleme oranlarının bildirilmesi durumunda, bu kolon için veri tabanına iki veri noktası kaydedilmektedir.

### Verilerin İstatistiksel Analizi

Deprem tipi yükleme altında hasar görmüş olan 19 adet, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş, kompozit donatılı kolonlar ve çerçevelerden elde edilen veriler kırılgnlık eğrilerinin elde edilmesinde kullanılmıştır.

### Kırılgnlık Fonksiyonlarının Elde Edilmesi

Kırılgnlık fonksiyonu, seçilen bir parametre için belirli bir eşğin ulaşılması ya da aşılması olasılığını gösteren grafiksel gösterimdir. Bu çalışmada, bir deprem sırasında kompozit donatılı olup GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların sismik performansını tahmin etmek üzere kırılgnlık eğrileri oluşturulmuştur. Kırılgnlık eğrilerinin geliştirilmesi için göz önünde bulundurulmuş hasar durumlarının tanımları Tablo 2’de sunulmuştur. Bu çalışmada, talep parametresi olarak kolon tepe noktasındaki en büyük yerdeğiştirme değerinin kolon yüksekliğine oranı olarak tanımlanan “öteleme oranı” kullanılmıştır. Kırılgnlık eğrileri geliştirilirken FEMA P-58 [18]’de önerilen prosedürler takip edilmiştir.

Bu çalışmada, veri tabanındaki hasar verilerini karakterize etmek için kümülatif dağılım fonksiyonu olarak sayısal uygulamalarda kolay kullanımı ve yapısal değişkenlere uyumda başarılı sonuçlar vermesi sebebiyle lognormal olasılık dağılımı kullanılmıştır (Denklem 1) [19].

$$P(HD \geq d_i) = \Phi \left[ \frac{1}{\beta_i} \ln \left( \frac{d}{\theta_i} \right) \right] \quad (1)$$

Denklem 1’de,  $P(HD \geq d_i)$ , bir hasar durumuna (HD) ulaşma veya aşma olasılığı olarak tanımlanmaktadır ve öteleme oranına ( $d_i$ ) bağlıdır. Standart normal (Gauss) kümülatif dağılım fonksiyonu  $\Phi$  ile, logaritmik standart sapma  $\beta_i$  ile, kümülatif dağılım fonksiyonunun medyan değeri ise  $\theta_i$  ile temsil edilmektedir.

İstatistiksel analiz için öncelikle veri tabanındaki 19 kolonun Tablo 2’de yer alan her bir Hasar Etiketi için öteleme oranı belirlenmiştir. Öteleme oranları daha sonra küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır. Kümülatif olasılık fonksiyonunun



veri tabanı ile uyumlu olmasını sağlamak ve istatistiksel bir modelin dağılım parametrelerini tahmin etmek üzere En Büyük Olabilirlik Tahmini yöntemi kullanılmıştır (Denklemler 2-4).

$$\beta_i = \sqrt{\beta_r^2 + \beta_u^2} \quad (2)$$

$$\beta_r = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M \left[ \ln \left( \frac{d_i}{\theta_i} \right) \right]^2} \quad (3)$$

$$\theta_i = e^{\left( \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \ln d_i \right)} \quad (4)$$

Denklemler 2-4'te,  $\beta_r$  test verilerinde gözlemlenen rastgele değişkenliği,  $\beta_u$  ( $\beta_u=0.10$ ) ise belirsizliği temsil etmektedir [17]. Test edilen örnek sayısı ise  $M$  ile gösterilmiştir. Kırılma eğrileri, lognormal dağılımın kalitesini değerlendirmek üzere Lilliefors testi kullanılarak değerlendirilmiştir (Denklem 5).

$$H = \max |P_i(d) - S_M(d)| \quad (5)$$

Denklem 5'te  $H$  Lilliefors test parametresini temsil etmektedir. Deneysel kümülatif dağılım fonksiyonu ve gözlemlenen örnekler için önerilen kümülatif dağılım fonksiyonu  $S_M(d)$  arasındaki en büyük mutlak fark olarak tanımlanmaktadır.

Ampirik olarak türetilen, ve  $i$ 'inci sıralı gözleme karşılık gelen  $i$ 'inci kümülatif olasılık için  $S_M(d)$ ,  $(i-1/2)/M$  olarak hesaplanmıştır ( $i=1, \dots, M$ ) [20-21]. Lilliefors testi, iki kümülatif olasılık dağılımı fonksiyonunun (tahmin edilen ve gözlemlenen) benzerliğini ölçen bir Kolmogorov-Smirnov (K-S) testidir. Elde edilen  $H$  değeri, %5 anlamlılık düzeyinde kritik test parametresi  $H_{crit}$  ile karşılaştırılarak iki fonksiyon arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı belirlenmektedir (Denklem 6 ve 7). Bu anlamlılık düzeyinde, Denklem 7 sağlanır ise sıfır hipotezi  $H_0$  kabul edilmekte, aksi halde reddedilmektedir.

$$H_{crit} = 0.895 / (M^{0.5} - 0.01 + 0.85M^{-0.5}) \quad (6)$$

$$H < H_{crit} \quad (7)$$

## Göçme Modu Eğilme Olup Kompozit Donatılı, GDA İkame Edilen Beton ile Üretilmiş Kolonların Kırılma Fonksiyonları

Göçme modu eğilme olup kompozit donatılı, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların kırılma fonksiyonları için En Büyük Olabilirlik Tahmini yöntemi kullanılarak tahmin edilen, her bir hasar durumu Lilliefors testi ( $H$ ,  $H_{crit}$ ) kullanılarak değerlendirilen logaritmik dağılım parametreleri (medyan  $\theta_i$ , logaritmik standart sapma  $\beta_i$ ) Tablo 4'te sunulmuştur. FEMA P-58'e [18] göre kırılma eğrisi %5 anlamlılık düzeyinde yapılan Lilliefors testini geçerse ve logaritmik standart sapma değeri 0.6'dan düşük ise kırılma fonksiyonu yüksek kalite olarak kabul edilmektedir. Tablo 4'ten görüldüğü üzere, bu gereksinimler eğilme kritik olup kompozit donatılı GDA ikame edilen beton ile üretilmiş tüm kolonlarda her bir hasar durumu için sağlanmaktadır.

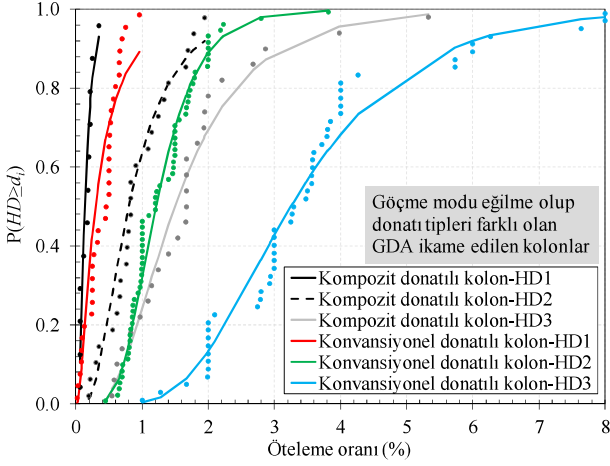
Şekil 4'te, göçme modu eğilme olup kompozit donatılı GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlar için elde edilen kırılma eğrileri, Goksu [13] tarafından yapılan çalışmada elde edilen kırılma eğrileri (GDA ikame edilen beton ile üretilmiş, göçme modu eğilme olup konvansiyonel donatılı olan kolon ve çerçevelerin kırılma eğrileri) ile karşılaştırılmıştır. Böylece, donatı tipinin farklı olması durumunun kırılma eğrileri üzerindeki

Tablo 4. Geri dönüşüm agregası ikame edilen kolonların lognormal dağılım parametreleri ve Lilliefors testi sonuçları

Table 4. Lognormal distribution parameters and Lilliefors goodness-of-fit test results of RAC columns

Göçme modu	Donatı kesiti		HD1	HD2	HD3
Eğilme	Konvansiyonel donatılı kesit [13]	$\theta_i$	0.30	1.21	3.25
		$\beta_i$	0.95	0.42	0.45
		$H$	0.20	0.14	0.13
		$H_{crit}$	0.15	0.11	0.12
	Kompozit kesitli donatı	$\theta_i$	0.13	0.80	1.50
		$\beta_i$	0.65	0.63	0.58
		$H$	0.19	0.12	0.11
		$H_{crit}$	0.24	0.18	0.17
Kesme	Kompozit kesitli donatı	$\theta_i$	0.35	1.75	3.21
		$\beta_i$	0.16	0.37	0.26
		$H$	0.22	0.20	0.11
		$H_{crit}$	0.30	0.23	0.30

etkisi araştırılmıştır. Şekil 4'ten görüldüğü üzere, sınırlı sayıda veri olmasına rağmen deneysel veriler ile kırılma eğrileri uyum içindedir. Şekil 4'ten görüldüğü üzere, eğilme kritik olup kompozit donatılı GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlarda HD1 (ilk çatlamanın başlangıcı), HD2 (donatı akması ve orta seviyede çatlamanın başlangıcı) ve HD3 (ciddi hasar) hasar durumları sırasıyla %0.06-%0.35, %0.19-%1.95, %0.54-%5.33 öteleme oranı aralıklarında meydana gelmektedir.



Şekil 4. Göçme modları aynı olup (eğilme) donatı tipleri farklı olan (kompozit veya konvansiyonel) GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlar için kırılma eğrileri

Not: Kolon deneylerinden elde edilmiş veri noktaları da (ilgili ötelenme oranı ve olasılığı) grafikte daire şeklinde işaretçiler ile gösterilmiştir.

Figure 4. Fragility functions for flexure-critical RAC columns with different type of reinforcement (composite section or conventional reinforcement)

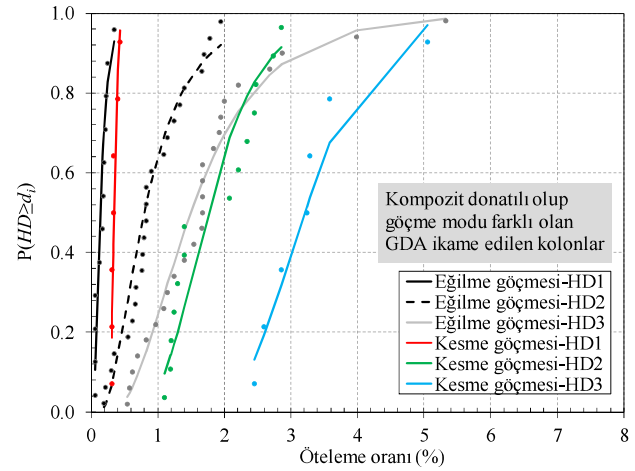
Note: The data points (related drift ratio and probability) obtained from tested columns are also shown with circle markers on the graph.

### Göçme Modu Kesme Olup Kompozit Donatılı, GDA İkame Edilen Beton ile Üretilmiş Kolonların Kırılma Fonksiyonları

Göçme modu kesme olup kompozit donatılı, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların kırılma fonksiyonları için En Büyük Olabilirlik Tahmini yöntemi kullanılarak tahmin edilen, her bir hasar durumu Lilliefors testi ( $H$ ,  $H_{crit}$ ) kullanılarak değerlendirilen logaritmik

dağılım parametreleri (medyan  $\theta_i$ , logaritmik standart sapma  $\beta_i$ ) Tablo 4'te sunulmuştur. Tablo 4'ten görüleceği üzere, kesme kritik olup kompozit donatılı GDA ikame edilen beton ile üretilmiş tüm kolonlar her bir hasar durumu için %5 anlamlılık düzeyinde yapılan Lilliefors testini geçmiştir.

Şekil 5'te göçme modu kesme olup kompozit donatılı, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlar için elde edilen kırılma eğrileri, göçme modu eğilme olup kompozit donatılı, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlar için elde edilen kırılma eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Şekilden görüleceği üzere veri sayısı sınırlı olmasına rağmen deneysel veri ile kırılma eğrileri uyum içindedir. Şekil 5'ten de görüleceği üzere, HD1, HD2, HD3 hasar durumları sırasıyla %0.31-%0.44, %1.10-%2.85, %2.45-%5.05 öteleme oranı aralıklarında meydana gelmektedir.



Şekil 5. Donatı tipleri aynı olup (kompozit donatılı) göçme modları farklı olan (eğilme veya kesme), GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlar için kırılma eğrileri

Figure 5. Fragility functions for RAC columns, which have similar reinforcement type (composite section) while having different failure mode (flexure-critical or shear-critical)

### Donatı Tipinin ve Göçme Modunun GDA İkame Edilen Beton ile Üretilmiş Kolonların Kırılma Eğrileri Üzerindeki Etkileri

Bu bölümde, (i) göçme modu eğilme olup donatı tipleri farklı olan (konvansiyonel kesit veya kompozit kesit), GDA ikame edilen beton ile

üretmiş kolonların kırılma fonksiyonları ve (ii) donatıları aynı tip olup (kompozit kesit) göçme modları farklı olan (eğilme veya kesme), GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların kırılma fonksiyonları karşılaştırılmıştır. Kırılma fonksiyonları elde edildikten sonra öteleme talebi ile hasar arasındaki ilişkiyi etkileyen parametreler araştırıldığında aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır (Şekiller 4-5):

Göçme modunun eğilme veya kesme olması farketmeksizin kompozit donatılı, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlarda, göreceli olarak daha düşük aksel yük altında (Tablo 1) test edilen kolonların tüm hasar durumları için ilgili öteleme oranlarının diğer kolonların öteleme oranlarına göre daha fazla olduğu görülmüştür. Örneğin, göçme modu eğilme olup kompozit donatılı, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlarda HD1, HD2, HD3 için en büyük öteleme oranına sahip numuneler sırasıyla ilgili veri tabanında yer alan diğer kolonlara göre daha düşük aksel yük altında test edilmiş olan SRRCF1 (Liu vd. [8]), SRRCF14 (Ma vd. [3]), SRRCF1 (Liu vd. [8]) numuneleridir. Düşük aksel yük altında test edilen kolonların belirli hasar durumları için ilgili öteleme oranlarının diğer kolonların öteleme oranlarına göre daha yüksek olması durumu göçme modu eğilme olup konvansiyonel donatılı, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlarda da gözlenmiştir [13]. Bu durum, düşük aksel yük altında betonun basınç bölgesi derinliğinin daha az olması sebebiyle betonun daha büyük deformasyon yapabilmesi ve dolayısıyla, betonda ezilmenin daha geç olması şeklinde açıklanabilmektedir [22].

Diğer taraftan, göçme modunun eğilme veya kesme olması farketmeksizin kompozit donatılı, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlarda veri tabanında en yüksek aksel yük oranına (aksel yük kapasitesinin %90'ına eşdeğer aksel yüke maruz kalan kolon) maruz kalan kolonlar için (Tablo 1, kolon SRRC15 ve kolon SRRC5), hasar durumu HD3 ile ilişkili öteleme oranının da en düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu öteleme oranını, aynı hasar durumu için, aksel yük kapasitelerinin %60'ına eşdeğer aksel yüke maruz (veri tabanında ikinci en yüksek aksel yük oranı) bırakılan kolonların öteleme oranları izlemektedir. Bunun nedeni, yüksek aksel yüke maruz kalan kolonlarda betonun daha erken ezilmesi ve dökülmesi şeklinde açıklanabilmektedir. Dökülmeden sonra betonun

basınca maruz kısmı artık mevcut olmadığından, donatıda oluşan gerilmeler sonucu donatıda burkulma meydana gelebilmektedir. Yüksek aksel yük altında test edilen kolonların belirli hasar durumları için ilgili öteleme oranlarının diğer kolonların öteleme oranlarına göre daha düşük olması durumu göçme modu eğilme olup konvansiyonel donatılı GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlarda da gözlenmiştir [13].

Göçme modu eğilme olup kompozit donatılı, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlarda medyan değerleri göçme modu eğilme olup konvansiyonel donatılı, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların medyan değerlerine göre %33 ila %56 arasında, göçme modu kesme olup kompozit donatılı, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların medyan değerlerine göre ise %53 ila %62 arasında daha düşük kalmaktadır. Bu farklılık, göçme modu eğilme olup kompozit donatılı, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlar için veri tabanının önemli bir kısmınının (yaklaşık olarak %42) çerçeve tipi numunelerden oluşması, çerçeve tipi numunelerin kolonlarında tüm hasar durumları için elde edilen öteleme oranlarının hem kolon hem de kirişlerdeki deformasyonları içermesi sebebiyle daha düşük değerlere doğru bir eğilim göstermesi şeklinde açıklanabilmektedir [18].

Şekil 4'te sunulan, göçme modları eğilme olup donatıları farklı tip olan, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların kırılma eğrileri özellikle hasar durumu HD3 için farklılık göstermektedir. Konvansiyonel donatılı, eğilme kritik numunelerde %8 oranına kadar öteleme oranı görülürken eğilme kritik, kompozit donatılı numuneler için öteleme oranı %5 civarındadır. Bu farklılık, kompozit donatılı numunelerin rijitliğinin konvansiyonel donatılı numunelere göre daha fazla olmasından kaynaklanabilmektedir. Şekil 5'te sunulan, göçme modları farklı olup donatıları tipleri aynı olan, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların kırılma eğrilerinde de hasar durumu HD3 için farklılık göze çarpmaktadır. Bu farklılığın, kesme kritik numunelerdeki enine donatı oranının göreceli olarak uygun/yeterli olması sebebiyle (Tablo 1, %1.02-%2.04 arasında değişen oranlarda) daha ileri öteleme

oranlarının gözlenebilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Beton karışımındaki GDA oranının gerek göçme modu eğilme olup donatı tipleri farklı olan GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların öteleme oranları üzerinde gerekse donatıları aynı tip olup göçme modları farklı olan GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların öteleme oranları üzerinde etkisi gözlenememiştir.

## Sonuçlar

Bu makale, bir depremde sonra performans dayalı yapısal değerlendirme için, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların kırılma eğrilerinin elde edilmesini içermektedir. Kırılma eğrilerinin elde edilmesinde, gerek eğilme kritik gerek ise kesme kritik kompozit donatılı kolon/çerçevelere ait deprem tipi yüklemelerden sonra meydana gelen hasar ile ilintili deneysel veriler kullanılmıştır. Göçme modu ve donatı tipi farkının GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların kırılma eğrileri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Öteleme oranı, talep parametresi olarak dikkate alınmıştır. İstatistiksel olarak analiz edilen verilere dayanarak aşağıdaki belirtilen sonuçlar elde edilmiştir:

- Gerek göçme modu eğilme olan gerekse kesme olan kompozit donatılı, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonlarda tüm hasar durumları için deneysel veriler ile teorik kırılma eğrilerinin uyumlu olduğu görülmektedir.
- Göçme modu ve donatı tipi farketmeksizin GDA ikame edilen beton ile üretilmiş tüm kolonlarda düşük eksenel yüklerde, betonun ezilmesinin ötelenmesini sağlayan daha küçük basınç bölgesi derinliği nedeniyle daha büyük deformasyonlar gözlemlenebilmektedir. Öte yandan, göçme modu ve donatı tipi farketmeksizin veri tabanındaki en yüksek eksenel yük oranına maruz kalan GDA ikame edilen beton ile üretilmiş tüm kolonlarda “ileri hasar” durumu ile ilişkili kolonun öteleme oranı değerinin, betonun erken ezilmesi ve dökülmesi nedeniyle en düşük olduğu gözlenmiştir.
- GDA ikame edilen beton ile üretilmiş çerçeve tipi numunelerin kolonlarında tüm hasar durumları için elde edilen öteleme oranları hem kolon hem de kirişlerdeki deformasyonları içerdiğinden daha düşük değerlere doğru bir eğilim göstermektedir.

- Göçme modları aynı olup (eğilme) donatı kesitleri farklı tip olan, GDA ikame edilen beton ile üretilmiş kolonların kırılma eğrileri özellikle “ileri hasar” durumu için farklılık göstermektedir. Bu farklılık, kompozit donatılı numunelerin rijitliğinin konvansiyonel donatılı numunelere göre daha fazla olmasından kaynaklanabilmektedir.

- Veri tabanında yer alan kolonlarda beton karışımındaki GDA oranının kolon öteleme oranları üzerinde etkisi gözlenememiştir.

## Kaynaklar

- [1] European Commission (EU COM) Report 773 (2018). A European strategic long-term vision for prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, Brussels, Belgium.
- [2] Şeker, M., Bedirhanoglu, İ., (2019). Düşük Dayanımlı Betona Sahip Betonarme Kısa Kolonların Kesme Etkileri Altında Davranışlarının İncelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, **10**(1), 385-395.
- [3] Ma, H., Xue, J., Luo, D., Zhang, X., (2013). Seismic Performance of Steel-Reinforced Recycled Concrete Columns under Low Cyclic Loads, *Construction and Building Materials*, **48**, 229-237.
- [4] Ma, H., Xue, J., Liu, Y., Zhang, X., (2015). Cyclic Loading Tests and Shear Strength of Steel Reinforced Recycled Concrete Short Columns, *Engineering Structures*, **92**, 55-68.
- [5] Soleimani, F., McKay, M., Yang, C.S.W., Kurtis, K.E., DesRoches, R., Kahn, L F., (2016). Cyclic Testing and Assessment of Columns Containing Recycled Concrete Debris, *ACI Structural Journal*, **113**(5), 1009-1020.
- [6] Saribas, I., Goksu, C., Binbir, E., Ilki, A. Shear-Flexure Interaction in RAC Columns Under Simulated Seismic Actions, *Engineering Structures*, **231**, 111746.
- [7] Saribas, I., Goksu, C., Binbir, E., & Ilki, A. (2019). Seismic performance of full-scale RC columns containing high proportion recycled aggregate. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **17**(11), 6009-6037.
- [8] Liu, Z., J. Xue, L. Qi, L. Gao, (2020). Experimental Study on Seismic Performance of Steel-Reinforced Recycled Concrete Frame with Infill Wall, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **29**(10), e1744.
- [9] Akyıldız, H., Efe, H., Önen, F., (2020). Baraj Yapımında Atık Malzemelerin Kullanımı: Kadıköy Göleti Örneği. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, **11**(1), 439-445.

- [10] de Brito, J., Saikia, N., (2013). Recycled Aggregate in Concrete-Use of Industrial, Construction and Demolition Waste, Springer.
- [11] Xiao, J., (2018). Recycled Aggregate Concrete Structures, Springer, Berlin, Heidelberg.
- [12] Rossetto, T., Elnashai, A., (2005). A New Analytical Procedure for the Derivation of Displacement-Based Vulnerability Curves for Populations of RC Structures, *Engineering Structures*, **27**(3), 397-409.
- [13] Goksu, C., (2021). Fragility Functions for Reinforced Concrete Columns Incorporating Recycled Aggregates, *Engineering Structures*, 233, 111908.
- [14] Xiong, M.X., Xu, Z., Chen, G.M., Lan, Z.H., (2020). FRP-Confined Steel-Reinforced Recycled Aggregate Concrete Columns: Concept and Behaviour under Axial Compression, *Composites Structures*, **246**, 112408.
- [15] FEMA 308, (1998). Repair of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings. Washington (DC): Federal Emergency Management Agency.
- [16] ASCE/SEI 41-17, (2017). Seismic Rehabilitation and Retrofit of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Reston, VA.
- [17] Saribas, I., (2018). Geri Dönüşüm Agregası İçeren Çevreci Betonun Yapısal Eleman Üretiminde Kullanılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] FEMA P-58-1, (2012). Seismic Performance Assessment of Buildings, Volume 1- Methodology, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, US.
- [19] Tugsal Mert, Ü., (2016). Türkiye'deki Mevcut Betonarme Binaların Depremlerde Hasargörebilirliğinin İstatistiksel Kestirimi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] Cardone, D., (2016). Fragility Curves and Loss Functions for RC Structural Components with Smooth Rebars, *Earthquakes and Structures*, **10**(5) 1181-1212.
- [21] Gupta, B.C., Guttman, I., Jayalath, K.P., (2020). Statistics and Probability with Applications for Engineers and Scientists using Minitab, R and JMP, John Wiley&Sons, Inc., NJ, US.
- [22] Elwood, K.J., Moehle, J.P., (2005). Axial Capacity Model for Shear-Damaged Columns, *ACI Structural Journal*, **102**(4), 578-587.





## Araştırma Makalesi / Research Article

## Şanlıurfa'da Jeotermal Enerji Kaynaklarının Yönetimi İçin İdari Bir Model Önerisi

*An Administrative Model Suggestion for the Management of Geothermal Energy Resources in Şanlıurfa, Turkey*Fred Barış ERNST<sup>1</sup>, M. İrfan YEŞİLNACAR<sup>2</sup>, Zafer H.A. SAK<sup>3</sup>, A. Dilek ATASOY<sup>4</sup>, Celal ÇİFTÇİ<sup>5</sup>, Perihan DERİN<sup>6</sup>

1Harita Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa,

2,4,5,6 Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa,

3Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı, Tıp Fakültesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa,

e-posta: fr\_ernst@yahoo.com, iyeshilnacar@gmail.com, drsak19@gmail.com, adilekatasoy@hotmail.com, celalciftci87@gmail.com, perihanderin47@gmail.com

## MAKALE BİLGİLERİ

*Makale geçmişi:*Geliş: 31 Ocak 2021  
Düzeltilme: 2 Mart 2021  
Kabul: 3 Mart 2021*Anahtar kelimeler:*

Jeotermal enerji; idari yönetim modeli; Şanlıurfa; GAP Bölgesi

## ÖZET

Bu çalışmada, ülkemizde jeotermal kaynaklarının işletme açısından yönetimi tartışılmıştır. Ülkemizde, jeotermal kaynaklarla ilgili yasa 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunudur. Bu yasaya göre, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlı Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü ve diğer benzer kuruluşlar, Kültür ve Turizm Bakanlığının yanı sıra yerelde İl Özel İdareleri ve Yatırım İzleme Koordinasyon Başkanlığı gibi resmî kurumlara idari, teknik ve denetleme yetkisi verilmiştir. Ayrıca, yerel yönetimler ve özel yatırımcı/müteşebbisler de bir diğer kurumsal ve icracı yapılarıdır. Bu kadar çok kurumun taraf olduğu bir konuda, yatırımcı/müteşebbislerin yatırım ve işletmelerini etkin ve verimli biçimde idare edebilmeleri; hızlı, şeffaf, adil ve sürdürülebilir bir eşgüdümle mümkün olabilir. Ülkemizde, bu eşgüdüm yapısına, Afyon Jeotermal Turizm ve Ticaret Anonim Şirketi (1994), Bursa Jeotermal Enerji ve Sanayi Ticaret Anonim Şirketi (2008), İzmir Jeotermal Enerji Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi (2005) gibi başarılı örnekler verilebilir. Jeotermal enerji potansiyelinin henüz kapsamlı olarak etüt edilmediği ve mevcut işletmelerde yaşanan sorunlar göz önüne alındığında, Şanlıurfa İli için de, ivedi olarak idari bir eşgüdüm birimine ihtiyaç olduğu aşikârdır. Bu tebliğde, Valilik, Büyükşehir Belediyesi, Yatırım İzleme Koordinasyon Başkanlığı, Şanlıurfa Ticaret ve Sanayi Odası ve Harran Üniversitesi'ni kapsayan idari bir model önerisi tartışılmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.871675

## ARTICLE INFO

*Article history:*Received: 31 January 2021  
Revised: 2 March 2021  
Accepted: 3 March 2021*Keywords:*Geothermal energy;  
administrative management  
model; Şanlıurfa; GAP  
Region.

## ABSTRACT

In this study, the management of geothermal resources in Turkey is discussed. In our country, the law on geothermal resources is Law No. 5686 on Geothermal Resources and Natural Mineral Water. According to this law, the Ministry of Energy and Natural Resources, General Directorate of Mineral Research and Exploration, General Directorate of Mining Affairs, General Directorate of Renewable Energy, the Ministry of Culture, and other similar institutions and Tourism, as well as the local authorities such as Special Provincial Administrations and Investment Monitoring Coordination Department have been given administrative, technical and supervising powers. In addition, local governments and private investors/entrepreneurs are other institutional and executive authorities. In a situation where so many institutions are involved, it may be possible for investors/entrepreneurs to make investments and businesses efficient and efficient in a fast, transparent, fair, and sustainable coordination. Afyon Geothermal Tourism and Trade Inc. (since 1994 Bursa Geothermal Energy and Industry Trade Corporation (since 2008), İzmir Geothermal Energy Industry and Trade Inc. (since 2005), etc. are the successful examples to this coordination in our country. It is clear that geothermal energy potential has not yet been thoroughly investigated. The problems of existing enterprises are taken into consideration, and that an immediate administrative coordination unit is needed in our province. In this paper, an administrative model proposal covering Governorship, Metropolitan Municipality, Investment Monitoring Coordination Department, Şanlıurfa Chamber of Commerce and Industry, and Harran University was examined.

\* Sorumlu yazar / Correspondence  
Celal ÇİFTÇİ  
✉ celalciftci87@gmail.com

## Giriş

Türkiye’de mevcut jeotermal kaynaklar; elektrik üretimi, ısınma, ısıtma (konut, şehir, sera, kurutma), soğutma, sanayi kullanımı (CO<sub>2</sub>, kurubuz), kaplıca-sağlık ve termal turizm şeklinde, deniz ürünleri yetiştirme ve yahut bunların tümünü içeren entegre uygulaması olarak kullanılmaktadır [1;2 ve 3]. Ülkemizin önemli bir bölümünde bulunan yer altı kaynaklarından olan jeotermal kaynakların ve doğal mineralli suların aranması, araştırılması, geliştirilmesi, üretilmesi, korunması, bu kaynaklar üzerinde hak sahibi olunması, hakların devredilmesi gibi konular; kaynakların çevre ile uyumlu olarak en verimli şekilde kullanılmasına ilişkin 2007 yılından beri yürürlükte olan 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ile yönetilmektedir.

5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu mevcut uygulamalara bilimsel, teknik, ekonomik, idari ve hukuki açıdan disiplin ve yeni uyarlamalar getirmiştir. Faaliyetlerin resmileştirilmesi, devlet denetimi altında izlenmesi ve kontrolü, ister özel ister kamu adına gerekli izinlerin verilmesi konularında İl Özel İdareleri yetkili kılınmıştır.

Jeotermal kaynaklar, ülkenin hüküm ve denetimi altında olup tüm halkın ortak malı niteliğindedir. Kanun koyucu, jeotermal kaynaklarının işletilmesini il özel idarelerinin denetimine bırakmış ve bunların, il özel idaresinden alınacak izin ve ruhsat karşılığında özel kişilerce işletilmesine ve kullanılmasına olanak vermiştir. Özel kişilere verilen kullanma yetkisi karşılığında, bu kişilerden idare payı adı altında vergi alınması öngörülmüştür.

6360 Sayılı Yasanın 3. maddesinin 6. fıkrasına göre; 3/6/2007 tarihli ve 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununa göre verilen jeotermal kaynaklar ve doğal mineralli sular ruhsatına ilişkin yetki ve görevlerin vilayetlerde valilikler bünyesinde

Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı (YİKOB) tarafından yapılmaktadır.

## 2. Jeotermal Enerjinin Türkiye İçin Önemi

Ülkemiz, enerji bakımından mevcut ihtiyacını karşılamakta yetersiz olan ülkeler arasında önde gelenlerden biridir. Enerji ithalatı ve sürekli artan enerji ihtiyacı ile ilgili veriler bu durumu net bir şekilde ortaya koymaktadır. Kaynaklarından ürettiği enerjiden fazlasını tüketen ve arz güvenliğini sağlamak için dışa bağımlı olan Türkiye, mevcut kaynaklarını çeşitlendirmek, geliştirmek, üretim potansiyelini maksimum düzeyde arttırmak, güçlendirmek ve kaynaklardan optimum biçimde yararlanmak zorundadır. Tüketimin artması, üretimin tüketimi karşılayacak potansiyel payının devamlı yetersiz kalması, enerji ihtiyacında sürekli olarak artan dışa bağımlılık; ülkeyi her geçen gün yenilenebilir enerji bakımından mevcut potansiyelin kullanımını artırmaya yönlendirmektedir. Yenilenebilir enerji kullanım bilincinin gelişmesinin de etkisiyle, ülkemiz potansiyel olarak yenilenebilir kaynaklara yönelmiş, jeotermal enerjiye olan ilgi artmış ve yapılan araştırma ve teknik çalışmalar da hız kazanmıştır. Bu açıdan jeotermal enerjinin, çok yakın bir zamanda ülkemizin önemli bir enerji potansiyel kaynağı konumuna gelmesi beklenmektedir [4].

## 3. Türkiye’deki Jeotermal Kaynakların Dağılımı

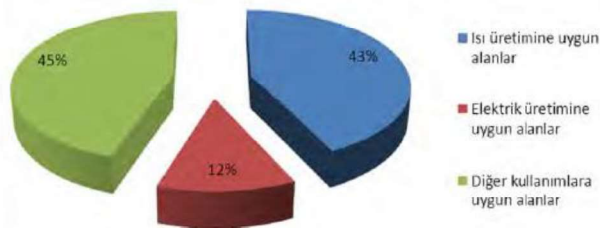
Ülkemizde jeotermal kaynak araştırmalarının başlangıcı 1960’lı yıllardaki envanter belirlemeye yönelik çalışmalar olarak kabul edilmektedir. Bu dönemden sonraki süreç içerisinde özellikle 1970-1980 yılları arasındaki araştırmalar sonucunda yüksek sıcaklıklı sahaların keşfedilmesi, jeotermal kaynaklarla ilgili çalışmalara önemli bir boyut kazandırmıştır. Araştırmalar sonucu ortaya konulan jeotermal kaynak potansiyeli, 1990’lı yıllardan itibaren özel sektörün ve belediyelerin ilgisini bu konuya yoğunlaştırmıştır. Türkiye’nin genç tektonik unsurları ve jeotermal kaynakların dağılımı Şekil 1’de gösterilmiştir [5].



Şekil 1. Türkiye'nin genç tektonik unsurları ve jeotermal kaynakların dağılımı [5].

#### 4. Jeotermal Kaynakların Kullanımı

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynağı olan jeotermal enerji kaynak aramalarının başladığı 1960'lı yıllardan itibaren günümüze gelinceye kadar gelişen zaman zarfında halihazırda ortaya çıkarılan jeotermal enerjiden günümüzde birçok farklı alanda yararlanılmaktadır. Genel olarak merkezi şehir ısıtma uygulamaları son zamanlarda artmıştır. Elektrik üretimine yönelik enerji santrallerinin kurulması önemli bir gelişmedir. Kuşkusuz ülkemizin mevcut jeotermal enerji potansiyeli, fosil enerji kaynakları ile yarışacak yeterlilikte değildir. Fakat bu enerji kaynağı yenilenebilir, çevreye zarar vermeyen ve sürdürülebilir olması yönüyle üstün bir avantaj sağlamıştır. Türkiye'de jeotermal enerjinin doğrudan kullanım oranları Şekil 2'de gösterilmiştir [6]. Ülkenin mevcut ekonomisine önemli derecede katkı sağlaması hasebiyle; maksimum üretim şartlarında düzenli ve kaliteli bir kaynak olması ve sürdürülebilirliği bakımından tercih sebebidir. Son zamanlardaki başarılı ve verimli uygulamalar sayesinde jeotermal kaynak kullanımı ülkemizde de artan bir hızla yaygınlaşmaktadır.



Şekil 2. Türkiye'de jeotermal enerjinin doğrudan kullanım oranları [5].

#### 5. Jeotermal Kaynaklara İlişkin Mevzuat ve İdari Sorunlar

Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sularla İlgili 5686 sayılı kanun ve uygulama yönetmeliği çerçevesinde işlem yapılan ve görüş bildiren birçok sayıda kamu kuruluşu bulunmaktadır [7].

Bunlar:

- İçişleri Bakanlığı
  - İller İdaresi Genel Müdürlüğü
  - Strateji Geliştirme Başkanlığı
- İl Özel İdareleri
- Yatırım İzleme Koordinasyon Başkanlığı
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
  - Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
    - Yenilenebilir Enerji Kaynakları Proje Geliştirme ve Takip Dairesi Başkanlığı
    - Yenilenebilir Kaynak İzleme ve Yerli Aksam Daire Başkanlığı
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
- Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
- Sağlık Bakanlığı
- Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
- Tarım ve Orman Bakanlığı
- Kültür ve Turizm Bakanlığı
- Diğer ilgili bakanlık
- EPDK dır.

Ülkemizde mevcut Jeotermal kaynakların aranması, geliştirilmesi ve sürdürülebilmesi ile ilgili yasal mevzuat eksikliğinin giderilmesine yönelik, ilgili çalışmalar ve uygulamalar hızlandırılmış olmakla birlikte, ülke genelinde halihazırda mevcut olan bu kaynaklardan toplumsal açıdan kamusal ve özel sektörün yeterli ölçüde bir fayda sağladığı

düşünülmemektedir. Bu sorunun sebeplerinden biri de, mevcut potansiyel kaynakların uzun süre zarfında yönetimindeki yasal boşluktan mütevellit, uygulamalarda karşılaşılan engellerin pratik çözümünde mevcut yasal zeminin pasif kalmasıdır. Karşılaşılan engel ve sorunların çözümü ve yasal mevzuat yetersizliklerinin aşılmasıyla orantılı olarak, jeotermal kaynaklardan toplumsal bazda daha fazla faydanın sağlanması mümkün olacaktır. Bunun için kapsamlı yaklaşımlarla arama, araştırma, geliştirme ve üretim programları/süreçleriyle üretimde verim potansiyelinin artırılması sağlanabilir. Bu aşamada acil olarak AR-GE programlarının faaliyete geçirilmesi ve uygulanması, yeni teknolojilerin kullanımının artırılması ve yurt içi gelişiminin sağlanması, mevzuat yapılanması, gerekli izin, teşvik ve eğitim programlarıyla birlikte değerlendirilerek ulusal yasal boşluğun giderilmesi, gerekli düzenleme ve iyileştirme çalışmalarının yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Mevzuat bölümünde kısaca bahsedildiği gibi kanun ve yönetmelik çerçevesinde işlem yapan ve görüş bildiren çok sayıda bakanlık, genel müdürlük ve kurumlar mevcuttur. Bu çok başlılık süreci, kurumlar arası iletişim eksikliğine ve yasal boşluk karmaşasına yol açarak; bürokratik süreçlerdeki görüş bildirme, karar verme ve işlemi neticelendirme zamanının gereksiz uzamasına sebep olmakta; bu durum çoğu zaman yatırımcı üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır. Bahsi geçen olumsuzluklar, ülkemizde jeotermal kaynakların aranması, araştırılması, geliştirilmesi, planlanması ve üretim süreçlerini kısıtlamakta ve var olan bu kaynaklardan etkin faydalanılması durumunda ortaya çıkacak olası bir verim artışını engellemektedir. Yatırımcı ve kamuoyunun yönlendirilmesi açısından alınan stratejik kararlarda izleme ve denetimi sağlayan çok başlı bir sistemin yerine, merkezi idare çatısı altında, sistematik ve kurumsal olarak idari bir yapıdan oluşan bir merkezin gerekliliği ortaya çıkmaktadır [3].

## 6. Şanlıurfa İlinde Mevcut Jeotermal Sahalar

Şanlıurfa ilinde Karaali ve Kabahaydar olmak üzere iki adet jeotermal alan mevcuttur. Ülkemizin kalkınmasında çok önemli potansiyel vadeden Harran Ovası'nda yer alan Karaali jeotermal alanı, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Orta Fırat Bölümü'nde bulunan Şanlıurfa'nın 45 km güneydoğusunda ve Akçakale grabeni içerisindeki Karaali Köyü'nü de içine alan sahayı kapsar [8, 9,10]. Sıcak akışkan, termal tesis ve seracılık uygulamasının yapıldığı alanın içinde bulunan Karaali köyüne, Şanlıurfa-Mardin karayolu üzerindeki Çamlıdere'den itibaren yaklaşık 25 km'lik asfalt yol ile ulaşılmaktadır [11, 12]. Kabahaydar alanı ise Şanlıurfa ilinin 35 km kuzeydoğusundaki Aşağı Koymat Köyü'nde yer alır (Şekil 3). Kabahaydar jeotermal sahası Şanlıurfa ilindeki ikinci jeotermal sahadır. Bu saha ile ilgili bilimsel veriler son derece azdır. 2012 yılında Şanlıurfa İl Özel İdaresi tarafından özel bir firmaya "Aşağı Koymat Köyü 5000 Dekarlık Alanda Jeoloji, Jeokimya ve Hidrojeoloji Raporları" isimli bir çalışma yaptırılmıştır. Bu raporda ağırlıklı olarak jeofizik çalışmalar yapılmış, bunun dışında jeotermal sistem ile ilgili diğer bilimsel incelemeler yapılmamıştır [13].



Şekil 3. Şanlıurfa İlinde Mevcut Jeotermal Sahalar [8].

Kabahaydar jeotermal alanında yapılan testlere göre kuyunun debisinin 30 l/sn statik su seviyesinin 150 m'de dinamik su seviyesinin ise 151 m'de olduğu belirtilmiştir. Kuyuda düşümün az olması bu alandaki karbonatlı kayaçların sürdürülebilir akifer olduğunu göstermektedir. Mart 2015 tarihinde yapılan ölçümlerde alandaki kuyuların sıcaklıkları 24 ile 29 °C ve Elektriksel iletkenlik (EI) değerleri ise 589-1105  $\mu$ S/cm arasında değişmiştir [8].



Karaali Jeotermal Sahasına ait mevcut kuyuların ısı potansiyel değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Karaali Jeotermal Sahası mevcut kuyuların ısı potansiyeli [8].

Kuyular	m	Tg l/s (C°)	Tç (C°)				
			40	35	30	25	20
Karaali-1	38	48	1276,8	2074,8	2872,8	3670,8	4468,8
Karaali-5	30	39,2		529,2	1159,2	1789,2	2419,2
K-1	80	45,2	1747,2	3427,2	5107,2	6787,2	8467,2
K-2	80	42	672	2352	4032	5712	7392
K-3	80	42,8	940,8	2620,8	4300,8	5980,8	7660,8
K-4	70	48,2	2410,8	3880,8	5350,8	6820,8	8290,8
K-5	80	47	2352	4032	5712	7392	9072
K-6	80	41	336	2016	3696	5376	7056
K-7	108	47,3	3311,28	5579,28	7847,28	10115,28	12383,28
K-8	38	48,5	1356,6	2154,6	2952,6	3750,6	4548,6
K-10	60	40	0	693	1386	2079	2772
K-12	60	46,4	1612,8	2872,8	4132,8	5392,8	6652,8
K-13	60	46,3	1587,6	2847,6	4107,6	5367,6	6627,6
K-14	60	47	1764	3024	4284	5544	6804
G-1	100	58	7560	9660	11760	13860	15960
Kaplıca-1	60	51	2772	4032	5292	6552	7812
Kaplıca-2	65	49	2457	3822	5187	6552	7917
S-1	20	41,5	126	546	966	1386	1806
S-2	26	41,5	163,8	709,8	1255,8	1801,8	2347,8
R-1(K-11)	90	38		1134	3024	4914	6804
<b>Toplam</b>			<b>32446,68</b>	<b>58007,88</b>	<b>84425,88</b>	<b>110843,9</b>	<b>137261,9</b>

## 7. Şanlıurfa Jeotermal Kaynaklar İçin İdari Model

Çalışmada, öngörülen model kapsamında ilk aşamada elde edilen verilerin izlenmesi, değerlendirilmesi, çevresel ve teknik verilerin bütüncül irdelenmesi ve sahanın sürdürülebilirliği için Harran Üniversitesi çatısı altında Valilik, Büyükşehir Belediyesi, ilgili İlçe Belediyeleri, YİKOB, ŞUTSO, Teknokent, GAP İdaresi gibi kurumların desteği ile “Jeotermal Kaynaklar İzleme ve Koordinasyon merkezi”nin kurulması ve çalışmaların genel koordinatörlükçe yürütülmesi ve elde edilen çıktılarının üst yönetimlerle paylaşıldıktan sonra stratejik eylem planlarının hazırlanması önerilmektedir.

Harran Üniversitesi Jeotermal Kaynaklar İzleme ve Koordinasyon Merkezi (HÜJKOM) direkt Rektörlüğe bağlı bir merkez olarak işleyecektir. Koordinasyon Merkezi içerisinde ayrıca, merkezi yönetimden İl Sanayi Müdürlüğü Temsilcisi; Yerel Yönetimden, İl Özel İdare Temsilcisi; Sivil Toplum Örgütlerinden, İl Sanayi ve Ticaret Odası Temsilcisi, İzleme ve Koordinasyon Merkezinde yer alabilecektir. Çalışma prensibi olarak, İzleme ve

Koordinasyon Merkezi her dönem için çalışma programları hazırlayacaktır. Bu çalışma programları bünyesinde söz konusu yıl için kısa ve orta dönemli stratejik hedefler belirlenecek, ayrıca dönem sonlarında Jeotermal Enerji kaynakları konularında desteklenen projeler, kabul edilen veya tamamlanan tezler ile ilgili olarak faaliyet raporları sunulacaktır. Elde edilen veriler ve sonuçlar, sanayi sektörü, özel ve kamu kurum ve kuruluşlar ile paylaşılacaktır. Söz konusu bu merkez başta Şanlıurfa olmak üzere yakın gelecekte çevre iller içerisinde jeotermal kaynakların izlenmesi ve planlanması için de ortak nokta olacaktır.

Bu çalışmalar sonucunda birçok özgün araştırma ortaya çıkarılabilecek ve jeotermal kaynakların verimli kullanılabilirliğine yönelik önemli mesafeler alınabilecektir.

Üniversitemizde AR-GE ve Akademik çalışmalar aşağıdaki başlıklar altında yapılmaktadır.

1-Fen, Sosyal ve Sağlık Bilimleri kapsamında

- Yüksek Lisans Çalışmaları [9, 10,11,12]
- Doktora Çalışmaları [14, 15]

2-Üniversite Araştırma Projeleri Biriminde yürütülen çeşitli projeler

3-TÜBİTAK Projeleri

4-Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı Projeleri

5-AB ve Dünya Bankası tarafından desteklenen Projeler

6-Diğer kurum ve kuruluşlarca desteklenen Projeler

Bu bağlamda gerek proje destekleri, gerek yüksek lisans ve doktora çalışmaları ile Jeotermal Enerji Kaynaklarının yönetimi kapsamında çok daha özgün, gerçekçi, verimli ve çevre ile uyumlu çalışmalar ve araştırmalar yürütülebilecektir. Elde edilecek verilerin bölge ve ülke ekonomisi açısından çok büyük katkıları olacaktır.



## 8. Sonuçlar ve Öneriler

Yatırımcıların ve kamuoyunun yönlendirilmesi için alınan stratejik kararların ülke menfaati açısından uygulama, izleme ve denetimini sağlayan çok başlı bir sistemi (bürokratik engeller) ortadan kaldırarak; Üniversite çatısı altında, hızlı ve çözüm odaklı kurumsal idari bir yapının kurulması gerekir. Bu koordinasyon ve izleme merkezi ile yatırımcının karşılaşacağı engeller aşılmış olacak, aynı zamanda süreç de hız kazanacaktır.

Sonuç olarak;

1) Harran Üniversitesi çatısı altında bir Jeotermal Kaynaklar İzleme ve Koordinasyon Merkezi bir an önce kurulmalıdır.

2) İzleme ve koordinasyon Merkezi her dönem için araştırma, uygulama ve yerinde denetim çalışma programları yapmalı ve elde ettiği veriler neticesinde dönem sonlarında yapılan çalışmaların sonuç raporlarını sunmalıdır.

3) Bilimsel tabanlı verilerle bir ölçme-değerlendirme sistemi geliştirilmeli, değerlendirmeler neticesinde başarılı olan çalışma ve uygulamalar maddi olarak desteklenmeli ve yeni program ve projelerin yapılmasının önünü açacak teşvikler yapılmalıdır.

### Teşekkür

Bu çalışma, kısmen Harran Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü (HÜBAP Proje no: 19231, Proje no: 18081) tarafından finansal olarak desteklenmiştir.

### Kaynaklar

[1] Baba, A., (2015) Application of geothermal energy and its environmental problems in Turkey, *Int. J. Global Environmental Issues*, Vol. 14, Nos. 3/4, 2015.

[2] Topcu, G., Koç, G., Baba, A., Demir, M. M., (2019), The injection of CO<sub>2</sub> to hypersaline geothermal brine: A case study for Tuzla region, *Geothermics* 80:86-91.

[3] Baba., A, Şaroğlu F., Akkuş, İ., Özel, N., Yeşilnacar, M.İ., Nalbantçılar, M.T., Demir,

M.M., Gökçen, G., Arslan, Ş., Dursun, N., Uzelli, T., Yazdani H.,(2019), Geological and hydrogeochemical properties of geothermal systems in the southeastern region of Turkey, *Geothermics* 78, 255-271.

[4] Smith, J. O. and Abel, J. S., (2016). Bark and ERB Bilinear Trans-forms, *Türkiye'nin jeotermal kaynakları, projeksiyonlar, sorunlar ve öneriler raporu/TMMOB*, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, IEEE Trans. Speech and Audio Proc., 7(6):697-708.

[5] Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., Tekin, Z., (2005). *Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri*, Envanter Serisi No:201 849 s, Ankara.

[6] Mertoğlu, O., Simsek, Ş., Başarır, N., (2005). *Geothermal Country Update Report of Turkey*, Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, *Australia*, 19-25 April.

[7] *JMO Jeotermal Enerji ve Doğal Mineralli Sular Yasa Tasarısı Hakkında Görüş Oluşturma Çalıştayı*, (2006). Balıkesir, 28-30 Nisan.

[8] Baba, A., Akkuş, İ., Şaroğlu, F., Özel, N., Yeşilnacar, M.İ., Nalbantçılar, M.T., Demir, M., Gökçen, G., Arslan, Ş., Dursun, N., Yazdani, H., 2015. *GAP İlleri Jeotermal Kaynakları Araştırma Projesi. GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı*, Şanlıurfa.

[9] Derin, P., Çiçek, F., Çayır, M., Karaca, E., Çiftçi, C., Yeşilnacar, M. İ., (2019). Kamu - Özel Sektörde Jeotermal Suların Yönetiminin Mevzuat Bakımından İncelenmesi ve Bazı Öneriler, 72. *Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özetleri Kitabı*, S (777-780), MTA Genel Müdürlüğü Kültür Sitesi, Ankara, 28 Ocak-1 Şubat.

[10] Atasoy, A. D., C., Yeşilnacar, M. İ., Derin, P., Çiftçi, C., Kahya, N., (2018). Jeotermal Sularda Ağır Metal Sorunu: Karaali (Şanlıurfa) Örneği, *International Eurasian Conference On Biological And Chemical Sciences (EurasianBioChem 2018) Sözlü Sunum s (435)*, Ankara, 26-27 Nisan 2018.

[11] Derin, P., (2019). Karaali (Şanlıurfa) Jeotermal Sahasının Ağır Metal Kirliliği Açısından Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 73 s.

[12] Derin, P., Yetiş, A. D., Yeşilnacar, M. İ., & YAPICIOĞLU, P. (2020). GAP'ın en büyük sulama sahasında jeotermal sulardan kaynaklanan potansiyel ağır metal kirliliğinin araştırılması. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 63 (1): 125-136.

[13] Akkuş, İ. Baba, A. Şaroğlu, F. Yeşilnacar, M.İ. Akkurt, G.G. Demir, M.M. Özel, N. Nalbantçılar, T., (2017). Gap Bölgesindeki Jeotermal Kaynakların Potansiyel Değerlendirmeleri ve Öneriler, 70. *Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özetleri Kitabı*, S (330-333), MTA Genel Müdürlüğü Kültür Sitesi, Ankara, 10-14 Nisan.

[14] Çiftçi, C., Karaburun, E., Tonkul, S., Baba, A., Demir, M. M., & Yeşilnacar, M. İ. (2020). Testing the Performance of Various Polymeric Antiscalants for Mitigation of Sb-Rich Precipitates Mimicking Stibnite-Based Geothermal Deposits. *Geofluids*, 2020.

[15] Çiftçi, C., (2021). Jeotermal Enerji Sistemlerinde Antimon İçeren Kabuklaşmanın Sentezi ve Kabuklaşmanın Azaltılması İçin Potansiyel İnhibitörlerin Test Edilmesi, Doktora Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 88 s.